

時間)、緩衝液やカラム充填材の種類、pH、温度、タンパク濃度、塩濃度及び目的物質濃度のすべてに関して、実生産スケールにおける製造のそれに相応していることを示す必要がある。また、溶出のプロフィールも同様のものが得られなければならない。同様な考え方をその他の工程についても適用すること。やむを得ない事情により実際の製造工程を反映させることができない場合には、それが結果へどのような影響を及ぼすかを考察しておくべきである。

3. ウイルス不活化/除去に関する製造段階毎の解析

ウイルスクリアランス試験を行う際、2 つ以上の製造工程について、それらがどのようなウイルス不活化/除去能力を有するかを評価することが望ましい。ウイルスを不活化/除去することが予想される工程について、その能力を個々に評価し、それぞれが不活化工程なのか、除去工程なのか、あるいは不活化/除去いずれにも関与しているのかを慎重に検討・考察する必要がある。各工程での効果を適切に評価するために、試験に供する各工程段階の試料には十分な量のウイルスを添加するべきである。通常は、試験対象となる各段階の出発物質（前段階から得られた工程内各中間製品）にウイルスを添加する。場合によっては、未加工/未精製バルクに高力価のウイルスを添加し、工程間のウイルス濃度を試験することで十分である。ウイルス除去が分離操作による場合で、適切かつ可能な場合には、ウイルスがどのように分離・分画されたのかを検討することが望ましい。殺ウイルス能を有するような緩衝液を製造工程中で2 つ以上の段階にわたって用い、スパイク試験を行うような場合、並行して殺ウイルス能の低い緩衝液を用いてスパイク試験を行うというような方策をとり、これを総合評価の一部に加えてもよい。試験対象である各工程段階を経る前と経た後で、ウイルスの力価を測定すること。感染性を定量するためのアッセイは十分な感度と再現性を有する必要がある。その結果に関して統計的に適切で妥当な処理が行えるよう、十分な測定サンプル数で実施すること。感染性を指標としない定量試験も、その妥当性を明らかにした上で使用してもよい。感染性試験を行う際には常に、感度を保証するために、適切なウイルスコントロールを含むべきである。また、低濃度のウイルス試料（例えば、ウイルス粒子数が 1L 当たり 1~1000）を取り扱う場合、ウイルス試料のサンプリングの仕方によって生じる統計学上の問題を考慮に入れるべきである（付録3参照）。

4. 不活化と物理的除去の区別

ウイルスの感染性はウイルスの不活化又は除去によって低減する。評価対象の各工程におけるウイルス感染性低減の機序が不活化によるのか、除去によるのかを推測し、記述すべきである。もし、ウイルスクリアランスが製品の安全性確保にとって重要な因子と考えられるにもかかわらず、（既存の）製造工程では感染性に関するクリアランスが少ししか達成されない場合には、状況に応じて特別な不活化/除去工程あるいは付加的な不活化/除去工程を導入するべきである。

特定の工程に関して、除去と不活化を区別する必要がある場合もある。例として、複数のクリアランス工程で使用される緩衝液が、各工程の不活化に寄与する可能性が挙げられる。この場合、これらのクロマトグラフィー工程において共通に使用される緩衝液による不活化への寄与分と、クロマトグラフィー工程の各々によって達成される除去と

は区別されるべきである。

5. 不活化に関する事前評価

ウイルスの不活化を評価するためには、未加工／未精製の原材料（未加工／未精製バルク）あるいは中間製品に感染性のウイルスをスパイクし、減少度を計算すべきである。ウイルスの不活化は単純な1次反応でなく、通常、速い「第1相」と遅い「第2相」から構成される複雑な反応であることに留意すべきである。それゆえ、試験に際しては、時間を変えて検体をサンプリングし、不活化曲線が描けるように計画すべきである。不活化試験においては、最短曝露時間でのポイントに加えて、曝露ゼロ時より長く、かつ最短曝露時間よりも短い時間でのポイントを少なくとも1点はとることを勧める。

試験対象としているウイルスが、ヒトへの病原性が知られている「関連ウイルス」である場合には、その不活化に効果的な工程をクリアランス試験に組み込むよう計画し、さらに詳しいデータ（より多数のポイント）をとることが、特に重要である。

一方、「非特異的モデルウイルス」を用いた不活化試験、あるいは「特異的モデルウイルス」を使用する不活化試験でも、CHO細胞の細胞質に存在するレトロウイルス様粒子のようなウイルス粒子に対する代替ウイルスを用いるという場合には、少なくとも2回の独立した試験を実施して、クリアランスにおいて再現性があることが示されればよい。

ウイルス負荷量は、可能な限り、スパイクした出発物質中のウイルス量の実測値に基づいて定めるべきである。これが不可能な場合、スパイクに用いられるウイルス溶液の力価からウイルス負荷量を算出することになる。

試験対象の工程条件下では不活化があまりにも速く、不活化曲線を作成することができない場合、実際に不活化により感染性が失われていることを、適切な試験系により示す必要がある。

6. カラムの機能と再利用

精製工程に使用するクロマトグラフ用カラムとその他の装置のウイルスを除去する能力は、経時的に、あるいは繰り返し使用した後に変化する可能性がある。カラムを数回使用した後にウイルスクリアランスに関する性能を示す指標が変化しないことを測定することによって、カラムのこのような繰り返し使用ができるかどうかの判断材料が提供される。これらの再使用にあたっては、保持される可能性のあるウイルスは、すべて適切に破壊あるいは除去されていることを保証しておくべきである。例えば、洗浄手順や再生手順でウイルスが不活化／除去されることを証明することによって、そのような保証としてよい。

