

クリーンルーム（CR）省エネガイドライン

2022年3月

TSCP 産学連携研究会
クリーンルーム高効率化方策検討WG

はじめに

東京大学（以下、本学）では、東京大学サステイナブルキャンパスプロジェクト（以下、TSCP）のもと本学のエネルギー消費に起因するCO₂排出量削減に取り組んできた。TSCPの取り組みの一つとして、ドラフトチャンバー、スーパーコンピュータ、サーバ室の実験系ガイドラインを作成し、省エネ意識の醸成を図ってきたが、本学には多種多様な実験室が設置されているため、実験室の実態把握と省エネ対策は引き続き検討すべき重要な課題である。

実験室の省エネを進めるために、今回は他の実験室よりも実験環境を整えるための構成要素機器が多く、エネルギー密度の高いクリーンルームに着目し、「クリーンルーム（CR）省エネガイドライン」（以下、本ガイドライン）を作成した。

本ガイドラインは、クリーンルーム（以下、CR）の省エネについてまとめたガイドラインであり、CR新規計画時・改修時における“省エネ構想”や“省エネ設計”、さらには運用時における“使用者の省エネ意識啓発”に役立つ資料になることを目標としている。具体的な内容として、CRの空調システムにおいて考慮すべき「清浄度」「室圧」「温湿度環境」の3点に着目し、それぞれの観点からの設計について触れた上で、省エネのポイントを整理した。また、運用時の清掃等の「日常管理」が省エネにおいて重要であることも解説を加えた。事例としては、本学内のCR、またCR以外の設備において、省エネのポイントに紐づいた“省エネ検討内容”を記載した。

本学内外のCRや他の実験室においても、本ガイドラインを省エネの参考として使用いただければ幸いである。

【本ガイドラインの構成】

- 第1章 CRの基本事項・・・CR基本原理、各システム、構成機器等の基本事項を記載
- 第2章 清浄度の取扱い・・・CRの清浄度の規定、清浄度維持に必要な換気回数、フィルタの選定、省エネ方針検討のための計測について記載
- 第3章 室圧の取扱い・・・隣室に対する室圧管理方法、外気導入量削減による省エネ、空気搬送機器の省エネ選定等を記載
- 第4章 温湿度環境の取扱い・・・CR室内温湿度設定値と許容値、各空調負荷に対する省エネ指針を記載
- 第5章 CRの日常管理・・・CRの主な発塵源である“人・装置の発塵”の管理と、“ルール”の徹底による省エネへの寄与について記載
- 第6章 事例・・・・・・・・東京大学内CR、およびCR以外の省エネ対策事例を記載

■CRの清浄度・室圧・温湿度環境

※「空調機」は、熱処理を行う「熱源機（室外機）」に接続されている

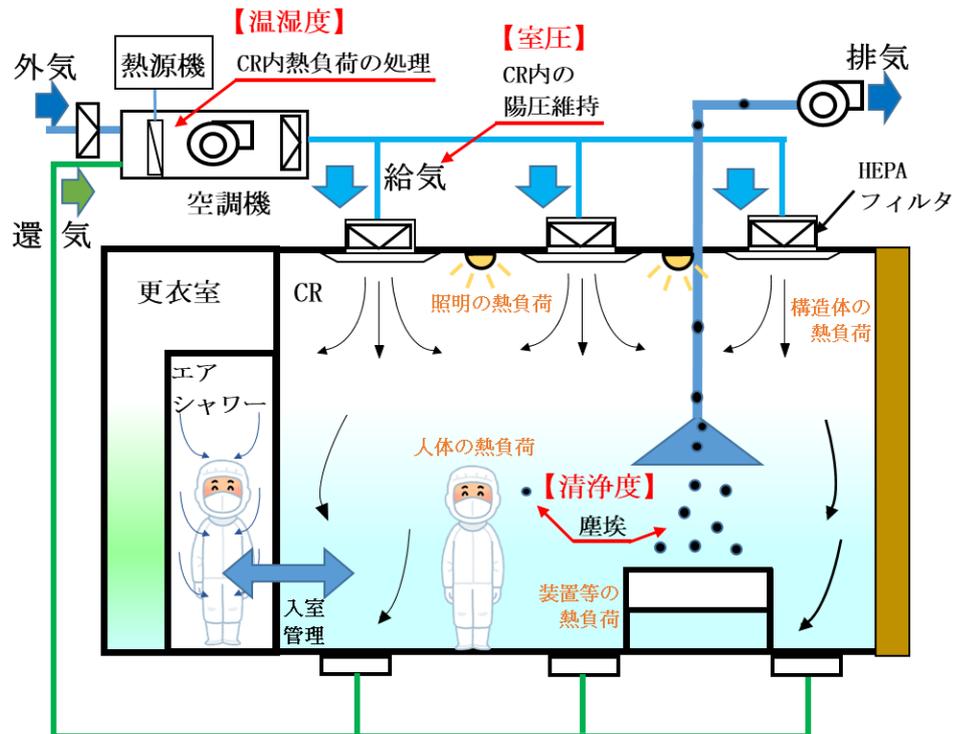


図 CRのイメージ

- ・ 清浄度 : CRは塵埃（浮遊塵）が抑えられた環境であり、清浄度で管理される。
- ・ 室圧 : CRでは、外部からの塵埃の流入を防ぐ等のために、室圧の管理を行う。
- ・ 温湿度 : 「外気導入分の熱負荷」「室内の熱負荷」を熱処理する。

■本ガイドラインの省エネのポイント

本ガイドラインでは、CRの省エネのポイントとして、次項のように第2章～第4章にまとめた。また、第5章に日常管理における省エネについてまとめた。

	コスト	省エネ効果
☆	工事費なし	—
◎	安い	高い
○	普通	普通
△	高い	低い

(注記) 記号は著者の経験則より設定

第2章 清浄度の取扱い

表 2-1 空気清浄度に関する省エネのポイント

キーワード	具体的な省エネ対策	参照	費用対効果	
			コスト	省エネ効果
清浄度	(設定見直し) 清浄度の設定	2.3.1.	☆	◎
清浄度	(計測の導入) 循環風量の低減	2.3.2.	◎	◎
フィルタ	(フィルタの選定) 適正なフィルタの選定	2.3.3.	○	△
フィルタ	(フィルタの選定) フィルタ面積の増加検討と低圧力損失フィルタの採用	2.3.4.	○	○
搬送機器	(運用見直し) (計測の導入) 休日夜間モード運転 ・送風機の回転数制御 ・FFU間引き運転	2.3.6.	☆or○ (*1)	◎
		2.3.6.	☆or◎ (*1)	◎

(*1)P18参照

第3章 室圧の取扱い

表 3-1 室圧に関する省エネのポイント

キーワード	具体的な省エネ対策	参照	費用対効果	
			コスト	省エネ効果
外気導入量	(設定見直し) 適切な外気導入量の設定	3.3.1.1.	☆	○
外気導入量	(建築計画) 貫通部からの空気の漏れを防ぐ	3.3.1.2.	△	△
外気導入量	(日常管理) 入室管理	3.3.1.3.	☆	△
外気導入量	(設定見直し) 排気量の削減	3.3.1.4.	◎	◎
空気抵抗	(建築計画) ダクトを含む経路内の空気抵抗の低減	3.3.2.1.	△	△
空気抵抗	(機器選定) 低圧損フィルタの採用	3.3.2.1.	○	△
空気抵抗	(日常管理) フィルタの清掃・交換	3.3.2.1.	○	△
搬送機器	(機器選定) インバータ制御の採用	3.3.2.2.	○	△
搬送機器	(機器選定) 空気搬送機のモータの省エネ機の採用	3.3.2.3.	◎	△
搬送機器	(機器選定) 空気搬送機の選定	3.3.2.3.	○	△

第4章 温湿度の取扱い

表 4-1 温湿度に関する省エネのポイント

キーワード	省エネのポイント	参照	費用対効果	
			コスト	省エネ効果
温湿度	(設定見直し) 室内温湿度設定の緩和	4.3.1.	☆	○
外気導入量 排気量	(設定見直し) 外気負荷の低減 ・適切な外気導入量の設定 ・排気量の削減	4.3.2.1.	☆	○
		4.3.2.1.	△	◎
建物断熱	(建築計画) 外壁の仕様見直し (断熱)	4.3.2.2.	△	○
高効率機器	(機器選定) LED照明の採用	4.3.2.2.	◎	○
高効率機器	(機器選定) 高効率の実験装置の採用	4.3.2.2.	△	○
温度	(設定見直し) 遮熱・設置位置による熱の除去	4.3.2.2.	○	○
熱排気	(運用見直し) 排気・冷却による熱の除去	4.3.2.2.	○	○
熱処理方法	(機器計画) 熱負荷の処理方法	4.3.3.	○	◎
空調熱源機	(運用見直し) 空調機の運用管理	4.3.4.2.	○	◎

目次

第1章. CRの基本事項	1
1. 1. CRとは.....	1
1. 2. CRが対象とする塵埃の大きさ	2
1. 3. 四原則	3
1. 4. CRのシステム（分類）	4
(1) 気流形状による分類.....	4
(2) レイアウトによる分類.....	5
1. 5. CR構成機器	7
(1) エアシャワー.....	8
(2) パスボックス.....	11
(3) ファンフィルタユニット.....	11
(4) ダクト接続型HEPA（ULPA）吹出口ユニット	12
(5) 局所クリーン化機器.....	13
(6) 微差圧ダンパ.....	14
(7) 更衣室・CR前室・設置機器類	15
1. 6. CRの内装設備	16
(1) 内装材選定基準.....	16
(2) 内装材の種類.....	16
(3) 内装材選定の主な注意点.....	17
第2章. 清浄度の取扱い	18
2. 1. 省エネのポイント.....	18
2. 2. 設計上のポイント.....	19
2. 2. 1. CR計画・設計のポイント並びに手法（考え方・厳守事項等）	19
2. 2. 1. 1. 清浄度のクラス分け.....	19
2. 2. 1. 2. 清浄度クラスの選定.....	20
2. 2. 1. 3. 清浄度維持のための必要風量と計算モデル.....	20
2. 2. 2. 関係機器・システム等の説明.....	21
2. 2. 2. 1. フィルタの組み合わせ方法.....	21
2. 2. 2. 2. 対象粒子径によるフィルタの選定.....	23
(1) 塵埃粒子径と各種フィルタの捕集効率.....	23
(2) フィルタの塵埃捕集と総合捕集効率.....	23
2. 3. 省エネ設計・改造の手法	25
2. 3. 1. 清浄度の設定.....	25

2. 3. 2.	循環風量の低減による省エネ（計測の重要性）	25
2. 3. 3.	適正なフィルタの選定によるファンの省エネ	25
2. 3. 4.	フィルタ面積の増加検討と低圧力損失フィルタの採用	26
2. 3. 5.	省エネへの手法（清浄度の把握）	28
(1)	清浄度計測の用途	28
(2)	清浄度クラスの計測機器	28
(3)	清浄度計測のタイミング	29
(4)	清浄度の常時監視のモニタリングシステム（集中監視システム）	29
(5)	省エネへの手法（清浄度の把握）	30
2. 3. 6.	休日夜間モード運転	31
第3章.	室圧の取扱い	33
3. 1.	省エネのポイント	33
3. 2.	設計上のポイント	34
3. 2. 1.	CR 計画・設計のポイント並びに手法（考え方・厳守事項等）	34
3. 2. 1. 1.	陽圧の維持	34
(1)	陽圧維持の必要性	34
(2)	室間差圧の重要性	34
(3)	室圧維持における制御の重要性	35
3. 2. 1. 2.	加圧量	35
3. 2. 2.	関係機器・システム等の説明	36
3. 2. 2. 1.	室間差圧維持方法	36
(1)	微差圧ダンパによる CR の適正な室間差圧維持	36
(2)	室圧制御（自動制御）による室圧の維持	37
3. 3.	省エネ設計・改造の手法	39
3. 3. 1.	外気導入量の低減	39
3. 3. 1. 1.	適切な外気導入量の設定	39
3. 3. 1. 2.	適切な内装材の選定・貫通部処理	39
3. 3. 1. 3.	入室管理	39
3. 3. 1. 4.	排気量の低減	40
3. 3. 2.	空気搬送機器に直結する省エネ要素	40
3. 3. 2. 1.	経路抵抗の低減	41
(1)	ダクトを含む経路内の空気抵抗の低減	41
(2)	フィルタによって発生する空気抵抗の低減	41
3. 3. 2. 2.	空気搬送機の風量制御による消費電力の低減	44
3. 3. 2. 3.	省エネ機の採用	45

(1) 空気搬送機器（ファン）のモータの省エネ機の採用.....	45
(2) 空気搬送機器（ファン）の選定.....	46
第4章. 温湿度の取扱い	48
4. 1. 省エネのポイント.....	48
4. 2. 設計上のポイント.....	49
4. 2. 1. CR 計画・設計のポイント並びに手法（考え方・厳守事項等）	49
4. 2. 1. 1. 室内温湿度の設定と許容値.....	49
(1) CR の空調稼働の特徴.....	49
(2) 室内温湿度を維持する目的.....	49
(3) 室内温湿度の設定値と許容値.....	49
4. 2. 1. 2. 温湿度環境の維持（熱負荷の処理）	50
4. 2. 2. 関係機器・システム等の説明.....	52
4. 2. 2. 1. CR の熱負荷の処理方法	52
4. 3. 省エネ設計・改造の手法.....	53
4. 3. 1. 室内温湿度設定の緩和.....	53
4. 3. 2. 熱負荷の取扱い.....	54
4. 3. 2. 1. 外気負荷の低減.....	54
4. 3. 2. 2. 室内負荷の低減.....	54
(1) 構造体負荷の低減ポイント（外部から侵入する熱を抑える）	54
(2) 照明負荷の低減ポイント.....	55
(3) 実験装置負荷の低減ポイント.....	55
4. 3. 3. CR の熱負荷の処理方法	56
4. 3. 4. 省エネへの手法（温湿度等の計測）	57
4. 3. 4. 1. 熱負荷の計測.....	57
(1) 計測項目.....	57
(2) 計測機器一例.....	58
4. 3. 4. 2. 空調機の運用管理.....	59
(1) 停止検討.....	59
(2) 設定温湿度の緩和.....	59
第5章. CR の日常管理	62
5. 1. 運用・日常管理による省エネ.....	62
5. 2. CR の発塵源	62
(1) CR の発塵源.....	62
(2) CR 作業者の行動意識	62

5. 3. CR の計画と運用	63
5. 3. 1. CR の計画	63
(1) CR への進入動線計画と作業者の意識付け	63
(2) 装置・資材の動線計画（搬入計画）	64
5. 3. 2. CR の運用（仕様手順およびルール of 明確化）	65
(1) CR の管理	65
(2) CR 内でのルールの徹底	65
5. 4. クリーン更衣室の運用	67
5. 5. クリーンスーツの必要性	68
(1) クリーンスーツとは	68
(2) クリーンスーツの留意点	68
(3) クリーン対策品	68
(4) クリーンスーツの種類	69
(5) クリーンスーツ使用の管理	70
5. 6. 清掃管理の必要性	71
(1) 塵埃の種類と清掃	71
(2) CR の清掃の区分	71
(3) CR の清掃の注意点	74
5. 7. 設備の管理	74
(1) 実験・製造設備および関連設備の注意事項・保全方法	74
(2) 空調設備の保全	74
(3) クリーン設備機器	74
第6章. 事例	75
6. 1. 東京大学内の CR の事例紹介	75
6. 1. 1. CR① 電力計測結果と省エネ対策検討	76
(1) CR①の概要	76
(2) 現状把握_電力計測結果	77
(3) 省エネ対策検討	79
6. 1. 2. CR② 電力計測結果と省エネ対策検討	83
(1) CR②の概要	83
(2) 現状把握_電力計測結果	84
(3) 省エネ対策検討	85
6. 1. 3. CR③ CR 管理者からのヒアリング内容の紹介	88
(1) CR③の概要	88
(2) 省エネ対策内容	89

6. 2. CR 以外の省エネ事例の紹介	92
6. 2. 1. 水熱源の省エネ効果（複合ビルにおける室温設定変更）	92
6. 2. 2. 個別分散空調機の省エネ効果（サーバ室の空調機設定温度の変更） ..	93
6. 2. 3. 個別分散空調機の省エネ検討例.....	94
(1) データ収集（室外機）	94
(2) データ整理（室外機）による運転状況と熱負荷の把握.....	94

コラム

(1) ミニエンバイロメント化（局所クリーン化）	6
(2) エアシャワーに変わる CR 入室装置の動向.....	10
(3) 最新の HEPA 付き吹出しユニット.....	12
(4) 中性能フィルタの留意点.....	22
(5) 塵埃粒子径と透過率およびフィルタ通過風速の関係.....	27
(6) CR の高圧化	36
(7) 熱源機・室外機における熱負荷の処理方式.....	51
(8) 個別分散空調機の高効率化と最適容量化.....	60

第1章 CRの基本事項

1. 1. CRとは

CRとは、「空気中に浮遊する微粒子や微生物が限定されたレベル以下の清浄度に管理（コンタミネーションコントロール）され、不純物やゴミ（＝塵埃）を持ち込まないようにするための部屋」であり、さらに「温度、湿度等を要求される環境とし、外からの塵埃が進入しないように室圧を制御した部屋」と定義されている。

CRの管理で要求される代表的なものを図1-1に示す。



- 【清浄度】 室内の空気を高性能なフィルタを介し供給することで室内の塵埃を除去する。
- 【気圧】 外からの塵埃が進入しないように室内の圧力を制御する。
- 【気流】 室内の清浄な空気、その向きと速さなどの気流の分布を、一定の範囲に制御する。
- 【温度・湿度】 必要に応じた温度、湿度などの環境条件を制御する。
- 【帯電・微振動】 各種実験、産業の要求レベルにより、管理値を守る必要がある。また、制御対象としてガス状物質、静電気、振動なども考慮する必要がある。

図1-1 CRの代表的な管理要素

CRは、電子工業や精密機械工業などの、主に空気中における浮遊微小粒子を管理するインダストリアルCR (Industrial clean room: ICR) と、医薬品工業や食品工業および医療施設など、主に空気中における浮遊微生物を管理対象とするバイオロジカルCR (Biological clean room: BCR) がある。

ICRでは精密化、微細化、高品質化及び高信頼性が要求されるようになり、これらの目標を達成するには、製品に付着することで問題となる空気中の粒子状物質を規定値以下にする必要がある。従って、このような工場では、工場全体、または最も重要な作業をする部分で、必要に応じた清浄な環境にする必要がある。汚染制御においては、主にフィルタ方式による微粒子の除去を中心とした粒子状物質の空気清浄に加え、ガス状物質に関しても製品の影響が注目されており、製造目的に合わせた汚染物質の種類、濃度レベルを考慮に入れた制御も必要となる。

BCRで代表される、薬品工場、食品工場、病院の手術室などは無菌に近い状態にしておくことが望ましい。一般のバクテリアは高性能フィルタで、ウィルスはHEPAフィルタ (High Efficiency Particulate Air-filter: CRでメインフィルタとして使われる高効率の微粒子除去用エアフィルタ、詳細は第2章「2.2.2.1.」と第3章「3.3.2.1. (2) i. (a)」参照) を通して空気を清浄化することにより無菌に近い状態を作り出せる。

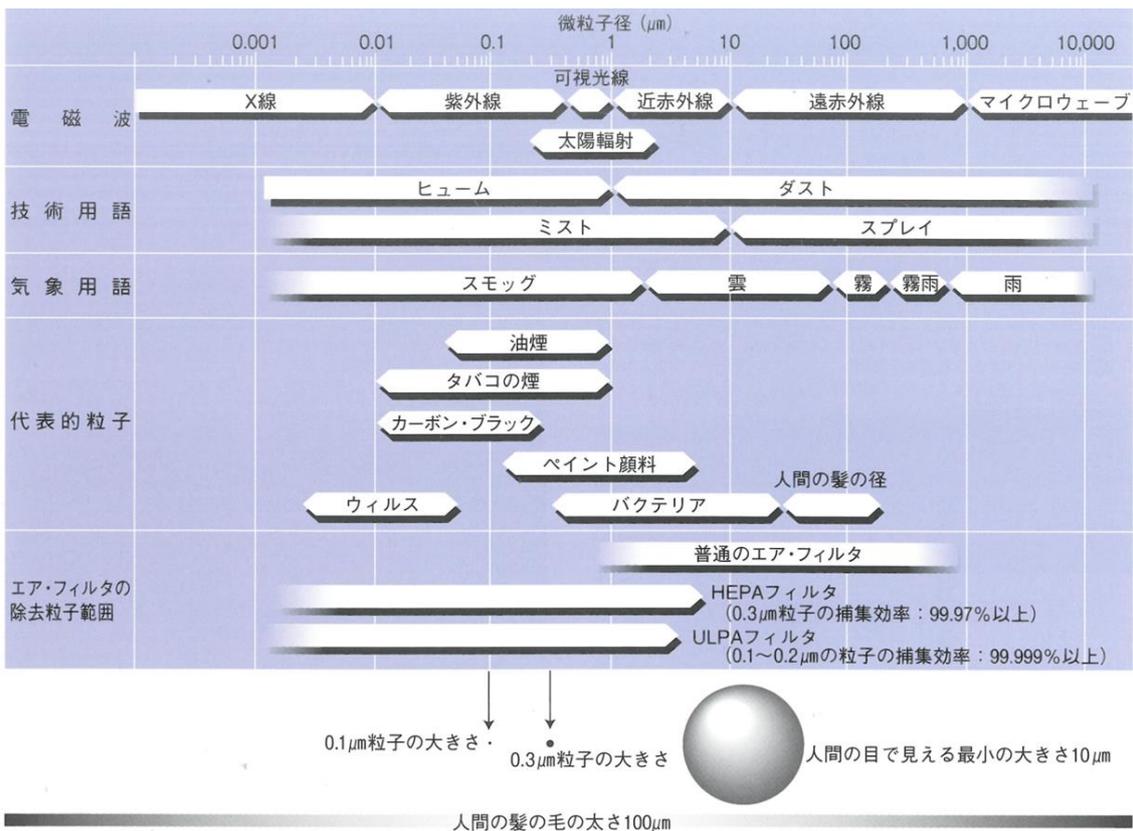
なお、本ガイドラインはICRを対象に、執筆している。

1. 2. CRが対象とする塵埃の大きさ

ICRでは、主に空気中における浮遊微粒子が管理対象である。大規模集積回路（LSI）製造では、年々、集積度が上がり、パターンの微細化が進んでいる。そのため、制御対象となる微粒子の粒径も相対的に小さくなっており、0.1 μm 以下の微粒子まで制御対象となる場合もある。

（参考）BCRでは、主に空気中における浮遊微生物が管理対象であり、そのうちバクテリアの大きさは0.5 μm 以上、ウィルスの大きさは0.01 μm 前後で非常に微細である。しかし、この微生物は通常、空気中では浮遊微粒子に付着して存在するため、浮遊微粒子を捕捉することにより大部分の浮遊微生物が除去可能である。

図1-2に対象となる代表的な微粒子の種類と大きさ、並びにHEPAフィルタ、ULPAフィルタ（Ultra Low Penetration Air-filter：HEPAフィルタより高効率の微粒子除去用エアフィルタ、詳細は第2章「2.2.2.1.」と第3章「3.3.2.1. (2) i. (a)」参照）の適用範囲を示す。



出典：高砂熱学工業（株）カタログ（2014年7月）より引用

図1-2 代表的な微粒子の種類・粒径

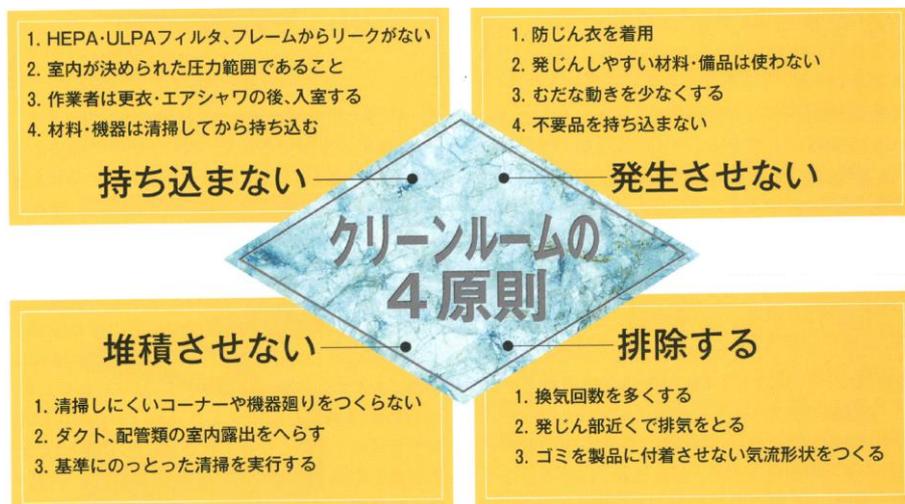
1. 3. 四原則

CRの清浄度を維持するためには、設備の機能と設備設置後の維持管理が必要である。維持管理に当たっては、CR使用者間での四原則の理解と共有が重要である。

■CRの四原則

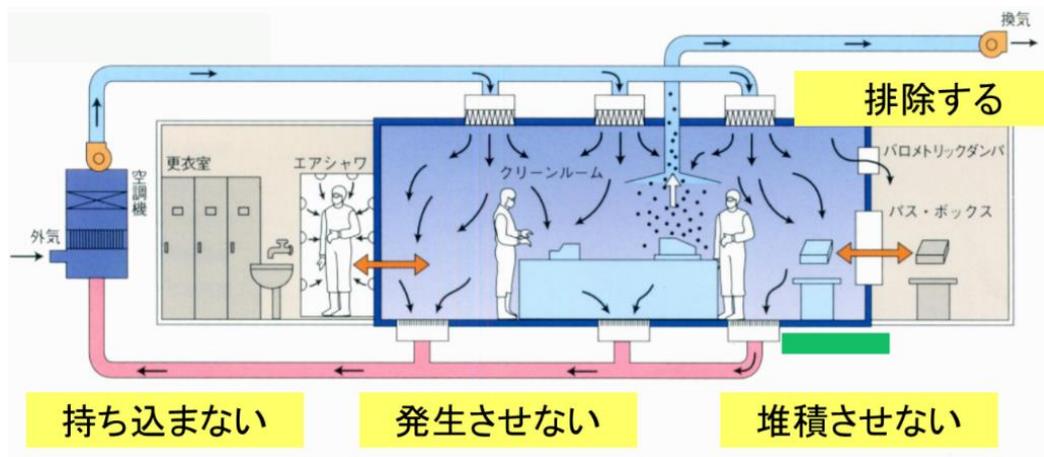
- 1 持ち込まない : 塵埃、微生物を持ち込まない
- 2 発生させない : CR内に塵埃を発生させない
- 3 堆積させない : 塵埃を溜めない、微生物を付けない
- 4 排除する : 塵埃及びその発生源を排除する、微生物を殺菌する

CRの四原則が実行されるには、建物や設備をCR仕様にするだけでは成り立たず、CRを使用する人の行動が重要である。CR使用者が「CRの四原則」を理解し、四原則に則った行動が出来ていれば、CR内の清浄度が維持され、管理が行き届いた環境(実験環境)になる。



出典：高砂熱学工業（株）カタログ（2014年7月）より引用

図1-3 CRの四原則



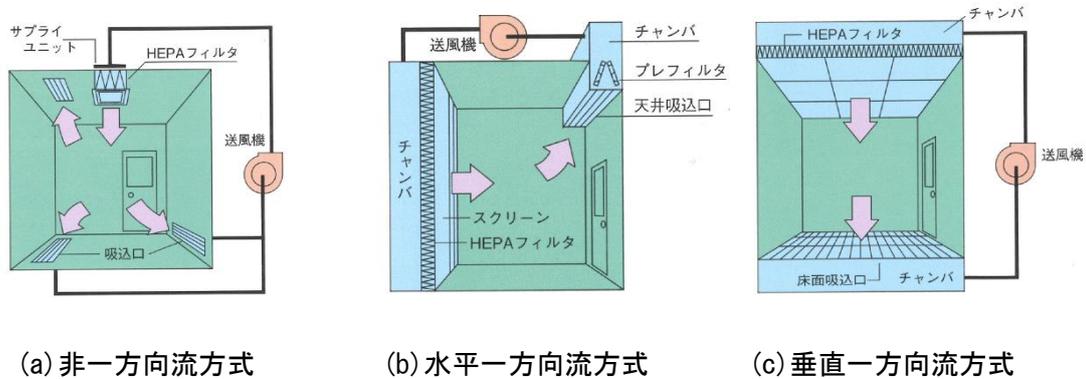
出典：高砂熱学工業（株）カタログ（2014年7月）より引用

図1-4 CRの四原則に基づいた計画

1. 4. CRのシステム（分類）

(1) 気流形状による分類

CRを気流形状から分類すると、以下の3つに分類できる。



出典：高砂熱学工業（株）カタログ（2014年7月）より引用

図1-5 気流形状によるCRの分類

i. 非一方向流方式（乱流方式）

天井に点在する吹出口から給気され、部屋の一角に設けられた吸込口から還気をとる。一般空調の方式と本質的な違いはないが、主フィルタにHEPA・ULPAフィルタを使用し、一般空調よりも換気回数が多い点が異なる。

この方式は、吹出口からの清浄空気と室内空気を混合し希釈するため、清浄度にも限界があり、通常ISO14644-1クラス6～8（Fed. Std. 209クラス1,000～100,000）程度のCRに採用される。

※ISOクラス：第2章「2.2.1.1.」参照

ii. 水平一方向流方式

壁一面にHEPAフィルタを並べて吹出口とし、対面の壁（或いは天井面）を吸込口とし、水平一方向に均一な気流を形成させる方式である。この方式では下流に行くに従い清浄度は低下するが、最上流ではISO14644-1クラス3～5（Fed. Std. 209.クラス1～100）程度とすることが可能である。

手術室や無菌室、また上部からの吹き出しが困難なCRに採用される。

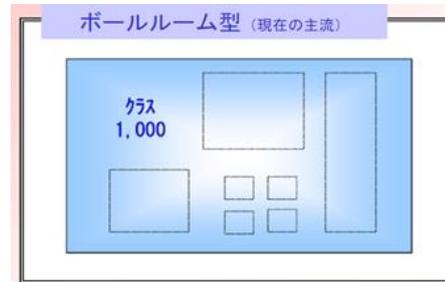
iii. 垂直一方向流方式

天井全体にHEPA（またはULPA）フィルタを並べて吹出口とし、床下全体を吸込口とし、気流を垂直一方向に流す方式である。作業面の上方に発塵源がなければ、作業面全域にISO14644-1クラス3～5（Fed. Std. 209クラス1～100）のCRに採用される。作業面で発塵があっても床面に吸込まれ、他の作業域に影響を与えないため、最高グレードのCRと言える。ただし、建築費、運転費が最も高価となり、設備用のスペースも一番大きくなる。

(2) レイアウトによる分類

i. ボールルーム型

- ・大部屋スタイル、標準的なCRのレイアウトである。
- ・レイアウト変更が容易なため、運用に応じた装置の配置変更等フレキシビリティに優れている。
- ・建設費が比較的安価で、エネルギーコストがやや大きい。
- ・ミニエンバイロメント（局所的に清浄度を高める技術）(P6 コラム(1)参照)と組み合わせて採用されることで、エネルギーコストの削減を図ることも可能である。



(a) ボールルーム型

ii. ベイ型

- ・メイン通路の側面にベイ（湾）状に各工程のブロック（プロセスエリア：高潔浄度）が配置される。
- ・自動化された半導体生産ラインに採用されることが多い。
- ・清浄度管理が容易で高潔浄度環境に適している。
- ・建設費、エネルギーコスト共に大きい。



(b) ベイ型

iii. アイランド型

- ・上記 i のボールルーム型より室全体の清浄度を低く設定し、高潔浄度が必要なエリアにクリーンブース（第1章「1.5.(5)」参照）を島（アイランド）状に配置させる。
- ・非一方向流方式のCR内に採用されることが多い。
- ・他レイアウトに比べ、エネルギーコストが比較的抑えられる。



(c) アイランド型

図 1-6 レイアウトによる分類

コラム(1) ミニエンバイロメント化(局所クリーン化)

「製品を汚染と人から隔離するための囲いにより作られた局所環境」と定義され、室内全体や室内に設置されるブース内等の環境を高清浄度にせず、精密製造装置内などの限定されたエリアのみを高清浄度を保つ構造である。

局所的なクリーン化ユニットの活用は、省エネにつながる。

(例) 半導体製造装置におけるミニエンバイロメント化

装置内において必要な清浄度環境をつくる。そのため、CR全体を一律高清浄度化する必要がない。また、ミニエンバイロメント化の利点には、装置かつ作業内容によっては必要な時間のみ運転することも可能である。

