

人工環境設備

Environmental Testing System, Bioclean Room and Bench

人工環境設備とは、地球上あるいは宇宙空間などにおける環境を再現して、各種の研究、技術開発、製品信頼度の確認などの試験を行なうための設備であり、大学・研究機関の学術研究用をはじめとし、製品の信頼性あるいは安全衛生に対する社会的要求が強まるとともに、一般産業、病院などにも広く採用されるようになった。これに伴い、制御の対象となる環境条件も多様化し、自動化、精度向上、多目的化など、要求される技術も高度化してきている。

また、これらの多様な環境条件の実現を目的としたものと並んで、特定の汚染を防除した環境を作り出す、いわゆるクリーンルーム、クリーンベンチも、医療関係あるいは超精密機器、半導体産業などに広く用いられている。

本論文では、それらについての最近の動向に触れ、具体例を紹介する。

石黒稔彦* *Ishiguro Toshihiko*
 山川公一** *Yamakawa Masakazu*
 八木克人*** *Yagi Katsuhito*
 栗田守敏**** *Kurita Moritoshi*

1 緒言

人工環境設備で作らすべき環境は、多種多様であり、それに伴って、一つの設備ごとに異なるといえるほど多様なシステムが要求されるが、制御する物理的要素は、温度、湿度、圧力の3要素を基本として、雨、風、ほこり、ばい菌など、研究の目的に応じて特殊な要素が付加される。

人工環境設備は大きく分類すると、研究や製品の信頼性の向上のため、特定の供試品(物品、生物)の回りに広範な環境条件を実現し、これに対する供試品の反応を測定する、いわゆる環境試験装置と、人間あるいは生産に対して望ましい環境を特に高度に実現する、清浄環境設備とに分けられる。

本論文では、それぞれについて最近の動向と、代表的な設備について紹介する。

2 環境試験装置

環境試験装置とは、地球上あるいは宇宙空間などにおける環境を試験室に再現して、自動車、車両、電子機器、計測機器などのあらゆる機械、器具の性能試験はもとより、パイロットの生理上、心理上の諸問題をも試験でき、学術研究、技術開発、信頼度などの各種試験を行なうための設備である。

2.1 環境試験装置の特長

環境試験装置は、日立グループの技術と製品を動員して開発したもので温度、湿度、圧力、輻射、風雨などに関する各種の単位機器、制御システムを総合したものである。特に、温度の大きな変化や圧力の変化による気密の問題などが重要な問題となる。必要な要素は次のとおりである。

- (1) 温度、湿度、圧力、風雨などの気象条件を一定に保つことができ、データの再現性が良い。
- (2) 種々の試験を安全、かつ容易に実施することができる。
- (3) 密閉した室内で試験が行なわれるので、供試製品の機密保持が便利である。
- (4) 供試製品の気象条件下における状況が能率よく観察測定できる。

このような要素を持つ環境試験装置は、学術研究、技術開発及び製品の信頼度向上のために、ますますその利用分野が広まることが予想される。

2.2 種類

環境試験、研究の対象となるものは非常に多く、対象別に分類すると表1に示すようなものが挙げられる。

2.3 環境試験装置の具体例

レーザ測距機器用人工気象室(Climate Chamber)

環境試験装置として、最も普及しているのは、車両、飛しょう体及びこれらの構成機器用の人工気象室であるが、これらについては既に紹介された例が多いので、本論文では、最近完成したレーザ測距機器用人工気象室について述べることにする。この設備は、筑波研究学園都市に建設中の国土地理院に設置された設備で、レーザ測距機器の信頼度及び作動値の精度を試験するための設備である。制御の対象となる物理条件は、温度、湿度、気圧の3条件で、これらを変化させて人工気象を作り出す環境試験室である。