7. 特別な留意事項

- a) 高力価のウイルスを調製する場合には、凝集を避けるよう注意を払うべきである。さもなくば、物理的除去が過大に評価されたり、不活化が過小に評価され、実際の製造での状況を反映しなくなる可能性が生ずる。
- b) 評価に値するウイルスアッセイ結果が得られるような最小ウイルス量に留意すべき

である。

- c) 力価を測定するにあたっては、測定に至るまでの試料の希釈、濃縮、濾過あるいは保管などによりウイルス感染性が減少するかどうかを評価するため、並行したコントロール実験を含むべきである。
- d) 添加（スパイク）するウイルスは、製品の変性を変えたり希釈することがないように少ない容量で製品に添加されるべきである。希釈された試験試料中のタンパク質は、実生産スケールで得られる製品中のそれと全く同一とはいえないからである。
- e) 例えば、緩衝液、培地あるいは試薬類におけるわずかな相違が、ウイルスクリアランスに大きな影響を及ぼす可能性についても留意すべきである。
- f) ウイルスの不活化は時間に依存するので、スパイクされた試料が特定の緩衝液あるいは特定のクロマトグラフ用カラム内に存在する時間の長さは、商業生産スケールの工程条件を反映したものであるべきである。
- g) 緩衝液や製品は指示細胞に望ましくない影響を及ぼす可能性がある。したがって、これらのウイルス力価測定法に対する毒性作用又は干渉作用をそれぞれ個別に評価して、測定に支障のないような対策を講ずるべきである。緩衝液が指示細胞に対して毒性を有する場合は、希釈、pHの調整、あるいはスパイクウイルスを含む緩衝液の透析等を試みるとよい。製品そのものが抗ウイルス活性を持っている場合、疑似的なアプローチ（mock run）、すなわち製品そのものは含まない条件下でのクリアランス試験を実施する必要がある。しかし、製造工程によっては、製品を除去すること又は抗ウイルス活性を持たない類似タンパク質で代替することがウイルスの挙動に影響することもありうる。また、例えば、透析、保存など、測定試料調製の手順による影響をみるために、同様な調製手順を経るコントロール試験も実施する必要がある。
- h) 同様な緩衝液又はカラムを複数の精製工程で繰り返し使用するケースでは、データを解析する際に、この繰り返し使用の影響を考慮すべきである。ウイルス除去の効果は、その方法が使用される製造工程の段階により変化する可能性があることに留意する必要がある。
- i) 総ウイルスクリアランス指数は、製造条件が非常に強い殺ウイルス性を有している場合、あるいは緩衝液などが指示細胞に対し非常に強い毒性や殺ウイルス性を有している場合には過小評価される可能性があるため、ケースバイケースの考え方に立脚して議論されるべきである。逆に、総ウイルスクリアランス指数は、ウイルスクリアランス試験に固有の限界ないしは不適当な試験計画のために過大評価される場合もあることに留意する必要がある。

C. ウイルスクリアランス試験の解釈

試験の適格性（試験結果の妥当性評価）

ウイルスの不活化／除去に関する評価の目的は、ウイルス不活化や除去に有効であると考えられる工程について工程評価及び工程特性解析すること、並びにそれらの各工程を併せて、全体としてウイルスがどの程度減少したかを定量的に評価することにある。ケースBからEのようにウイルス汚染がみられる場合、当該ウイルスが排除あるいは不活化されたということのみでなく、ウイルスクリアランスに関して必要な程度を上まわる能力が精製工程に組み込まれていて、最終製品の安全性が適切なレベルに確保されていることを示すことが重要である。製造工程により除去され、あるいは不活化されたウイルスの量は、未加工／未精製バルク中に存在が推定されるウイルス量と比較されるべきである。

比較をする上で、未加工／未精製バルク中のウイルス量を測定することが重要である。この測定値は、感染性の測定あるいはその他の方法、例えば電子顕微鏡（TEM）により、得られるべきである。精製工程全体を通して評価した場合、1回の臨床投与量に相当する未加工／未精製バルク中に存在すると推定されるウイルス量をはるかに上まわる量のウイルスを、排除することができなければならない。ウイルスクリアランス指数の計算に関しては付録4を参照すること。また、投与量当たりの推定粒子数の計算に関しては付録5を参照すること。

クリアランスの機構はウイルスの種類によって異なる可能性があることを認識する必要がある。

ウイルス不活化／除去工程の有効性に関するデータを評価する際には、以下のような様々な要因を組み合わせる必要がある。

- 1) 試験に使用されたウイルスの適切さ。
- 2) クリアランス試験のデザイン。
- 3) 対数で表されるウイルス減少度。
- 4) 不活化の時間依存性。
- 5) ウイルス不活化／除去に関するプロセスパラメータのばらつきによる影響。
- 6) ウイルスアッセイ法の感度。
- 7) ある不活化／除去工程が特定種類のウイルスに特に有効である可能性。

ウイルスクリアランスは、例えば、不活化工程が2段階以上ある場合、相互補完的分離工程が複数ある場合、あるいは不活化及び分離工程が複数組み合わせられたような場合に効果的に達成される。