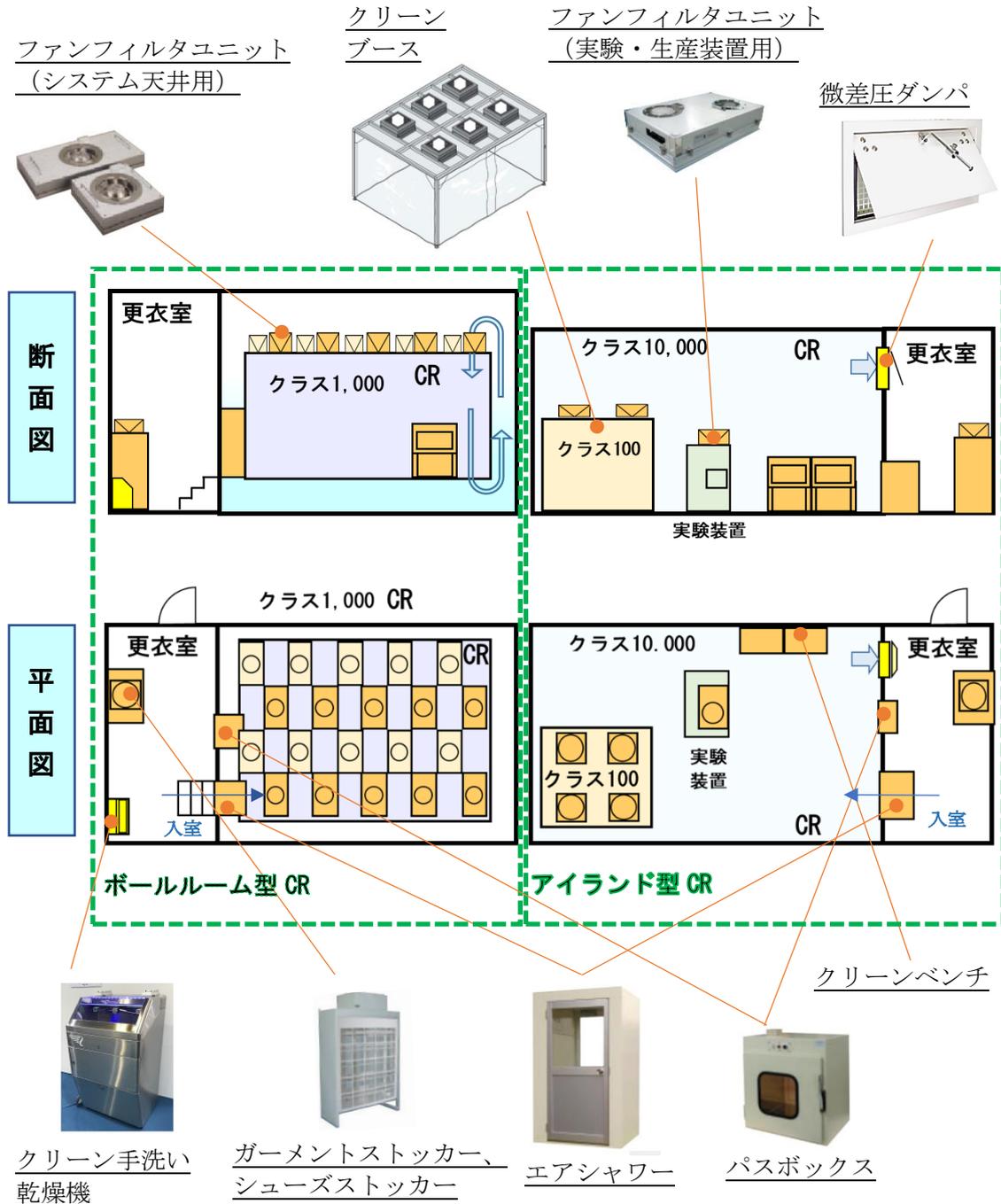


出典：東京エレクトロン（株）ホームページより引用
(2022年3月確認)

図1-7 ミニエンバイロメント化の例 エッチング装置

1. 5. CR構成機器

CR構成機器イメージを図1-8に示し、以下(1)～(7)に各機器について記載する。



写真・図の出席：次ページ以降の(1)～(7)に記載

図1-8 CR構成機器 イメージ

(1) エアシャワー

- ・機器概要 : CRに入室する際、着衣や物品などに付着する塵埃や汚染物質などをCRに持ち込まないようにするために、クリーンジェットエアにより、塵埃や汚染物質などをはたき落とす設備
- ・構成 : 板金+吹出口+HEPA (ULPA) フィルタ+送風機
- ・設置場所 : CR入室部
(隣接するCRの清浄度が大きく異なる際に、CR間に設置する場合もある)
- ・種類 : 人用・荷物用・人荷物兼用など



(a) 片扉(手動)片吹型



(b) 両開き自動ドア 3方向吹き型
循環清浄機能付(※1)

(a)(b)出典: ケンブリッジフィルターコーポレーション(株)
ホームページ掲載の機器総合カタログより引用
(2022年3月確認)

図1-9 エアシャワー

主にCRの出入口に設置し、CR外の汚染空気の流入を防ぐと共に入室者のクリーンスーツの付着塵をジェットエアで除去する。CRに入室するという意識付けとしての効果もある。

扉の形状(手動ドア・自動ドア・シートシャッター等)・エアの吹出し方向・使用人数・清浄度要求レベル・設置場所に応じた形状で設置する。

※1 エアシャワーの使用において、そのジェット気流によりクリーンスーツ内側から巻き上げられた微小塵埃、またエアシャワー内部で巻き上げられた塵埃が、CRに持ち込まれる可能性がある。図1-9(b)のエアシャワーは、ジェット運転後に、庫内のHEPA循環運転を行い、空気が清浄化された後に、CR側のドアが開く機能が搭載される。本ガイドラインでは、循環清浄機能付きのエアシャワーを推奨する。

■メンテナンス

- ・床付近の吸込口に粗塵フィルタが装着されており、定期的な清掃・交換が必要である。
- ・HEPAフィルタは、5年から8年の周期を目途に交換を行う。
- ・その他、送風機の交換などメンテナンスが必要になる。

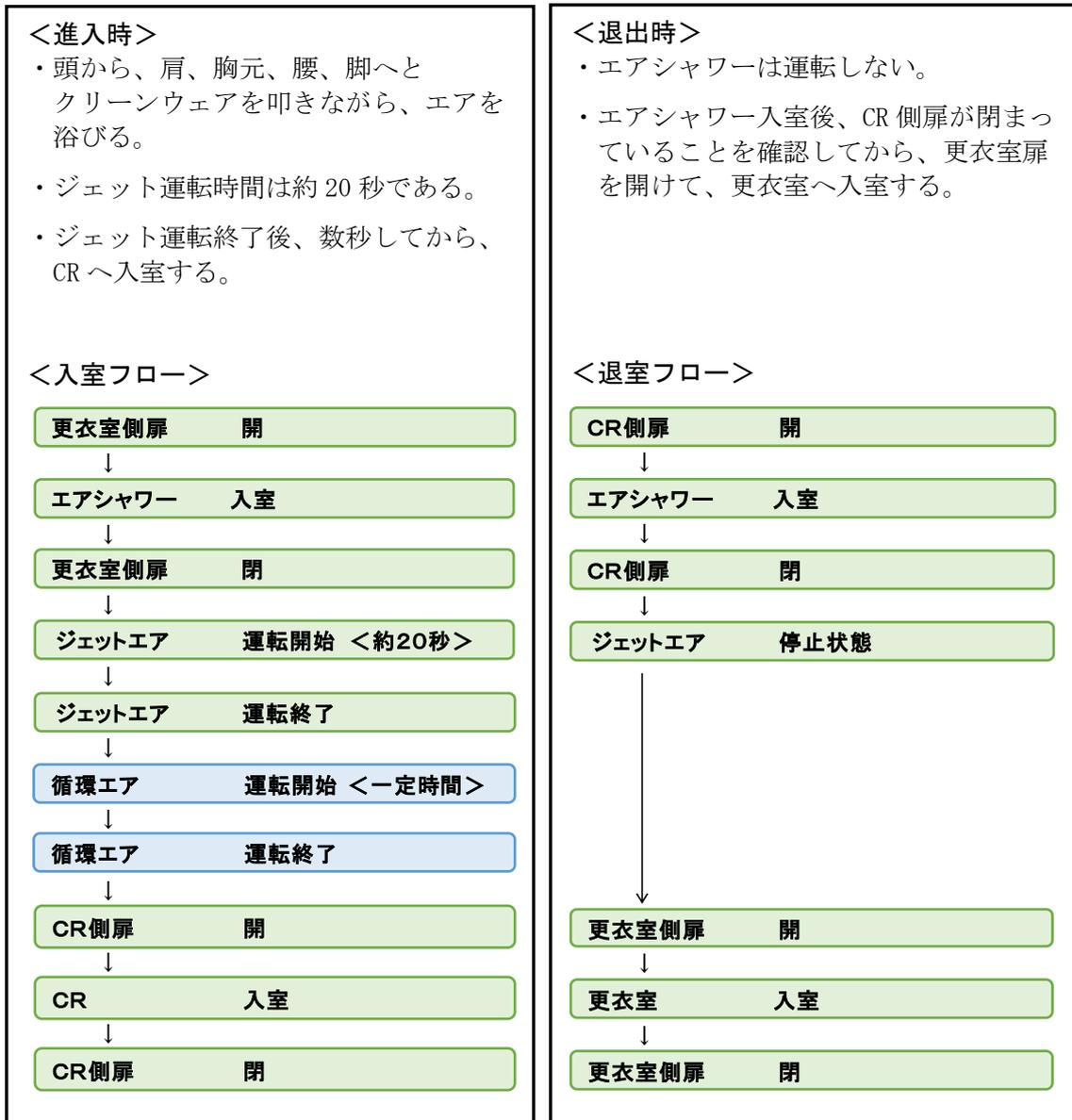


図 1-10 循環機能付きのエアシャワーの使用方法

コラム (2)

エアシャワーに変わる CR 入室装置の動向

欧米では、P8 (※1) 下線部の理由のため、CR への入室にエアシャワーの様な塵埃を叩き落す装置は主流ではなく、以下①②の方法が主流になってきている。

① CR エアロック

塵埃巻き上げ要因のエアシャワーを当てるのではなく、CR と隣接する部屋との間にインターロック扉のみを用いた部屋をつくり、クロスコンタミネーション (交差汚染) を防ぐ。



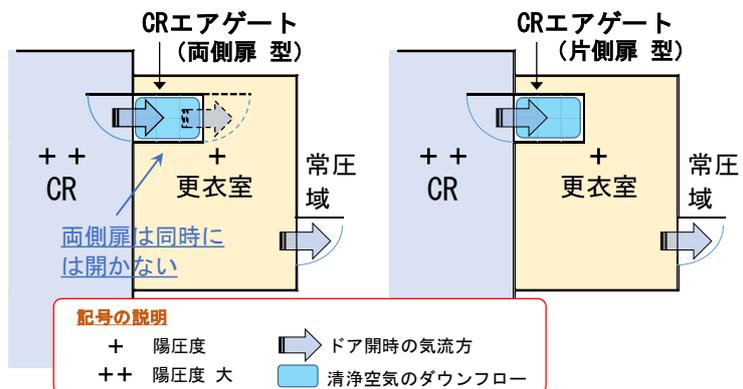
出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) より提供

図 1-11 空気清浄機能付き、CR エアロック ルーム

② CR エアゲート

更衣室から CR への入室部分に、HEPA 吹出口を備え、清浄空気のダウンフロー (垂直一方向流) のあるエアゲートをつくることで、ゲート内の清浄度を CR 内と同等もしくはそれ以上に高める。これにより、クロスコンタミネーションを防ぐ。

片側扉の場合は、更衣室入口の扉とインターロックを取ることで、更衣室入室前の汚染域 (清浄度が管理されていない部屋) とのクロスコンタミネーションを防ぐ。なお、両側扉型の場合は、インターロック機構により扉は同時に開かない。



写真・図の出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) より提供

図 1-12 省エネ型 DC ファン FFU 付き CR エアゲート ISO 14644-1 Class5

(2) パスボックス

- ・ 機器概要 : CR に持ち込む部材などを入れる設備
- ・ 設置場所 : 清浄度環境が異なる各部屋の区画

CR に荷物を持ち込む際に、扉のインターロック機構で、差圧や空気清浄度の異なる部屋間の扉開放による、クロスコンタミネーションを防ぐ。仕様によっては、エアシャワー機能を有するもの、コンベアやイオナイザーを内蔵したもの、内部に殺菌灯設置やガス滅菌要求に対応する製品もある。



図 1-13 パスボックス

図 1-13 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株)
ホームページ掲載の機器総合カタログより引用
(2022 年 3 月確認)

(3) ファンフィルタユニット

- ・ 機器概要 : CR に清浄空気を供給する設備
- ・ 構成 : HEPA (ULPA) フィルタ+送風機
- ・ 設置場所 : 部屋の天井、装置天面

CR の清浄度を保つために、主に CR の天井に設置し、清浄空気を供給するファン付きの高性能 (HEPA・ULPA) フィルタユニットである。天井面やクリーンブース上部、装置上部で使用するため薄型化、軽量化が進んでいる。必要に応じて、ファン上部にケミカルフィルタなどを設置することもある。FFU のモータ仕様に関しては第 3 章「3.3.2.3.」参照。



図 1-14 システム天井設置用 FFU



図 1-15 生産装置用 FFU

図 1-14, 図 1-15 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株)
ホームページ掲載の機器総合カタログより引用
(2022 年 3 月確認)

(4) ダクト接続型 HEPA (ULPA) 吹出口ユニット

- ・ 機器概要 : CR に清浄空気を供給する最終吹出口
- ・ 構成 : HEPA (ULPA) フィルタ+吹出口
- ・ 設置場所 : CR の天井パネル



(a) 室内における設置状況



(b) 吹出口ユニット拡大

(a) 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) より提供

(b) 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) ホームページ掲載の機器総合カタログより引用 (2022年3月確認)

図 1-16 HEPA 吹出口ユニット例

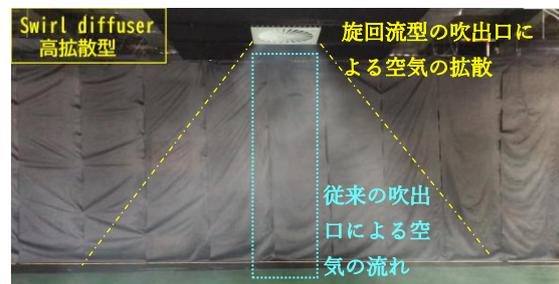
コラム (3)

最新の HEPA 付き吹出しユニット

旋回流型の吹出口が、欧米では標準化されており、日本においても近年では採用されつつある。旋回流型は、高い拡散効果のある吹出口として推奨されている。



(a) 室内における設置状況



(b) 従来吹出口との空気拡散の違い

(a) (b) 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) より提供

図 1-17 旋回流型 HEPA 吹出口ユニット例

(5) 局所クリーン化機器

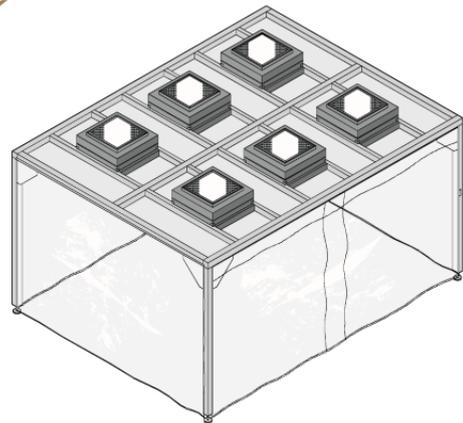
i. クリーンブース

- ・機器概要 : 運用される室内環境よりも、クリーンな環境が要求される際に設置する
- ・構成 : 骨組(板金)+HEPA (ULPA) フィルタ+送風機+パーテーション(ハード・ソフト)
- ・設置場所 : アイランド型CRや一般室



例1

- ・周囲 : ポリカーボネート(ハード)
- ・FFU : 全面設置
- ・特徴 : 高潔浄度の運用に適する、アウトガス対策等可能、高価



例2

- ・周囲 : 帯電防止カーテン(ソフト)
- ・FFU : 適所
- ・特徴 : 低価格、短納期、組立容易

例1 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション(株)より提供

例2 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション(株)ホームページ掲載の機器総合カタログより引用
(2022年3月確認)

図1-18 クリーンブース例

ii. クリーンベンチ

- ・機器概要 : 局所的にクリーンな作業環境が要求される際に設置する作業テーブル、HEPA フィルタなどを通した空気を作業テーブル上に流し、一般環境下の部屋でも機器内部テーブル面においては高潔浄度環境をつくり出す
- ・構成 : フード+HEPA (ULPA) フィルタ+送風機
- ・設置場所 : CR内



図1-19 クリーンベンチ

図1-19 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション(株)より提供

iii. その他機器類

局所的にクリーンな作業環境が要求される場所に設置する機器である。
CR内のクロスコンタミネーション（交差汚染）を防止する目的で設置する。



図 1-20 HEPA 排気機能付
クリーン作業テーブル



図 1-21 FFU 搭載型
局所排気ユニット

図 1-20、図 1-21 出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

(6) 微差圧ダンパ

- ・ 機器概要：CRの壁面や、CRの隣接室へ繋がるパスダクト内に設置する圧力調整機器、CR間の適正な差圧を維持する

※第3章「3.2.2.1.(1)」に使用方法と留意点を詳細に記載する



図 1-22 微差圧ダンパ

図 1-22 出典：クリフ（株）ホームページより引用
(2022年3月確認)

(7) 更衣室・CR 前室・設置機器類

i. ガーメントストッカー、シューズロッカー

- ・機器概要 : クリーンスーツ、クリーンシューズに対する微粒子の付着防止に配慮した保管設備
- ・構成 : アルミパイプ、ソフトカーテン+HEPA 吹出口+送風機



- ・FFU を搭載したクリーンスーツ用ロッカー
- ・帯電防止カーテンが採用され、クリーンスーツの出し入れが用意
- ・多数のクリーンスーツの管理が可能
- ・FFU を搭載したクリーンシューズ用ロッカー
- ・無塵環境で多数のシューズの収納管理が可能

図の出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) ホームページ掲載の機器総合カタログより引用 (2022 年 3 月確認)

図 1-23 ガーメントストッカー (左)、シューズロッカー (右)

ii. クリーン手洗い乾燥器

- ・機器概要 : CR に入室する際、手指や手袋に付着している汚染物質などを洗い流す設備
- ・構成 : 水栓ノズル+乾燥ジェットノズル+HEPA フィルタ+送風機

工業用 CR においても、製造製品や部品への、人の手指からの異物混入対策が求められる。洗浄は素手のみならず、手袋装着時における手袋表面部への異物付着、有機物の残留に対処するため、手袋の上からの洗浄が必要とされる場合がある。

このような CR 用の手洗い乾燥器には、乾燥用エアに HEPA フィルタ以上のろ過空気が求められ、またシンク部からの微粒子や飛沫を含む空気の外部流出への対策も含まれる。

※図 1-24 は水栓、乾燥、ソープディスペンサー、サニタイザー部などが、一つのシンク部に備わっているタイプである。(殺菌灯オプション)。



図 1-24 クリーン手洗い乾燥器

図 1-24 出典 : ケンブリッジフィルターコーポレーション (株) より提供

1. 6. CRの内装設備

CRは、前述したように四原則の「1 持ち込まない」「2 発生させない」「3 堆積させない」「4 排除する」を基本として計画されるが、内装設備の役割は非常に大きい。

内装設備には、CRを構成する内装材からの発塵がないこと、外部からの空気の流入や必要以上の加圧維持を行わないために気密性を高めること、CR内の温湿度の条件に影響を与えないような断熱性能があることが求められる。また、アウトガス発生の有無、耐静電気、振動についても考慮された内装材であることも重要である。

(1) 内装材選定基準

CRの内装を選定する際には、室内環境の維持、清浄度の維持に寄与する観点での選定が必要となり、条件を整理し、内装材、使用材料を決定する必要がある。

以下に代表的な選定項目を記す。

■内装材の選定項目

- ・発塵しないこと
- ・塵埃を保持し続けない構造であること
- ・気密性を持ち室圧の保持ができること
- ・断熱性能を確認し、温湿度に影響の少ない構造であること
- ・静電気が起きにくいこと
- ・分子汚染対策を考慮すること
- ・清掃の容易性を考慮すること
- ・耐火、安全性を確認すること
- ・強度（床・壁耐荷重、動荷重、耐摩耗性、耐薬品性）、耐震強度を確認すること

(2) 内装材の種類

CRを構成する主な内装材は以下となる。

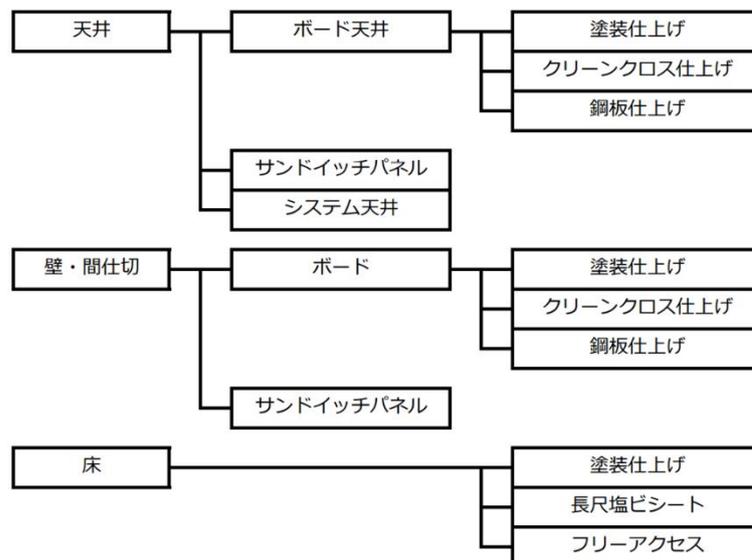


図 1-25 CRの内装材

(3) 内装材選定の主な注意点

i. 天井

- ・天井材は材質も重要であるが、構造材、支持材についても併せて検討する必要がある。
- ・材質は室内環境維持、清浄度維持の観点より選定する
- ・CRの天井材は、通常のオフィスビルの天井材よりも重量があるため、十分な耐荷重性能が求められる。
 - ▽ 天井材、FFU、照明設備等の重量検討
 - ▽ 耐震性能、耐震支持
- ・天井裏の点検整備に使用する際は、点検歩廊の設置やその重量も併せて検討する。
- ・FFU、ブランクパネルの設置の際には、落下防止措置を施す。
- ・天井に設置する照明器具の仕様は以下とする。
 - ▽ 傘の無い塵埃の溜まらない形状の製品を選択する
 - ▽ 清掃が容易な製品を選択する

ii. 壁・間仕切り

- ・壁材は在来工法で壁材にCR用途に適した素材を用いるものや、CRに特化したクリーンパーテーションを用いるものがあり、室内環境維持および清浄度維持を目的とする。
- ・間仕切りに取り付ける扉や取外し開口はエアータイト、またはセミエアータイトを用い、気密性を十分に考慮する。
- ・窓は基本的にFIX窓とし、開閉の出来ないものとする。

iii. 床

CRの床材はCRの方式によっても異なり、非一方向流方式（乱流方式）と垂直一方向流（ダウンフロー）方式によって使分けが必要となる。

- ・垂直一方向流（ダウンフロー）方式ではフリーアクセス方式が採用される。
 - ▽ 建物の床面より指示鋼材により嵩上を行い、床下の空間を確保する。床下の空間は、CRを通過した空気の通り道とするほか、電気配線スペースや空調機の設置スペースなどに用いる。
 - ▽ 床材は、床に設置される実験装置などの機器重量に耐える構造、耐震性能が要求される。
 - ▽ 発塵しない素材、清掃のしやすさが求められ、静電対策も要求される。
 - ▽ CRより床下に空気を通すために穴の空いたパネルが用いられる。
- ・乱流方式では床面を塗装仕上げや長尺塩ビシートが採用される
 - ▽ 長尺塩ビシート貼りなど清掃のしやすさ、静電対策などを考慮した素材が選択される。

※シーリング材について

CRの気密性を保つために必要な材料で接着性、耐久性、耐候性に優れたものが求められる。また、発塵や分子汚染を抑えたものを選定する必要がある。

第2章 清浄度の取扱い

本章では空気清浄度に関する設計上のポイントを示し、空気清浄度の観点からアプローチできる省エネ手法を紹介する。本ページの「2.1.」に、本章の省エネのポイントを集約した。

2. 1. 省エネのポイント

表 2-1 空気清浄度に関する省エネのポイント

キーワード	具体的な省エネ対策	参照	費用対効果	
			コスト	省エネ効果
清浄度	(設定見直し) 清浄度の設定	2.3.1.	☆	◎
清浄度	(計測の導入) 循環風量の低減	2.3.2.	◎	◎
フィルタ	(フィルタの選定) 適正なフィルタの選定	2.3.3.	○	△
フィルタ	(フィルタの選定) フィルタ面積の増加検討と低圧力損失フィルタの採用	2.3.4.	○	○
搬送機器	(運用見直し) (計測の導入)	休日夜間モード運転		
		・送風機の回転数制御 ・FFU間引き運転	2.3.6. 2.3.6.	☆or○(*1) ☆or◎(*2)

	コスト	省エネ効果
☆	工事費なし	
◎	安い	高い
○	普通	普通
△	高い	低い

(注記) 記号は著者の経験則より設定

(*1) 既存の送風機に制御が導入されていれば「☆」、導入されていなければ「○」とする

(*2) 間引き運転にあたり、FFUの配線工事が必要でなければ「☆」、必要であれば「◎」とする

2. 2. 設計上のポイント

2. 2. 1. CR 計画・設計のポイント並びに手法（考え方・厳守事項等）

2. 2. 1. 1. 清浄度のクラス分け

清浄度は、各国の清浄度の規定があり、規定の体積単位における対象粒子径の粒子濃度（粒子数）をもとにクラス分けされる。

▽ 立方メートル（SI 単位）

① 国際標準化機構 ISO 14644-1

▽ 立方フィート

② 米国連邦規格 Fed. Std. 209D（廃版）

一般的に「②米国連邦規格 Fed. Std. 209D」より CR のクラスを表現されることが多いが、現在は、ISO 14644-1 が世界基準である。

本ガイドラインでは、①②両方の規格で表現しているが、混同を避けるため、①国際標準化機構で記載の場合は「ISO 14644-1」を記すものとする。

表 2-2 空気清浄度クラス（国際標準化機構、米国連邦規格）

清浄度クラス	上限濃度（個/m ³ ）						清浄度クラス	上限濃度（個/ft ³ ）
	測定粒径							
ISO 14644-1	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1.0 μm	5.0 μm		
Class 1	10	2						
Class 2	100	24	10	4				
Class 3	1,000	237	102	35	8		Class 1	1
Class 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class10	10
Class 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class100	100
Class 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class1,000	1,000
Class 7				352,000	83,200	2,930	Class10,000	10,000
Class 8				3,520,000	832,000	29,300	Class100,000	100,000
Class 9				35,200,000	8,320,000	293,000		

・許容される粒子濃度は対象粒子径により異なり、管理項目として複数、または一つの粒子径を採用しても良い（①の規格の場合、0.1 μm 以上と、0.5 μm 以上を単独または併記としてもよい）。

・表 2-2 においては、「①国際標準化機構 ISO 14644-1」、「②米国連邦規格 Fed. St. 209D」で互いに相当するクラスが分かる。例えば、ISO 14644-1 のクラス 5 は、Fed. St. 209D のクラス 100 に相当する。

2. 2. 1. 2. 清浄度クラスの選定

清浄度の選定手順を以下に示す。

- ・実験用途、実験結果への影響を踏まえ、対象粒子径における最大許容微粒子濃度を判断する。
- ・表 2-2 内の規格を選定する。
例) 粒子径 5 μ m 以上の粒子が 1ft³ 内に 1000 個であれば、米国連邦規格 Fed.Std.209D でクラス 1000 を選定する。

※清浄度の選定時には、CR の用途によって、ケミカル汚染対策（許容されるガスの種類と、気中ガス濃度の決定）が必要な場合がある。ISO 14644-1 には、ケミカル汚染（気中分子汚染、表面汚染）の定義がある

2. 2. 1. 3. 清浄度維持のための必要風量と計算モデル

清浄度維持のための換気回数は、図 2-1 の一般的な循環風量計算モデルのもと、式 2-1 と式 2-2 から Q_s :送風量(m³/min)が導出され、「 Q_s /CR 容積」から目安として決定される。

ただし、この式中の「 G :室内発塵量」の想定が難しいため、一元的に対象粒径ごとの清浄度に応じた経験値をもとに、換気回数を決定するのが一般的である。

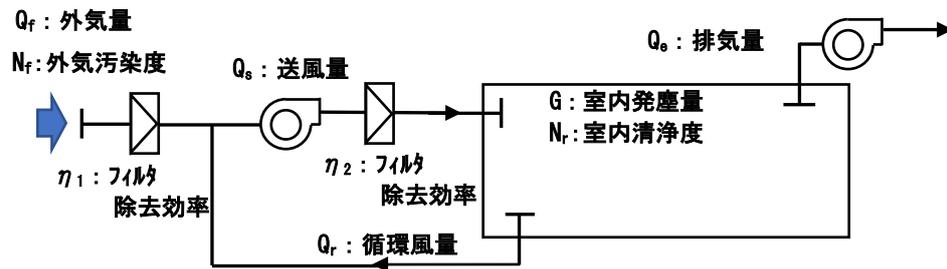


図 2-1 循環風量計算モデル

$$\text{循環風量(m}^3\text{/min)} \quad Q_r = \frac{N_f \times Q_f \times (1 - \eta_1) \times (1 - \eta_2) + G}{\eta_2 \times N_r} - \frac{Q_e}{\eta_2} \quad (\text{式 2-1})$$

$$\text{送風量(m}^3\text{/min)} \quad Q_s = Q_r + Q_f \quad (\text{式 2-2})$$

- G : 室内発塵量 (個/min) 人員からの発塵+装置発塵
- N_r : 室内清浄度 (個/m³) (対象粒径)
- N_f : 外気汚染度 (個/m³) (対象粒径)
- η_1 : フィルタ除去効率 ※参考: JIS B 9908
- η_2 : フィルタ除去効率 ※参考: JIS B 9908
- Q_f : 外気量 (m³/min)
- Q_r : 循環風量 (m³/min)
- Q_e : 排気量 (m³/min)
- Q_s : 送風量 (m³/min) = 循環風量 + 排気量

2. 2. 2. 関係機器・システム等の説明

2. 2. 2. 1. フィルタの組み合わせ方法

CR の清浄度を維持するために、対象となる塵埃の粒子径に対応するフィルタの選定が必要となる。フィルタの設置は、主に外気処理、室内空気の循環、排気処理の3つの系統である。

CR は本来さまざまな項目が管理された部屋であり、CR を形成する部材の試験方法についても JIS で定められている。

フィルタの主な種類

- ・粗塵フィルタ 主な使用用途：外気処理（一次フィルタ）など各所
試験方法：JIS B 9908：2011 形式 3（質量法）
- ・中性能フィルタ 主な使用用途：外気処理（二次フィルタ）、循環・排気処理
試験方法：JIS B 9908：2011 形式 2（平均捕集効率）
- ・HEPA フィルタ 主な使用用途：外気処理（三次フィルタ）、循環・排気処理
試験方法：0.3 μm 計数法 99.97%以上
- ・ULPA フィルタ 主な使用用途：外気処理（三次フィルタ）、循環・排気処理
試験方法：0.1 μm 計数法 99.999%以上

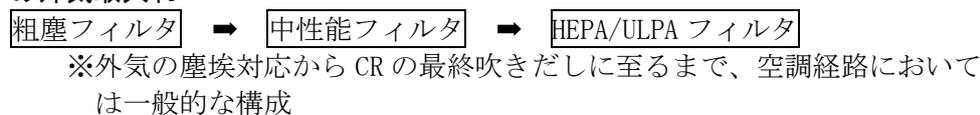
フィルタの組み合わせは、給気対象室の用途によって異なる。給気対象室の用途によるフィルタ選定について、下記と図 2-2 に示す。