表1 環境試験装置の対象別分類 学術研究、技術開発及び製品の信頼度向上のために多種多様である。

分類	内容
1. ファイアトロン (Phytron, Plant Growth Chamber, Growth Cabinet)	主に植物の生理化学や育種の研究を自然界の条件に制約されないでできる設備。
2. ズートロン (Zootron)	動物(カイコ、マウス、ウシなど)を対象とした設備。
3. アクアトロン (Aquatron)	水産動植物を対象とした設備。
4. 人工気象室 (Climate Chamber)	気象条件が人体に及ぼす影響を研究する設備で、例えば、喘息、関節リウマチ、高血圧症、心筋硬塞などの病気が対象に挙げられる。更に機械類、例えば自動車、電車、電子機器、計測機器などが、あらゆる気象条件のもとに十分性能を発揮できるよう、主に技術開発の研究、信頼度向上の目的に使われる。
5. ストラトチャンバー (Strato Chamber Altitude Chamber)	航空機器、ロケット、ミサイルなど、高空飛しょう体を対象とし、高空における飛行軌跡を再現して、人体及び機体(性能、機能など)に与える影響を調べ、学術研究、技術開発及び信頼度向上の目的に使われる。
6. スペースチャンバー (Space Chamber)	宇宙科学及び人工衛星、人工惑星を対象とした設備で、ストラトチャンバーで再現できるよりも更に高度の条件が要求される。

* 日立製作所土浦工場 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所中条工場 **** 日立プラント建設株式会社

2.3.1 設備の気象条件

試験室の主な気象条件仕様を表2に示す。

2.3.2 設備の構成と仕様

(1) 試験室

室内寸法：幅2,000mm×高さ2,000mm×長さ3,000mm

内装：ステンレス鋼板仕上

観測窓：200mmφ断熱二重特殊ガラス×2

前室：幅2,000mm×高さ2,000mm×長さ1,000mm

図1はドア側から見た試験室の外観である。試験室は試験員が室内に入って作業するため、安全には十分の配慮を払い、外部から室内をのぞける観測窓のほかに、インタホン設備、緊急手動復圧弁及びドア緊急開閉用油圧装置を備えている。

(2) 冷却装置

図2は冷却システムを示すもので、65%エチレングリコール溶液をラインとする間接冷却方式を採用している。低温側冷凍機として日立RTU-501二段低温ユニットを、高温側冷凍機として日立RCU-1503低温チラーユニットを使用し、試験室内の維持温度により高温側、あるいは低温側冷凍機が作動するようになっている。これは運転取扱い操作を単純化すること、広範囲の温度領域に対し、消費電力の少ない運転をすることを目的としている。

(3) 減圧装置

図3に減圧装置のシステムを示す。減圧装置は、減圧運転、圧力制御運転及び復圧運転を1台の真空ルーツブロワで行なうようになっている。減圧装置は、試験室内圧力を30分以内に380mmHg absまで到達させる能力を持っている。

(4) 制御装置

運転操作を簡素化するため自動運転方式を採用し、オペレータは試験温度、試験圧力を希望の値に設定すれば、室内の気象条件が自動的に得られるようになっている。室内乾球温度、露点温度(湿度)制御は、マスタ設定器に室温を設定することにより、乾球温度設定、露点温度設定、ライン温度設定及び冷凍機選択が自動的に行なわれる。室内温度は、冷却器に対するライン流量制御による冷却熱量調節と電気ヒータのサイリスタによる加熱量調節で行なうようになっている。露点温度は蒸気を噴霧して制御を行なうようになっている。室内圧力は外気導入空気量を一定にし、真空排気量を調節して制御するようになっている。真空排気量は、プログラム設定器に到達圧力、減圧速度及び室圧維持時間復圧速度を設定すれば自動的に調節される。

2.3.3 安全の問題

この設備は、試験室内圧力が380mmHg abs(高度約5,500mの気圧に相当)になる上に、減圧、復圧など人体生理学的機能に重大な影響を及ぼす操作を行なう。こうした低圧状況下での人体生理機能については、航空医学の分野で種々のデータが得られているので、これに基づいて減圧症、加圧症、低酸素症などの人体障害予防のため、試験室内に入る試験員は予

表2 試験室内の主な気象条件 湿度は一定条件で、温度と圧力を任意の値に選んで気象条件を作る。

物理条件	仕様
乾球温度 (DB)	-25~+50°C : 設定精度 ± 2 deg
相対湿度 (φ)	50%RH : 設定精度 ± 10% ただし、-25~-15°C DBの範囲では φ=30%RH以上
気圧 (Pa)	760~380mmHg abs 設定精度 ± 10mmHg