分離工程においては、個々のウイルスが持つ際だって特異的な物理的・化学的特性がゲルマトリクスとの相互作用や沈降特性にどのように影響するのかに大きく依存する場合がある。そのため、モデルウイルスが目的ウイルスとは異なる機序により分離される可能性がある。

分離に影響するパラメータにはどのようなものがあるかを明らかにして、これらを適切に管理する必要がある。

糖鎖付加のようなウイルスの表面特性の変化によって、分離状況に違いが生ずる可能

性がある。

しかしながら、こうした変動要因にもかかわらず、相互補完的分離工程の組み合わせ、あるいは不活化工程と分離工程との組み合わせにより、効果的なクリアランスが達成される。したがって、クロマトグラフィー工程、濾過工程及び抽出工程等のような分離工程で、十分に吟味してデザインしたものは、適切にコントロールされた条件下で操作を行った場合、効果的なウイルス除去工程となりうる。ウイルスクリアランス工程として有効であることを示すためには、少なくとも2回以上の独立した試験により添加ウイルス量の低減に再現性があることを立証する必要がある。

総クリアランス指数は、通常、個々のクリアランス指数の総和として示される。しかし、ウイルス力価の除去が $1 \log_0$ 以下の場合には、合理的な理由がない限り加算しない。

ウイルスクリアランスが製品の安全性確保にとって重要な因子と考えられるにもかかわらず、製造工程による感染性に関するクリアランスの達成度が不十分である場合には、1つ又は複数の特別な不活化/除去工程あるいは追加的な不活化/除去工程を新たに導入すべきである。製造業者は、得られたクリアランス指数が受け入れ可能かどうかについて、関係するすべてのウイルスを念頭において評価し、その妥当性を示すべきである。その際、得られた結果の評価は、以上に述べられた要因に基づいて行うことになる。

D. ウイルスクリアランス試験の限界

ウイルスクリアランス試験は、最終製品がウイルス安全面からみて受け入れられるレベルに達しているという確証を得るのに寄与はするが、それそのものが安全性を保証するわけではない。また、ウイルスクリアランス試験のデザインや実施にかかわる様々な要因が、製造工程のウイルス感染性除去能力について誤った評価に導くおそれもある。このような要因には以下のものがある。

1. 製造工程のクリアランス試験に使用されるウイルス標品は、通常、組織培養で製造される。製造工程中において、組織培養ウイルスの挙動は、自然界に存在するウイルスの挙動とは異なっている可能性がある。例えば、自然界に存在するウイルスと培養ウイルスとでは純度や凝集の程度が異なっている場合がある。
2. ウイルス感染性の不活化は、しばしば急速な初期相とそれに続く遅い相からなる2相性の曲線を示す。そのような工程で不活化を免れたウイルスは、次の不活化工程でより強い抵抗力を示す可能性がある。例えば、抵抗性画分が凝集形態をとるとすれば、各種化学的処理や熱処理に対しても抵抗力を示す可能性がある。
3. 総クリアランス指数は、対数で表された各精製段階での減少度を加算することにより算出される。しかし複数の工程、特にほとんど減少を伴わない工程（例えば $1 \log_0$ 以下の工程）の減少度を加算すると、工程全体を通してのウイルス除去能力を過大評価してしまう可能性がある。なお、同一又は近似した方法を繰り返して達成されたクリアランス指数は、合理的な理由がない限り加算するべきでない。

4. ウイルス力価の減少度を対数で表してクリアランス指数とするため、残存感染性ウイルス量が著しく低減することは示されるが、力価は決してゼロにはならないという限界がある。例えば、1mL 当たり $8 \log_{10}$ 感染単位を含む標品から感染性が $8 \log_{10}$ 低減したとしても、試験の検出限界をも考慮すれば、1mL 当たりゼロ \log_{10} 、すなわち 1 感染単位を残していることになる。
5. スケールダウンした工程のデザインに万全を期したとしても、実生産スケールとスケールダウン工程に違いが生じる可能性がある。
6. 製造工程中の類似の不活化機構で得られた各ウイルスクリアランス指数を加算することにより総クリアランス能を過大評価する可能性がある。

E. 統計

ウイルスクリアランス試験における結果の評価にあたっては統計学的手法を活用してデータを解析する必要がある。また、得られた結論が支持されるためには、試験結果の妥当性が統計学的に検証されたものである必要がある（付録 3 参照）。

F. ウイルスクリアランスの再評価が必要な場合

生産工程又は精製工程を変更する場合には、必ず、その変更がウイルスクリアランス能力に関して、直接又は間接に影響しないかを考慮し、必要に応じてシステムを再度検証する必要がある。例えば、生産工程を変更すると、細胞株によって生み出されるウイルス量に重大な変化を引き起こす可能性がある。また、精製工程を変更すると、ウイルスクリアランスの程度が変わる可能性がある。

VII. まとめ

このガイドラインは、ウイルス汚染の危険性を評価し、製品からウイルスを排除し、もってヒト又は動物細胞由来の安全なバイオテクノロジー応用医薬品を製造するためにどのようなアプローチをすればよいかを示唆している。また、そのうち特に重要な方策を以下に示す。