■一般的なフィルタの組み合わせ

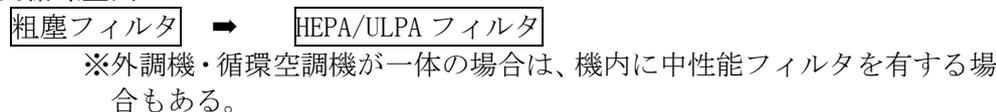
① 一般室への外気取入れ



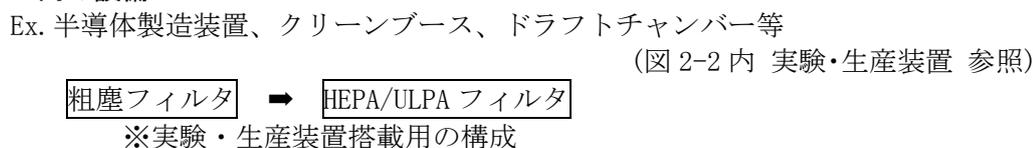
② CR への外気取入れ



③ CR 内循環空気



④ CR 内の設備



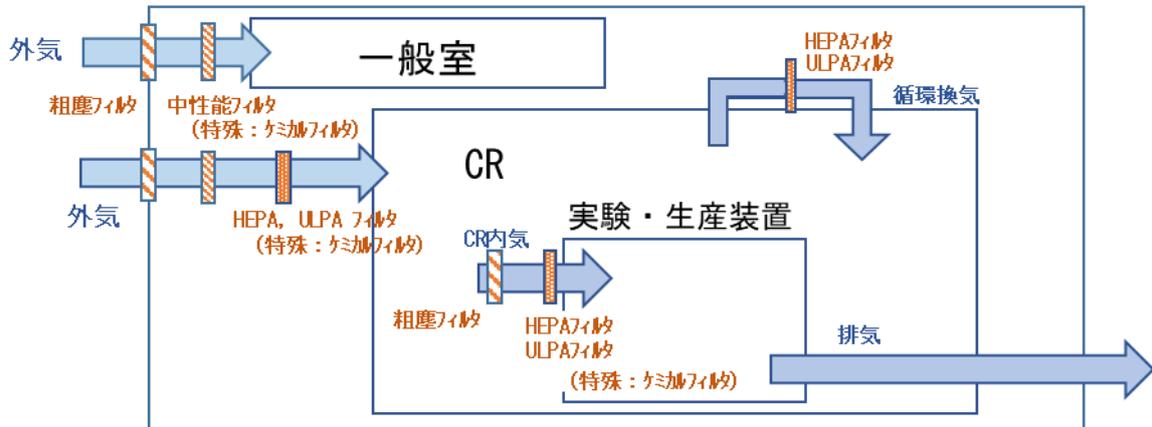
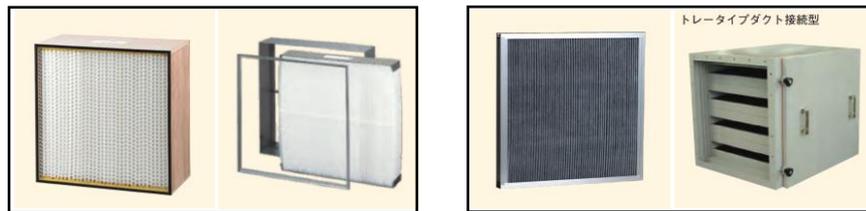


図 2-2 フィルタの設置位置

【補足】特殊要件

特殊な塵埃を対象に、火山灰対策フィルタ、塩害防止フィルタ、分子汚染対策のケミカルフィルタ（酸系、有機系、アルカリ系）を、上記①②③に追加採用する場合がある。



出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

図 2-3 フィルタ（左：塩害防止対策、右：ケミカル対策）

コラム（4）

中性能フィルタの留意点

- 一般的に CR 設計では、高性能フィルタは HEPA を指し、超高性能フィルタは ULPA を指す。一方、国土交通省仕様では、中性能フィルタの捕集効率の高い製品(*1)を高性能フィルタと呼ぶため留意する。

(*1) 引用：国土交通省大臣官房官庁営繕部、公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編）、平成 31 年版、p.136、表 3.1.12
 高性能フィルタ：捕集率 0.4 μ m 70%以上、0.7 μ m 80%以上

- 中性能フィルタのろ材には帯電ろ材と、非帯電ろ材の 2 種類がある。帯電ろ材の低圧損性から省エネ対策としてビル空調で多く用いられるが、CR の HEPA フィルタ前段使用には注意が必要である。帯電ろ材は、湿度の影響などにより帯電性が無くなり、塵埃の捕集効率の低下を起こすことがある（※第 2 章「2.2.2.2.(2)」参照）。捕集効率低下に気付かず、フィルタの目詰まりが遅れることから、寿命が長くなったと勘違いするケースがある。この捕集効率低下は、後段の HEPA フィルタ等の圧力損失の上昇が早くなり、ファンの消費電力の増加につながる。

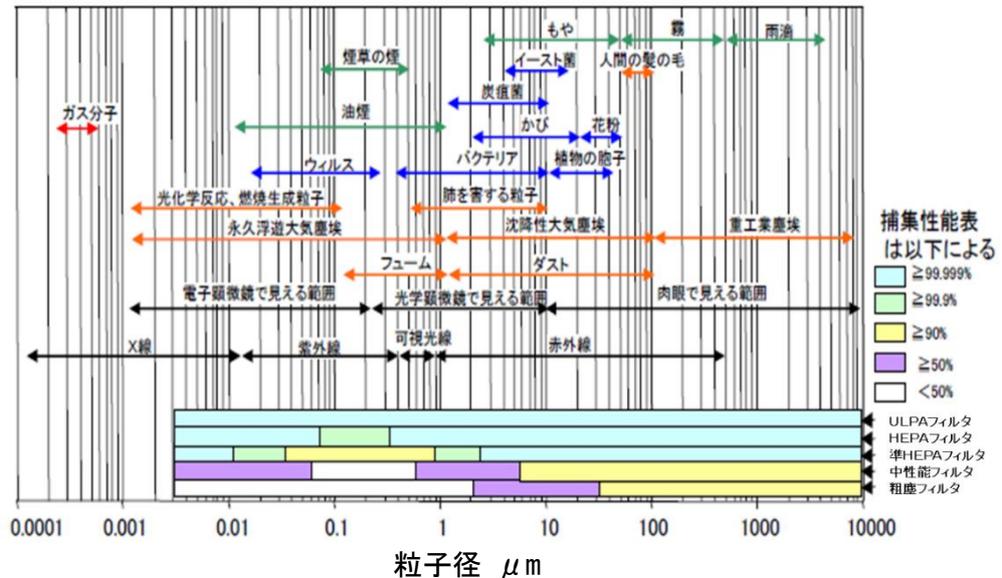
（注記）CR 空調系では、中性能フィルタのろ材に帯電ろ材の使用を控える。

2. 2. 2. 2. 対象粒子径によるフィルタの選定

フィルタは、様々な環境で使用されるため、その目的に合った選定が必要になる。CRで使用されるものも含め、各種フィルタは捕集対象となる塵埃の粒子径に応じて選定される。

(1) 塵埃粒子径と各種フィルタの捕集効率

フィルタの選定では、各種フィルタの塵埃粒子径に対する捕集効率を考慮する。図2-4に主な塵埃の粒子径と各種フィルタの捕集効率の関係を示す。



出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

図2-4 主な塵埃の粒子径と各種フィルタ捕集効率

(2) フィルタの塵埃捕集と総合捕集効率

図2-4の粒子径0.1μm近傍が最も捕集効率が低い。これについて、フィルタの塵埃捕集と総合捕集効率を踏まえ、以下に説明する。

搬送空気がフィルタを通過するとき、搬送空気中の塵埃がフィルタ内で捕集されるが、これは、フィルタ内の繊維に塵埃粒子が付着することで発生する。この付着には、「さえぎり」「重力」「拡散」「慣性」「静電引力」などの仕組みが作用する。これらが総じて作用し、塵埃が捕集される割合を総合捕集効率と呼ぶ。図2-5に、乾式フィルタにおける、粒子径に対するフィルタ内の各仕組の捕集効率とフィルタの総合捕集効率の関係を示す。

<各仕組>

- さえぎり・・・塵埃粒子が、繊維に触れることで発生する付着
- 重力・・・塵埃粒子が、重力方向への移動で繊維に触れることで発生する付着
- 拡散・・・塵埃粒子が、不規則な動くことで繊維に触れることで発生する付着
- 慣性・・・塵埃粒子が、流れからそれて繊維に触れることで発生する付着
- 静電引力・・・塵埃粒子と繊維それぞれの帯電による静電引力で発生する付着

【補足】 メーカーカタログでは、「総合捕集効率」を簡便的に「捕集効率」と記載することが多い。

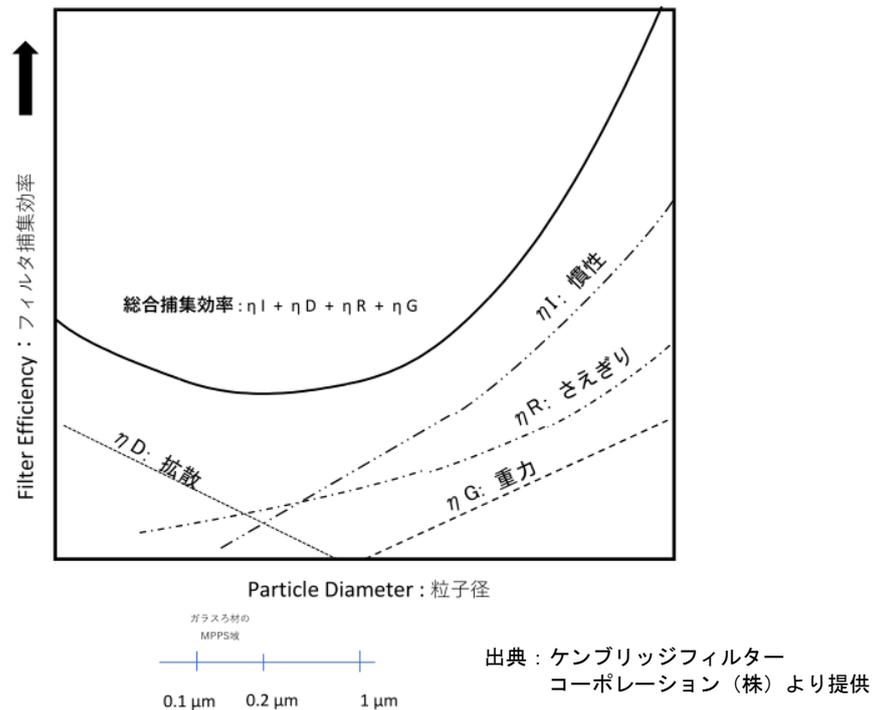


図 2-5 フィルタの各仕組の捕集効率と総合捕集効率の関係

■ フィルタ総合捕集効率の最下点

各仕組の塵埃捕集から、 $0.1\mu\text{m}$ 近傍で総合捕集効率が最も低い点があり、それ以下の粒子径においては逆に捕集効率上がる性質（図 2-4、図 2-5）がある。

例えば、HEPA フィルタは $0.3\mu\text{m}$ 以上で捕集効率 $\geq 99.97\%$ と定義されるが、図 2-4 の通り、対象粒径が $0.08\mu\text{m} \sim 0.3\mu\text{m}$ の範囲で 99.9% 以上、 $0.08\mu\text{m}$ 以下では 99.999% 以上の捕集性能を有する。

■ ULPA フィルタの選定

半導体電子産業などの CR では、 $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒子径に対して $\geq 99.999\%$ の捕集性能を有すフィルタが求められる。その場合は ULPA フィルタが CR の最終吹き出しや、半導体製造装置用として求められる。また、近年の半導体微細加工の要求から、 $0.1\mu\text{m}$ を下回る粒子径に対する高捕集効率がフィルタに求められるが、前述の捕集効率の最下点の性質から現行 ULPA フィルタで対応される。

(参考)

- ・半導体 CR の空調系フィルタでは、塵埃の保持容量、長期安定性の高いガラス繊維製 ULPA フィルタが使用される。
- ・一方、CR 内に設置される半導体製造装置（ミニエンバイロメント利用 ※P6 コラム (1) 参照）等では、目詰まりに関する負荷が低いため、省エネ、低圧力損失の観点から、PTFE 膜ろ材の ULPA フィルタが多用されている。
- ・将来的には、非帯電のナノファイバーろ材などが登場する可能性もある。

2. 3. 省エネ設計・改造の手法

2. 3. 1. 清浄度の設定

清浄度が高くなるほど、室内の塵埃量を少なくする必要がある。そのため、清浄度維持に必要な循環風量が多くなり、各種ファンの消費電力量が多くなる。

省エネ手法としては、夜間休日等 CR 非稼働時に計画的な清浄度の緩和も検討できる。これについては、第2章「2.3.6.」に記載する。

<省エネに寄与する確認事項>

- ・必要以上の清浄度設定ではないか（過剰設計をしていないか）
- ・設定した清浄度に対し、必要以上の空気の循環風量になっていないか

2. 3. 2. 循環風量の低減による省エネ（計測の重要性）

清浄度維持のための循環風量（換気回数）は、第2章「2.2.1.3.」の式2-1と式2-2より決定することができるが、「G：室内発塵量」の影響が非常に大きい。ただし、計画時に人や装置などからの発塵量を推測することは難しい。

そのため、後述する第2章「2.3.5.」の清浄度計測を、稼働中のCRで実施することで実際の塵埃の量を把握し、循環風量の低減を行う。この循環風量を夜間や休日の非稼働時に低減する方法は、第2章「2.3.6.」に記載する。

（注記）CRの循環風量は、清浄度維持及び温湿度環境の維持を共に満たす風量で決定しており、清浄度実測による風量削減では、温湿度環境が維持できる風量を下回らないようにする。

2. 3. 3. 適正なフィルタの選定によるファンの省エネ

図2-4より、捕集対象の塵埃に対し、必要以上の性能を持つフィルタが選定されていないか確認することが、各種ファンの省エネにつながる。

必要以上の効率のフィルタを選定すると、同風量でもフィルタの圧力損失が高くなる場合があるため、各種ファンの電力消費が大きくなることもある。

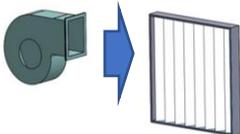
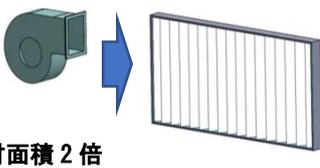
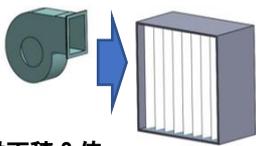
2. 3. 4. フィルタ面積の増加検討と低圧力損失フィルタの採用

フィルタ選定時は、ファンの定格風量と各フィルタの定格風量値（上限値）をもとに、フィルタを選定することが多いが、下記2点を考慮することで、必要風量に対するフィルタの抵抗低減になり、ファンのエネルギー消費の低減につながる。

- ・ 塵埃の「通過風量と透過率」（P27 コラム(5)参照）の観点から、フィルタ面積を増やし、単位面積当たりの風量を小さくする。参照：表 2-3 No. 2
- ・ 低圧損型フィルタを選定する。参照：表 2-3 No. 3

※フィルタ面積増加や低圧損型の採用は、インシヤルコストの増や設置スペースの増にもつながるが、省エネ化によるランニングコスト面のメリットがあるので十分に検討する。

表 2-3 フィルタ抵抗低減のイメージ

No.	イメージ	抵抗低減
1		—
2	 ろ材面積 2 倍	ろ材面積 2 倍 フィルタ単位面積当たりの風量低減（風速低減）により、フィルタ抵抗を低減
3	 ろ材面積 2 倍	ろ材折込プリーツ増、もしくは折幅（厚み）を増やす。 ※外板以外をほぼ“ろ材”のみで構成した、ミニプリーツフィルタによる小型化 フィルタ単位面積当たりの風量低減（風速低減）により、フィルタ抵抗を低減

※No. 1、2、3 ファン風量は同じ

表内のイメージ図 出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

※低圧力損失フィルタについて、第3章「3.3.2.1. (2) i .」にも記載する

コラム(5)

塵埃粒子径と透過率およびフィルタ通過風速の関係

図2-6より、フィルタろ材・通過風速が遅いほど透過率が低くなる。つまり、同じろ材面積のフィルタでは、風速を遅く使うほど微小粒子の捕集効率が高くなり、またフィルタとしての通気抵抗を低くすることが出来る。そのため、フィルタの処理風速低減は、捕集効率のアップと省エネ利用の有効手段になりえる。

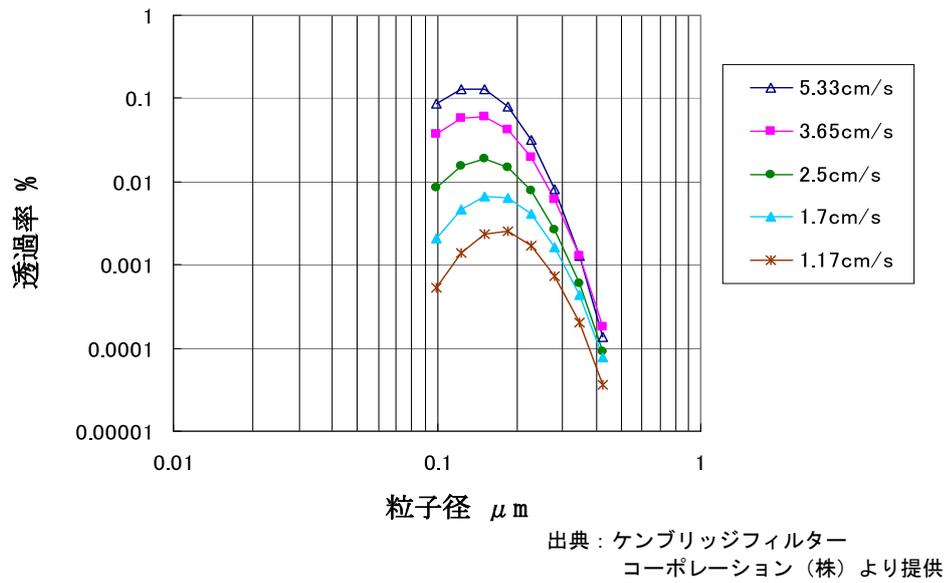


図2-6 HEPA フィルタの対象粒子径と透過率

2. 3. 5. 省エネへの手法（清浄度の把握）

CR 設計時に循環風量を決定するが、CR 稼働時に省エネの取組として循環風量を低減できる場合がある。これには、清浄度維持に必要な最低循環風量の把握が必要であり、稼働する CR 空気中の粒子濃度（粒子数）の計測（以下、清浄度計測）を行う。

ここでは、清浄度計測とそれを活用した省エネ手法について記載する。

(1) 清浄度計測の用途

CR の清浄度計測には、下記の2つの用途がある。

- ① 清浄度のクラス判定用途（定期または任意計測）
- ② 清浄度を常時監視するモニタリング用途（常時計測）

(2) 清浄度クラスの計測機器

表 2-4 に、空气中微粒子自動計測器（以下、パーティクルカウンタ）を示す。表 2-4 の No. 1 がフィルタリーク計測、No. 2~No. 4 が清浄度計測で用いる。管理する粒子径と粒子濃度の計測環境に応じ、パーティクルカウンタの機種を選定する。

表 2-4 計測器の用途

No.	主な使用用途	計測器イメージ	対象粒径	吸引量	データ	特徴
1	【任意】 フィルタリーク計測 <単体計測>		0.1 μm 0.3 μm 0.5 μm 1.0 μm 3.0 μm 5.0 μm 10.0 μm	1 ft ³ /min	プリンタ 内蔵メモリ CSV出力	フィルタとクリーンユニットからのリーク（漏れ）が無いことを確認する
2	【定期 or 任意】 清浄度計測 【常時】 清浄度監視 <単体計測>		0.1 μm 0.3 μm 0.5 μm 1.0 μm 3.0 μm 5.0 μm 10.0 μm	0.1 ft ³ /min 1 ft ³ /min 100 L/min	プリンタ 内蔵メモリ CSV出力	・任意のポイントに 持っていく計測する ・CRの空気清浄度判定 と固定ポイントの 常時監視を行う
3	【常時】 清浄度監視 <多点計測>	 ※チューブ長 3.0m以内	0.1 μm 0.3 μm 0.5 μm 1.0 μm 3.0 μm 5.0 μm 10.0 μm	0.1 ft ³ /min 1 ft ³ /min	CSV出力 データ ロガー	複数のポートを1ポイント ずつ計測する モニタリングシステム マニホールド方式
4	【常時】 清浄度監視 <多点計測>		0.1 μm 0.3 μm 0.5 μm 1.0 μm 3.0 μm 5.0 μm 10.0 μm	0.1 ft ³ /min 1 ft ³ /min	CSV出力 データ ロガー	複数のポートを同時計測 する モニタリングシステム

表内の計測器イメージ図 出典：ケンブリッジフィルター
コーポレーション（株）より提供

(3) 清浄度計測のタイミング

清浄度を確認するタイミングは、下記①②が想定される。

なお、計測ポイントは、ISO-14644-1に基づくが、実際はCR使用者との協議のもと決定される。清浄度クラス判定は表2-2に記載する。

① CR完成時（引渡し時）の計測

- 1) CR完成後の製造設備等（製造設備・試験設備）の設置前（as built）
- 2) CR完成後の製造設備設置時（at rest）
- 3) CR実運用時（in operation）

※上記タイミングは検収条件、および依頼者との協議による。

② CRの運用監視の計測

1) 計測器単体の清浄度クラス監視（表2-4 No.2 計測機器）

CR内の清浄度が保たれているか確認するために、定期または任意に清浄度計測を行う。計測頻度は、CR管理者の判断による。

2) 空気清浄度の常時監視（表2-4 No.2,3,4 計測機器）

単体パーティクルカウンタカウンタの連続運転、もしくは清浄度集中監視システムを用いて、半導体や医薬品関係等のCRやミニエンバイロメント内などのユースポイント（清浄度を必要とする場所）における空気清浄度の常時監視を行う。製品の安全管理とエビデンスの記録保管に役立てる。

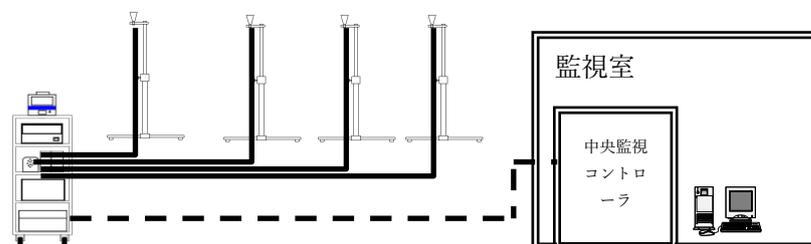
(4) 清浄度の常時監視のモニタリングシステム（集中監視システム）

モニタリングシステムについて、下記2点を記載する。

i. マニホールド方式（表2-4 No.3）

サンプリングポート（粒子の吸引口）を、CR内の複数の計測点に配する。一台のパーティクルカウンタと吸引ポイント切替器による巡回型清浄度監視となる。

- ・長所：1点ごとではあるが計測器による各計測ポイントの遠隔モニタリング、初期費用が安い
- ・短所：複数ポイントの同時計測が不可（切換型の巡回計測になるため）、エアチューブ配管の為30mまでの制限がある



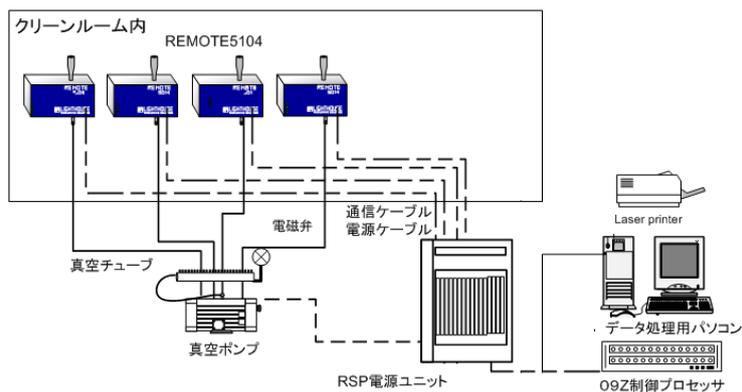
出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

図2-7 マニホールド方式 イメージ

ii. マルチセンサー方式（表 2-4 No. 4）

サンプリングポート（粒子の吸引口）を有する計測センサーを、CR 内の複数の計測点に配し、電気信号にて計測情報を集中監視システムに送る。こまめな情報管理と、空調制御システムなどとの連携も可能になる。

- ・ 長所：複数ポイントの同時遠隔モニタリングが可能、空調監視、制御システムとの連携可
- ・ 短所：初期費用が高い



出典：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

図 2-8 マルチセンサー方式 イメージ

(5) 省エネへの手法（清浄度の把握）

i. 清浄度計測による空気搬送機器（ファン）のエネルギー消費の低減

清浄度計測により、設計計画時の清浄度に対する循環風量と換気回数 of 妥当性を確認できる。場合によっては、設計時循環風量を低減させても、CR の性能維持に支障のない運転条件を満たせば、省エネに繋がる。

※第2章「2.3.6.」 休日夜間モード運転を参照

※第6章「6.1.1. (3) i.」 清浄度計測のもと FFU の風量制御の実施事例を記載

※第6章「6.1.3. (2) i.」 清浄度計測のもと FFU 間引き運転に関する事例を記載

ii. 清浄度に関する計測データの蓄積

稼働する CR の清浄度を計測し解析することで、CR の拡張や、類似の CR の建設に対し、省エネ設計への重要なデータになる。計測を行い、データを蓄積することを推奨する。

2. 3. 6. 休日夜間モード運転

CR で作業しない夜間や休日に、必要最小限の運用をして省エネを図る。
 休日夜間モード運転は、以下の点に着目し省エネを図る。

- 【A】（清浄度）循環風量の低減**
- ➔ 循環系送風機の“風量低減運転”や“FFU 間引き運転”
 - ▽ 非稼働時の清浄度緩和（清浄度を下げる）
 - ▽ 非稼働時の発塵低減時における、規定清浄度を維持した上での送風量の低減
- 【B】（外気量）外気導入量の低減**
- ➔ 排気機器の“停止”または“風量低減運転”
 - ▽ 排気量の低減に伴う、室圧コントロールに必要な外気導入量の低減
 - ※外気導入量低減：第3章「3.3.1.」に記載
- 【C】（温湿度）温湿度設定の緩和による空調エネルギーの低減**
- ➔ 設定温湿度の変更
 - ▽ 温湿度条件の緩和による空調エネルギーの低減
 - ※設定温湿度の緩和：第4章「4.3.4.2.」に記載

（注記）

上記【A】【B】【C】ともに、休日夜間明けのCR 立ち上げ時に、所定のCR 内環境の形成には時間がかかるため、実測によりこの時間を把握する必要がある。

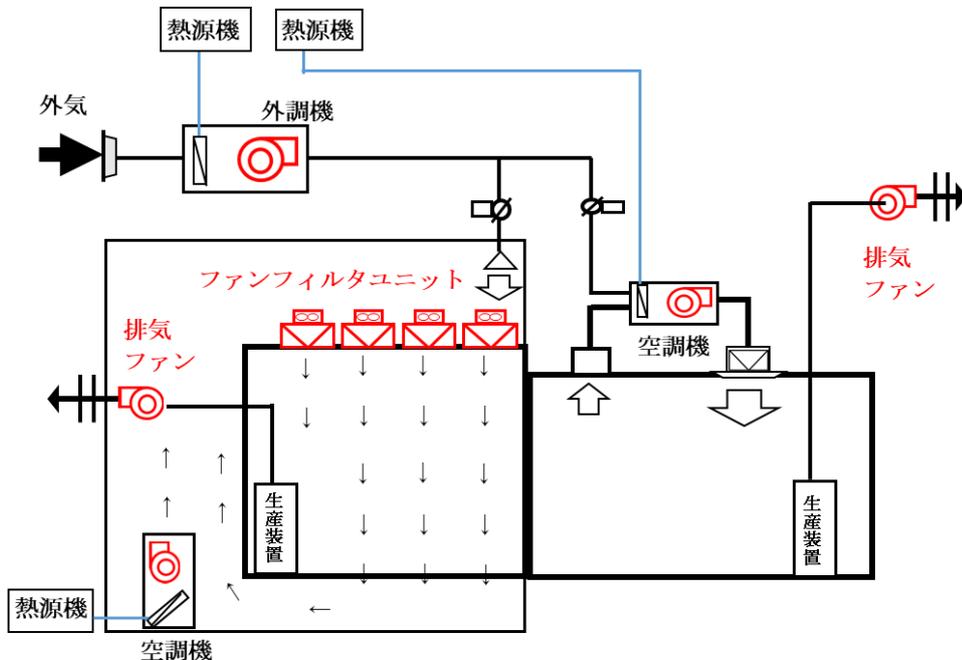


図 2-9 休日夜間モード運転の対象箇所（赤色機器）

【A】循環風量の低減の手法

▽ 送風機の回転数制御

循環系空調機のファンや FFU の循環風量は、送風機の回転数をインバータ制御等で下げ、低減させる。

※回転数は下げられる限界がある：第3章「3.3.2.2.」 インバータ制御を参照
 ※第6章「6.1.1.(3) i.、iii.」、「6.1.2.(3) iii.」 風量制御の事例を記載

▽ FFU 間引き運転

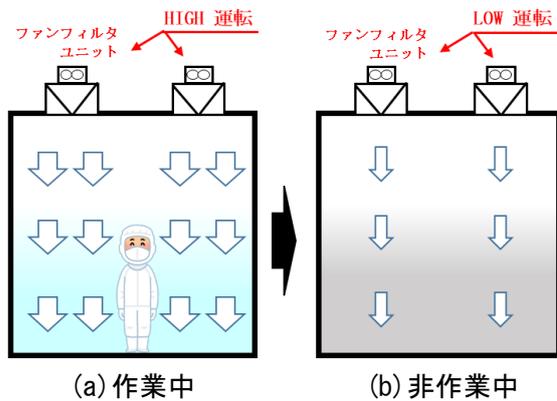
FFU の「部分機器停止（間引き運転）」により、循環風量を低減する。

※この機器停止事例を、第6章「6.1.3.(2) i.」に記載する。

<FFU の機器停止を考慮した FFU 配線>

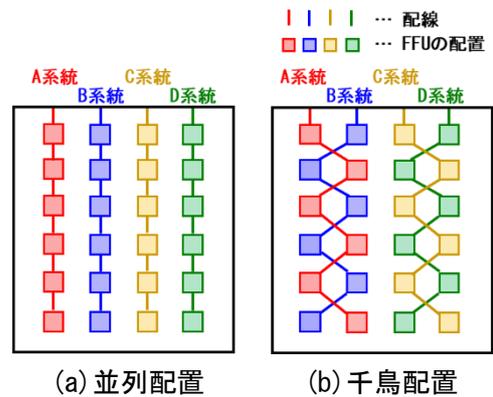
FFU 方式の制御配線は、図 2-11 の (a) 並列配置のように列ごとに設定されることが多い。FFU の機器停止による 50%間引き運転をする場合、(b) 千鳥配置のように配線を施すことで、FFU からの給気がバラツキのない均一な気流になり、CR 内の清浄度の偏りが抑えられる。

そのため、FFU 機器停止による夜間休日モード運転を考慮する場合、CR 内の実験装置や生産装置等の配置を踏まえ、FFU の配線を検討することは有効である。



(a) 作業中 (b) 非作業中

図 2-10 休日夜間モード運転【A】
循環風量低減のイメージ



(a) 並列配置 (b) 千鳥配置

図 2-11 間引き運転を考慮した
FFU の配線

▽ 留意点

- ・循環風量低減時、回復時間の算定は、第2章「2.3.5.」記載の清浄度計測を行ったうえで計画する
- ・循環風量は、清浄度維持及び温湿度環境の維持を共に満たす風量で決定しており、温湿度環境が維持できる風量を下回らないようにする必要がある。
 ※第2章「2.3.2.（注記）」参照。

第3章 室圧の取扱い

本章では室圧に関する設計上のポイントを示し、室圧の観点からアプローチできる省エネ手法を紹介する。本ページに、本章の省エネのポイントを集約した。

3. 1. 省エネのポイント

表 3-1 室圧に関する省エネのポイント

キーワード	具体的な省エネ対策	参照	費用対効果	
			コスト	省エネ効果
外気導入量	(設定見直し) 適切な外気導入量の設定	3.3.1.1.	☆	○
外気導入量	(建築計画) 貫通部からの空気の漏れを防ぐ	3.3.1.2.	△	△
外気導入量	(日常管理) 入室管理	3.3.1.3.	☆	△
外気導入量	(設定見直し) 排気量の削減	3.3.1.4.	◎	◎
空気抵抗	(建築計画) ダクトを含む経路内の空気抵抗の低減	3.3.2.1.	△	△
空気抵抗	(機器選定) 低圧損フィルタの採用	3.3.2.1.	○	△
空気抵抗	(日常管理) フィルタの清掃・交換	3.3.2.1.	○	△
搬送機器	(機器選定) 制御機器のインバータ方式の採用	3.3.2.2.	○	△
搬送機器	(機器選定) 空気搬送機のモータの省エネ機の採用	3.3.2.3.	◎	△
搬送機器	(機器選定) 空気搬送機の選定	3.3.2.3.	○	△