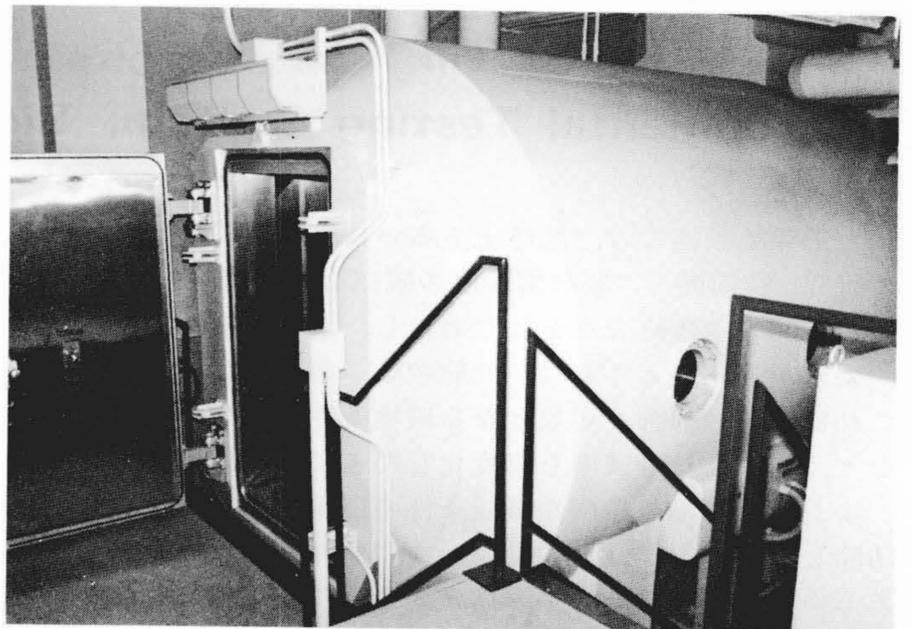


図1 入口ドア側から見た試験室の外観 左側にドア、右側に円形の観測窓が見える。

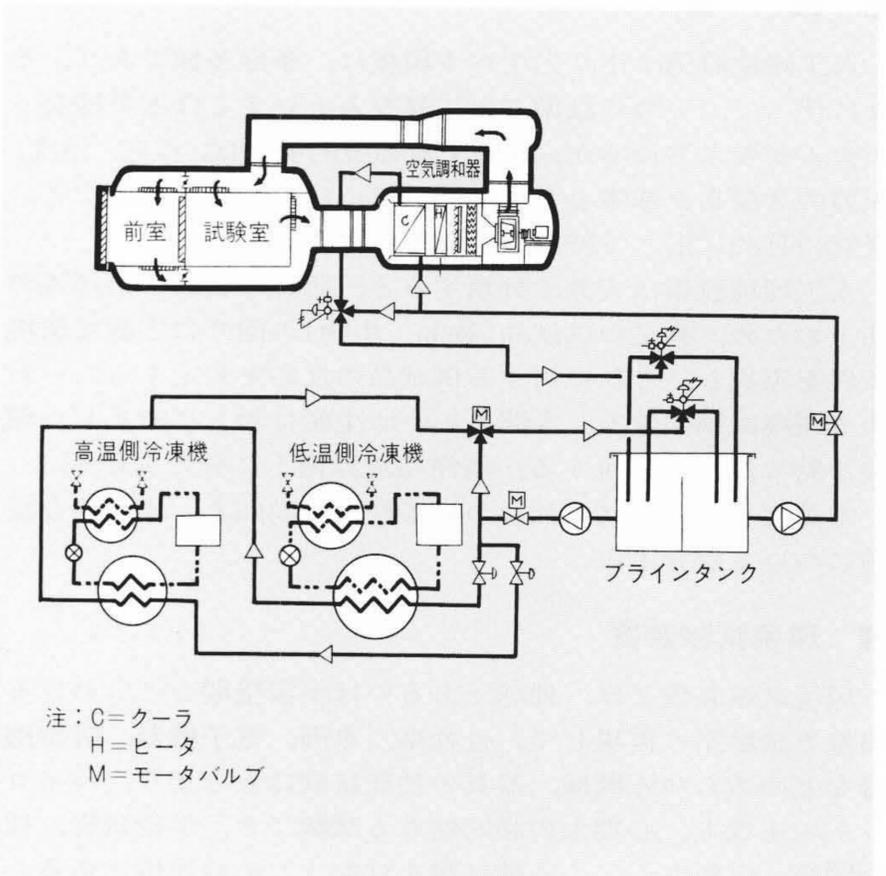


図2 冷却装置系統図 冷凍機で低温ブラインを作り、ブラインで試験室を冷却する方式を採用している。

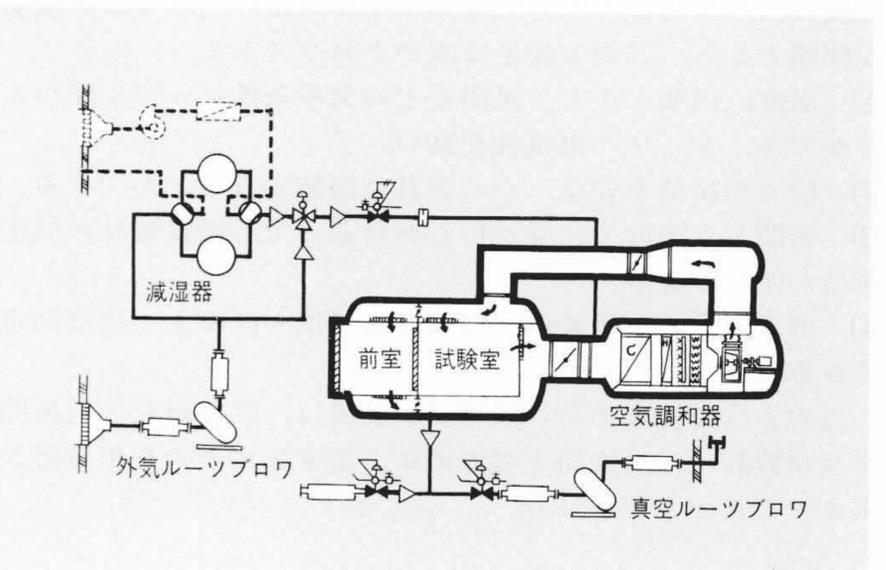


図3 減圧装置系統図 真空ルーツブロワの吸入ラインで、試験室及び大気からの吸引量の配分を調整し、試験室内の圧力を調整している。

圧服を着用することを義務づけられている。

3 清浄環境設備

患者、医師、研究者の安全、あるいは研究の精度向上のための無菌化設備は、医療関係ではもはや、かなり一般化された設備となってきている。また、人命の尊重、医療責任問題のクローズアップとともに、病院などのかなり広い部分を無菌化する例も増加してきている。

また、産業界でも超精密機器、半導体などの分野で、クリーンベンチの使用は当然のこととなってきている。

これらは、医療あるいは生産という日常経済活動の中で一定の規準を経済的に実現する機器、あるいは設備である。

以下に最も普及度の高いものの具体例として、無菌室(バイオクリーンルーム)及び無菌クリーンベンチについて述べる。

3.1 バイオクリーンルーム (Bioclean Room)