- A. 出発素材である細胞基材につき徹底的な解析とスクリーニングを行い、どのようなウイルス混入があるかを確認すること。
- B. 汚染ウイルスが、どの程度ヒトへの有害性が高いかを決定すること。
- C. 未加工／未精製バルクにおいて外来性ウイルスを検出するための適切な試験計画を設定すること。

- D. 周到なウイルスクリアランス試験計画を立てること。ウイルスクリアランスを最大限達成するために、製造工程中にウイルスの除去／不活化に関する各種の方法を用いること。
- E. ウイルス不活化及び除去を評価する試験を実施すること。

用語解説

***In vitro* 細胞齢 (*In vitro* Cell Age)**

マスター・セル・バンク (MCB) の融解時より、製造容器から培養細胞 (又は培養液) をハーベストするときまでの時間的尺度で、培養期間、細胞数倍加レベル (PDL)、又は培養細胞液を一定の倍数で希釈して継代する場合の細胞継代数で示される。

ウイルス (Virus)

病原性を示す可能性があり、単一のタイプの核酸 (RNA もしくは DNA のいずれか) を有し、成長も 2 分裂もせず、それらの遺伝物質が細胞内で複製する感染単位。

外来性ウイルス (Adventitious Virus)

意図に反して迷入したウイルス。

関連ウイルス (Relevant Virus)

製造工程で使用される細胞基材、その他の試薬類や各種物質に混在することが知られているか、あるいは存在の可能性があるウイルス類と同一又は同種のウイルスで、ウイルスクリアランス工程評価試験に用いられるもの。

特異的モデルウイルス (Specific Model Virus)

存在が知られている、あるいは存在が疑われるウイルスに、密接に関連しているウイルス。すなわち、同一の属もしくは科のもので、検出されたウイルスあるいは存在が疑われるウイルスと類似した物理的・化学的性質を有するもの。

内在性ウイルス (Endogenous Virus)

本来は、ゲノムが細胞株と同一の生物種のジャームライン (生殖系列の遺伝子) の一部であり、親細胞株の起源動物のゲノム中に共有結合的に組み込まれたウイルス。本文中では、細胞基材を不死化するために用いられたエプスタインバーウイルス (Epstein-Barr Virus、EBV) のように意図的に導入され、宿主ゲノムには組み込まれていないウイルス、及びウシパピローマウイルス (Bovine Papilloma Virus) もこの範疇に当てはめる。

非特異的モデルウイルス (Non-specific Model Virus)

製造工程がウイルスの除去や不活化に関して一般にどの程度の能力を有するかを解析する目的、すなわち工程が確実にウイルスクリアランス能力を発揮するという面での特性 (robustness) を解析する目的で行うウイルスクリアランス工程特性解析試験に使用されるウイルス。

非内在性ウイルス (Non-endogenous Virus)

MCB に存在する外来性ウイルス。

ウイルスクリアランス (Viral Clearance)

対象ウイルスを、ウイルス粒子の除去又はウイルス感染性の不活化により排除すること。

ウイルスクリアランス工程特性解析試験 (Process Characterization of Viral Clearance)

製造工程がウイルスの不活化／除去能力を確実に発揮するという面での特性 (robustness) を解析することを目的に、「非特異的モデルウイルス」を用いて行われるウイルスクリアランス試験。

ウイルスクリアランス工程評価試験 (Process Evaluation Studies of Viral Clearance)

存在が知られているか予測されるウイルスに関して製造工程が有する不活化／除去能力を解析することを目的に、「関連ウイルス」や「特異的モデルウイルス」を用いて行われるウイルスクリアランス試験。

ウイルス除去 (Virus Removal)

目的とする製品からのウイルス粒子の物理的分離。

ウイルス様粒子 (Virus-like Particles)

電子顕微鏡下で形態的に既知ウイルスとの関連性がうかがわれる構造体。

外来性ウイルス (Adventitious Virus)

「ウイルス」をみよ。

最短曝露時間 (Minimum Exposure Time)

不活化処理段階における時間設定の根拠となった最大限の不活化に必要な最短時間。実際の製造工程における曝露時間は、最短曝露時間を十分超えた時間として設定される。

細胞基材 (Cell Substrate)

医薬品製造のために用いられる細胞。

製造用細胞 (Production Cells)

医薬品を製造するために用いられている細胞基材。

内在性ウイルス (Endogenous Virus)

「ウイルス」をみよ。

非内在性ウイルス (Non-endogenous Virus)

「ウイルス」をみよ。

不活化 (Inactivation)

化学的又は物理的修飾によって引き起こされるウイルス感染性の減少。

マスター・セル・バンク (MCB) (Master Cell Bank)

単一の細胞プールからの分注液で、一般的には、選択されたクローン細胞株から一定の方法で調製され、複数の容器（アンプルやバイアル）に分注され、一定の条件下で保存される。MCBはWCBを調製するのに用いられる。新たに調製されたMCB（前回用いたクローン細胞株、MCB又はWCBから調製される）について実施される試験は、特に合理的な理由がない限り元のMCBについて実施された試験と同じである必要がある。

未加工／未精製バルク (Unprocessed Bulk)

生産培養後にハーベストされた細胞及び培養液の単一又は複数のプール。未加工／未精製バルクは、必ずしも細胞を含むとは限らず、培養液のみからなる場合もある。

ワーキング・セル・バンク (WCB) (Working Cell Bank)