	コスト	省エネ効果
☆	工事費なし	
◎	安い	高い
○	普通	普通
△	高い	低い

(注記) 記号は著者の経験則より設定

3. 2. 設計上のポイント

3. 2. 1. CR 計画・設計のポイント並びに手法（考え方・厳守事項等）

3. 2. 1. 1. 陽圧の維持

(1) 陽圧維持の必要性

CR が周囲に対して陰圧（または同程度の圧力）の場合は、周囲の清浄度クラスの低い環境から塵埃が流入し、求められる清浄度の維持ができない。そのため、CR は周囲に対し陽圧を維持できるように加圧を行う必要がある。

※CR 陽圧維持に必要な条件 → 外気導入量（加圧空気）が、“生産機器・実験機器の排気量”と“CR からの漏れ空気量”の総量を上回る必要がある

※CR 陽圧維持の効果 → 外部からの塵埃・ガスの侵入を防ぐ、CR 内で発生した塵埃が室外に排出されやすくなる

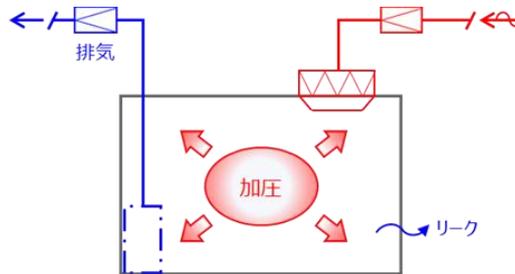


図 3-1 CR の陽圧（加圧）イメージ

(2) 室間差圧の重要性

対象の CR に対し、その周囲の室が CR であった場合や一般室であった場合、異なる清浄度の CR 間では、低い清浄度域の空気が、より高い清浄度域に流れ込まないように室間差圧を保たなくてはならない。一般室（Non-Clean）から準清浄域（更衣室やパスボックスなど）、低清浄域、高清浄域の順に室圧が 5~10Pa ずつ高くなるように、設計するのが一般的である。（参照：図 3-2）

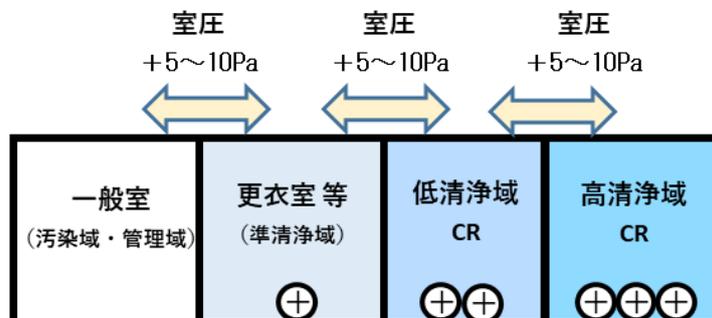


図 3-2 室間差圧のイメージ

＜室間差圧の注意点＞

室間差圧が大きすぎると下記の問題が出るため、注意が必要である。
(30Pa 以上の室間差圧は特に注意)

- ・ CR の内装破壊
例) CR 壁面の倒壊、CR の天井の浮き上がり、ドアの開閉支障
- ・ 内装間仕切り、また扉部などの開口部からの風切り音の発生
- ・ CR 内の作業者の体調不良

各室の適正な室圧制御、また綿密な平面レイアウトの計画が必要である。

※有害ガス取扱の室、製造時に発生する粉塵が他の工程に悪影響を与える室は、清浄度にかかわらず周囲の室よりも低い室圧(陰圧)に設定することがある。

(3) 室圧維持における制御の重要性

(1) の陽圧(室圧)、(2) の室間差圧を維持するために、外気導入量(加圧空気)が“生産機器・実験機器の排気量”と“CR からの漏れ空気量”の総量を上回る必要がある。そのため、排気量に対し外気導入量を調整(または外気導入量に対し排気量を調整)する室圧制御が必要になる。室圧制御には、「手動制御」「自動制御」がある。

i. 手動制御

圧力調整用に、給気、排気の各風量ダンパを手動で調整し、CR 内を陽圧にする。排気量の変更があった場合は、各ダンパを手動により再設定する必要がある。ただし、排気に変動がある CR では採用できない。

ii. 自動制御

自動制御は、差圧発信機で室圧(または室間差圧)を検知し、必要な外気導入量(または排気量)を制御する。

3. 2. 1. 2. 加圧量

CR は、気密性の高い内装材で構成されるが、100%の気密は取れない。内装材からの漏れ量を想定し、室容積の1~2(回/h)程度の加圧を見込む必要がある。

また、適切な内装材、適切な貫通部処理を行い、空気の漏れを少なくする。

漏れ量を少なくするため CR の開口部(※)は小さくする。

※ 開口部・・・工場の搬送コンベア用開口などふさぐことができない開口

3. 2. 2. 関係機器・システム等の説明

3. 2. 2. 1. 室間差圧維持方法

(1) 微差圧ダンパによるCRの適正な室間差圧維持

室間差圧維持のために、実験・生産排気がないCR、排気はあるが排気量の変動が少ないCRにおいて、微差圧ダンパが採用される場合が多い。ここでは、微差圧ダンパの概要を記載する。

<微差圧ダンパ> 別名：陽圧ダンパ、差圧ダンパ、バロメトリックダンパ

- ・CRの壁面や、CRの隣接室へ繋がるパスダクト内に設置する圧力調整機器
- ・CR間の適正な差圧を維持する

CRは常時陽圧を維持する必要があるが、その圧力が高すぎると扉の開閉が困難になるなどの弊害が発生する。微差圧ダンパは圧力を逃がし、名前の通り微差圧を調整することで室間差圧をつくる。



(a) 丸型



(b) 角型

(a) の出典：協立エアテック（株）ホームページ掲載のカタログより引用
(2022年3月確認)

(b) の出典：クリフ（株）ホームページより引用
(2022年3月確認)

図3-3 微差圧ダンパ例

コラム(6)
CRの高圧化

微差圧ダンパで設定できる室間差圧は一般的に10Paであり、図3-4のように、微差圧ダンパを直列に多用した場合、最も室圧を高くするCRが周囲に比べて極端に高圧化する恐れがある。この室間差圧の増加により、第3章「3.2.1.1.(2)」<室間差圧の注意点>に記載する問題点が発生する可能性があるため、注意が必要である。

室間で差圧をつけると累積で最上流と最下流での差圧が過大になる。そのため、圧力の上昇および差圧確保のための外気導入量が増えるため、差圧の設定値に注意が必要である。

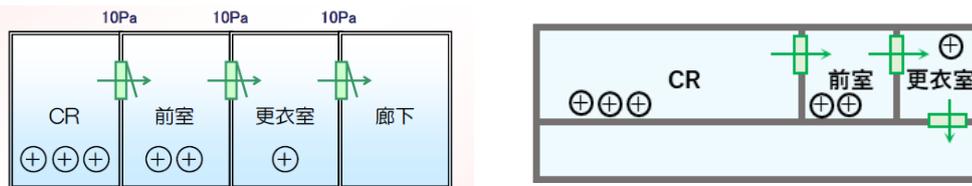


図3-4 微差圧ダンパの注意 イメージ

(2) 室圧制御（自動制御）による室圧の維持

CR 内に実験・生産排気があり、かつ、この排気量が変動する場合、室内の圧力バランスを一定に保つため、給気（加圧空気）を排気量の変化に追従するシステムが必要である。以下に、代表的な自動制御による室圧の維持について記載する。

i. 単独室の CR の室圧制御（図 3-5 参照）

※1 台の加圧装置（主に外調機）に対し、CR が一部屋単独の場合

- CR の排気量に対し、インバータ等の回転数制御(*1)にて加圧装置ファン（図 3-5 外調機）の給気風量を調整することによって、室圧（室間差圧）制御を行う。
(*1)ファンのインバータ制御：第3章「3.3.2.2.」参照
- CR は周囲の室に対して、陽圧を維持する必要がある。CR の陽圧は、周囲の室との室間差圧、または基準圧（機械室や、廊下天井内等の圧力変動の少ない代表室内）との差圧にて管理する。

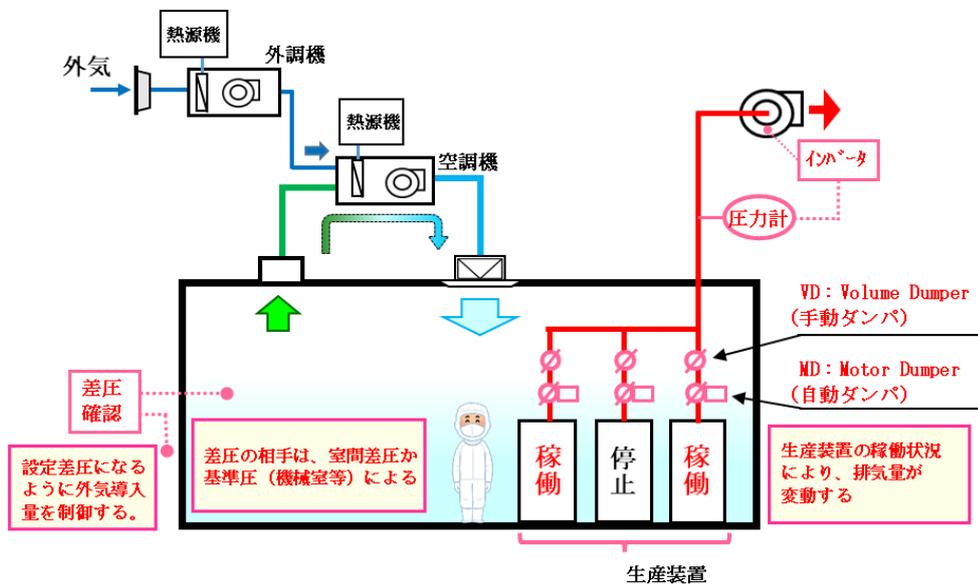


図 3-5 単独系統の場合の室圧制御

ii. 複数室の CR の室圧制御（図 3-6 参照）

※1 台の加圧装置（主に外調機）に対し、CR が複数ある場合

- 室圧（室間差圧）の調整は、メインの給気ヘッダーダクト吐出圧力により、加圧装置ファンの風量をインバータ等の回転数制御で行う。
- メインの給気ヘッダーダクト吐出圧力を一定に、かつ、その圧力を高めに設定（500～700Pa 程度）する。
- 対象となる各 CR の室内圧力が設定値になるように、分岐ダクトの風量を調整する。風量の調整には、VAV（Variable Air Volume: 変風量装置）やリニア特性モータダンパ（LMD）（※）を使用することが多い。

※リニア特性モータダンパ（LMD）：平行翼形のダンパと電子式リニアライズ特性アクチュエータにより正確な風量制御を行い、指令信号に従って直線的に風量を制御するもの

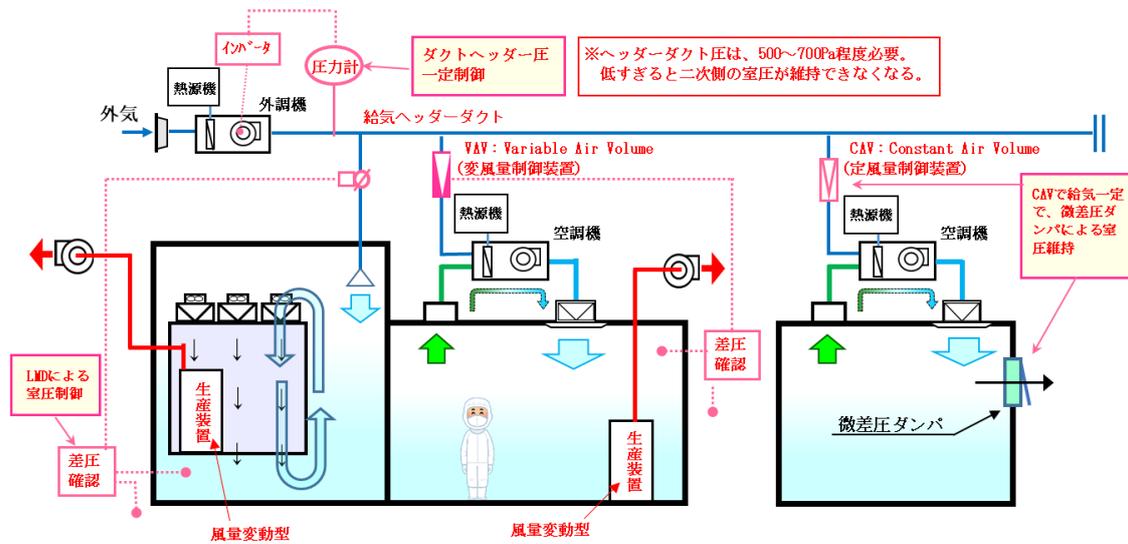


図 3-6 複数系統の場合の室圧制御

(注記) 自動制御と微差圧ダンパの併用

- CR 内排気量変動する室圧制御システム上に、微差圧ダンパを併用して使用することは極力避けるべきである。
- 給気風量の自動制御において、排気装置の運転による給気量(加圧量)の増加は、微差圧ダンパの通過風量増加を招く傾向にあり、室圧制御の不具合となる場合がある。
- ただし、CR 内装破壊の防止、CR 附属室の陽圧維持の観点から、更衣室などに、微差圧ダンパを設置し、若干量の排気を行う場合がある。

3. 3. 省エネ設計・改造の手法

3. 3. 1. 外気導入量の低減

室圧の維持の観点で、エネルギー消費に影響するのは、外気導入量(加圧空気)である。外気導入量の低減は、搬送動力の低減、そして、外気の熱処理に必要なエネルギーの低減につながる。外気導入量低減のポイントは、下記「3.3.1.1.」～「3.3.1.4」に記載する。

3. 3. 1. 1. 適切な外気導入量の設定

加圧量は、第3章「3.2.1.2」に記載した通り、室容積の1～2(回/h)程度の加圧量が適当である。室容積に対する現状の外気導入量が過剰でないかを再度見直す。加圧量を変化させる際は、必ず対象のCR及び関係する周囲の室圧を確認しつつ行うことが重要である。その上で、外気導入量を、各室の室圧がコントロールできる外気最小導入量まで低減する。

3. 3. 1. 2. 適切な内装材の選定・貫通部処理

CR新設時に、気密性・断熱性の高い適切な内装材で、適切に施工する。そして、現状の内装設備において、開口部の塞ぎ状況、適切な貫通部処理が行われているか確認し、空気の漏れを少なくすることが、加圧空気量の低減につながる。

開口部・貫通部は、搬送コンベア用開口などふさぐことができない開口、及び配管、配線の貫通部、照明器具等の周囲の処理などを確認する。

※内装材の選定：第1章「1.6」参照

【補足】国際規格へのエネルギー効率向上の追加

“エアリーク(空気漏れ)が少なくなれば外気導入量を減らせる”

2019年に国際規格ISO 14644にPart-16が追加され、CRのエネルギー効率向上の考えが追加された。これもあり、CR内へのクリーンエア供給(非一方向流型)で、室内陽圧を維持するための外気導入量のロスを減らすことが、従前よりも重要になった。

そのため、CRのパネルやダクト部の気密性の確保、かつ照明部や吹出口ユニットのCR天井パネル取付面のエアリーク対策として、シール処置がさらに重要となる。

3. 3. 1. 3. 入室管理

人・物の入退出時に室間差圧に乱れが生じないように、扉はエアロック方式(P10コラム(2)参照)をとる必要がある。室間差圧の無い隣り合う2室については、この限りではない。

3. 3. 1. 4. 排気量の低減

CR では、実験や製造のために多くの排気を必要とする場合が多いが、前述のようにCRの陽圧維持には、排気量に応じた外気導入量が必要である。この外気をCRへ供給するにあたっては、夏期は冷却・除湿、冬期は加熱・加湿が必要なため、多くのエネルギーを消費する。

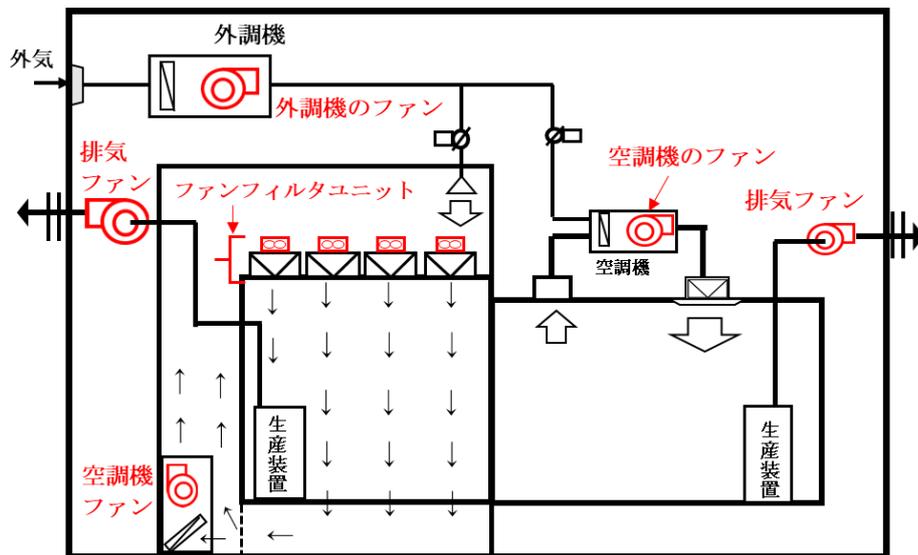
このことから、排気量の低減が、CRのエネルギー消費量の削減に大きく寄与する。

(排気量の低減検討)

- ・必要以上に放出していないか確認する。
- ・装置非稼働時に排気を止められるか、また排気量を低減できるか確認し、可能であれば実施する。
- ・排気量を自動制御で可変させ、適切な運用を検討する。
- ・排気の質（高温、有害なガスか否か、排気の清浄度）を見直し、CR外部ではなく、CR内部へ放出できるか検討する。
- ・夜間や休日などの、実験等非稼働時に排気を止める、または風量を低減できないかを検討する（第2章「2.3.6.」参照）。

3. 3. 2. 空気搬送機器に直結する省エネ要素

CR では外気導入、空気の循環、排気において、搬送空気の風量が多くなるため、空気搬送機器の各種ファンのエネルギー消費量が大きくなる。機器のエネルギー消費量低減には、以下「3.3.2.1.経路抵抗の低減」、「3.3.2.2.空気搬送機の風量制御による消費電力の低減」、「3.3.2.3.省エネ機の採用」が効果的である。



※赤字：空気搬送機器

図 3-7 CR 空気搬送系のイメージ

3. 3. 2. 1. 経路抵抗の低減

(1) ダクトを含む経路内の空気抵抗の低減

i. ダクト内風速とダクトサイズの選定

ダクト内の摩擦抵抗は風速の2乗に比例するため、ダクト内風速を落とすことで搬送空気の抵抗が減り、ファンの省エネにつながる。このダクト内風速を落とす方法としては、ダクトサイズを大きくすることになる。

そのため、設計時にダクト内風速に上限となる管理値を設定し、管理値以下でのダクトサイズを選定する。

ii. 抵抗の少ないダクト形状の採用・ダクトルートの簡素化

ダクトの曲がり、分岐、ダンパ等の障害物がある箇所において、気流の速度変化や方向変化、断面変化等による抵抗があり、これを局部抵抗という。

局部抵抗は、直管部に比べて抵抗が大きいため、抵抗が少なくなるダクトルートの計画や局部抵抗の少ない部材の選定を行う。

(2) フィルタによって発生する空気抵抗の低減

i. 低圧力損失フィルタの採用

第2章「2.3.4.」より、塵埃を含んだ空気が通過する“フィルタろ材面積”を増やすことで、フィルタ単位面積当たりの風量低減になる。その結果、フィルタ抵抗の低減になることから、ファンのエネルギー消費の低減につながる。

フィルタのろ材選定における省エネアプローチとして、ろ材の折込量を増やして低圧損型（多風量型という場合がある）（表2-3 No.3）とした製品があり、採用可能な範囲で低圧損フィルタを採用することが望ましい。低圧力損失のフィルタであれば、CR内の陽圧維持に必要な搬送空気の抵抗を小さくできる。

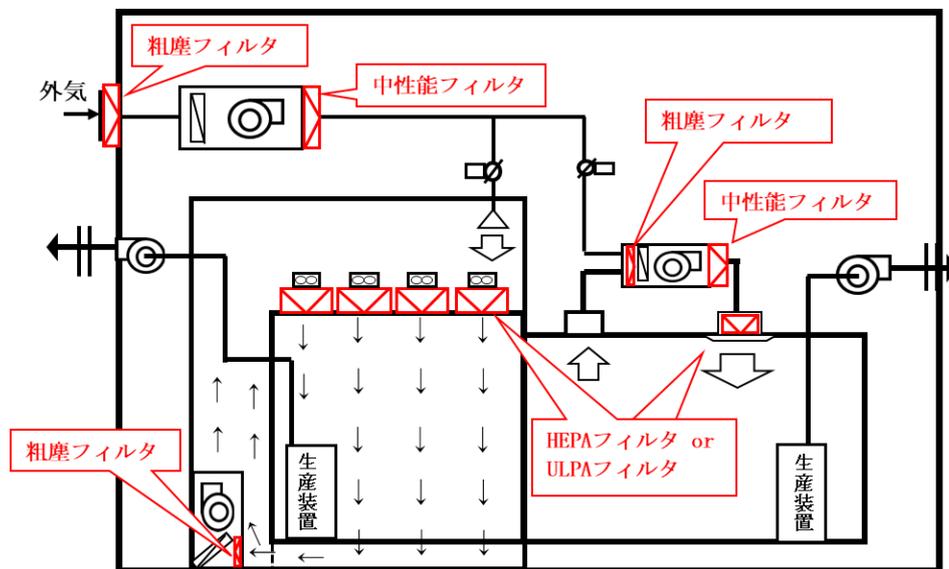


図3-8 各種フィルタの設置位置（例）

(a) HEPA・ULPAフィルタ

ガラス繊維製ろ材の場合

ろ材として、主流であり、経年変化に強く難燃性の素材である。ガラス繊維製ろ材においては、標準型と低圧損型（多風量型）の2種類があり、以前のCRでは標準型が主流であった。近年になり、低圧損型（多風量型）が市場に出てきており、現在は天井設置スペースの制限もあり、低圧損型（多風量型）が採用されるケースが多くなってきている。

PTFE（フッ素樹脂繊維）ろ材の場合

ガラス繊維ろ材と比較し、更に低圧損型である。半導体製造装置や特殊なクリーンブース等のCR内設置に有効である（ガラス繊維ろ材に対し塵埃保持容量が少ない）。

（注記）PTFEのろ材は、火炎に晒されるとまたたく間に燃えるため、スプリンクラーの設置が必要である。発煙量は少ないが有毒性ガスの一部発生するため注意が必要である。

(b) 中性能フィルタ

中性能フィルタでは、ガラス繊維ろ材、樹脂系帯電ろ材（ μm オーダーの微小粒子を、電荷を利用して捕集性能を高めている）がある。

樹脂系帯電ろ材は、圧力損失が低いので省エネ型として使用されていることが多いが、CR用途では不向き。これについては、「P22 コラム(4) 中性能フィルタの留意点」を参照。

<中性能フィルタの効用>

中性能フィルタは、HEPA フィルタなどの前処理用として必須である。捕集しきれないサブミクロン粒子（ $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ ：HEPA の目詰まりに一番影響を及ぼす）がHEPAの寿命を早める。そのため、ガラス繊維製（破れない限り捕集効率の低下が無い）の中性能フィルタの使用が必須になる。

<中性能フィルタ スペースの活用>

設置スペースが許せば、ろ材面積の大きな中性能フィルタ（例えば、吹き流しタイプや、多プリーツ型）を選定すると、塵埃の保持容量も多く、ろ材面を通過する速度が小さくなる。その結果、低圧損、高捕集効率となるので、省エネに寄与すると共に、後段のHEPAフィルタの長寿命化につながる。

ii. フィルタの清掃・交換

フィルタの日常清掃により、目詰まりが解消され、フィルタの圧力損失が下がる。以下に、フィルタの清掃と交換について、記載する。

(a) 清掃

粗塵フィルタは、日常清掃することにより、目詰まりが解消されフィルタの圧力損失が下がる。

- 粗塵フィルタ : ろ材種類により、洗浄再生可能
- 中性能フィルタ : 洗浄再生不可
(捕集効率の低下があるため、CRでの再生利用は不可)
- HEPA フィルタ : 洗浄再生不可
- ULPA フィルタ : 洗浄再生不可

(b) 交換

フィルタ交換の管理項目・交換時期の判断 (HEPA・ULPA フィルタの場合)

CR 運転における HEPA (ULPA) フィルタの交換頻度の目安については、運転管理を行っていくうえで把握する必要がある。

フィルタの交換時期の判断としては、以下の管理項目がある。

・フィルタ差圧による管理

CR の室圧や、フィルタユニットに取り付けた差圧計をチェックする。管理送風機の省エネ運転を勘案した場合、フィルタ差圧が初期差圧値の2倍(目安)になる前に交換する。

・室圧/風速(風量)による管理

フィルタ面風速(=風量)がCRの設計風速を満たさなくなったときに交換することが望ましい。

(注記)

- ・極端な清浄度低下を確認したときは、フィルタ破損の可能性があるため、リーク測定(パーティクルカウンタやフォトメータ:フィルタ透過率検査装置による測定、第2章「2.3.5.(2)」参照)を行い、確認する。
- ・フィルタの設置環境による、フィルタ構成材料への環境ストレス(環境空気質、紫外線の影響など)にも留意する。
- ・産業分野によっては、フィルタ機器の定期的なリーク検査(漏れ確認)を実施し、フィルタに不具合があった場合は交換する。
- ・HEPA フィルタ等は、ガラス繊維やテフロン膜の物が多く、耐薬品性にも優れるが、フィルタを構成する材料には樹脂材料や接着剤などもある。そのため、一般的なCRの使用では、上記の管理項目から外れていなくとも、**使用開始から5年から8年程度での交換**を目安とするCRの管理指標等も出てきはじめている。

3. 3. 2. 2. 空気搬送機の風量制御による消費電力の低減

用途に応じた適切な風量に制御することが省エネにつながるが、風量制御の方法によっても省エネ効果に差が出る。代表的な手法にボリュームダンパ制御とインバータ制御がある。空気搬送機器（ファン）の風量制御において、ボリュームダンパ制御よりも省エネ効果が高いインバータ制御の採用が望ましい。なお、インバータ制御はボリュームダンパ制御よりもコストが高いため、省エネ効果とコストを勘案しての決定になる。図 3-9 に能力線図を添付する。

ボリュームダンパ制御：ボリュームダンパによってダクト経路に抵抗を設けて風量を制御する。

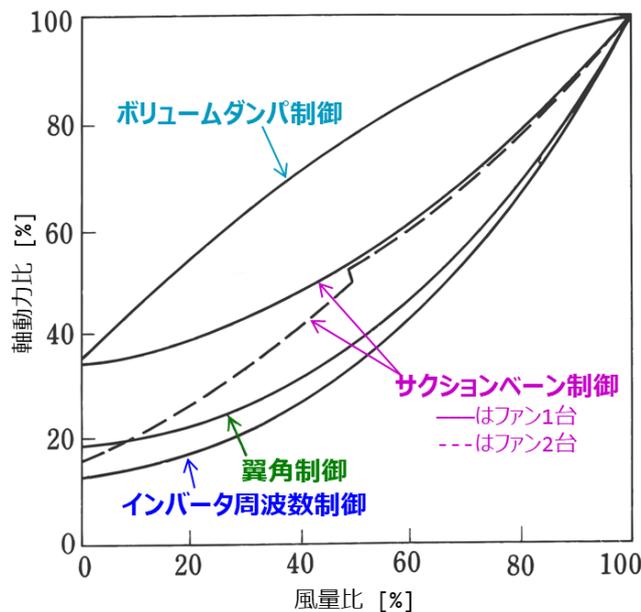
インバータ制御：空気搬送機器（ファン）モータの周波数をインバータ制御し、モータ回転数を変化させる。

(注記) インバータ制御において、モータ回転数は下げられる限界があり、それより低い回転数で運転すると、モータが回らない・発熱する・インバータ出力が不安定になるなどの不具合が発生する場合がある。回転数の下限値は、ファンメーカーへの確認が必要になる。

※第6章 「6.1.1. (3) i.」、 「6.1.2. (3) iii.、iv.」 インバータ制御の事例を記載

【補足】

サクシヨンベーン制御：吸込側に回転方向と同方向の旋回を与えて仕事量を減らす
翼角制御：羽根車の角度を変えて抵抗により風量を調整する



出典：空調調和・衛生工学便覧 第14版 第2巻 p.39 図1・81

図 3-9 各制御における風量比と軸動力比の関係

3. 3. 2. 3. 省エネ機の採用

(1) 空気搬送機器（ファン）のモータの省エネ機の採用

i. 汎用ファンのモータの選定

2015年の省エネ法改正にて多くのファンモータに対し「トップランナーモータの採用」が義務付けられた。そのため、それ以前に設置されたファンモータは高効率機器ではない場合が多い（新設CRは、自動的にトップランナーモータが導入される）。

省エネ法改正前に竣工されたCRで、トップランナー基準を満たしていないモータ（IE1、IE2モータ）が使用されている場合、既存モータをIE3モータへ更新することで、省エネにつながる。

(メモ) IE1、IE2モータ：

2015年以前に採用、法改正により製造中止。

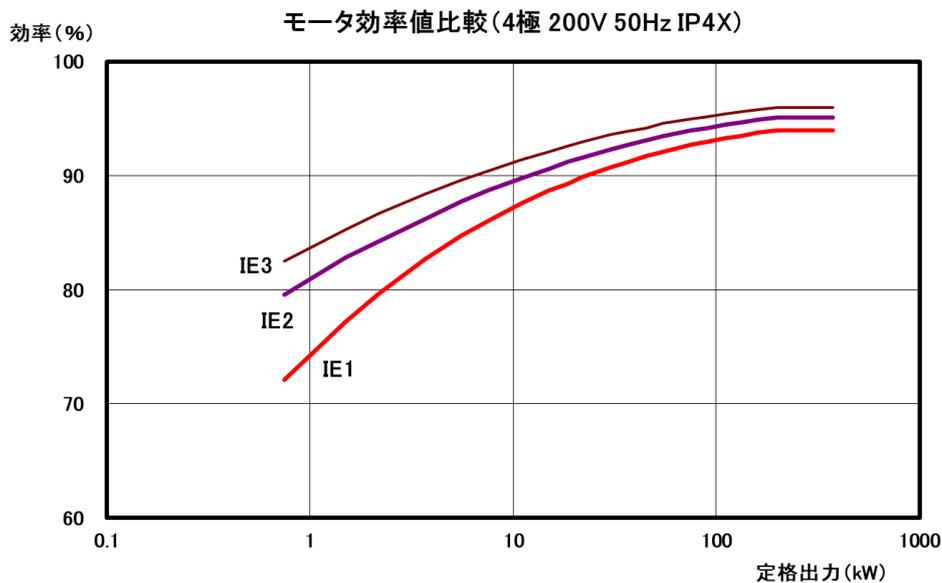
2015年以前での国内シェア 97%

IE3モータ：

2015年以降標準搭載品、トップランナー基準適合品

※IE：International Energy-efficiency Class

※対象となるファンモータの適用範囲は省エネ法参照



出典：一般社団法人 日本電機工業会、
地球環境保護・省エネルギーのために トップランナーモータ P1

図 3-10 モータ効率比較

ii. FFUのモータの選定

FFUで頻繁に使用されるモータにDCモータ(直流モータ)とACモータ(交流モータ)がある。DCモータは、ACモータよりも高価だが回転数を無段階に効率よく変えられ、かつモータ稼働に必要な電流値も小さい。モータ選定時は費用対効果を勘案し、採用可否を判断する。以下に、それぞれのモータの特徴を記す。

(a) DCモータ(直流モータ)

- ・回転数の変更が容易
- ・起動トルクが高く回転速度に応じてトルクが変動する
- ・小型化が容易、大型化が困難
- ・効率が良く省エネに向いている

(b) ACモータ(交流モータ)

- ・回転数の変更は難しい
- ・トルクのムラが少ない、安定した長時間運転に向いている
- ・大型化が容易

(2) 空気搬送機器(ファン)の選定

空気搬送機器(ファン)を選定する際、送风量および経路の圧力損失を考慮して行う。この時、使用する系統(外気導入、排気、循環)により適した型式があるため特徴に留意して選定する必要がある(表3-2)。過大な容量の送風機を選定すると省エネに反するため設計計算に基づく適切な容量を選定する。