近年、医学の発展は著しいものがあり、それに伴う施設面の充実、その多様化、細分化に対応して目覚ましい発展を遂げつつある。ここに最近完成した約1,000床のベッドを持つ病院のバイオクリーンシステムについて述べる。

3.1.1 設備の概要

建家は、手術棟、管理棟及び機械室に分かれており、術中の感染防止とともに、手術棟全体の交差感染の防止のために、手術棟にはバイオクリーンシステムを採用し、その連絡口には、清浄度を保持するためのエアロック室を設け、エアロック室を通してだけ入棟が可能になっている。

3.1.2 設備の仕様

設備は、表3に示す仕様条件で設計されている。手術中に室内全体を日立垂直層流方式エリアエアカーテンを用いて、天井面から床に向けて、無菌清浄空気のラミナーフローを作る方式を採用している。図4にバイオクリーンルーム室内を示す。

3.1.3 設備の特長

設備の特長は、次に述べるとおりである。

- (1) ダウンフロー方式のエリアエアカーテンラミナーシステムを採用している。このため、吹き出される清浄空気は、手術台上を中心とした清浄空気必要エリアに天井面から床面に向かって層流に吹き出し、医療機械の配置や、手術者の位置に関する制約条件が少ない。
- (2) 無影灯などによる気流の乱れをなくすため、無影灯はアーム形の新製品を開発し、採用している。



図4 バイオクリーンルーム(手術室)室内 天井面から床に向けて、無菌清浄空気が流れる。無影灯は伸縮アームに取り付けられ天井からの空気の流れを乱さない形状となっている。