WCBは、MCBから一定の条件で培養して得られる均一な細胞懸濁液を分注して調製される。

表1. 各細胞レベルで1度は実施すべきウイルス試験

	MCB	WCB ^a	CAL ^b
レトロウイルス及び内在性ウイルス試験			
感染性試験	+	—	+
電子顕微鏡観察 ^c	+ ^c	—	+ ^c
逆転写酵素活性 ^d	+ ^d	—	+ ^d
その他細胞種特異ウイルス試験 ^e	適宜実施 ^e	—	適宜実施 ^e
非内在性ウイルス又は外来性ウイルス試験			
<i>In vitro</i> 試験	+	— ^f	+
<i>In vivo</i> 試験	+	— ^f	+
抗体産生試験 ^g	+ ^g	—	—
その他細胞種特異ウイルス試験 ^h	+ ^h	—	—

a. 第Ⅲ章、A.2 参照。

b. CAL: 医薬品製造のために *in vitro* 細胞齢の上限にまで培養された細胞 (第Ⅲ章、A.3 参照)。

c. 他の因子も検出可能。

d. レトロウイルス感染性試験が陽性のときは不要。

e. 細胞株個々の起源・由来から存在が予測されるウイルスを検出するために適した試験。

f. 第1回目の WCB については、CAL の段階で実施すること。それ以降の WCB については、それ自体又は CAL の段階で *in vitro* 試験及び *in vivo* 試験をそれぞれ1種類ずつ実施すること。

g. げっ歯類由来細胞株に対する試験の例として、マウス抗体産生 (MAP) 試験、ラット抗体産生 (RAP) 試験、ハムスター抗体産生 (HAP) 試験がある。

h. ヒト由来細胞株、ヒト以外の霊長類由来細胞株あるいはげっ歯類以外の動物由来細胞株である場合は、それぞれの細胞株に適切な試験を適宜実施すること。

表 2. ウイルス試験に用いられるアッセイ法の例とその限界

試験方法	試験検体	検出可能な対象	試験方法としての限界
抗体産生試験	溶解処理後の細胞／培養液	特異的ウイルス抗原	動物に感染性を示さないウイルスの抗原は検出できない
<i>In vivo</i> 試験	溶解処理後の細胞／培養液	ヒトへの病原性を有する広範なウイルス	当該試験系で複製しない又は病原性を示さないウイルスは検出できない
<i>In vitro</i> 試験 適用： 1. セル・バンクの解析 2. 製造工程中での検査	1. 溶解処理後の細胞／培養液（混合培養の場合、試験検体として細胞そのものを用いること） 2. 未加工／未精製バルク又は製造用培養器から採取した培養液／溶解処理後の細胞	ヒトへの病原性を有する広範なウイルス	当該試験系で複製しない又は病原性を示さないウイルスは検出できない
電子顕微鏡観察 1. 細胞基材 2. 細胞培養液上清	1. 生細胞 2. 細胞フリー培養上清	ウイルス及びウイルス様粒子	同定評価法であり定性的である
逆転写酵素活性（RT）	細胞フリー培養上清	レトロウイルス及び発現されたレトロウイルスの RT	適切な条件下で活性を最大限に発現した酵素のみを検出。細胞由来酵素の活性の存在により評価が困難な場合がある。濃縮された検体ではバックグラウンドが高くなることもある
レトロウイルス（RV）感染性試験	細胞フリー培養上清	感染性レトロウイルス	当該試験系で複製しない又はフォーカスやプラークを形成しないレトロウイルスは検出できない
混合培養 エンドポイント： 1. 感染性による場合 2. TEM による場合 3. RT による場合	生細胞	感染性レトロウイルス	当該試験系で複製しないレトロウイルスは検出できない 1. 「レトロウイルス（RV）感染性試験」を参照 2. 「電子顕微鏡観察」を参照 ^a 3. 「逆転写酵素活性（RT）」を参照
NAT 法（核酸増幅法）	細胞、培養液及びその他の材料	特異ウイルス塩基配列	プライマーの配列と呼応する配列の存在が必要である。ウイルスの感染性の有無は示されない