ただし、天井チャンバ方式のCRでFFU方式を採用する場合(図3-11)は、注意が必要である。天井チャンバ内の圧力(静圧)分布などにより、FFU前後の静圧差が大きくなる場合、圧力変化に対し、风量変化が少ない特性を有する機器を採用することも有効な選択肢である(※)。

(※)文章出典：公益社団法人 日本空気清浄協会 編：クリーンルーム環境の計画と設計(第3版)、オーム社(2013)、p.143、7・1 空気調和設備 (3)ファン特性

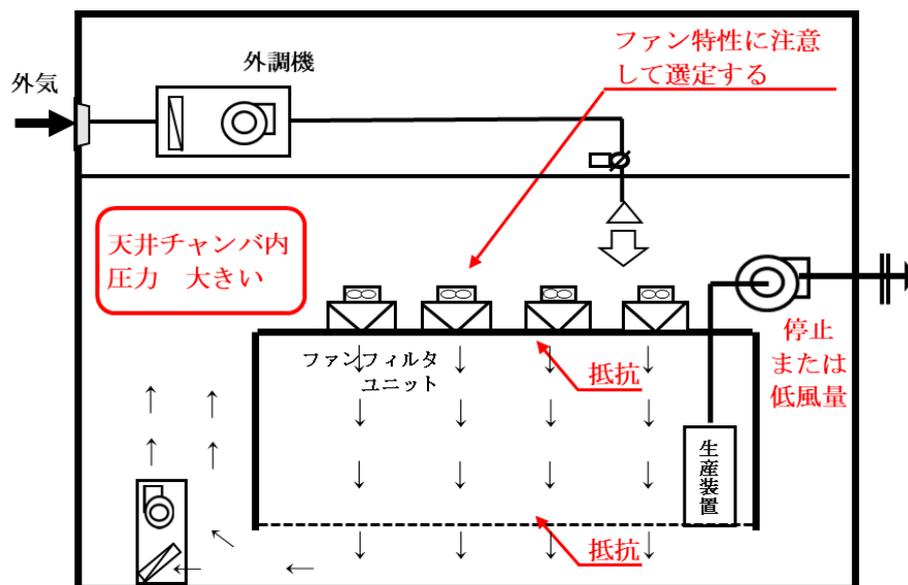
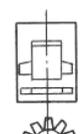
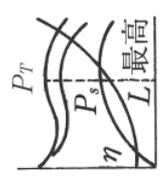
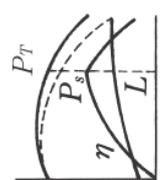
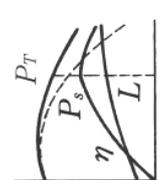
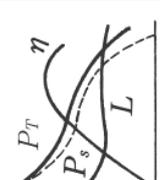
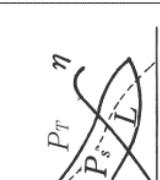
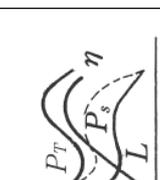
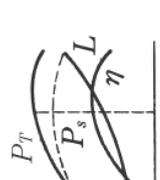


図3-11 天井チャンバ方式のファン選定

表 3-2 各種ファン（送風機）の分類

種類	遠心送風機			軸流送風機		横流送風機	
	多翼送風機	後向き送風機	翼型送風機	プロペラ型	ペーン型		
通称	シロッコファン	ターボファン リミットロードファン	ターボファン リミットロードファン	ラインファン	—	—	
概要	空調・換気用に最も用いられる送風機である。オーバードライブしない小型のもので、消音ボックスをもつ「ストレートシロッコファン」にも選択される。	排煙機や、高圧ダクト系統に用いられる。オーバードライブしない、後向き送風機と比べて、効率が高まっている。	羽根車が翼形状になっており、後向き送風機と比べて、効率が向上している。	軸流ファンと遠心ファンの中間の位置するファンである。直動型であり、メンテナンス工数を低減することも奇とする。	大風量かつ低圧な型である。この特性上、壁付けなど吸込みから吐出しまでの短い箇所にも用いられる。また、ファンフィルタユニットのように入口まで短い機器に組み込まれている。	軸流型の排煙機や、トンネル換気用のファンに用いられている。	機器の中に組み込まれているか、気流をつくる搬送ファンとして利用されている。
羽根車 ケーシング							
特性							
主な適用先	一般空調用	排煙機	空調機組込用	機械室・工場内換気	有圧扇、バイブファン	排煙機、トンネル換気	エアカーテン
風量 [m³/h]	600 ~ 120,000	1,800 ~ 150,000	1,800 ~ 150,000	600 ~ 18,000	1,200 ~ 30,000	2,400 ~ 120,000	180 ~ 1,200
静圧 [Pa]	100 ~ 1,230	1,230 ~ 2,450	1,230 ~ 2,450	100 ~ 590	0 ~ 100	100 ~ 790	0 ~ 80
効率 [%]	35 ~ 70	65 ~ 80	70 ~ 85	65 ~ 80	10 ~ 50	75 ~ 85	40 ~ 50

注 1)この表は『空気調和・衛生工学便覧 第14版 第2編』の第1章 表1-5 を修正して作成している。 2)この一覧表は片吸込み型を基準にしている。 3)それぞれの値は大体の目安である。

出典：空気調和・衛生工学便覧 第14版 第2巻 p.29 表1-5

第4章 温湿度の取扱い

本章では温湿度に関する設計上のポイントを示し、温湿度の観点からアプローチできる省エネ手法を紹介する。本ページの「4.1.」に、本章の省エネのポイントを集約した。

4. 1. 省エネのポイント

表 4-1 温湿度に関する省エネのポイント

キーワード	省エネのポイント	参照	費用対効果	
			コスト	省エネ効果
温湿度	(設定見直し) 室内温湿度設定の緩和	4.3.1.	☆	○
外気導入量 排気量	(設定見直し) 外気負荷の低減 ・適切な外気導入量の設定 ・排気量の削減	4.3.2.1.	☆	○
		4.3.2.1.	△	◎
建物断熱	(建築計画) 外壁の仕様見直し(断熱)	4.3.2.2.(1)	△	○
高効率機器	(機器選定) LED照明の採用	4.3.2.2.(2)	◎	○
高効率機器	(機器選定) 高効率の実験装置の採用	4.3.2.2.(3)	△	○
温度	(設定見直し) 遮熱・設置位置による熱の除去	4.3.2.2.(3)	○	○
熱排気	(運用見直し) 排気・冷却による熱の除去	4.3.2.2.(3)	○	○
熱処理方法	(機器計画) 熱負荷の処理方法	4.3.3.	○	◎
空調熱源機	(運用見直し) 空調機の運用管理	4.3.4.2.	○	◎

	コスト	省エネ効果
☆	工事費なし	—
◎	安い	高い
○	普通	普通
△	高い	低い

(注記) 記号は著者の経験則より設定

4. 2. 設計上のポイント

4. 2. 1. CR 計画・設計のポイント並びに手法（考え方・厳守事項等）

4. 2. 1. 1. 室内温湿度の設定と許容値

（1）CR の空調の特徴

CR 内の温湿度環境維持に必要な空調エネルギーは、一般室のそれよりも大きい。これは下記 5 点が主な要因である。

- ① 室圧維持による外気負荷の増加
- ② 厳しい室内温湿度の要求
- ③ 実験装置や生産装置による発熱負荷（以下、実験装置負荷）の発生
- ④ 清浄度維持のための循環風量に必要な搬送動力機器の熱負荷の発生
- ⑤ 空調の原則 24 時間稼働

（2）室内温湿度を維持する目的

CR の温湿度維持の目的は、下記 4 点が挙げられる。

- ① 製品の歩留まり（製造品の良品の割合）の向上
- ② 適切な実験環境
- ③ 装置の安定した稼働の維持
- ④ 室内作業者の快適性の保持

（3）室内温湿度の設定値と許容値

CR の温湿度環境は、実験や用途や製造工程によるが、一般的に 22℃～24℃前後、相対湿度 40%～55%前後に保つものが多い。

精密工場などでは、機械類や電気回路の破損防止のため、湿度が 40%を超えると、電子機器や精密機器に静電気が発生し、電子回路が破損するリスクがある。また、原料の種類によっては、湿度 50%を超えると腐食リスクが高まり、製品の歩留まり率が悪化する可能性がある。そのため、電子機器工場や精密機器工場では、工場内の温度および湿度にも重点を置いた室内環境管理を行う必要がある。

CR の温湿度管理の基本は、「温湿度変化による工程への影響をなくす」ことであるため、いかに「一定に保つこと」ができるかが重要であって、温度湿度共に厳しい上限値・下限値が設けられる。

なお、設定温湿度の上限値・下限値を厳しくすると、エネルギー消費が大きくなるだけでなく、設備のインシヤルコストも大きくなる。

4. 2. 1. 2. 温湿度環境の維持（熱負荷の処理）

CRの温湿度環境を維持するために、CR内で発生する熱負荷の処理が必要である。

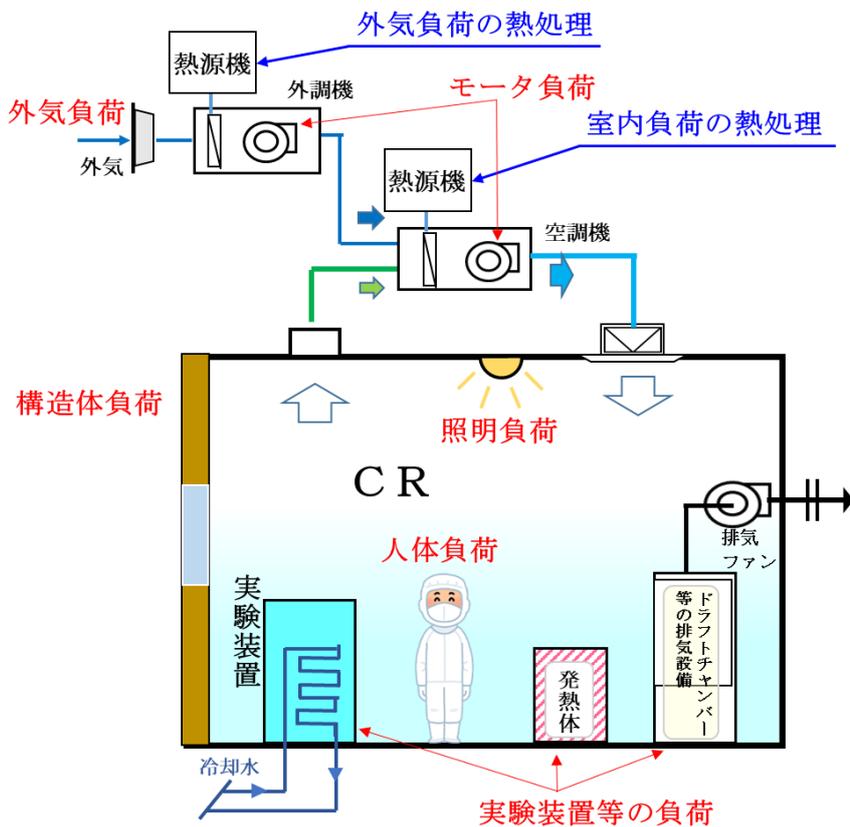
ここでは、熱負荷を外気負荷と室内負荷に区分し、CR特有の熱負荷を明確にした。CRで発生する熱負荷の特徴は、室内負荷に比べて、外気負荷の割合が大きい点である。

■外気負荷

- ・在室者用の外気負荷
- ・室圧維持による外気負荷【CR特有】

■室内負荷

- ・構造体負荷
- ・照明負荷
- ・人体負荷
- ・実験装置と生産装置の発熱負荷【CR特有】
- ・清浄度維持のための各種ファンのモータ発熱負荷（以下、モータ負荷）【CR特有】



※「外調機」と「空調機」は、熱処理を行う「熱源機（室外機）」に接続されている

図 4-1 CRにおける熱負荷と熱処理のイメージ
（熱処理方法：表 4-3 ② 外調機＋空調機方式）

コラム(7)

熱源機・室外機における熱負荷の処理方式

CRの熱負荷の処理は、空調機で行われ、その冷却・加熱には熱源機または室外機が必要である。図4-2と図4-3に、中央式の熱源機と個別分散空調機の室外機を示す。

中央式は、熱源機で生成された冷温水が空調機に送水され、空気と熱交換することで、冷風または温風を生成し室内に供給する。そして、空調機で熱交換した冷温水は、熱源機へ戻り、空気または冷却水(冷房専用機の場合)と熱交換することで熱処理を行っている。一方、個別分散空調機は、配管を流れる冷媒が室内機(空調機)廻りの空気と熱交換を行い、冷風または温風を生成し室内に供給する。室内機で熱交換した冷媒が、室外機にて外の空気と熱交換することで熱処理を行っている。

- ※第6章「6.1.1.」 個別分散空調機の室外機で熱処理を行うCRを記載
- ※第6章「6.1.2.」 中央式の熱源機で熱処理を行うCRを記載
- ※第6章「6.1.3.」 個別分散空調機の室外機で熱処理を行うCRを記載

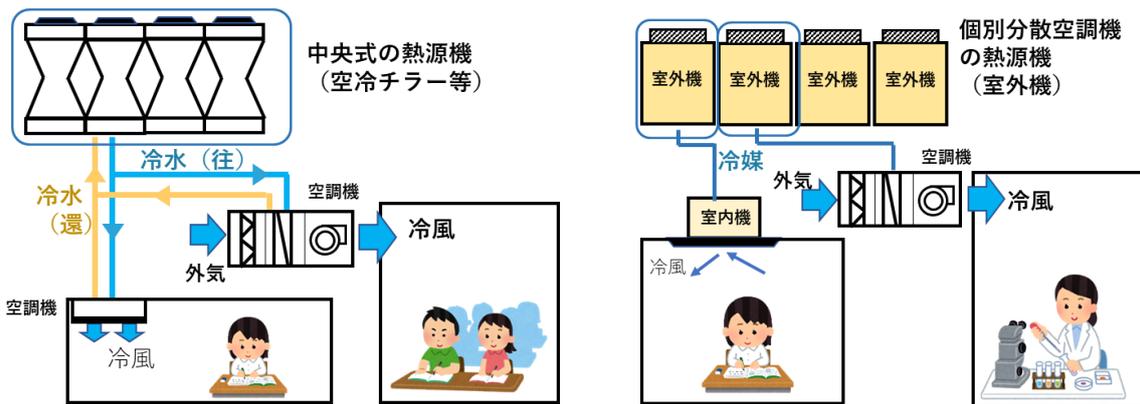


(a) 中央式の熱源機(一例)



(b) 個別分散空調機の室外機(一例)

図4-2 熱源機と室外機



(a) 中央式の熱源機

(b) 個別分散空調機の室外機

図4-3 空調イメージ

4. 2. 2. 関係機器・システム等の説明

4. 2. 2. 1. CRの熱負荷の処理方法

CRの熱負荷の処理方法について、代表的な手法である下記①と②を示す(表4-3)。

① 空調機方式

(⇒ 外気負荷、室内負荷を同一の空調機で処理する方法)

空調機1台で熱負荷を処理する手法は、設備費が②よりも安価で、採用事例が多い。CR規模が大きくなると、②よりもエネルギー効率が低くなる。

- ・空調機・外調機一体なため、インシヤルコストが比較的安価(機器コストが低い)である。
- ・外気処理制御と室内の顕熱処理制御を1台で処理するため、制御難易度が高く、省エネ達成のハードルが高い。
- ・比較的清浄度要求が低く、実験排気等の少ない(外気導入量が少ない)CRに適する。

② 外調機+空調機方式

(⇒ 外気負荷は外調機で処理し、室内負荷を処理する空調機に導入する方法)

外気負荷を外調機で、室内の顕熱負荷を空調機で処理することにより、①に比べて省エネ性に優れる。一方、機器台数が増えるため、インシヤルコスト、機器設置スペースが増加する。そのため、省エネ量とコストと機器設置スペースを加味し採用の可否を判断する。

- ・空調機、外調機それぞれ個別に機器を設けるため、インシヤルコストが①よりも高価(機器コストが高い)である。
- ・外気処理、顕熱処理をそれぞれ分担して制御できるため、制御性に優れる。また過冷却、再加熱といった無駄なエネルギーがなく省エネ性にも優れる。
- ・清浄度要求が高い、実験排気等の多い(外気量が多い)CRに適する。

CRを設計する際、空調システムの設計は重要であるが、コストや省エネ性能とCRの要求仕様を併せて検討することも重要である。規模、実験内容や用途にあわせた方式の選択が求められる。

表 4-3 CR 向け空調方式

	①空調機方式		②外調機+空調機方式	
基本フロー図				
特徴	外気処理、顕熱処理をすべて空調機で行う。		外気処理と顕熱処理を分けて行う。制御性に優れる。	
制御性	○	良い	◎	優れている
設置スペース	◎	設備台数が少ないため設置スペースが小さくて済む	△	機器が複数台になるため設置スペースが必要となる
設備費	○	②より安価：機器台数が少	△	①より高価：複数台設置 例) 外調機:1台、空調機:3台
維持費	○	小規模CRに適する	○	大規模CRに適する

出典：公益社団法人 日本空気清浄協会 編：CR 環境の計画と設計 (第3版)、オーム社 (2013)、p.60 図3・15 より抜粋

4. 3. 省エネ設計・改造の手法

4. 3. 1. 室内温湿度設定の緩和

第4章「4.2.1.1.」に記載されるように、CRの室内環境を維持するためには多くのエネルギーが必要とされる。しかし、CR新設時の温湿度条件が運用時において常に必要な温湿度条件とは限らない場合がある。実験の内容に応じて、設定温湿度（許容範囲）を、CR内作業者の発汗等も勘案しながら、緩和することが可能か確認する。

(注記) CR内での発汗と空調温度

CR内では、クリーンスーツの着衣により発汗しやすい。発汗による汚染物質の発生を抑えるため、一般空調より低い温度（23℃等）に抑え、発汗防止対策を取ることも重要である。そのため、室内温湿度を発汗抑制の温度よりも高く設定することは難しい。

※第6章「6.2.1.」 水熱源の省エネ効果事例を記載

※第6章「6.2.2.」 サーバ室での省エネ効果事例を記載

4. 3. 2. 熱負荷の取扱い

CRの熱負荷について、処理される熱負荷が少なければ、CRの室内環境の維持に必要なエネルギー量も少なくすることができる。CRの熱負荷は、第4章「4.2.1.2.」記載の「外気負荷」と「室内負荷」があるが、これらの低減ポイントを下記に記載する。

4. 3. 2. 1. 外気負荷の低減

CRでは、室内負荷に比べて、外気負荷の割合が大きいことが特徴である。外気負荷の低減は、外気導入量を低減することである。外気導入量の低減については、第3章「3.3.1.」にまとめた。

4. 3. 2. 2. 室内負荷の低減

室内負荷には構造体負荷、照明負荷、人体負荷、実験装置負荷、モータ負荷がある。この中で、構造体負荷、照明負荷、実験装置負荷の低減ポイントを以下(1)～(3)に記載する。

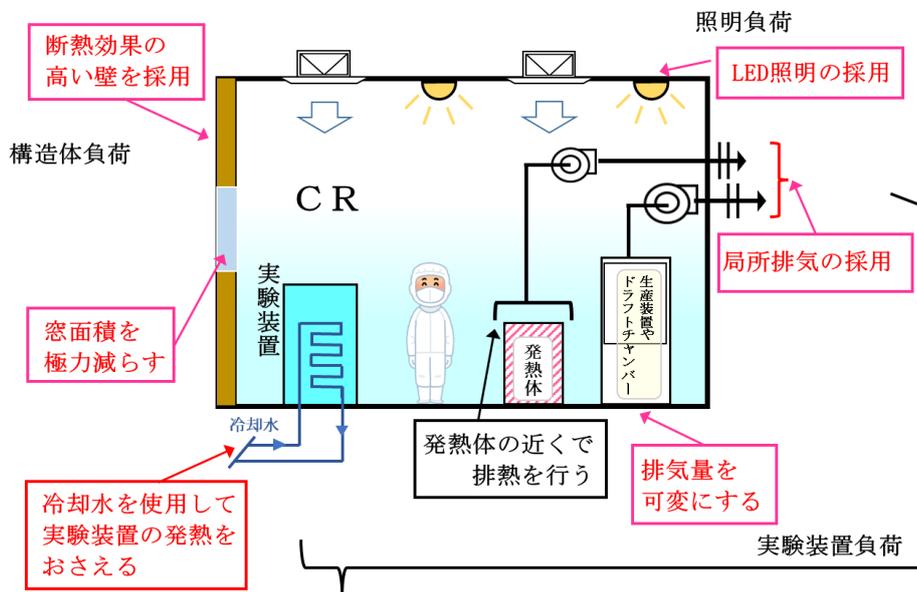


図4-4 CRの熱負荷（室内負荷）に対する省エネアプローチ

(1) 構造体負荷の低減ポイント（外部から侵入する熱を抑える）

i. CRの配置計画

- ・構造体負荷を考慮し、CRは外壁沿いに建設することを避ける。
- ・一般的にCRでの構造体負荷は照明負荷、人体負荷と合わせても文献値から4%程度(*1)のため、非常に小さいが極力減らすべきである。

(*1) 文献数値の積み上げ値

出典：公益社団法人 日本空気清浄協会、CR環境の計画と設計（第3版）
3章クリーンルーム計画、3.3 [4] P57 図3・13

ii. 外部に面する窓面積の極小化

- ・構造体負荷のうち窓面の断熱性能は壁面に劣るため、外部に面する窓面は日射負荷の影響を受ける。
- ・CRを建設する際、原則窓面がないことが望ましい。
- ・やむをえない場合は極力窓面積を小さくし、気密性のあるものを選定する。

iii. 優良断熱材認証の活用と高性能建材の採用

- 高性能建材やトップランナー基準に基づいた断熱性能の高い建材を採用することで、構造体負荷の低減を図る。

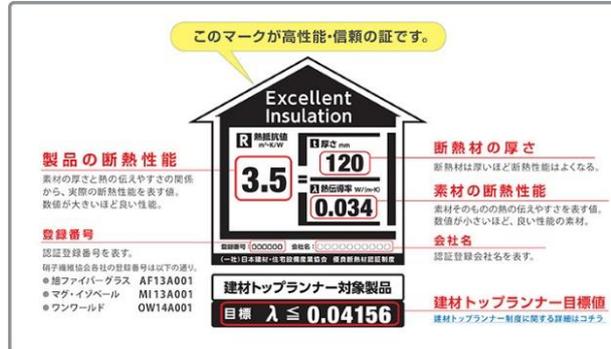


図 4-5 優良断熱材認証制度（E I 制度）の表示マーク例

(2) 照明負荷の低減ポイント

i. 照度の管理

室用途に応じた基準照度を定め運用する。その基準は、JIS Z 9110 に記載の照明基準総則を参考とする。

ii. LED 照明の採用

LED 照明は一般電灯に対し、消費電力、空調負荷ともに削減効果が見込める。また、長寿命なため、交換の手間が少ない。

2019 年度から本学にて複数年で行っている TSCP 促進事業「Hf 照明の LED 化」にて、参考とする数値を図 4-6 に掲載する。

※Hf 照明：(high Frequency) 高周波点灯専用形照明

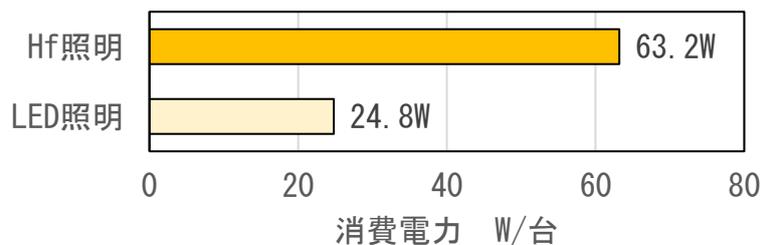


図 4-6 Hf 照明と LED 照明の消費電力比較 (TSCP 参考値)

(3) 実験装置負荷の低減ポイント

i. 高効率の実験装置の採用

- 実験装置負荷は、一般的に CR 室内負荷の約 33%(*1) と大きい
- 高効率の実験装置を採用することで、装置の発熱負荷の低減だけでなく、装置自体の消費電力も低減できる。

(*1) 数値の出典：公益社団法人 日本空気清浄協会、CR 環境の計画と設計（第 3 版）、オーム社（2013）、p.9 図 1・7(a)

ii. 遮蔽・設置位置による熱の除去

- ・断熱強化された機器を採用（既存機器の高断熱化）する。機器や発熱部分の遮熱により発熱量を抑える。
- ・装置の発熱体部分を、CR 外への設置を検討する。

iii. 排気・冷却による熱の除去

- ・装置から直接、または間接的に局所排気を取り、外部へ排気する。
ただし、生産機器の発熱による負荷の除去はできるが、排気の増量に伴い外気導入量も増量になるため、空調負荷の大幅な増加に注意する必要がある。
- ・装置の発熱処理には水冷式と空冷式があり、一般的に水冷式のほうが省エネとなる。

（注記）水冷式の冷却水の温度管理

冷却水の送水温度を 1℃ 上げることで、冷凍機の消費電力を 3% 程度低減が見込まれる。実験用途に要求される水温よりも、冷却水の温度を下げすぎないことが省エネにつながる。

4. 3. 3. CR の熱負荷の処理方法

CR の熱負荷の処理で、外気負荷と内部発熱を 1 台の空調機で行うか、外調機と空調機に分けて行うか検討する。（※ 表 4-3 参照）

（表 4-3 ①）空調機 1 台で熱負荷を処理する手法は、比較的安価ではあるため採用事例は多いが、CR 規模が大きくなるとエネルギー効率の面で若干不利である。

（表 4-3 ②）外気負荷を外調機で、室内の顕熱負荷を空調機で処理することにより省エネになる。一方、機器台数が増えるためイニシャルコスト増となる。そのため、省エネ量とコストを加味し採用の可否を判断する。

4. 3. 4. 省エネへの手法（温湿度等の計測）

4. 3. 4. 1. 熱負荷の計測

(1) 計測項目

システム全体また機器単体の計測を行い、想定値ではなく実測値を得ることにより、実際の熱負荷に対する機器の運転状況の把握、機器の性能が維持されているか確認でき、CRの省エネの計画に役立てることができる。以下に主な計測項目を記載する。

- ① 室内温湿度
- ② 外気温湿度
- ③ 冷水（温水）温度 : 空調機コイル前後や熱源機廻り
- ④ 冷水（温水）流量 : 空調機コイル前後や熱源機・ポンプ廻り
- ⑤ 風量 : 外調機、空調機、また各系統
- ⑥ 消費電力 : 熱源、搬送機器等

- ・空調機、外調機の各コイル出入口水温の計測、コイル水量の計測、通過風量の計測により、それぞれのコイル冷却（加熱）実負荷の把握が可能となる。
- ・熱源機廻りの出入口温度差、流体流量を測り熱量を算出、消費電力を測ることで、空調負荷に応じた消費電力を把握すると共に、各機器単体、およびシステムのCOP（成績係数）、性能劣化等を把握し、省エネ、設備更新の検討を行う。
- ・②の内、外気温度は年間負荷の推移データとして、当該地域の気象庁データの活用も有効である。

上記①～⑥以外の計測項目として、熱源機の性能検証のため、一次側熱量（蒸気量、ガス量等）の計測や、負荷の大きい実験（生産）装置の影響を計るため、その電力量、排気量、冷却水温度等を計測する場合もある。

計測の実施には、常時計測が理想であるが、短期間（負荷ピーク時の計測が望ましい）の計測でも、機器の運転状況の把握、機器性能の確認、そして熱負荷の予測が可能である。

【補足】

本学内のCRや他の実験室では、個別分散空調機を使用している場合が多い。各メーカーでデータを抽出できるサービスがあるため、そのデータを活用することは省エネ検討に有効である。

→第6章「6.2.3.」に具体的な内容を記載する。

(2) 計測機器一例

温湿度計は ISO 7726 に準ずる。
以下に国土交通省の標準仕様を参考として示す。

(5) 温度検出器							
名称		記号	仕様				
区分	形式		機能又は適用		検出範囲 ℃	調節器への 出力信号	備考
電子式・デジタル式	室内形	TE1	制御又は計測		0~40	電圧、電流値 又は抵抗値	
	挿入形	TED1	外気、 ダクト用	制御又は計測	※ -20~50	電流値又は 抵抗値	
		TEW1	配管用	制御又は計測	※ 0~100	抵抗値	
		TEW2	蓄熱槽用	制御又は計測	※ 0~80	電圧又は 抵抗値	
注 (イ) 計測用の検出部の検出精度は±0.5℃とする。 (ロ) 構成素子は、測温抵抗体とする。							
(6) 湿度検出器							
名称		記号	仕様				
区分	形式		機能又は適用		検出範囲 %RH	調節器への 出力信号	備考
電子式・デジタル式	室内形	HE1	制御又は計測		※ 30~80	電圧又は 電流値	
	挿入形	HED1	外気、 ダクト用	制御又は計測	※ 20~80	電圧又は 電流値	
注 (イ) 計測用の検出部の検出精度は±5%RHとする。 (ロ) 構成素子は、高分子素子とする。							

出典：公共建築設備工事標準図（機械設備工事編）平成31年版 P53

図4-7 国土交通省 温度・湿度検出器 標準仕様

4. 3. 4. 2. 空調機の運用管理

CR内において、実験また製造工程では温湿度の管理が重要であるが、夜間等のCR非稼働時は空調熱源機の停止や設定温湿度の緩和ができる場合がある（夜間・休日モード運転：第2章「2.3.6」参照）。これにより、空調熱源機の熱負荷処理量の低減になり、省エネを図ることができる。

(1) 停止検討

実運用における空調熱源機の停止は、夜間や休日などのCR非稼働時が考えられるが、省エネの観点から下記3点を満たす必要がある。試験的に運用を行い、採否を判断する。

空調熱源機の停止条件

- ・ CRの停止期間が長い
- ・ 要求されるCR環境（温湿度）への復帰時間が短い
- ・ 復帰に要するエネルギー量が少ない

※第6章「6.1.3.(2) iii.」 空調機停止の検討事例を記載

(2) 設定温湿度の緩和

設定温湿度は、第4章「4.2.1.1.(3)」に記載するように、設定値また設定許容範囲を厳しくすると、エネルギーを多く消費することになる。現CRのエネルギー消費について把握した上で、温湿度の緩和を検討する場合は、実験条件やCR内作業者の発汗（第4章「4.3.1.(注記)」参照）等を勘案して判断する。

※第6章「6.2.1.」 水熱源の省エネ効果事例を記載

※第6章「6.2.2.」 サーバ室での省エネ効果事例を記載

コラム (8)

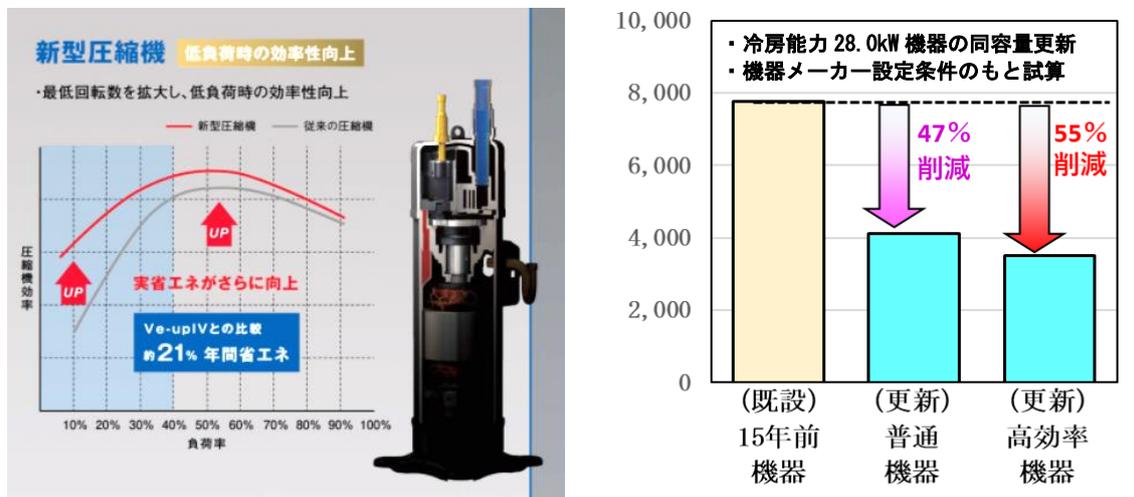
個別分散空調機の高効率化と最適容量化

CR内を要求される温湿度にするために、空調機および負荷に追従する室外機によって、第4章「4.2.1.2.」記載の“熱負荷”の処理を行う。ここでは、室外機の高効率化と最適容量化（イメージ：図4-9）に関する省エネについて記載する。

i. 高効率機の選定

個別分散空調機の各メーカーにて普通機器また高効率機器のラインナップがあるが、各メーカーの開発努力により高効率機ほど低負荷側での効率の低さが改善されている。高効率機の選定ほど、通年の熱処理において一定の省エネ効果が期待できる（図4-8）。