(3) 手術室は低騒音が望ましい。そこで、発塵の少ない、クリーンルーム専用の消音材を開発し、採用している。その結果、表4に示すように、42~49dB(A)の好結果を得た。

(4) 手術棟の出入口には、エアロック室を設置している。また、手術室と前室、前室と廊下の壁には微差圧調整ダンパを設置し、気圧調整を行なっている。清浄度が高い所ほど気圧を高くし(約1mmAqの圧力差)、交差感染の発生を防止している。

(5) 術者などの呼吸による感染を防止するため、ブリージングシステム(呼吸排出装置)を採用した。5人までが着用でき、専用の手術衣と併用して効果を挙げている。

3.1.4 測定結果

上記設備の測定結果を、表4、5に示す。なお表4は試運転時の測定結果を、表5は術中の測定結果を示す。

3.2 無菌クリーンベンチ

無菌環境を得る設備としては、以前は殺菌灯を取り付けた無菌箱が使用されていた。しかし、最近では0.3μ粒子を99.97%以上の高効率で除去するHEPA(High Efficiency Particulate Air)フィルタを使用したクリーンベンチが使用されている。無菌箱は殺菌灯で無菌化した箱内の空気をできる限り動かさないように作業するのに対し、クリーンベンチではHEPAフィルタで無菌化した空気を送風し、圧力差により無菌を保つために、無菌性能と作業性が格段に向上している。

3.2.1 無菌クリーンベンチの分類

無菌用クリーンベンチは、使用する用途により構造及び気

表3 バイオクリーン設備仕様 バイオクリーンルームの主な仕様を示す。

建物概要	構 造 手術棟 鉄筋コンクリート 1F				
	建築面積	手術 1,518m ²			
手術室内装	床-電導床、壁及び天井-ポリエステル化粧合板				
手術室設計条件	部 屋 名	温 度	湿 度	無 菌 度	気 流 方 式
	ザール 1	24±2°C	55±10%	クラス 100	全面垂直層流方式
	ザール 2	"	"	手術台周辺 クラス 100	部分垂直層流方式
	ザール 3	"	55±10%	"	"
	ザール 5	"	"	"	"
	ザール 6	24~30±2°C	"	"	"
	ザール 7	24±2°C	"	"	"
廊 下	-	湿 度	クラス 100,000		
設備概要	除菌除じん装置	外気処理フィルタユニット 1基	プレフィルタ	NBS 45~50%	
		中性能フィルタユニット 5基	中性能フィルタ	NBS 90~95%	
		日立エアロック室 9基	へパフィルタ	DOP法 99.97%以上	
	空 調 機	パッケージ形エアコンディショナ 6台			
	送 風 機	低騒音形ファン 8台			