a. 加えて、指標細胞から試験検体を識別することが困難。

表 3. 抗体産生試験において検出されるウイルス

MAP	HAP	RAP
エクトロメリアウイルス (Ectromelia Virus) ^{2,3}	リンパ球性脈絡髄膜炎ウイルス (Lymphocytic Choriomeningitis Virus, LCM) ^{1,3}	ハンタンウイルス (Hantaan Virus) ^{1,3}
ハンタンウイルス (Hantaan Virus) ^{1,3}	マウス肺炎ウイルス (Pneumonia Virus of Mice, PVM) ^{2,3}	キルハムラットウイルス (Kilham Rat Virus, KRV) ^{2,3}
K ウイルス (K Virus) ²	レオウイルス 3 型 (Reovirus Type 3, Reo3) ^{1,3}	マウス脳脊髄炎ウイルス (Mouse Encephalomyelitis Virus) (Theiler's, GDVII) ²
乳酸脱水素酵素ウイルス (Lactic Dehydrogenase Virus, LDH) ^{1,3}	センダイウイルス (Sendai Virus) ^{1,3}	マウス肺炎ウイルス (Pneumonia Virus of Mice, PVM) ^{2,3}
リンパ球性脈絡髄膜炎ウイルス (Lymphocytic Choriomeningitis Virus, LCM) ^{1,3}	SV5	ラットコロナウイルス (Rat Coronavirus, RCV) ²
マウスマイニュートウイルス (Minute Virus of Mice) ^{2,3}		レオウイルス 3 型 (Reovirus Type 3, Reo3) ^{1,3}
マウスアデノウイルス (Mouse Adenovirus, MAV) ^{2,3}		センダイウイルス (Sendai Virus) ^{1,3}
マウスサイトメガロウイルス (Mouse Cytomegalovirus, MCMV) ^{2,3}		唾液腺腺炎ウイルス (Sialoacryoadenitis Virus, SDAV) ²
マウス脳脊髄炎ウイルス (Mouse Encephalomyelitis Virus) (Theiler's, GDVII) ²		トールンウイルス (Toolan Virus) (HI) ^{2,3}
マウス肝炎ウイルス (Mouse Hepatitis Virus, MHV) ²		
マウスロタウイルス (Mouse Rotavirus) (EDIM) ^{2,3}		
マウス肺炎ウイルス (Pneumonia Virus of Mice, PVM) ^{2,3}		
ポリオーマウイルス (Polyoma Virus) ²		
レオウイルス 3 型 (Reovirus Type 3, Reo3) ^{1,3}		
センダイウイルス (Sendai Virus) ^{1,3}		
胸腺ウイルス (Thymic Virus) ²		

1. ヒト又は霊長類への感染性が知られているウイルス。
2. ヒトへの感染性が知られていないウイルス。
3. ヒト又は霊長類由来の細胞において *in vitro* で複製できるウイルス。

表 4. ウイルスクリアランス工程評価と精製バルクにおけるウイルス試験に関する実施要領

	ケース A	ケース B	ケース C ²	ケース D ²	ケース E ²
[細胞や未精製バルクでのウイルス試験結果]					
ウイルスの存在 ¹	—	—	+	+	(+) ³
ウイルス様粒子の存在 ¹	—	—	—	—	(+) ³
レトロウイルス様粒子の存在 ¹	—	+	—	—	(+) ³
ウイルスの分離同定の否定	適用外	+	+	+	—
ウイルスのヒトへの感染性	適用外	— ⁴	— ⁴	+	未知
[必要とする対応]					
「非特異的モデルウイルス」を用いたウイルススクリアランス工程特性解析試験	必要 ⁵	必要 ⁵	必要 ⁵	必要 ⁵	必要 ⁷
「関連ウイルス」又は「特異的モデルウイルス」を用いたウイルススクリアランス工程評価試験	不要	必要 ⁶	必要 ⁶	必要 ⁶	必要 ⁷
精製目的産物でのウイルス否定試験	適用外	必要 ⁸	必要 ⁸	必要 ⁸	必要 ⁸

1. 細胞及び未加工/未精製バルクについてのウイルス試験の結果。ウイルスで汚染された細胞/培養液は、通常、使用しない。MCBの構成要素の一部となっているレトロウイルス等の内在性ウイルス又はウイルス類が存在する細胞については、適切なウイルススクリアランス評価試験を行いさえすれば、その限りではない。
2. ウイルスに汚染された細胞及び未加工/未精製バルクの使用は、そのウイルスのヒトへの感染性及び病原性の有無にかかわらず、例外的な場合にしか認められない。
3. 未知のウイルス、ウイルス様粒子又はレトロウイルス様粒子を、直接法あるいは間接法で検出。
4. 非病原性とされているケース。
5. 「非特異的モデルウイルス」を用いたウイルススクリアランス工程特性解析試験を実施すること。
6. 「関連ウイルス」又は「特異的モデルウイルス」を用いたウイルススクリアランス工程評価試験を実施すること。
7. 本文中のケースEの項を参照すること。
8. 精製バルクについては、当該ウイルスに対する高い特異性と感度を有する検出方法を用いてウイルスの存在を否定すること。承認申請の際には、パイロットプラントスケール又は実生産スケールで製造された少なくとも3ロットの精製バルクに関するウイルス試験データを提出すること。一方、細胞株における内在性レトロウイルス様粒子が十分に解析され、適切なクリアランスも示されている場合のCHO細胞などの例では、精製バルクでの非病原性レトロウイルス様粒子に関する試験は、通常、不要である。

付録 1

特性解析されたセル・バンクを *in vivo* で増殖することにより生産される製品

特性解析されたセル・バンク由来の細胞を接種した動物から採取した液体原料由来の製品については、動物に関する追加情報を提供する必要がある。

バイオテクノロジー応用医薬品／生物起源由来医薬品の製造に使用する動物は、可能な限り、適切に規定された特定病原体感染防止条件（SPF：Specific Pathogen-Free）に適合したコロニーから入手する必要がある。これらに対して、表3に挙げたようなウイルスのうち適当と考えられるものについて、適切な試験を実施すべきである。新しく入荷した動物や病的状態を示す動物に対する検疫方法についての情報を提供する必要がある。また、施設内で行われているすべての封じ込め、洗浄及び除染方法が、迷入因子の伝播の封じ込めに適切であると保証されている必要がある。この目的を達成するには、しかるべき監視プログラムを利用するとよい。プログラムには試験の実施対象とする迷入因子をリストアップしておくことも必要である。施設内で直接獣医学的な対応が可能かあるいは容易に対応できる状態にしておく必要がある。他の製造施設エリアから動物舎までどの程度隔離されているかについても示されるべきである。職員の業務内容は安全性保証面から適切なものでなければならない。