本学内CRの空調機の高効率化試算を行い、第6章「6.1.1.(3)iv.(c)」 「6.1.3.(3)iv.」に試算結果を参考までに掲載した。



図：ダイキン工業（株） 2018年カタログより抜粋

(a) 低負荷時の効率向上

試算結果：ダイキン工業（株）より提供

(b) 普通機と高効率機の省エネ試算

図4-8 個別分散空調機の低負荷側の効率改善と省エネ効果（例）

ii. 最適容量化

室外機の容量（※機器の定格冷暖房能力）が実際の熱負荷に対して、過剰容量になると、図4-9左側の図に示すように熱源機の低負荷で運転が発生する場合がある。低負荷での運転は、機器ON-OFF運転もあり効率が低くなり、エネルギーを多く使うことも考えられる。

(a) 新規CR計画

新規CRの設計時点でCRの熱負荷を想定し、これをもとに熱源機の容量が決定されるが、CR稼働時に設計時の想定熱負荷が発生しない場合は、熱源機の低負荷運転の可能性はある。

そのため、新規CR計画時に、CRに設置される実験機器とその稼働時間、それを使用する研究者の人数、またCR稼働に合わせた外気導入量等の条件を正確に把握できれば、熱源機の最適容量の選定につながり、省エネになる。

(注記)

大学の実験室としての CR は、実験条件が計画時から変わる可能性があるため、熱源機の適容量の設定が厳しい場合がある。このような場合を想定し、新規 CR 計画時に「(1) 高効率機の選定」を考慮する必要がある。

(b) 機器更新にあたり

室外機の稼働状況や処理する熱負荷を把握することができれば、熱源機更新時の適容量化が期待できる。そのため、第4章「4.3.4.1.」記載の計測や、個別分散空調機のメーカーから提供されるデータをもとに、機器システムの劣化診断、また省エネ計画に結び付けることが重要である。

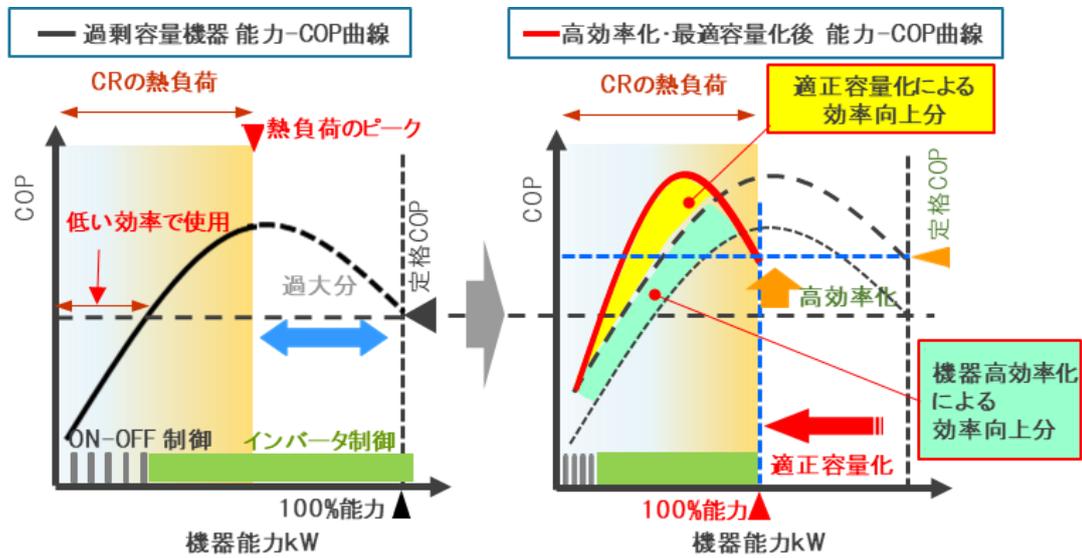


図 4-9 熱源機の高効率化と最適容量化のイメージ
(個別分散空調機の能力-COP 曲線を使用)

第5章 CRの日常管理

本章では運用・日常管理に関するポイントを示し、この観点をもとに省エネに寄与する内容を紹介する。

5. 1. 運用・日常管理による省エネ

CRの環境を維持するために、第1章「1.3.」に示す「CRの四原則」の順守が必要であり、この順守状況によってはCRで行われる実験結果に影響を及ぼすことがある。企業においては、四原則を怠ることで、製品の品質低下また製造プロセスの歩留まりに影響を及ぼすことがある。

四原則を順守したCR環境維持には、空調システムにおけるエネルギー消費が大きく、この省エネ運用につながる手法は、本ガイドラインの第2章～第4章に記載した。第5章では、CRの管理者・作業者の運用・日常管理について記載した。四原則に則った運用・日常管理は、エネルギー消費の要因となる発塵発生の抑制となり、省エネに寄与する。

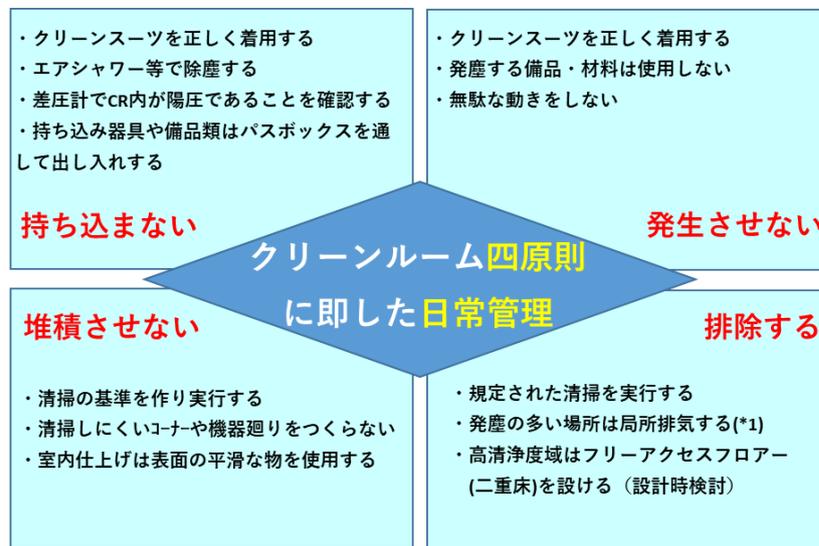


図 5-1 日常管理における CR の四原則

5. 2. CRの発塵源

(1) CRの発塵源

CRの中で一番の発塵源は人である。そのため、作業員には多くの制約が生じる。「人から多くのゴミが出る」という認識と、発塵を抑えるための教育が必要である。この発塵源を如何に絶つかが省エネに大きく寄与する。

最近の半導体や製薬製造工程では、発塵源である人の関わりをできるだけ減らし、自動化、局所化を行う工程が確立されている。これにより、高い清浄度を得やすい環境を作る。

(2) CR 作業者の行動意識

表 5-1 に人からの作業内容による発塵量を示す。これはCR入室前のエアシャワー等による正しい除塵があつての数値である。作業内容またクリーンスーツ着用有無で発塵量に大きな差があるため、CR 作業者の行動意識はCR内での人体からの発塵抑制につながる。

そのため、CRの維持管理において四原則の「1 持ち込まない」「2 発生させない」が重要になってくる。

表 5-1 作業員の発塵目安

作業内容	発塵量 個/分 (粒径 0.5 μm)	
	クリーンスーツ	普通作業服
静止状態	80,000	100,000
上腕作業	300,000	1,000,000
着席作業	700,000	2,500,000
立ち作業	1,000,000	5,000,000
歩行作業	2,000,000	8,000,000

出典：株式会社ホクト総研ホームページより引用
(2022年3月確認)

5. 3. CRの計画と運用

CRの環境維持において、CRの四原則に則った、適切な動線計画とそれに基づく運用、教育とルールの明示が重要である。

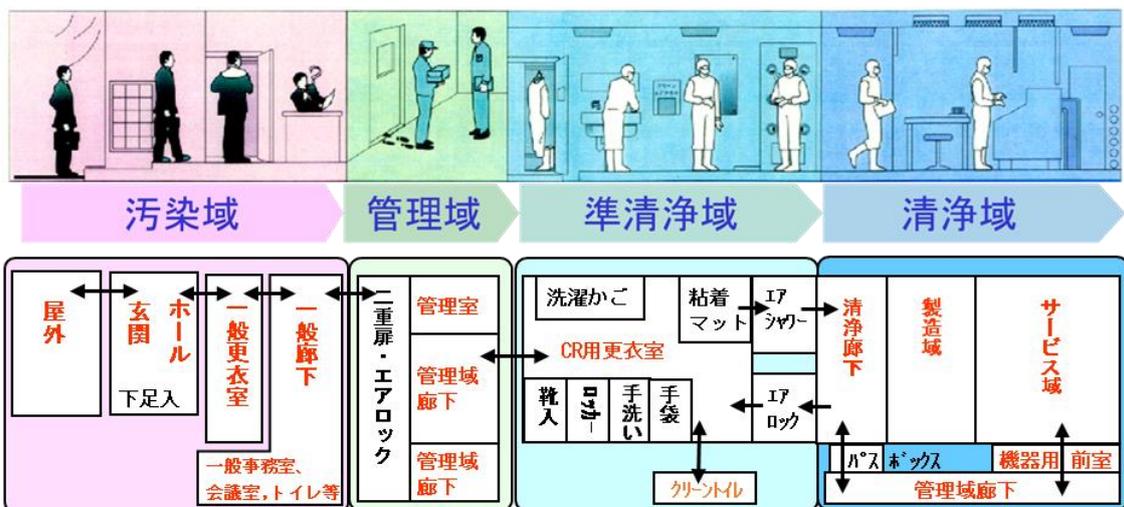
5. 3. 1. CRの計画

(1) CRへの進入動線計画と作業員の意識付け

基本的に汚染域（一般外部）からCRへの移動は、徐々に清浄度の高いエリアへ移動していく進入動線を基本とする。図5-2に示すように【汚染域】【管理域】【準清浄域】【清浄域】のように清浄度にあわせてエリアを区画し、管理レベルに差を設ける必要がある。CR内の作業者が、CRへの進入動線にあわせて清浄度が高くなることを意識し、実際のCRの運用管理にこの意識付けが反映されることが重要である。

具体的に進入動線では、【準清浄域】に設置する更衣室でクリーンスーツに着替える。クリーンスーツは、設置されるCRの内、最も清浄度の高いCRに合わせた着衣とする。更衣室は、下足エリアと交換後のCR用作業靴のエリアを明確にし、クロスコンタミネーションの無いよう計画する。そして、その動線に合わせて、ロッカーや備品配置を行う。

【準清浄域】と【清浄域】は、エアシャワー（それに準ずる設備）を配置し、明確に区別する。なお、【清浄域】内に清浄度が大きく異なるCRが複数設置される場合は、エアシャワーを【清浄域】内にさらに設置する場合もある。



出典：高砂熱学工業（株）カタログ（2014年7月）より抜粋

図 5-2 CRの人の動線例

(2) 装置・資材の動線計画（搬入計画）

外部からの装置や資材の搬入において、直接CRへ持ち込むと、装置に付着する塵埃がCRへ侵入し、CRの清浄度が低下する。そのため、人とは別に動線計画を考えることが重要である。装置、資材の搬入動線の計画を以下の要領で行うことを推奨する。

- ・搬入のルートを確認し、計画を立てる。
- ・各清浄域を行き来しないよう、配員計画を立てる。
- ・準清浄域に、作業可能なスペースが十分確保されているかを考慮し、必要に応じて仮設間仕切りによる準清浄域の確保を行う。

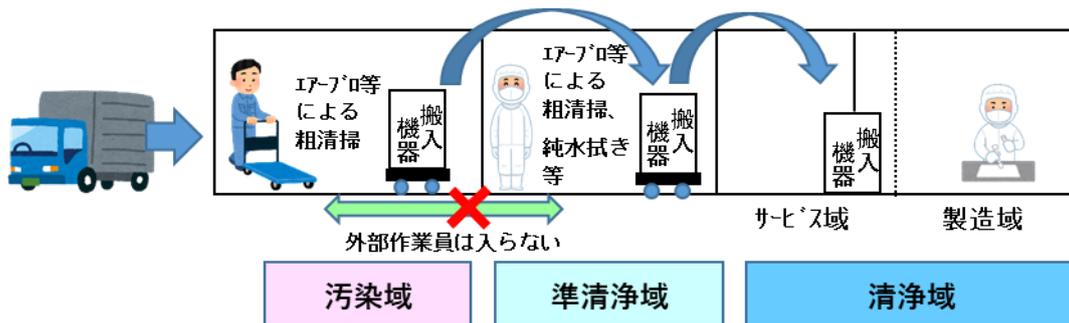


図 5-3 CRの装置・資材の動線例

“装置・資材の搬入計画”

■汚染域 → 準清浄域

- ・搬入装置資材は外部の人間と内部の人間との間での受け渡しとし、作業員は汚染域と準清浄域を行き来しない。
- ・汚染域で梱包を解き、エアブロー等による粗清掃を行う。塵埃は準清浄域に極力持ち込まないように処置を行う。
- ・準清浄域搬入後、クリーンエアによるエアブロー・バキューム（搬入物の粗清掃）、純水拭きなどの処置を行う。

■準清浄域 → 清浄域

- ・搬入はエアロックによる搬入を基本とし、汚染域側の扉が閉止していることを確認後、清浄域の扉を開け、清浄度が破壊されないよう注意する。
- ・清浄域の内部にて、特に清浄度クラスが高いエリアがある場合は、清浄度域の内部に仮間仕切りを設置することでクロスコンタミネーションを防ぐ。
- ・据え付け後、純水による拭き清掃を行う。

5. 3. 2. CRの運用（仕様手順およびルールの明確化）

CR内は清浄な環境に整えられているが、人の体には無数の塵埃が付着しており、人からの発塵が及ぼす影響が大きい。この発塵を抑え込むことが省エネに寄与する。そのため、CRでは入室者の管理、およびCR内でのルールの明確化と順守が重要である。

(1) CRの管理

CR管理者を定め、「CR入室者の管理」「CR施設の管理」を行う。表5-2にCRの主な管理項目を示す。

表 5-2 CRの主な管理項目

管理対象	管理内容
CRへの入室者	入室者への教育・訓練
	日々の入室者の健康状態と時間管理
	入室・退出時の手順（無塵衣の着方、ルート）
	CR内での持ち込みと行動の注意事項
	避難経路
	正規の職員以外の入室者管理
CR施設	日常の運転記録、モニタリング
	ユーティリティ設備の運転記録
	安全設備の点検記録
	無塵衣・予備品の検査、保守記録
	清掃記録

(2) CR内でのルールの徹底

第5章「5.2.」で記述したように人体からの発塵は、CRの環境に大きく影響する。そのため、CR内の行動には一定のルールを定め、作業員の教育、意識づけをすることで汚染物質の発生と製品への付着を防止する。

■CR内の行動・作業ルール

CR内の行動・作業ルールの一例を以下に示す。

- ① 製品の近くや真上で作業しない
- ② 歩行は静かに行う
- ③ 不要な行動はしない
- ④ 清浄度を特に要求する区域には必要以上に立ち入らない
- ⑤ 床に落ちたペンなどは純水、アルコール等で拭く
- ⑥ 発塵作業はCR外で行う
- ⑦ 作業後、規定に従い整理整頓し不要物を残さない

■ルールの明確化と掲示

CR内のルールについて、守るべきポイントを更衣室等に掲示することを推奨する。表5-3に就業時規定の掲示例を示す。また、図5-4に本学外のCRで掲示される、行動・作業の啓発に関する掲示を示す。

表 5-3 CR内への掲示例（就業規定）

行動・身だしなみ	入退室は規定の通り行う
	出入口のドアを開け放しにしない
	無塵衣は清潔にし、正しく着用する
	室内で集会、集団歩行はしない
	部品出し入れは規定経路で行う
	室内で走ったり、体操の禁止
	喫煙・飲食禁止
	髭を伸ばさない
	爪を常に短く切っておく
	頻繁に入浴し、体・髪を清潔にする
持込禁止品	化粧禁止
	規定の清掃過程を経ていないもの
	無塵紙・ビニールコート紙以外の紙類
	ボールペン・サインペン以外の筆記用具
	室内で不要なもの
	飲食物・煙草・ライター類
	化粧品・ハンドバッグ
	ティッシュペーパー・ハンカチ・手帳類
財布・鍵・時計類	



写真：ケンブリッジフィルターコーポレーション（株）より提供

図 5-4 行動・作業の啓発掲示例

5. 4. クリーン更衣室の運用

クリーン更衣室は準清浄域（図 5-2 参照）に設定することで、CR に持ち込まれる塵埃の量を減らす意識付になる。その結果、CR の清浄度の維持につながり、省エネに寄与する。

クリーン更衣室の最も重要な役割は、CR と一般環境の区切りとなることである。クリーン更衣室の“留意点”と“必要な設備・備品”を下記に記載する。

■留意点

- ・クリーン更衣室は準清浄度域とする。
- ・CR に塵埃を持ち込まないために、エアシャワーまたはそれに準ずる設備を設置する。
- ・クリーンスーツは交換や清浄空気を当て、塵埃を除去し、正常状態を保つ。
- ・クリーンシューズは靴底を洗浄してから保管する。
- ・クロスコンタミネーションを避けるため、更衣室内でもクリーンなエリアと一般エリアを明確に仕切る必要がある。
- ・更衣室はCR 内よりも清掃の頻度を高くする必要がある。

■主に必要な設備・備品

- ・ガーメントストッカー・シューズロッカー
 - : クリーンスーツは一般的に塵埃が付着しにくいとされるが、完全に付着しないわけではない。塵埃は、着用する際だけでなく、保管する際にも付着する。そこで、クリーンロッカーによる保管により、塵埃の付着を抑えられ、CR への塵埃の持込を低減する。（※設備は第1章「1.5. (7) i.」参照）
- ・大きな姿見（鏡） : 正しいクリーンスーツの着用を確認する。
- ・粘着ローラー : クリーンスーツに付着している毛髪などを除去する。
- ・粘着マット : 粘着マットでゴミ・ほこりの完全除去は難しいが、粘着マットにて取り除かれた付着ゴミを確認することで「持ち込みを防ぐ」ことの気づきとなり、作業員のゴミ対策の意識向上になる。
- ・クリーン化標語等 : 作業員の意識向上のため、グラフ等で可視化も有効である。

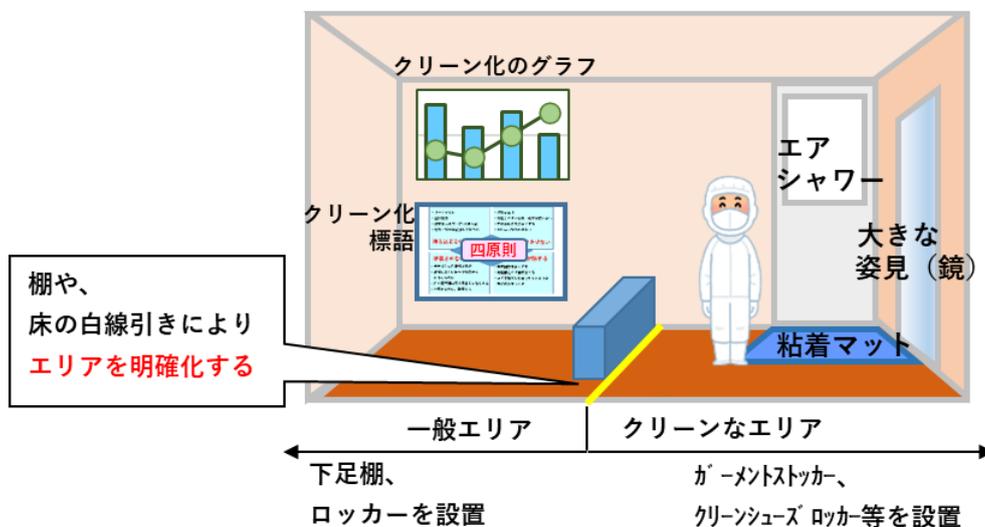


図 5-5 クリーン更衣室イメージ

5. 5. クリーンスーツの必要性

CR用衣服の正しい選択と適切な維持管理を行い、CRに関する正しい知識を習得する。そして、決められたルールを順守した行動をすることで、はじめて目的とするクリーン化が達成される。下記に、クリーンスーツに関する内容を記載する。

※CR用衣服には多くの呼称（防塵着、クリーン服、クリーンスーツ、クリーンウェア、無塵着、無塵衣など）があるが、本ガイドラインではクリーンスーツで統一している。

（1）クリーンスーツとは

衣類には繊維クズが付着しており、これは人が動くことによって簡易に脱落する。繊維クズは軽量であり、空気中に漂いやすい。また、静電気を帯びやすいため、ゴミやホコリをさらに集めやすくなる。人の皮膚片も簡単に脱落するため、これがCR内で付着すると、その処理が大変である。

そのため、CRへの入室時は、CRの清浄度に合わせたクリーンスーツを着用する。クリーンスーツは、ホコリが出ない素材によって作られ、さらにホコリが透過しないように特殊縫製されているため、クリーンスーツはそれ自身からホコリが出ることがなく、内部からの透過もないため、CRでの活動には必要不可欠である。

（2）クリーンスーツの留意点

クリーンスーツ着用においても、塵埃が発生する場合がある。例えば、クリーンスーツの経年劣化や、作業中の生地傷みによって、発塵することがある。そのため、クリーンスーツの管理も重要である。

クリーンスーツを着用せずにCRへの入室は禁止である。急を要するときも、CR入室時は必ずクリーンスーツを着なければならない。

（3）クリーン対策品

CR内では、粉塵や糸くずが発生する一般品が使えないため、CR専用の手袋や備品を使用する。また、クリーンスーツの隙間からの発塵を抑えるために、清浄度の高いCRでは専用のインナーウェアに着替える必要がある。図5-6～図5-9に主な対策品を示す。

- ・クリーン手袋：用途・清浄度により手袋を使い分ける
- ・CR用マスク：一般の使い捨てマスクはフィルタ・ゴム部分からの発塵があるため、CR内では使用しない
- ・クリーンネット：頭髪、および頭髪に付着した塵埃の試算を防止する
- ・インナーウェア：クリーンウェアからの内部の塵埃を溜めず、飛散を防ぐ



図 5-6 クリーン手袋（ラテックス製）



図 5-7 CR用マスク

図 5-6 出典：東洋リントフリー（株） ホームページより引用
(2022年3月確認)

図 5-7 出典：タニムラ（株） ホームページより引用
(2022年3月確認)



図 5-8 クリーンネット

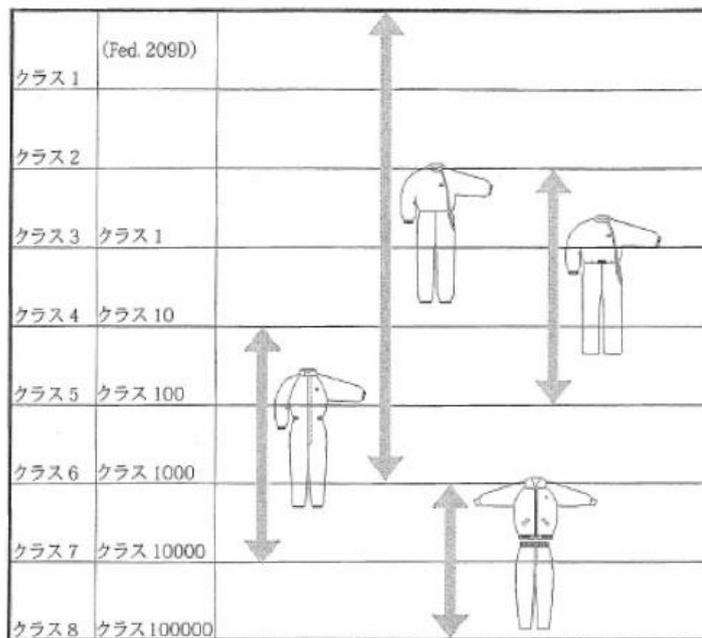


図 5-9 インナーウェア

図 5-8, 図 5-9 出典：東洋リントフリー（株） ホームページより引用
(2022年3月確認)

(4) クリーンスーツの種類

クリーンスーツは大きく分けると、セパレート(上下分離)タイプとつなぎ服タイプに分かれる。日本空気清浄協会(JACA)の、CRの運転管理指針では、クラス1000以上の清浄度を求める場合は、つなぎ服(ワンピース)の使用を推奨している。図5-10、図5-11に清浄度毎のクリーンスーツの推奨デザインを示す。



出典：NCC 株式会社 ホームページより引用
(2022年3月確認)

図 5-10 CRの清浄度に応じて推奨されるデザイン



(a) Class1-4 対応
発塵量低減構造

(b) Class3-5 対応
サイドファスナー

(c) Class5-6 対応
前面ファスナー

(d) Class6-7 対応
前面ファスナー

(a) (b) (c) (d) 出典：東洋リントフリー（株） ホームページより引用
(2022年3月確認)

図 5-11 CRの清浄度に応じたクリーンスーツ（例）

(5) クリーンスーツ使用の管理

クリーンスーツを着た人体からの発塵は、クリーンスーツの仕様（デザイン）やその素材性能によるものではなく、正しい着用方法、クリーニング等の衣服の管理が大きく影響する。

クリーンスーツの管理について、『CR用衣服管理基準』を作成し、それに従って管理する必要がある。以下に、クリーンスーツ使用の管理について、主な基準を記す。

i. 防塵衣の清浄度を保つ

- ・防塵衣は、定期的にクリーニングに出す

（設定事例） 高潔浄域では1回/日
それ以外では1回/週
クリーンスーツの異常があった際は取替

ii. 正しい着用をする

iii. 破損の無い防塵衣を着用する

- ・破損、ほころび等がある防塵衣は着用しない
- ・破損が無くとも、袖口のゴムが緩んでいる場合は、交換または修理後に使用する
- ・安全ピン等を刺さない(防塵衣に穴があき、内部の塵埃が漏れる)

5. 6. 清掃管理の必要性

(1) 塵埃の種類と清掃

塵埃には、粒径により下記2種類に、大きく分けられる。

i. 空気浮遊微粒子 (5~10 μ mより小さいもの) ⇒ CR空調により取り除かれる

本ガイドラインで取り扱ってきた空気中に浮遊している塵埃で、循環させ、フィルタを介すこと、または排気を行うことによって希釈される。

ii. 床沈降粒子 (5~10 μ mより大きいもの) ⇒ 清掃でしか取り除けない

目に見える大きさの塵埃(ゴミ)であり、作業者の歩行による影響が大きく、CRの環境を著しく損なう。

CRでは上記の浮遊微粒子と落下した微粒子の両方を制御する必要があり、落下した微粒子は清掃によってでしか対応ができない。清浄度クラスが低いほど、粒径の大きなゴミが室内にあるため、清掃による除去が必要である

代表的な微粒子の種類・粒径については、第1章「1.2.」に記載する。

(2) CRの清掃の区分

CRを使用することで、実験・生産装置や作業者などから汚染物質が発生し、床や壁などの表面が汚染される。これらを放置しておくと、例えば、非一方向流式(乱流方式)のCR(床はフラット床)では、床に堆積した粒子が作業者の歩行等によって飛散し、CR全体へ拡散する。これにより、特に渦流が形成される場所の清浄度が低下する。

CRにおける清掃は「日常清掃」「定期清掃」「特別清掃」の3つに区分される(表5-4参照)。「特別清掃」は間仕切り変更時、装置搬入時、管理値を超えた場合や事故時などの通常運転と異なった状態にて行われる。

ここでは「日常清掃」と「定期清掃」について記載する。

表 5-4 清掃種別と担当者

清 掃 種 別	担 当 者
i. 日常清掃 前日あるいは当日に堆積した塵埃の除去	通常業務に従事する作業員が行う
ii. 定期清掃 日常の清掃で対応できない、壁・露出ダクト・配管・鉄骨等の箇所に対する塵埃の除去	清掃専門業者が行う
iii. 特別清掃 間仕切り変更時、装置搬入時、事故時	CR施工業者が行う

i. 日常清掃

日常清掃の目的は、前日あるいはその日に堆積した塵埃の除去である。清掃は原則としてCR内の作業者が行い、少なくとも1日1回の頻度で湿式（発塵の少ないCRワイパーや合成皮革（プラスセーム）と純水を中心とした）清掃を実施する。なお、ドライ式はCR用真空掃除機のみが認められている。

各種装置の上部、壁、天井、床等部分別に終業時清掃等、周期を決めて実施することが有効である。

表 5-5 に日常清掃の内容と頻度の推奨例を示す。

表 5-5 日常清掃（例）

部位		清掃内容	頻度
内装材	フラット床	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/日
		純水による水拭き	1回/日
	グレーチング床	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/日
		純水による水拭き	1回/日
	扉	純水による水拭き	1回/日
	窓	純水による水拭き	1回/日
設備機器	パスボックス	純水による水拭き	1回/日
	エアシャワー	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/日
		純水による水拭き	1回/日
	洗面	純水による水拭き	1回/日
備品	机・作業台	純水による水拭き	1回/日
	椅子	純水による水拭き	1回/日

引用：公益社団法人日本空気清浄協会 編：必ず知っておきたいクリーンルーム環境の維持管理（2021）、p.143 表 4・6 より抜粋

ii. 定期清掃

日常清掃で対応できない箇所に対し、清掃専門業者による定期的な清掃の実施を推奨する。表 5-6 に定期清掃の清掃内容と頻度の推奨例を示す。なお、床仕様によっては定期清掃時に製品やプロセスに影響を及ぼすおそれがあることから、製品保護のために前日の移動や養生などの処置が必要となる。

表 5-5 に定期清掃の内容と頻度の推奨例を示す。

表 5-6 定期清掃（例）

部位		清掃内容	頻度
内装材	天井表面・指示枠	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/週
		純水による水拭き	1回/月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/6カ月
	壁表面	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/週
		純水による水拭き	1回/月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月
	目地・シール部分	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/月
		純水による水拭き	1回/月
	フラット床	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/2カ月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/2カ月
		純水による水拭き	1回/2カ月
		作業の手直し	1回/2カ月
	グレーチング床	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/2カ月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/2カ月
		純水による水拭き	1回/2カ月
		作業の手直し	1回/2カ月
	床下（チャンバ）	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/2カ月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/2カ月
純水による水拭き		1回/2カ月	
扉・窓	専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月	
	空拭き	1回/月	
設備機器	パスボックス	専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月
	エアシャワー	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月
	ダクト配管	純水による水拭き	1回/月
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月
	換気口	クリーンルーム用真空掃除機による除塵	1回/週
		専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月
		純水による水拭き	1回/月
	照明器具	専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/月
		純水による水拭き	1回/月
	洗面	中性洗剤による洗浄	1回/週
		純水による水拭き	1回/週
備品	机・作業台	専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/週
		純水による水拭き	1回/週
	椅子	専用の洗剤、または溶剤による拭き取り	1回/2週
		純水による水拭き	1回/2週
その他	作業できない隙間	ブローによる吹き飛ばしと拭き取り	1回/2カ月
		作業の手直し	1回/2カ月

出典：公益社団法人日本空気清浄協会 編：必ず知っておきたいクリーンルーム環境の維持管理（2021）、p.143 表4・6より抜粋

(3) CRの清掃の注意点

清掃作業においては、その作業自体が汚染源となる可能性がある。以下に清掃における留意事項を示す。

■清掃の留意事項

- ① 発塵をおさえた清掃方法を規定し、それに従い正しく清掃する
- ② 作業や歩行は静かに行う
- ③ 不要な動作は行わない
- ④ 作業の上流側には資機材を置かない
- ⑤ 作業は高所部分から行う
- ⑥ 清掃用具類は所定の位置に正常な状態で保管する
- ⑦ 清掃終了後は資機材の置き忘れがないように確認する

5. 7. 設備の管理

CRの性能を維持し、省エネ運転を行うためには、空調・ユーティリティ設備の維持管理が必要不可欠である。これらの管理は、専門業者に委託し行われるが、ここでは注意事項、保全方法、点検項目について、記載する。