注: NBS=National Bureau of Standard, DOP=Di-Octyl-Phthalate

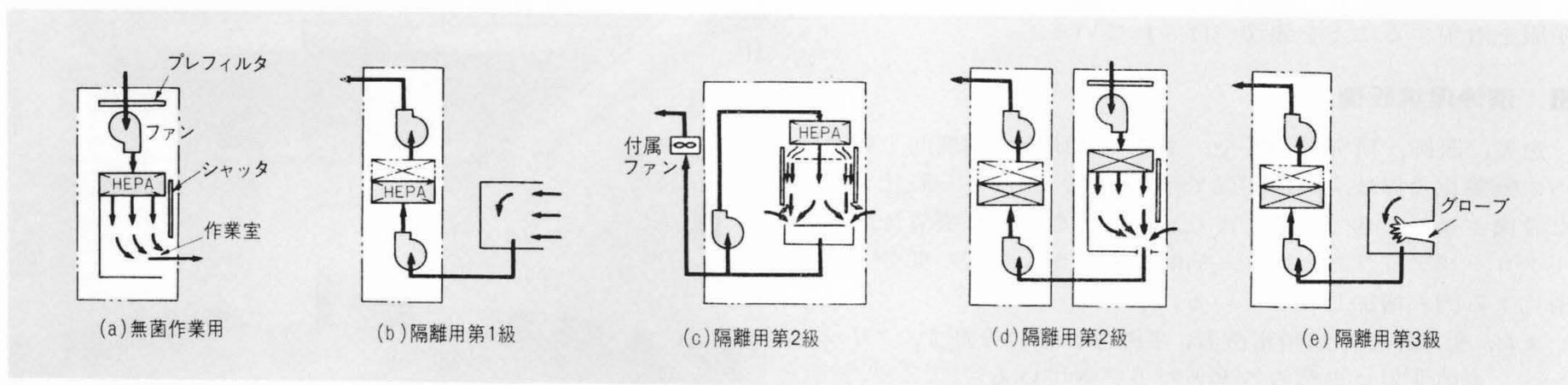


図5 無菌クリーンベンチの分類 使用する目的により最適な構造及び気流方式が選定される。

表4 無人状態の測定結果 装置稼働後5～10分経過した時点の測定結果である。無菌状態がよく分かる。

測定項目	細菌数*		じんあい数**		騒音	
	設計値	測定値	設計値	測定値	設計値	測定値
ザール1	0.1以下	0	100以下	0	55以下	47.5
ザール2	0.5	0	10,000	0	55	49
ザール3	0.5	0	10,000	0	55	46.5
ザール5	0.5	0	10,000	0	55	49
ザール6	0.5	0	10,000	0	55	49
ザール7	0.5	0	10,000	0	55	42

注：* ピンホールサンプリング，普通寒天培地使用
**光散乱式

表5 術中の測定結果 細菌数は皆無で，好結果を得ている。

測定項目		細菌数*	じんあい数**
単位		個/ft ³	0.5μ 個/ft ³
手術経過	時間経過(min)	—	—
患者入室	0	0	60
麻酔	20	0	4,430
執刀	80	0	15,770
セメント注入	110	0	191,300
縫合	130	0	148,400
終了	150	0	50,230

注：* ピンホールサンプリング，普通寒天培地使用
**光散乱式

流方式を選定する必要があり，基本的には次に述べるように2分類される。

- (1) 無菌環境中での研究，実験用クリーンベンチ
- (2) 研究者と病原体との間の隔離用クリーンベンチ

(1)項のクリーンベンチは，図5(a)の方式のもので，キノコ類の栽培や植物の組織培養などに使用される。この方式では，クリーンベンチ内はクラス100以上の無菌環境になるが，クリーンベンチ内の空気は研究者のほうへ放出されるので，無害な作業だけに限定される。

(2)項のクリーンベンチは，図5(b)～(e)の方式のもので，この種のクリーンベンチはセーフティキャビネットと呼ばれることもある。主に病原体実験用であり，研究者と病原体との隔離の度合いにより，更に第1級～第3級に分類される。第1級，第2級及び第3級は，各々図5(b)，(c)又は(d)，(e)の方式で，クリーンベンチ内を負圧にして，病原体が研究者のほうへ漏れないようにしている。図6は，循環気流一部排気方式の第2級クリーンベンチを示すものである。



図6 CCV形クリーンベンチ 隔離用循環気流一部排気方式の外観を示す。

3.2.2 病原体の基準分類

病原体の危険度分類については，国立予防衛生研究所から資料が発行されており，危険度の最も低いものを第1級とし，最も危険度が高く最高級の制約を要するものを第4級としている。なお，病原体の基準分類の級と無菌クリーンベンチの級とは全く別のものであるから注意を要する。第2級のクリーンベンチで取り扱える病原体は，主に第2級～第3級であり，破傷風菌，ジフテリア菌，結核菌などがこれに含まれる。

以上が無菌用クリーンベンチの概略説明であるが，研究の高度化と研究者の安全対策から，ウイルス対象の高性能クリーンベンチの開発が今後の課題となっている。

4 結 言

人工環境設備という広い分野の中から，最近の実例をもとに，人工気象室と無菌環境設備とを取り上げて紹介した。人工環境設備は，産業・科学の発展とともに多様なニーズが生じ，それに伴ってますます多様化の一途をたどるものと思われる。設備計画に際して重要なことは，設備の目的を明確にした上で，必要にして最小規模の設備を経済的に製作することであり，そのためには，使用者と製作者とが一体となって，慎重に計画することが肝要である。今後とも，ユーザー各位の助言を得つつ，実績で培った技術を基盤として，多様化する人工環境設備に対応してゆく考えである。

終わりに，本稿に紹介させていただいた設備に関し，関係各位から寄せられた御厚意に対し，深く謝意を表わす次第である。