動物の飼育維持の方法についての詳細な情報を提供する必要がある。これには次のような事項が含まれる。1) 食餌、清掃及び給餌スケジュール、2) 定期的な獣医学的なケアを計画している場合には、その内容、3) ハイブリドーマ等を移植された動物の取扱いにあたって特別なことを必要とする場合には、その内容の詳細。また、動物の前処理法、移植用細胞の調製方法、移植部位及び移植経路も明らかにする必要がある。

動物から直接採取した物は、バイオリアクターから採取した未加工／未精製バルクに相応する製造段階のものであると考えられる。したがって、この文書の第4章に記述してある試験についての考え方がそのまま適用されるべきである。加えて、製造業者は動物から採取した未加工／未精製バルクの細菌・真菌汚染について評価し、またマイコプラズマに汚染されていないことを確認し、さらに成熟マウス及び乳飲みマウスを用いた *in vivo* 試験及び種特異的ウイルス試験を実施すべきである。

付録 2

ウイルスクリアランス試験のためのウイルスの選択

A. 有用なモデルウイルスの例

1. 「非特異的モデルウイルス」：物理的・化学的構造の異なる様々なウイルスの代表例

SV40 (Polyomavirus maccacae 1)、ヒトポリオウイルス Sabin 1 型 (Human Polio Virus 1 (Sabin))、動物パルボウイルス、その他の小型・非エンベロープ型ウイルス

パラインフルエンザウイルス (Parainfluenza Virus)、インフルエンザウイルス (Influenza Virus)、シンドビスウイルス (Sindbis Virus)、その他の中～大型・エンベロープ型・RNA ウイルス

ヘルペスウイルス (例：HSV-1、仮性狂犬病ウイルス (Pseudorabies Virus))、その他の中～大型・DNA ウイルス

これらのウイルスは単なる例であり、使用を強制するものではない。

2. げっ歯動物の細胞基材の場合には、ネズミ科レトロウイルス類が「特異的モデルウイルス」として、通常、使用されている。

B. ウイルスクリアランス試験に用いられるウイルスの例

ウイルスクリアランス試験において使用されてきたウイルスを表 A-1 に示している。しかし、これらは単なる例であり、使用を強制するものではない。製造業者は、その他のウイルスの使用を考慮してもよい。特に、個々の製品の製造工程を評価するのに、より適切なウイルスを使用するよう考慮すること。通常、異なる性質を持つ、少なくとも 3 種の異なるウイルスをクリアランスする能力について、製造工程を評価するべきである。

表A-1. ウイルスクリアランス試験に用いられたことのあるウイルスの例

ウイルス	科	属	宿主	ゲノム	外被	サイズ (nm)	形状	抵抗性*
水疱性口内炎ウイルス (Vesicular Stomatitis Virus)	ラブドウイルス科 (Rhabdo)	ベジクロウイルス属 (Vesiculovirus)	ウマ ウシ	RNA	有	70×150	弾丸形	低
パラインフルエンザウイルス (Parainfluenza Virus)	パラミクソウイルス科 (Paramyxo)	パラミクソウイルス属 (Paramyxovirus)	多種	RNA	有	100~200 超	多様/球形	低
マウス白血病ウイルス (MuLV)	レトロウイルス科 (Retro)	C型オンコウイルス属 (Type C Oncovirus)	マウス	RNA	有	80~110	球形	低
シンドビスウイルス (Sindbis Virus)	トガウイルス科 (Toga)	アルファウイルス属 (Alphavirus)	ヒト	RNA	有	60~70	球形	低
ウシ下痢症ウイルス (BVDV)	フラビウイルス科 (Flavi)	ペスチウイルス属 (Pestivirus)	ウシ	RNA	有	50~70	多様/球形	低
仮性狂犬病ウイルス (Pseudorabies Virus)	ヘルペスウイルス科 (Herpes)		ブタ	DNA	有	120~200	球形	中
ポリオウイルス Sabin 1型 (Poliovirus Sabin Type 1)	ピコルナウイルス科 (Picorna)	エンテロウイルス属 (Enterovirus)	ヒト	RNA	無	25~30	正20面体	中
脳心筋炎ウイルス (Encephalomyocarditis Virus, EMC)	ピコルナウイルス科 (Picorna)	カルジオウイルス属 (Cardiovirus)	マウス	RNA	無	25~30	正20面体	中
レオウイルス3型 (Reovirus 3)	レオウイルス科 (Reo)	オルトレオウイルス属 (Orthoreovirus)	多種	RNA	無	60~80	球形	中
SV40	パポーパウイルス科 (Papova)	ポリオーマウイルス属 (Polyomavirus)	サル	DNA	無	40~50	正20面体	高
パルボウイルス (Parvoviruses) (イヌ、ブタ)	パルボウイルス科 (Parvo)	パルボウイルス属 (Parvovirus)	イヌ ブタ	DNA	無	18~24	正20面体	高

*：物理的・化学的処理に対する抵抗性（過去の製造工程試験の経験に基づいた目安である）。こうした抵抗性は、特定の処理毎に相対的に変わりうるものである。内容的には、製造工程の種類・特性とウイルスの生物学とを勘案して、抵抗性の目安としている。実際の結果は処理毎に変わりうるものである。