(1) 実験・製造設備および関連設備の注意事項・保全方法

以下に、実験・製造設備および関連設備の注意事項と保全方法を示す。

- ① 実験・製造設備及び関連設備には塵埃が付着するので定期的に清掃をする
- ② 摩耗した機構部、ベルトなどは発塵が多くなるので定期的に交換する
- ③ 装置の結露は錆びやカビの発生につながるため、注意が必要である
- ④ 設備および装置の修理では、発塵の影響を避けるため、搬出可能なものはCR外で行う
- ⑤ 修理業者にもCR入出手順を順守させる
- ⑥ 治具等は原則としてCR内専用とし、外に持ち出さない

(2) 空調設備の保全

CRの空調設備は、一般の空調設備と異なり、24時間365日連続運転である。そのため、機器の故障はCR内環境の清浄度や温湿度等に大きく影響する。

CR用空調機器の保守・点検・更新計画には細心の注意が必要であり、点検は1年に2回程度を推奨する。

(3) クリーン設備機器

HEPA・ULPA フィルタやクリーン設備機器は、清浄度維持に不可欠な機器である。経年変化や異常による性能劣化は、省エネ運用に反するのみならず、CRの環境維持の大きな妨げとなる。定期的な保守点検、交換を行い、常時性能を発揮するよう管理しなければならない。

具体的なHEPA・ULPA フィルタの管理項目と交換については、第3章「3.3.2.1. (2) ii. (b)」を参照する。

第6章 事例

6. 1. 東京大学内の CR の事例紹介

東京大学内に設置される CR①、CR②、CR③について紹介する。CR①、②では、現状把握のための電力計測、そして省エネ対策検討を行った。一方、CR③では、CR 管理者から実施済の省エネ対策内容をヒアリングした。本章では、これらについて記載する。

省エネ対策検討内容

※ () 内は本ガイドラインでポイントとする「清浄度」「室圧」「温湿度環境」を記載する

6. 1. 1. CR① (3)

- i. FFU の風量制御 (清浄度)
- ii. 排気ファンの停止 (清浄度、室圧)
- iii. 外気導入量の低減 (室圧、温湿度環境)
- iv. 室外機と室内機の省エネ検討 (温湿度環境)

6. 1. 2. CR② (3)

- i. 排気ファンの照明連動制御 (室圧)
- ii. 熱源機と補機類の連動制御 (その他)
- iii. ファンのインバータ制御 (室圧)

※イニシャルコスト、ランニング低減コスト、投資回収年数の記載有り

6. 1. 3. CR③ (3) ※実施済の内容

- i. FFU の間引き運転 (清浄度)
- ii. 純水製造装置の省エネ対策 (その他)
- iii. 空調機の停止検討 (温湿度環境)
- iv. 空調機 (室外機) の更新検討 (温湿度環境)

6. 1. 1. CR① 電力計測結果と省エネ対策検討

(1) CR①の概要

CR①は、清浄度が米国連邦規格 Fed. Std. 209D の Class1,000 (以下、CR1000)、Class100 (以下、CR100) の2室で構成され、気流形状が垂直一方向流方式の、ボールルーム型のCRである。

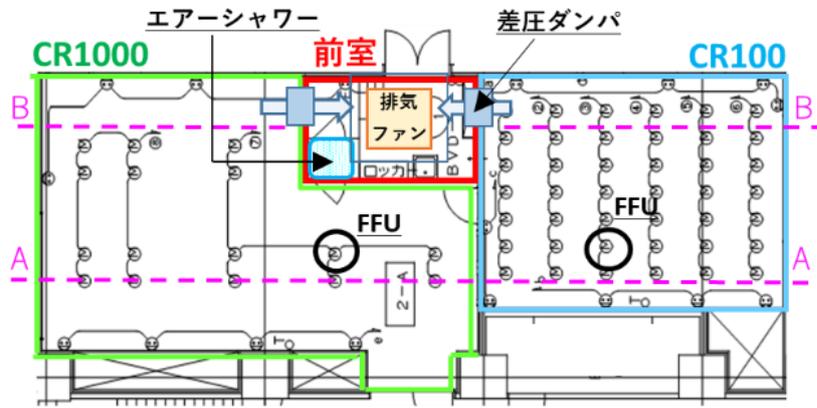


図 6-1 CR①の平面図

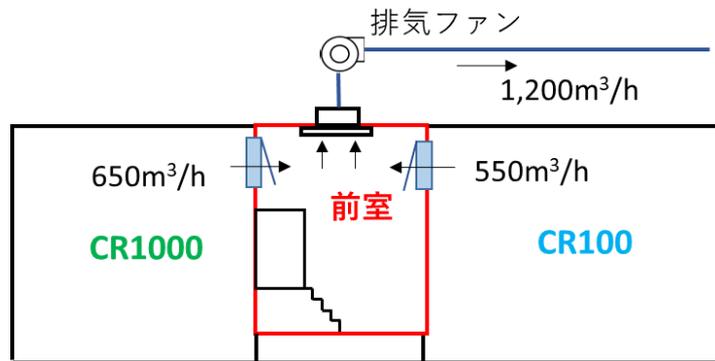


図 6-2 CR①の断面図 (図 6-1 B-B)

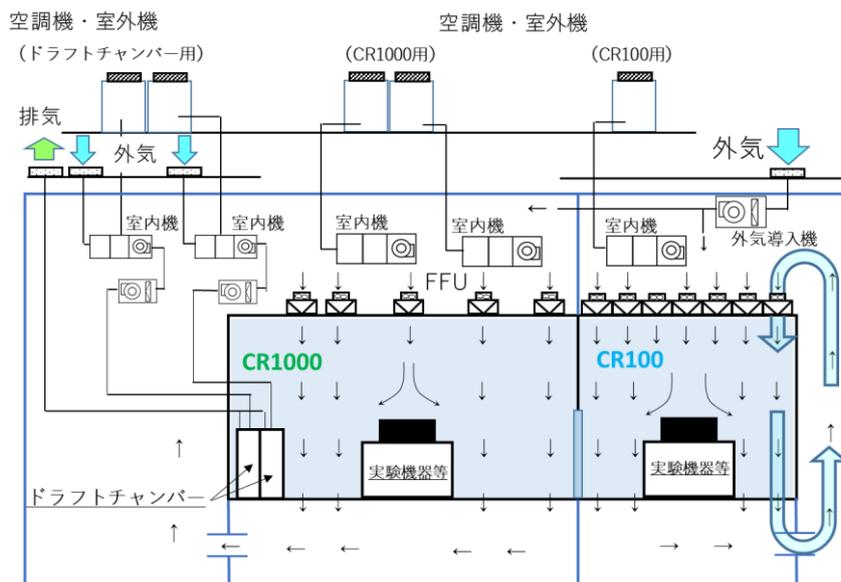


図 6-3 CR①の断面図 (図 6-1 A-A)

表 6-1 CR①の概要

調査対象室	室名	CR1000	CR100
	床面積, 天井高さ	61m ² , 3m	42m ² , 3m
	清浄度 (*1)	Class1000@0.5μm	Class100@0.5μm
	設定温湿度	23°C±2°C、30-50%程度	
	用途	MEMS技術を用いたデバイス作製	
熱源方式		個別分散空調機	
室外機	能力(総和)	冷45.0kW/暖50.0kW	冷22.4kW/暖25.0kW
	消費電力(総和)	冷12.20kW/暖12.20kW	冷5.67kW/暖5.67kW
室内機	消費電力(総和)	2.08kW	1.04kW
	風量(総和)	7,200m ³ /h	3,600m ³ /h
補助ヒータ	消費電力	14kW	7kW
FFU	消費電力	0.095kW×16台	0.095kW×42台
	風量	900m ³ /h×16台	900m ³ /h×42台
	フィルタ	HEPAフィルタ	HEPAフィルタ
外気導入機	消費電力	0.75kW	
	風量	1,200m ³ /h	
	フィルタ	粗塵フィルタ、中性能フィルタ	
排気ファン	消費電力	0.31kW	
	風量	1,200m ³ /h	
エアシャワー	消費電力	0.5kW	
照明	HF照明	48W×45灯	48W×30灯
	LED照明	—	14灯

(*1) Fed-Std-209D (米国連邦企画) で記載

(2) 現状把握_電力計測結果

CR①の電力計測結果を図 6-4、図 6-5 に示す。図 6-4 より、FFU と個別分散空調機の室内機が通年で稼働しており、CR①のベース電力となっている。個別分散空調機の室外機は、外気温度の低下と共に消費電力が低下する傾向である。CR①の空調機の運転は自動運転となっているが、室内の熱負荷の発生により、12月でも冷房運転になっている可能性がある。

照明の点灯時に CR①内で研究者が実験を行っているが、それ以外の時間も実験装置の稼働を確認できた。本計測結果では、空調機のヒータの電力発生を確認できなかった。CR①管理者にヒアリングしたところ、省エネの観点からヒータを停止し、除湿は除湿機にて対応していることを確認した。

(計測期間) 2020年8月27日16時00分~2020年12月4日9時00分
 → 2,370時間の計測

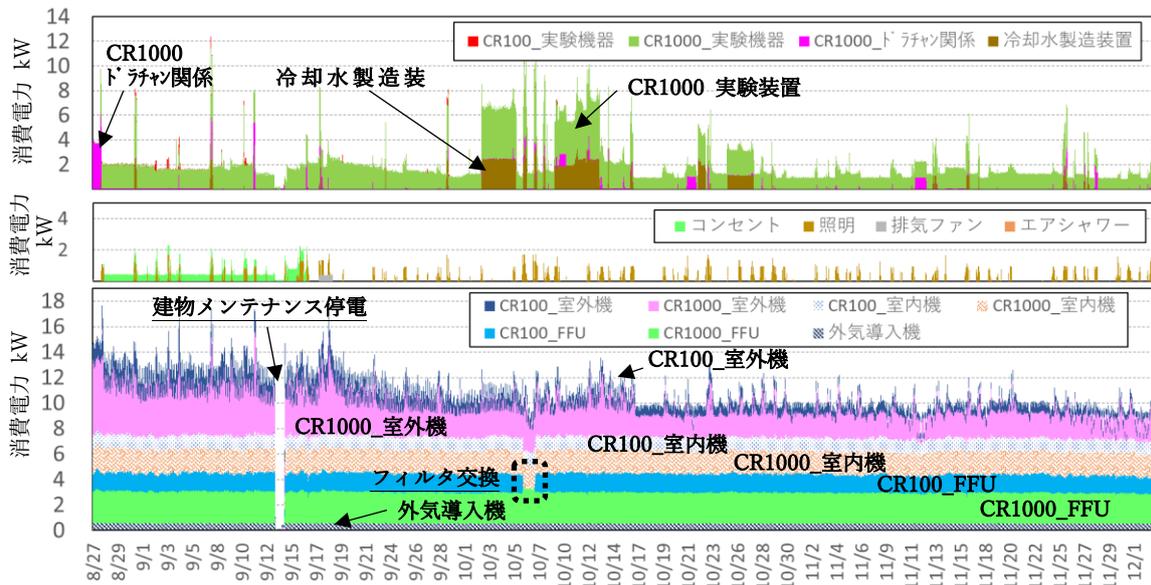


図 6-4 用途毎の消費電力の推移

CR①の消費電力量について、図 6-5 に (a) 清浄度・室圧・温湿度環境維持等に伴う消費 (黄色部分)、(b) 実験に伴う消費 (緑色部分) に分けて整理した。CR①の消費電力量の内、(a) は 83.4%、(b) は 16.6% であった。

また、(a) は清浄度、室圧、温湿度環境に関する項目で分けしたが、清浄度 30%、室圧 4%、温湿度環境 48% であった。CR①では、温湿度環境維持に最も多くの電力が消費されているが、それに次いで清浄度維持に必要な FFU のファンの電力消費が大きいことが分かった。

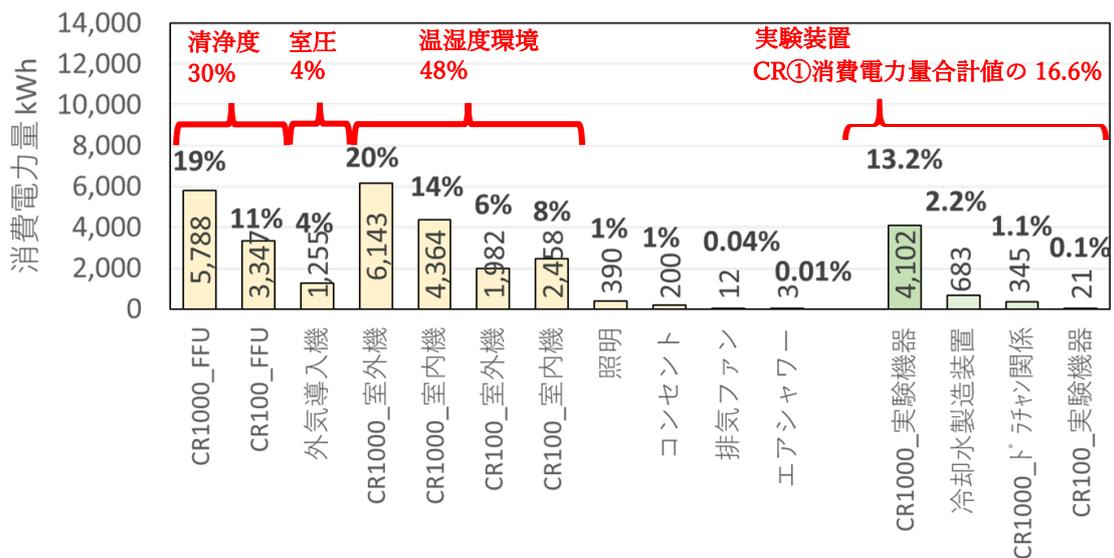


図 6-5 計測結果 消費電力量の内訳

(3) 省エネ対策検討

i. FFUの風量制御 (清浄度)

FFUの風量低減(稼働率の低減)で省エネが見込まれるが、風量を低減させても、CR内の清浄度が維持されるか確認する必要がある。そこで、FFUの風量をインバータ制御で低減させたときの、清浄度計測を行い、省エネが可能か検証した。CR100では既に清浄度を確認の上、運転台数削減を実施済みであったため、CR1000の結果を表6-2にて報告する。

※粒子計測器：パーティクルカウンタ SOLAIR3100+ (ライトハウス社製)



図 6-6 粒子計測器本体

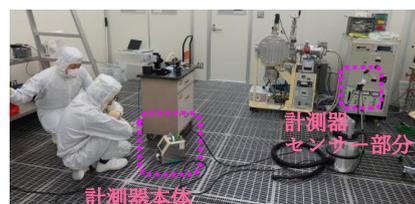


図 6-7 粒子計測の様子

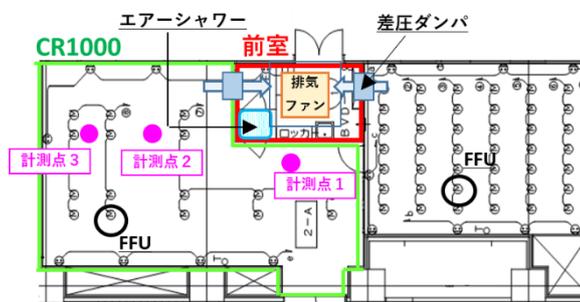


図 6-8 粒子 計測箇所

<省エネ検討>

CR1000にて、非作業時・作業時共にFFUの風量を低減させたところ、清浄度クラス1000の許容値「0.5μmの粒子個数が1000個/ft³以内」(*1)におさまった。表6-1の判定「◎」制御で、1日の非作業時12時間と仮定した場合の省エネ試算を行った。

(*1) 第2章「2.2.1.1.表2-2」参照

- ・非作業時 (2.8kW-0.7kW) ×12時間/日×365日 = 9,198kWh/年 削減
- ・作業時 (2.8kW-2.1kW) ×12時間/日×365日 = 3,066kWh/年 削減

表 6-2 FFU 風量制御時の粒子個数と消費電力

作業	FFU制御	FFU風量割合	粒子計測 個数 (0.5μm)				判定	平均消費電力 KW
			計測点1	計測点2	計測点3			
非作業時	無	100%	0個/ft ³	0個/ft ³	0個/ft ³	◎	2.8	
	有	87%	0個/ft ³	0個/ft ³	0個/ft ³	◎	1.5	
	有	50%	37個/ft ³	65個/ft ³	—	◎	0.7	
作業時	無	100%	57個/ft ³	14個/ft ³	0個/ft ³	◎	2.8	
	有	87%	8個/ft ³	27個/ft ³	0個/ft ³	◎	2.1	
	有	50%	174個/ft ³	89個/ft ³	66個/ft ³	○	1.0	

(注記) CR入室者の適切なクリーンスーツの着用等ルールの順守を行ったうえで、初めてFFUの低減が可能になり、省エネに繋がる。

ii. 排気ファンの停止（清浄度、室圧）

本CRの管理者へのヒアリングを踏まえ、「6.1.1.(2)」の計測前に排気ファンの停止を提案し、計測期間中の一部の期間を除き常時停止にした。停止前は、CRに導入した加圧空気（外気）は微差圧ダンパを介して前室へ逃がし、排気していた。

今回の排気ファンの停止は、省エネの観点だけでなく、CRの陽圧維持の観点からも、余剰排気ファンの停止は効果が期待できる。排気ファンの常時停止時の省エネ効果を下記に記載する。

<省エネ検討>

ファン定格消費電力 0.3kW×24時間×365日
 ≒ 2,628kWh 削減

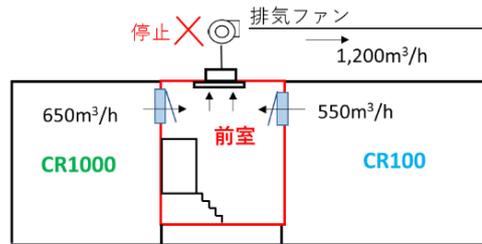


図 6-9 CR①排気ファンの停止

iii. 外気導入量の低減（室圧、温湿度環境）

加圧を目的とした外気導入機の風量を低減することで、搬送動力のみならず、年間を通じた空調負荷を大きく削減することができる。外気導入機の風量が 1200m³/h で、CR1000, CR100 の容積が約 300m³ {※床面積 (61m²+42m²) ×天井高さ 3m} のため、4回/hの加圧を行っている。

本ガイドライン記載のように1~2回/h(*1)の加圧でも十分と考えられるため、加圧空気の導入量は1/3まで抑制することが可能となる。ここでは、インバータ制御(*2)が可能であることを前提に、ファンの回転数は下げられる限界があることを勘案し、外気導入量50%に低減させた場合のファンの省エネ効果を試算した。

(*1) 第3章「3.2.1.2.」参照

(*2) 第3章「3.3.2.2.」参照

(計算式の内容)

$$\text{省エネ効果} = \text{「風量制御“無”のファン消費電力量} \\ - \text{「風量制御“有”のファン消費電力量」}$$

<省エネ検討> ファン動力の低減

・ファン定格消費電力 0.75 kW×24時間/日×
 (1 - 風量低減時・平均消費電力比率(*3))
 ×365日/年 ≒ 4,926 kWh/年 削減

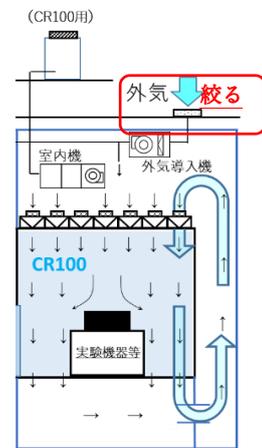


図 6-10 空気清浄装置の風量低減

(*3) 風量低減時・平均消費電力比率 = 風量 50% ^ (省エネ率算定乗数 2)
 省エネ率は理論的には風量比の3乗だが、余裕を見て2乗で試算している。

(注記) 本学では、2020年のコロナ対策により、換気量を 30m³/h・人の基準を設けているため、外気量低減時は、室使用人数と換気量に留意しなければならない。

iv. 室外機と室内機の省エネ検討（温湿度環境）

CR①は2005年10月建物完成頃から稼働し、空調機は2022年度現在更新していない。図6-11に示すように、CR1000は室外機と室内機のユニットが2台、CR100は1台で構成されている。

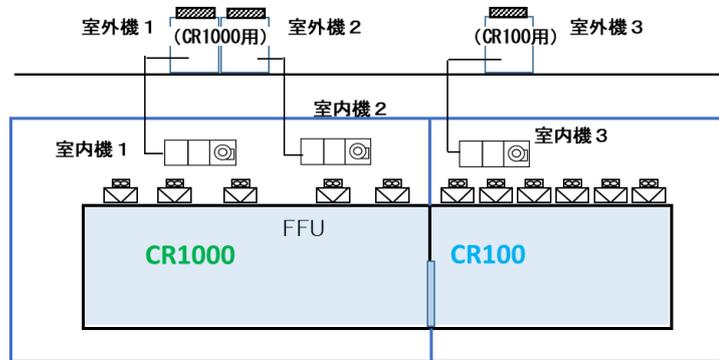


図 6-11 個別分散空調機の設置状況

CR1000、CR100の室外機・消費電力（計測値）の1時間平均値から、式6-1にて消費電力・負荷率を確認し、負荷率毎の発生時間を図6-12のように整理した。図6-12より、CR1000では室外機2台のところ、ほぼ1台運転で対応しており、CR100では室外機が低負荷側での運転を確認した。

$$\text{消費電力} \cdot \text{負荷率} = \frac{\text{消費電力（計測値）の1時間平均値 kW}}{\text{定格消費電力 kW}} \quad \dots \text{式 6-1}$$

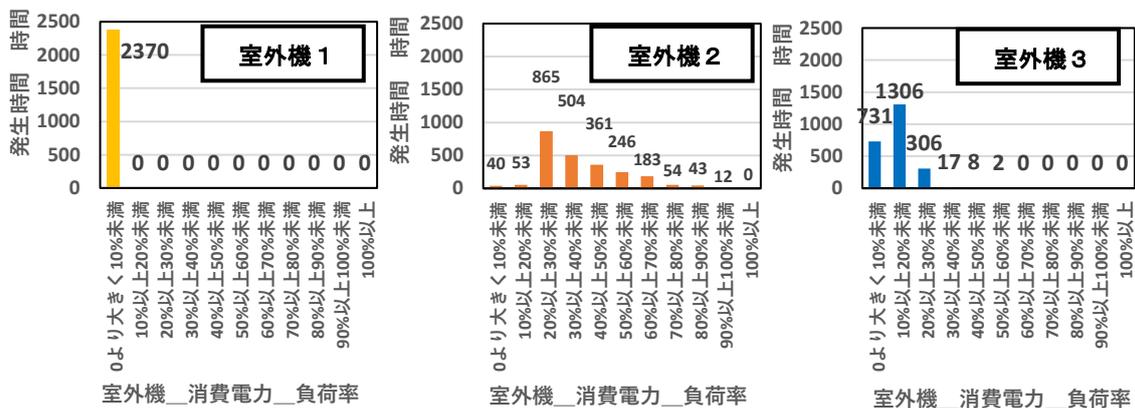


図 6-12 室外機消費電力・負荷率別発生時間
（左：室外機 1、中：室外機 2、右：室外機 3）

(a) 機器の停止 (CR1000 室外機 1)

CR1000 は室外機 2 台あるものの、空調負荷はほぼ 1 台で熱処理している。図 6-12 で、室外機 1 の消費電力負荷率は 10%未満で、実際のデータは 1%程度を推移しているため、待機電力しか消費していない。室外機 1 とそれに付随する室内機の停止が省エネになると考えられる。

<省エネ> 室外機 1 と室内機 1 の停止検討

室外機 1 : 計測期間中の消費電力量 253 kWh
 $253\text{kWh} \div 2,370 \text{ 時間} / \text{計測期間} \times 8,760 \text{ 時間} / \text{年} \approx 940 \text{ kWh} / \text{年}$ 削減

室内機 1 : 計測期間中の消費電力量 2,180 kWh
 $2,180\text{kWh} \div 2,370 \text{ 時間} / \text{計測期間} \times 8,760 \text{ 時間} / \text{年} \approx 8,060\text{kWh} / \text{年}$ 削減

(b) 空調機の最適容量(*1)への更新検討 (CR100 室外機 3)

CR100 では、低負荷側での運転が多い。個別分散空調機の低負荷での運転は、室外機の ON-OFF 運転を起こしやすく、機器効率が低下するため、室外機容量のサイズダウンによる省エネ対策が考えられる。ただし、CR100 は実験機器の稼働状況から、本稼働ではないためサイズダウンは推奨できないが、本稼働の CR で室外機が低負荷運転の場合は検討できる。

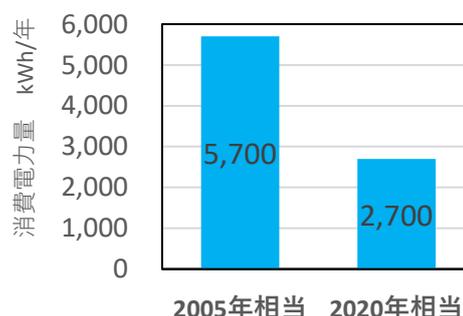
図 6-12 では消費電力で検証・評価したが、第 6 章「6.2.3.(2)」に記載するように実際の能力も把握できれば、正確な空調負荷を把握でき、かつ更新時の参考にしやすい。

(*1) P60 「コラム(8) ii .」 参照

(c) 【参考】 高効率機器(*2)への更新検討 (CR1000 室外機 2)

2020 年度の機器は、低負荷側での機器内部の制御、また発停回数を抑える冷媒制御により、現行機器よりも高効率である。そこで、空調メーカーへ依頼し、室外機の高効率機への更新 (※同容量) 試算を行った。試算に使用された空調負荷が実際の CR の負荷と異なるため、ここでは試算結果を参考までに掲載する (図 6-13)。

機器年代	能力 kW (冷房)	消費電力 kW (冷房)	台数
2005年相当	22.4	5.28	1
2020年相当	22.4	5.51	1



※2020 年相当機器のほうが定格消費電力は高いが、(*2)より、2020 年相当機器のほうが 2005 年相当機器よりも省エネ

試算結果 : ダイキン工業株式会社より提供

図 6-13 個別分散空調機の試算結果 (参考値)

(*2) P60 「コラム(8) i .」 参照

6. 1. 2. CR ② 電力計測結果と省エネ対策検討

(1) CR②の概要

CR②は、清浄度が米国連邦規格 Fed. Std. 209D の Class10, 000 (以下、CR10000)、Class1, 000 (以下、CR1000) の2室から構成され、気流形状が非一方向流方式のCRである。

表 6-3 CR②の概要

調査対象室	分類	CR10000	CR1000
	床面積, 天井高さ	218m ² , 3m	
	清浄度 (*1)	Class10,000@0.5μm	Class1000@0.5μm
	設定温湿度	20°C	18°C
	用途	半導体素子試作	
熱源方式		中央熱源機	
水冷チリングユニット	能力	冷却 210kW / 加熱 -	
	消費電力	冷却 47kW / 加熱 -	
冷却塔	消費電力	2.2kW	
冷却水ポンプ	消費電力	5.5kW	
一次冷水ポンプ	消費電力	3.7kW	
二次冷水ポンプ	消費電力	3.0kW	0.75kW
空調機		AHU-1	AHU-2
	ファン消費電力	30	5.5
	風量	28,500m ³ /h	7,200m ³ /h
	冷却能力	冷却 194.2kW	冷却 36.7kW
	電気ヒータ	加熱 100kW	加熱 21kW
	フィルタ	中性能フィルタ	中性能フィルタ
	フィルタ	HEPAフィルタ	HEPAフィルタ
化学排気ファン	消費電力	2.2kW × 2	
	風量	4,800m ³ /h	
熱排気ファン	消費電力	2.2kW	
	風量	2,400m ³ /h	
外気ファン	消費電力	3.7	
	風量	10,650m ³ /h	

(*1) Fed-Std-209D (米国連邦企画) で記載



図 6-14 CR1000 の空調機 AHU-2



図 6-15 建物屋上での排気空気清浄装置 (スクラバー) 有り

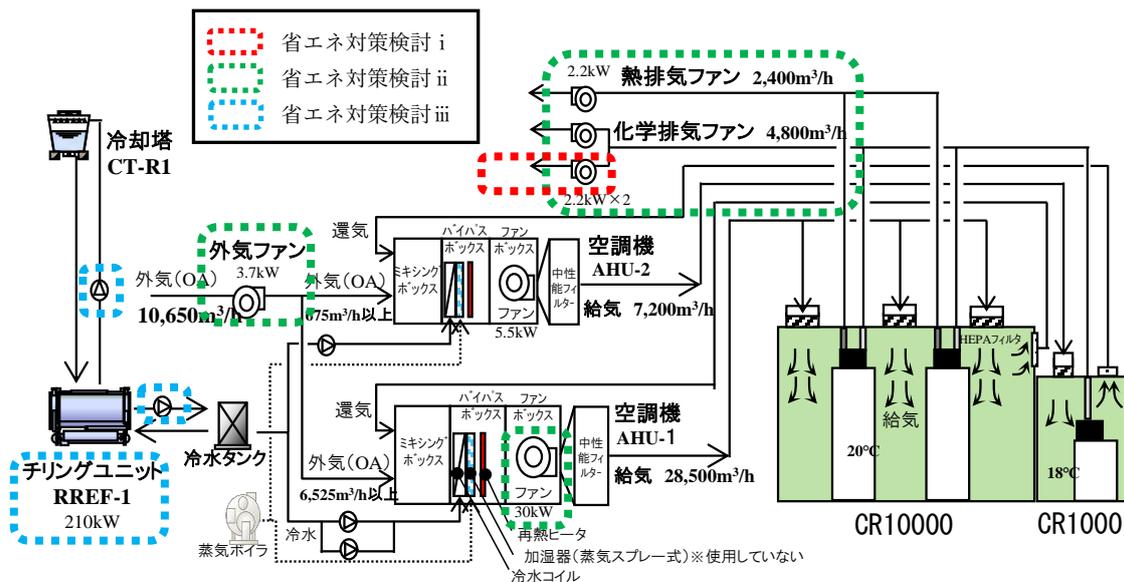


図 6-16 CR のイメージ

(2) 現状把握 電力計測結果

CR②の電力計測結果を、図 6-17、図 6-18 に示す。計測期間中、データ欠損（チリングユニットの計測器電源側の不具合）があったため、図 6-17 の消費電力の整理では、データ欠損の無かった期間で整理した。図 6-18 の消費電力量の整理では、データ欠損のチリングユニットの電力量を補完することで通年の集計結果として整理した。

図 6-17 より、年間を通して一定に稼働している機器は、外気ファン、排気ファン、空調機ファンであり、これらの消費電力合計の実績値は約 27kW であることが分かった。CR①と同様に、このような各種ファンの稼働が、本学のベース電力を押し上げる要因になっていると考える。CR②でのヒータ使用は、夏期は OFF にし、冬期にかけて暖房用途として ON にしている。図 6-17 右下の 10 月時点でヒータ稼働が確認できるが、これは朝の冷え込みにより CR②内の温度が下がるため、CR②使用者がヒータを手動で ON にすることが要因とヒアリングした。

(計測期間) 2019 年 11 月 20 日～2020 年 11 月 30 日

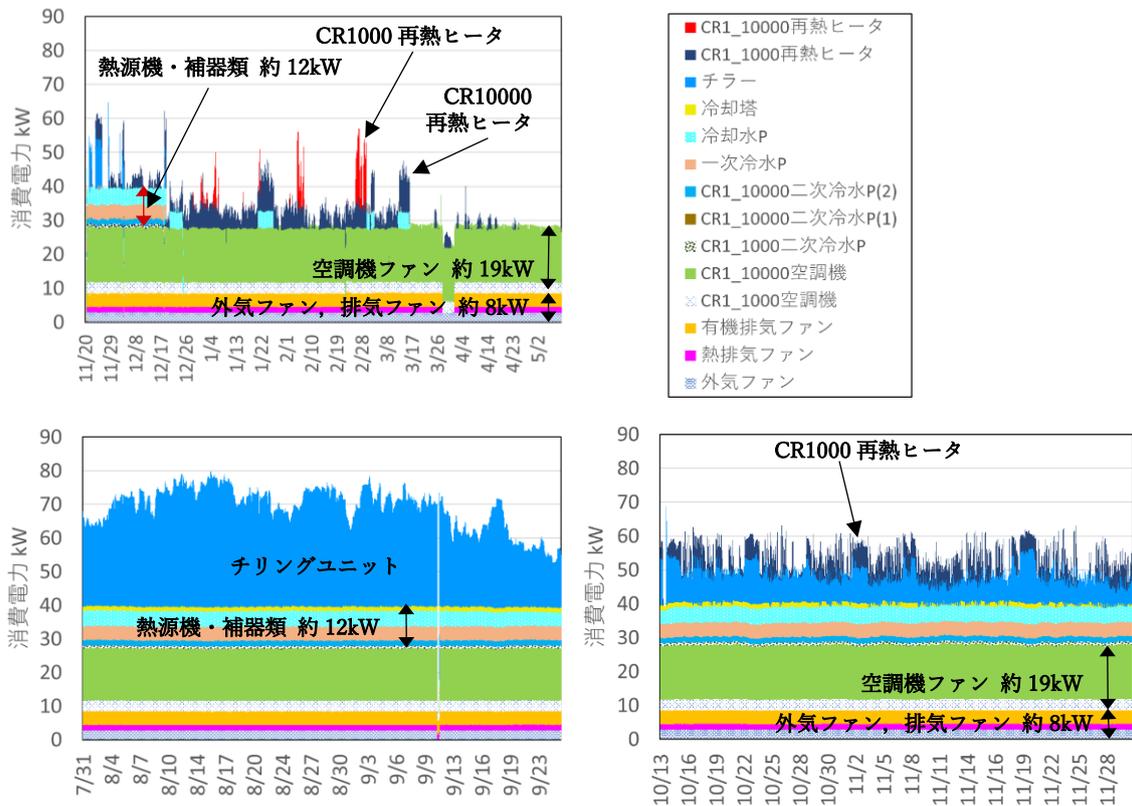


図 6-17 CR 消費電力量に関する季節別代表機関の時刻推移
(左上：冬期・中間期、左下：夏期、右下：中間期)