なお、ここに掲げたウイルスは単なる例示であり、これらの使用を強制するものではない。

付録 3

ウイルス力価測定における統計学とその留意点

ウイルスの力価測定は、他の生物活性の測定と同様、ばらつきが大きい。ウイルスクリアランス試験を信頼性のあるものとするため、ウイルス力価測定の正確さとその測定値から得られるクリアランス指数の正確さ、並びに試験方法の妥当性を評価する必要がある。統計学的评价の目的は、実施したウイルスクリアランス試験がウイルス学的に適切な水準で実施されていることを裏付けることである。

1. 試験方法は半定量法 (quantal method) の場合と定量法 (quantitative method) の場合がある。半定量法は、動物を用いた感染性試験や TCID 法 (組織培養感染性試験: Tissue-Culture-Infectious-Dose assays) で、動物や培養細胞の感染の有無をスコアする方法である。感染価は、感染した動物や培養細胞の割合で決められる。定量法においては、ウイルス量と測定される感染性は直線的な関係にある。定量法としてはプラーク法などがある。プラーク法では1 プラークが1 感染単位に相当する。半定量法、定量法ともに、統計学的评价の対象となる。
2. 試験の変動は、希釈誤差、統計的な要因、及び測定法に固有な未知又は制御不能な要因に由来するばらつきにより生じる。通常、独立して実施した試験間のばらつき (試験間変動) は、1 試験内で得られた結果のばらつき (試験内変動) より大きい。
3. 試験内変動の 95%信頼限界を求めるとき、通常、平均値 $\pm 0.5 \log$ のレベルに収まるようにすること。試験内変動は一般教科書的な方法で計算する。試験間変動は試験にウイルス標品を用いることでモニターできるが、この際のウイルス標品の力価の実測値は、別途、当該試験法を用いて研究室で測定・確立しておいた試験結果の平均値の、およそ $0.5 \log$ 以内であるべきである。妥当な理由があれば、より低い精度の試験も採用できる場合がある。
4. 「関連ウイルス」や「特異的モデルウイルス」を用いたクリアランス試験におけるクリアランス指数の 95%信頼限界も、可能な限り、算出する必要がある。出発材料中のウイルス測定値の 95%信頼限界が $\pm s$ で、工程後のウイルス測定値の 95%信頼限界が $\pm a$ の場合、クリアランス指数の 95%信頼限界は $\pm \sqrt{(s^2 + a^2)}$ である。

低濃度ウイルス液の検出確率

低いウイルス濃度の場合 (例えば、1L 当たりの感染性粒子が 10~1000 の範囲の場合)、数 mL のサンプルでは感染性粒子が含まれない可能性があることは明らかである。このサンプルが感染性粒子を含まない可能性 p は

$$p = ((V - v) / V)^n$$

ここで $V(L)$ は試験対象液の全容量、 $v(L)$ はサンプルの容量、 n は V の中に統計的に分布する感染性粒子の総数とする。

$V \gg v$ の場合、この式はポアソン分布により近似される。

$$p = e^{-cv}$$

ここで c は 1L 当たりの感染性粒子数とする。

$$\text{又は、} c = \ln p / -v$$

例えば、1mL のサンプルを試験する場合、ウイルス濃度が 1L 当たり 10 から 1000 感染性粒子のときの p 値は、以下のようになる。

c	10	100	1000
p	0.99	0.90	0.37

このことは、1L 当たりウイルス粒子が 1000 の場合、1mL ずつサンプリングしたうち 37% ではウイルス粒子が存在しないことを示している。

サンプルの一部について試験を行い、ウイルスが検出されないときは、サンプル中にどの程度のウイルス量が存在していればポジティブな結果が得られるかについて計算しておくべきである。その値は、クリアランス指数を計算するときに考慮に入れるべきである。信頼限界は 95% であることが望ましい。しかし、これは、サンプルにおける様々な制限のため、実際的とはいえない場合もある。

付録 4

ウイルスクリアランス試験でのクリアランス指数の計算方法

各精製段階あるいは不活化段階のウイルスクリアランス指数は次のように定義される。精製前の試料のウイルス負荷量と次の工程段階に供される精製後の試料のウイルス含有量との比率の常用対数 (\log_{10})。以下の略号を使用した場合

出発試料：容量 V' 、タイター $10^{a'}$ のとき
ウイルス負荷量： $(V') \times (10^{a'})$

最終試料：容量 V'' 、タイター $10^{a''}$ のとき
ウイルス含有量： $(V'') \times (10^{a''})$

各々のクリアランス指数 R_i は次式によって計算される。

$$10^{R_i} = ((V') \times (10^{a'})) / ((V'') \times (10^{a''}))$$

この計算式には、精製工程の開始時及び終了後のタイターと容量が考慮されている。

ウイルスの力価測定は元来、精度が低いため、総クリアランス指数を計算する際には 1 より大きい個々のクリアランス指数を用いるべきである。

製造工程全体にわたる指数としての総クリアランス指数は、個々の製造段階のクリアランス指数の合計である。これは、クリアランス工程の開始段階に負荷されたウイルスと工程クリアランス最終段階におけるウイルス量との比率の常用対数に相当する。クリアランス指数は、通常、対数スケールで表される。この意味するところは、残存するウイルス感染性がゼロになることはないものの、数学的には極めて小さくなるということである。