図 6-18 より、各種ファンの電力量合計が 58%、空調熱源機であるチリングユニットが 22% を占めていることを確認した。本計測を行った 2020 年時点では、チリングユニットを更新してから間もない時期であったため、ここでは、各種ファンの省エネ検討を行う。各排気で必要に応じた風量制御（発停含む）をした上で、空調機ファンにて室内加圧を最適に保つための最低風量を維持した中で、インバータ制御などを行うことが有効と考える。

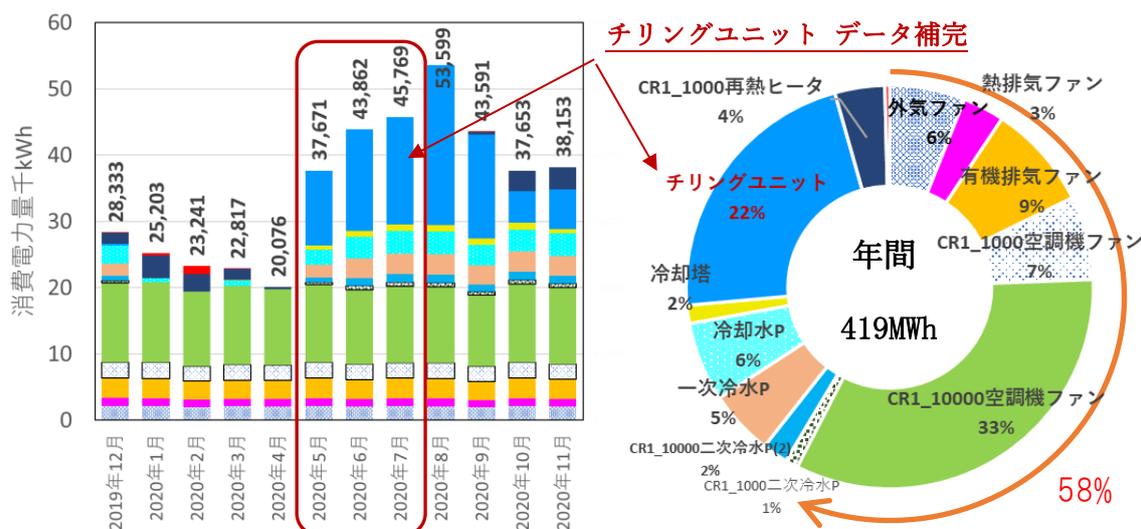


図 6-18 CR の月別推移と年間構成 (※凡例：図 6-17 と同様)

(3) 省エネ対策検討

本CR管理担当者また施工者へのヒアリングによって、省エネ効果が期待できる項目について、年間稼働における効果試算を下記 i～iii で行った。そして、iv にて i～iii の試算結果、イニシャルコスト、ランニング低減コスト、そして投資回収年を整理した (表 6-4)。

なお、i～iii の試算に使用する「計測実績」と補記する数値は、2019年11月20日0時00分～2020年11月30日の計測値の平均値を使用した。

i. 排気ファンの照明連動制御 (室圧)

24時間定格稼働の化学排気ファン (有機排気ファン) 2台のうち、1台を照明連動制御により不在時 OFF の設定を検討した。照明 ON の平均室使用時間 (休日含む) は12時間/日として、省エネ効果を試算した。

<省エネ検討>

$$\cdot (24 \text{ 時間/日} - 12 \text{ 時間/日}) \times \text{化学排気ファン } 2.0\text{kW/台 (計測実績)} \\ \times 1 \text{ 台} \times 365 \text{ 日} = 8,760 \text{ kWh/年 削減}$$

(注記) 化学排気ファンの風量低減で、化学系の排気が逆流する可能性があるため、注意する。

ii. 熱源機と補機類の連動制御 (その他)

補機類は手動 ON/OFF となっており、冬期を除き24時間稼働になっている。図 6-17 左上のように熱源機のチリングユニットが停止するも、補機類 (一次冷水 P と冷却水 P) が停止していない事象が見られた。そこで、端境期である1ヶ月間に、チリングユニット本体が稼働していない時間に補機類が稼働していることを前提に、チリングユニット本体と補機類への連動制御導入時の省エネ効果を試算した。

試算では、2019年11月20日から12月20日までの端境期1ヶ月間に確認したチリングユニットの稼働時間60時間 (図 6-17 左上) を使用する。

<省エネ検討>

$$\cdot (\text{冷水1次ポンプ } 4.1\text{kW} + \text{冷却水ポンプ } 4.7\text{kW}) \text{ (計測実績)} \times \\ (24 \text{ 時間/日} \times 30 \text{ 日} - \text{端境期チラー稼働時間 } 60 \text{ 時間/月}) = 5,808\text{kWh/月 (kWh/年) 削減}$$

iii. ファンのインバータ制御 (室圧)

24 時間定格稼働のファンにインバータ制御(*1)を導入した場合の、ファン風量の低減による省エネ試算を行った。今回、CR の AHU-1 の空調機ファン・外気ファン・熱排気ファン・化学排気ファンを対象に、室使用時は風量を 85%、室不在時は風量を 70%にインバータ制御したときの効果を算出した。なお、AHU-2 は清浄度の高い CR100 へ給気するため、試算対象外とした。

(*1) 第3章「3.3.2.2.」 インバータ制御を参照

<省エネ検討>

(計算式の内容)

省エネ効果 = 「風量制御“無”のファン消費電力量」 - 「風量制御“有”のファン消費電力量」



室使用時は風量 85%設定、室不在時は風量 70%設定

【室使用時の計算】

ファン消費電力(*2) kW/日 × 平均室使用时间(*3) ×
(1 - 室使用時平均消費電力比率(*4)) × 365 日/年 ≒ 29,535 kWh/年 削減 (A)

【室不使用時の計算】

ファン消費電力(*2) kW/日 × (24 時間 - 平均室使用时间(*3)) ×
(1 - 室不在時平均消費電力比率(*5)) × 365 日/年 ≒ 54,281 kWh/年 削減 (B)

・ (A) + (B) ≒ 83,817 kWh/年 削減

(*2) ファン消費電力 = AHU-1 15.8 kW + 熱排気ファン 1.6 kW + 化学排気ファン 2.0 kW
× 2 台 + 外気ファン 2.9 kW = 24.3 kW
※AHU-1、熱排気ファン、化学排気ファン、外気ファンの消費電力は、計測実績として、2019 年 11 月 27 日 0 時 00 分～2020 年 11 月 30 日の計測値の平均値を使用

(*3) 平均室使用時 = 12 時間/日

(*4) 室使用時平均消費電力比率 = 想定風量 85% ^ (省エネ率算定乗数 2)

(*5) 室不在時平均消費電力比率 = 想定風量 70% ^ (省エネ率算定乗数 2)
※省エネ率は理論的には風量比の 3 乗だが、余裕を見て 2 乗で試算。

(注記)

化学排気ファンの風量低減で、化学系の排気が逆流する可能性があるため、注意する。

iv. 投資回数年数の確認

i～iiiの省エネ対策について、イニシャルコストとランニングコストを整理し、投資回収年数を導出した。ここでは、参考までに掲載する。

表 6-4 省エネ効果試算結果

	i. 化学排気ファン 2台中1台の照明連 動制御	ii. 熱源機と補機類 の連動制御	iii. AHU-1の空調 機・熱排気・化学排 気ファンのINV化	備考
省エネ効果 [kWh/年]	8,760	5,808	83,817	
イニシャルコスト [千円]	¥ 600	¥ 680	¥ 6,690	工事業業者見積
ランニング低減コスト [千円/年]	¥ 158	¥ 105	¥ 1,509	電力量設定単価：18円/kWh
投資回収年 [年]	3.81	6.50	4.43	

6. 1. 3. CR ③ CR 管理者からのヒアリング内容の紹介

(1) CR③の概要

CR③は3つのCRから構成され、本学のCRの中でも、清浄度の設定が高く、部屋の床面積も大きい。今回、CR 管理者からヒアリングできた省エネ対策等を整理した。表6-5と図6-19に、CR③の概要を示す。

表6-5 CR③の概要

調査対象室	分類	CR1	CR100	CR1000
	面積	204 m ²	408 m ²	210 m ²
	清浄度クラス	クラス1 (*1)	クラス100 (*1)	クラス1000 (*1)
	設定温湿度	21°C±1°C、50%±10%	21°C±3°C、50%±20%	21°C±2°C、50%±10%
	用途	リソグラフィ及びその準備	成膜、エッチング、観察	後工程、観察、計測、測定
空調・熱源方式 1		外気処理空調機 (オールレック空冷ヒートポンプ空調機)		
空調機 (OAC1,2)	能力	冷53.0 kW/暖34.0 kW	冷64.0 kW/暖41.0 kW	
	消費電力	62.0 kW	72.0 kW	
ヒータ	消費電力	12kW	16kW	
空調・熱源方式 2		個別分散空調機 (空冷ヒートポンプパッケージ)		
室外機	能力 (総和)	冷124.8 kW/暖22.8kW	冷206.5 kW/暖51.5 kW	冷55.2 kW/暖28.2 kW
	消費電力 (総和)	38.0kW	63.5 kW	19.01kW
室内機	消費電力 (総和)	9.0 kW	15 kW	1.5 kW
	風量 (総和)	22,200 m ³ /h	37,000 m ³ /h	11,100 m ³ /h
ファンフィルタユニット (FFU)	消費電力	0.09kW×103台	0.09kW×136台	0.20kW×28台
	風量	1,440m ³ /h×103台	1,440m ³ /h×136台	1020 m ³ /h×28台
	フィルタ	ULPAフィルタ	ULPAフィルタ	HEPAフィルタ
外気取入フィルタユニット 共通 (OFU1,2)	風量	OFU1 : 2,140 m ³ /h、 OFU2 : 18,790 m ³ /h		
	消費電力	OFU1 : 0 kW、 OFU2 : 0 kW		
	フィルタ	プレフィルタ・中性能フィルタ		
外気取入フィルタユニット 個別 (OFU3,4,5)	風量	OFU3 : 440 m ³ /h	OFU4 : 250 m ³ /h × 5台	OFU5 : 450 m ³ /h
	消費電力	0 kW	0 kW	0 kW
	フィルタ	HEPA7フィルタ	HEPA7フィルタ	HEPA7フィルタ
	送風機 (FS-C)	風量	440 m ³ /h	250 m ³ /h × 5台
	消費電力	0.75 kW	0.75 kW × 5台	0.75 kW
排気ファン (化学系・酸) (EF)	風量	1,890 m ³ /h	2,190 m ³ /h	
	消費電力	1.50 kW	1.50 kW	
排気ファン (化学系・有機) (EF)	風量	1,670 m ³ /h	1,550 m ³ /h	
	消費電力	1.50 kW	1.50 kW	
排気ファン (有機系) (EF)	風量	1,040 m ³ /h	1,860 m ³ /h	
	消費電力	1.50 kW	1.50 kW	
排ガス脱臭装置 (化学系) (SC)	風量	7,300 m ³ /h		
	消費電力	3.7 kW		
排ガス脱臭装置 (有機系) (SC)	風量	2,900 m ³ /h		
	消費電力	- kW		

(*1) Fed-Std-209D (米国連邦企画) で記載

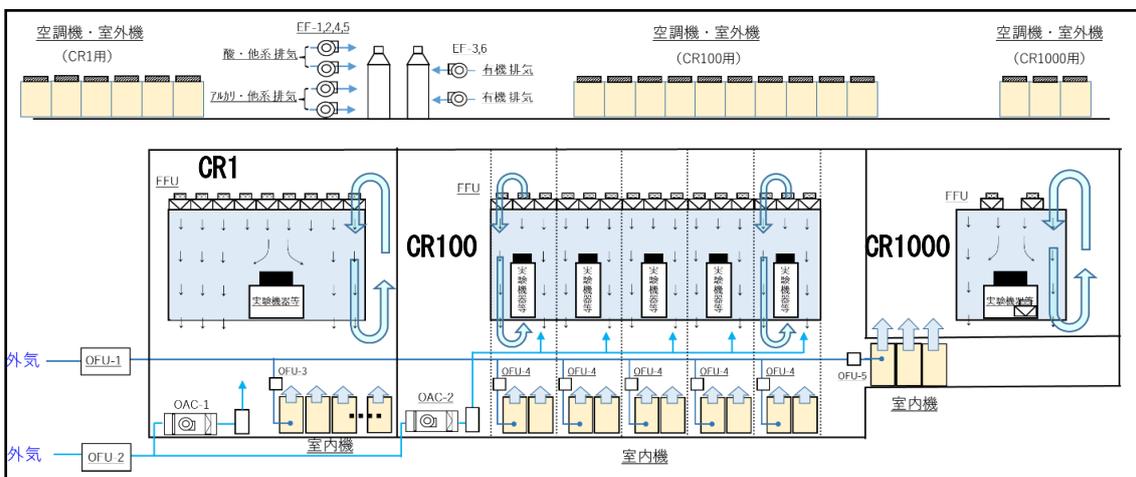


図6-19 CR③の概要

(2) 省エネ対策内容

i. FFUの間引き運転 (清浄度)

CR③のCR1とCR100では、特定日にパーティクルカウンタを用いて清浄度計測(*1)を行い、清浄度を確認している。また、この結果を踏まえ、FFUの間引き運転(*2)を行い、省エネを試みている。

(*1) 第2章「2.3.5.」 清浄度計測を参照

(*2) 第2章「2.3.6.」 FFU間引き運転を参照

(a) FFUの間引き運転内容

- ・CR1 : FFUは3つのグループに分けられ、間引き運転を行っている。
(間引き運転内容) 3つのグループの内の1グループで、平日は夜間22:00～翌6:00の停止、土曜日および日曜日は24時間の停止を行っている
- ・CR100 : CR内を5つのゾーンに分け、各ゾーンにてFFUで空気を循環させている。FFUは、各ゾーンで複数のグループに分けられ、間引き運転を行っている。
(間引き運転内容) 各ゾーン内のFFUの1または2グループで、平日は夜間22:00～6:00または22:00～9:00の停止、土曜日および日曜日は24時間の停止を行っている。

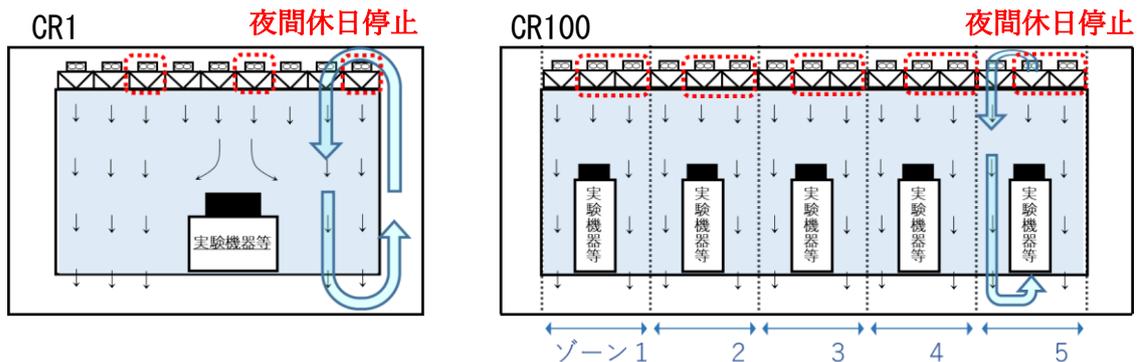


図 6-20 CR③のCR1とCR100のFFU間引き運転イメージ

(b) FFUの配置と間引き運転内容 1例

A		A		A系統 8台 B系統 9台 C系統 9台 小計 26台
	A		A	
A		A		
	A		A	
B		C		
	C		B	
C		B		
	B		C	
B		C		
	C		B	
C		B		
	B		C	
B		C		

図 6-21 FFU配線
CR100 ゾーン2

FFUの配置の一例として、図6-20のCR100におけるゾーン2のFFUの配置・配線状況を、図6-21に示す。FFUの配線を、B系統とC系統で千鳥に設定している。

CR新設時に、FFUの配線を第2章「2.3.6. 図2-11」記載の千鳥配置にしていたため、C系統のFFUのON/OFFで風量低減させても、ゾーン2のB系統とC系統のFFUから給気される部分では、清浄度の偏りが抑えられる。

【FFUの停止時間】

- A系統 : 平日は22:00～翌6:00停止、土日は24時間停止
- B系統 : 停止無し
- C系統 : 平日は22:00～翌6:00停止、土日は24時間停止

(c) FFU 制御有無の試算結果

・ CR1

FFU24 時間 365 日稼働の場合 : 81,000kWh/年
 上記(a)CR1 の FFU 間引き運転の実施 : 67,000kWh/年
 ※14,000kWh/年 削減見込 (18%削減)

・ CR100

FFU24 時間 365 日稼働の場合 : 126,000kWh/年
 上記(a)CR2 の FFU 間引き運転の実施 : 91,000kWh/年
 ※ 35,000kWh/年 削減見込 (28%削減)

ii. 純水製造装置の省エネ対策 (その他)

純水の製造は、「一次純水の製造→一次純水のタンク貯蔵→超純水の製造」で行っている。従前、タンクに貯蔵した一次純水について、タンクが満水になりタンク容量を超えた分は排水していたため、一次純水の製造で大きなロスがあった。

純水製造装置の更新に併せ、一次純水がタンクで満水になった際は、一次純水の製造を停止する制御を導入した。その結果、一次純水の無駄な製造がなくなり、電気代と水道代で約 50 万円/年の節約になったことを、CR③管理者からヒアリングした。

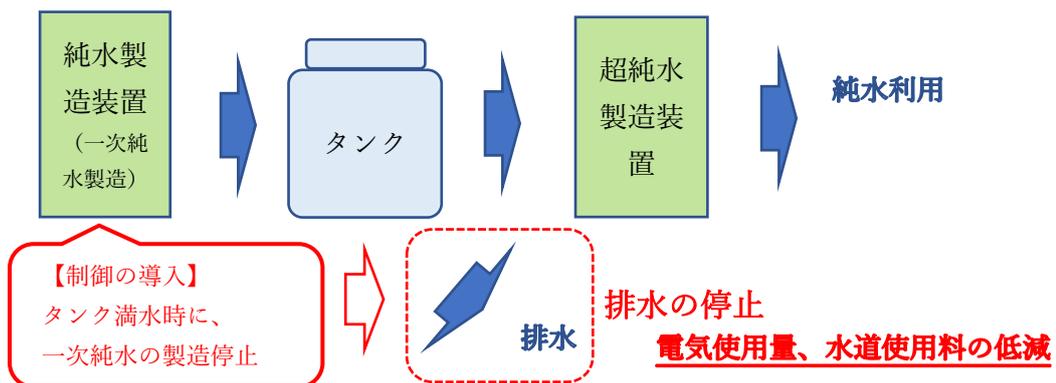


図 6-22 純水製造システムへの制御の導入イメージ

iii. 空調機の停止検討 (温湿度環境)

CR③では、空調機 (室外機) の夜間停止を試みた期間があった。空調機の夜間消費電力量の削減になったが、翌日の室内環境回復のための空調機稼働で多くの消費電力量が発生し、この試行では増エネになる結果であった。

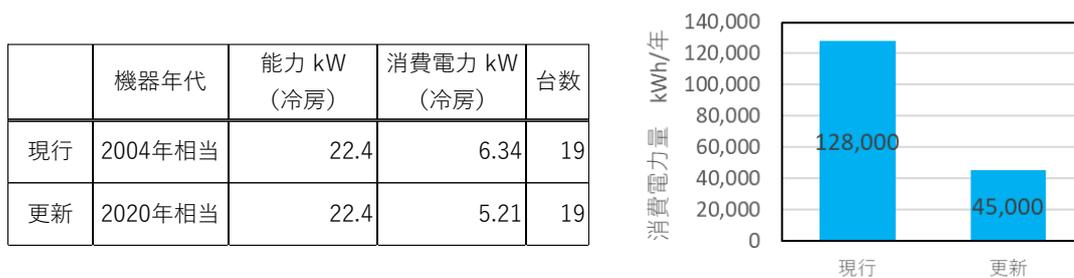
CR③管理者からは、試行期間の CR 稼働条件からは増エネを確認したが、条件が変われば省エネも考えられるため、必要に応じて対応したいとヒアリングした。

(*1) 第4章「4.3.4.2. (1)」 空調機の停止検討を参照

iv. 空調機（室外機）の更新検討(*1)（温湿度環境）

CR③に設置される個別分散空調機は、2004年の建物完成時に設置した空調機で、本ガイドラインを作成する2022年現在まで機器の更新はなかった。CR管理者からは、個別分散空調機はフル稼働しており、空調負荷に対し機器の能力としては妥当であることを確認した。

今回、空調メーカーへ依頼し、室外機の高効率機への更新（※同容量）試算を行った。試算条件の空調負荷が、実際のCRの負荷と異なるため、ここでは参考までに図6-23に掲載する。



試算結果：ダイキン工業株式会社より提供

図 6-23 空調機省エネ試算結果（参考値）

(*1) P60 「コラム(8) i .」 参照

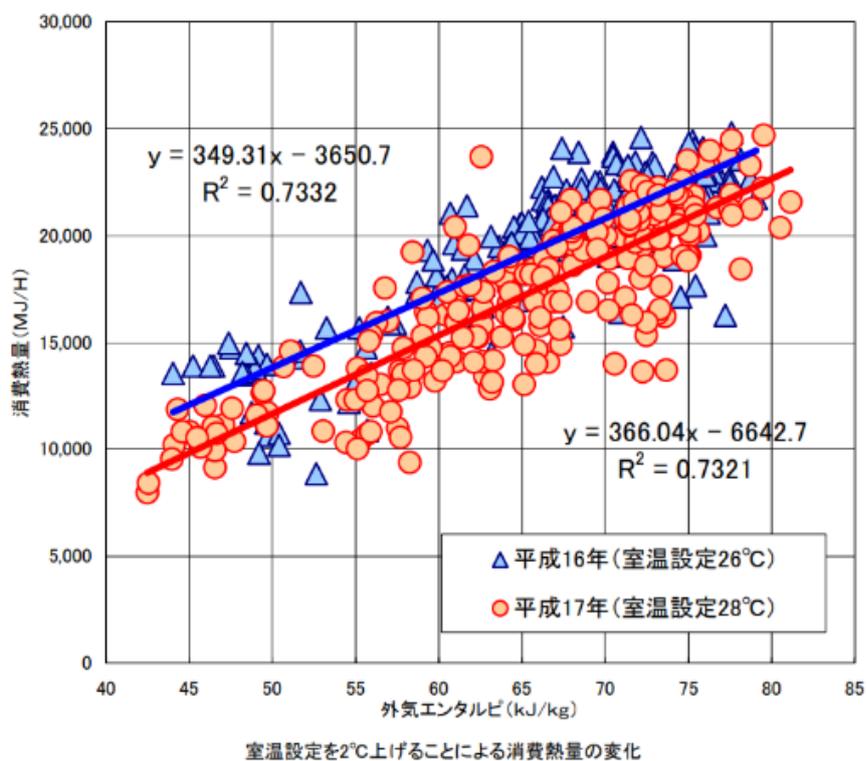
6. 2. CR 以外の省エネ事例の紹介

CR の取組内容ではないが、空調機の省エネ対策内容について参考までに紹介する。

6. 2. 1. 水熱源の省エネ効果（複合ビルにおける室温設定変更）

地域熱供給センターから供給される冷温水にて、空調を行う複合ビルがある。夏期の冷房時に室温設定を 26°C から 28°C に下げたことで、複合ビルの受入冷熱量が約 1,900MJ/h（約 11%）削減を推定した。

なお、この地域熱供給センターに設置される熱源設備は、1994 年に設置され、本室温設定の変更は 2004 年（平成 16 年）、2005 年（平成 17 年）に行った。



出典：一般財団法人省エネルギーセンター 省エネチューニングガイドブック
(平成 19 年 1 月改定) p. 63

図 6-24 室温設定を 2°C 上げることによる消費熱量の変化

6. 2. 2. 個別分散空調機の省エネ効果（サーバ室の空調機設定温度の変更）

サーバ室の個別分散空調機の冷房設定温度を、平均外気温度が 27℃のもと、設定温度を 22℃から 24℃に変更し、室外機の圧縮機消費電力が約 12%の削減を確認した。室外機は圧縮機の消費電力が多くを占めるため、ここでは圧縮機の消費電力として評価した。

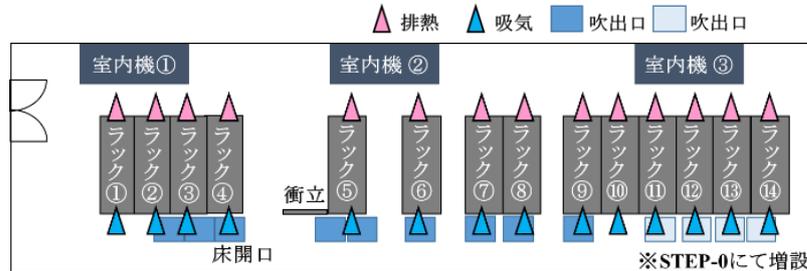


図 6-25 サーバ室概要

表 6-6 サーバ室概要

項目		内容	
床面積		81 m ²	
サーバラック数		14 ラック	
空調機	空調方式	床吹出し方式	
	冷房能力	56 kW	
	消費電力	室内機 1台	5.5 kW
		室外機 1台	13.54 kW
		3系統	

表 6-7 空調機の運用見直し

STEP	実施期間 ※下記2018年	実施内容	室内機	
			運転台数	設定温度
0	8/23 ~ 8/27	事前調査	3台	22℃
1	8/27 ~ 8/31	室内機 運転台数変更	2台	22℃
2	8/31 ~ 9/5	室内機 設定温度変更	2台	23℃
3	9/5 ~	室内機 設定温度変更	2台	24℃

表 6-8 消費電力量・原単位と pPUE の推移

STEP	データ期間 (*4)	消費電力量・原単位 (kWh/時)					pPUE	平均 外気 温度 (*5) (℃)
		ICT機器	室内機	室外機	室内機+ 室外機	ICT機器+ 室内機+室外機		
	2018年							
0	8/23 ~ 8/27	60.2	18.6	20.5	39.1	99.4	1.65	29.7
1	8/27 ~ 8/30	62.6	12.9	22.2	35.1	97.7	1.56	27.1
2	9/3 ~ 9/5	66.4	12.9	21.9	34.7	101.1	1.52	25.8
3	9/5 ~ 9/10	62.1	12.9	19.2	32.1	94.2	1.52	27.8

(*5)気象庁のウェブサイト参照

STEP1 と STEP3 の比較 ※空調機の運転台数は 2 台

$$\{ 22.2(\text{kWh}/\text{時}) - 19.2(\text{kWh}/\text{時}) \} \div \{ \text{圧縮機消費電力 } 12(\text{kW}) \times 2(\text{台}) \} \approx 12\% \text{ 削減}$$

出典：田中他，大学施設の環境負荷低減手法に関する研究 その 25 サーバ施設高効率化に向けた運用改善と学内調査，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2019年9月，pp.25-28

6. 2. 3. 個別分散空調機の省エネ検討例

東京大学のCR また他実験室では、熱負荷の処理に個別分散空調機を使用するケースが多い。個別分散空調機の省エネ検討には、機器稼働状況や熱負荷の把握、また最適容量の検討が必要である。ここでは、個別分散空調機のデータ整理の一例を示す。

(1) データ収集（室外機）

i. 計測

機器稼働状況や熱負荷の把握には、室外機の“消費電力”と“冷暖房能力”のデータが必要である。

計測にてデータ収集する場合、消費電力は室外機の電源盤にて計測可能である。一方、冷暖房能力は、既往研究(*1)にて冷暖房能力の算出に必要なデータを計測し、実際の冷房能力を算出したが、消費電力の計測よりも多くの計測器が必要で、計測条件によっては必要なデータを収集できないケースも確認できた。

そのため、個別分散空調機にて計測を行う場合は、まずは消費電力を計測し、機器の運転状況を把握することが有効と考える。

(*1) 花崎他, 業務用マルチエアコンの製造熱量の簡易計測手法に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2016年9月, pp. 277-280

※第6章「6.1.1.(3) iv」空調機の省エネ検討事例を記載

ii. メーカー提供データ

個別分散空調機のメーカーによっては、各種データを提供できる場合がある。そのため、新設時また機器更新時にメーカー確認を行い、データ収集できるようにしておくことを推奨する。ただし、iに記載した冷暖房能力データを提供できるメーカーは限られるため、留意する必要がある。

(2) データ整理（室外機）による運転状況と熱負荷の把握

室外機の消費電力と冷房能力のデータから、負荷率毎の発生時間を整理した一例を図6-16示す。ここでは(1) ii.で紹介したメーカー提供データをもとに、冷房消費電力と冷房能力の負荷率毎の発生時間を整理した。

これらのデータを活用することで、機器更新時に実負荷に則した最適容量機器の選定につながる。

個別分散空調機のデータの整理 室外機

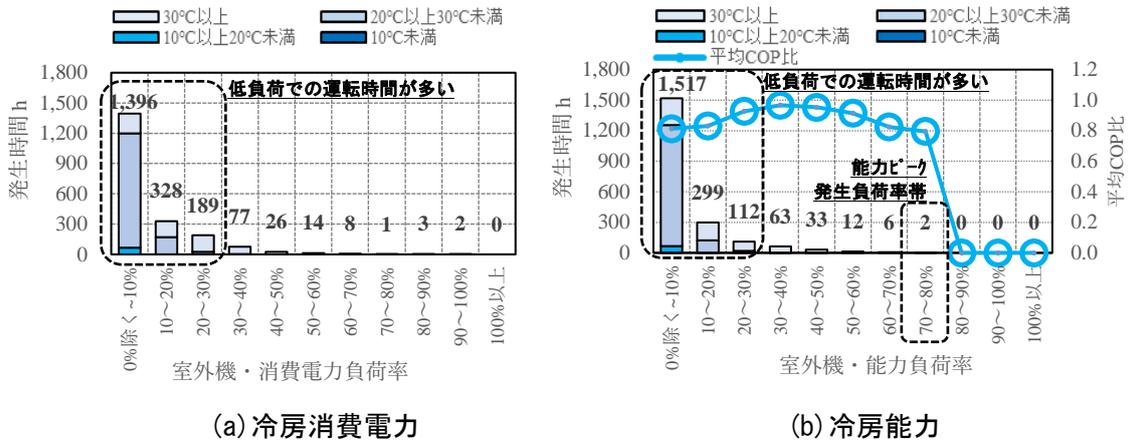
(冷) 定格能力 40.0 kW、定格消費電力 13.30 kW 1時間データ

<消費電力負荷率>

$$\text{消費電力負荷率} = \frac{\text{消費電力}(*1)}{\text{定格消費電力}}$$

<能力負荷率>

$$\text{能力負荷率} = \frac{\text{能力データ}(*1)}{\text{定格能力}}$$



(a) (b) データ：ダイキン工業(株) 提供

図 6-26 負荷率毎の発生時間

<作成日> 2022年3月

<作成者> TSCP 産学連携研究会

クリーンルーム施設高効率化検討WG

主 査： 東京大学 赤司泰義 教授

メ ン バ ー： 高砂熱学工業株式会社 宮谷政和、吉田元、玉手昌憲

ケンブリッジフィルターコーポレーション株式会社

杉山訓樹、木崎原稔郎、北野耕士

アドバイザー： 東京大学施設部計画課、環境課

事 務 局： 東京大学施設部施設企画課 TSCP チーム 田中覚、他

