

化学系実験施設におけるドラフトチャンバー 導入ガイドライン

—省エネのための計画・設計・運用について—

2016年3月

TSCP 産学連携研究会
ドラフトチャンバー施設における省エネ方策検討WG

—目次—

はじめに	3
1.ドラフトチャンバーとその換気システムについて	4
1.1 ドラフトチャンバーの役割	4
a. サッシ前面風速について	4
b. 排気風量について	5
1.2 DC の種類と特徴	7
1.3 実験室における DC の配置例	11
1.4 実験室における DC とその換気システム構成	12
a. 単独方式	13
b. 集合方式	13
c. 給気方式	14
d. 方式によるエネルギー消費の比較	16
2. 化学実験室の実態	18
2.1 実験室の構成	18
2.2 実験室のエネルギー消費	19
3. 省エネルギーを考慮した DC 設置時の検討項目	21
3.1 検討フロー	22
a. 排気系統	22
b. 給気系統	24
3.2 方式別検討項目	27
a. 単独方式	27
b. 集合方式	27
3.3 既存の部屋に DC を追加配置する場合の検討事項	29
3.4 実験室改修計画立案にあたって	30
a. 施工面における留意事項	30
4. 運用時における省エネルギー手法	31
4.1 利用状況の可視化	31
4.2 適切な利用方法の明示	31
a. 開け放し防止ステッカー	31
b. 開度確認シール	32
c. 開口制限ストッパー	32
5. ケーススタディ（工学部 E）	33
5.1 各条件・試算内容	33
5.2 結果	34
資料編	35
A.1 実験施設の整備等における安全衛生に関する主な法律	35

A.2 DC 性能試験の国際規格	36
A.3 排気ファン容量の算出手順	37
参考資料-1 作業中 DC 開度分布	39
参考資料-2 DC 最大同時作業率（台数）	40
参考資料-3 設備負荷率.....	41

はじめに

東京大学は自らの行動によって、持続可能な社会の実現に向けた道筋を作りたいと考えています。このため、東大持続可能なキャンパスプロジェクトを全学プロジェクトとして立ち上げ、低炭素キャンパスの実現を最優先課題として、様々な活動を進めています。

TSCP 産学連携研究会「ドラフトチャンバー施設における省エネ方策検討WG」では、ドラフトチャンバー施設の実態調査等を踏まえて、新設・改修時の TSCP 指針として「化学系実験施設におけるドラフトチャンバー導入ガイドライン」を作成いたしました。

ドラフトチャンバー施設においては安全性が第一優先される事項ではありますが、一方で多大なエネルギー消費をしている実態も確認されております。そこで、本ガイドラインでは省エネルギーに配慮したドラフトチャンバー施設に向けた計画・設計・運用において留意すべき事項を整理しております。今後、本ガイドラインを活用頂く事で大学全体のドラフトチャンバー施設における省エネルギー化が進むことを期待します。

※ドラフトチャンバーの安全運用については、以下の資料を参照のこと。

参考-1：実験施設の整備等における安全衛生対策の留意点について

-国立大学法人の実験施設における安全衛生対策の推進-

安全衛生に配慮した実験施設の整備等に関する検討会

平成 21 年 7 月 29 日 文教施設企画部長決定

参考-2：化学物質取り扱い講習会 環境安全本部（2014 年環境安全本部）

参考-3：ドラフトチャンバー定期自主検査 オリエンタル技研工業（株）

参考-4：局所排気装置の定期自主検査指針（厚生労働省）

本ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、化学系実験室におけるドラフトチャンバー設置の計画と実験室の給排気システムおよび実験室内の環境構築における考え方を示すもので、遵守すべき法規等はその都度、各計画で確認を必要とするものとする。

1.ドラフトチャンバーとその換気システムについて

1.1 ドラフトチャンバーの役割

ドラフトチャンバー（以下、DC）※は、化学実験施設等において用いられる局所排気装置のことである。研究実験・試験・分析などの操作・作業に伴って発生する有害ガスや有害物質を囲い込んで排気することにより、研究者が有害ガスや有害物質を吸引しないようにし、かつ周囲に拡散させないことを目的としている。

※局所排気装置の呼称について

実験室で用いられる専用の局所排気装置を日本ではドラフトチャンバー（Draft Chamber）と呼んでいるが、この呼称は日本独自のもので、欧米ではヒュームフード（Fume Hood）、ヒュームカップボード（Fume Cupboard）もしくはラボラトリーケミカルフード（Laboratory Chemical Hood）と呼んでいる。本ガイドラインでは、日本国内での一般的な呼称であるドラフトチャンバーを用いることとする。

a. サッシ前面風速について

DC の日本国内での安全性基準として、表 1-1 に示すように労働安全衛生法の「有機溶剤中毒予防規則」（有機則）と「特定化学物質障害予防規則」（特化則）で DC（囲い式フード）開口部の前面風速について規定されている。国内（海外でも）では、制御風速を有機則では 0.4m/s 以上、特化則では 0.5m/s 以上出し得る能力を有することと規定されている。一方、DC 単体に関する性能試験方法について日本には規定が無いので、欧米の規格（資料編 A.2 を参照）に基づいて確認が行われている。

表 1-1 労働安全衛生法で規定する局所排気の制御風速^注について

規 則		規 格	
		囲い式フード	プッシュプル換気装置
有機溶剤中毒予防規則（有機則）		0.4m/s 以上	0.2m/s 以上 平均値-0.5×偏差≤計測値 計測値≤平均値+0.5×偏差
特定化学物質障害 予防規則（特化則）	ガス状	0.5m/s 以上	0.2m/s 以上 平均値-0.5×偏差≤計測値 計測値≤平均値+0.5×偏差
	粒子状	1.0m/s 以上	適用不可

注：囲い式フードまたはブース式フードの場合、開口面における最小風速。外付け式フードまたはレシーバー式フードの場合、吸引しようとする範囲内における当該フードの開面から最も離れた作業位置における風速。

※労働安全衛生法では、作業者の安全を守るために 1960 年に「有機溶剤中毒予防規則」が、1972 年に発がん性物質を中心に薬品の取扱い時の安全性のために「特定化学物質等障害予防規則」が制定された。これらの法律から特定有害物質を基準以上に扱う場合、作業所に蒸気・ガスを排気するための局所排気装置を設ける必要がある。その局所排気装置の性能として表 1-1 の数値が定められている。

b. 排気風量について

DC からの排気量 Q_2 [m³/h]は、サッシ前面風速 V [m/s]、サッシ開口幅 W [m]および開口高さ H [m]から決定する。

$$Q_2[\text{m}^3/\text{h}] = 3600[\text{s}/\text{h}] \times V[\text{m}/\text{s}] \times W[\text{m}] \times H[\text{m}]$$

サッシが上下に開くタイプの DC は、サッシ開口幅は 1.2m~1.8m が一般的である。開口高さは通常使用時の高さ (0.2~0.4m) を適用する (通常使用時は、原則として全開では使用しない)。

また、サッシが水平に開くタイプの DC では、開口幅は通常使用時の幅を適用する。いずれのタイプの DC も、サッシの物理的 maximum 開度とは異なる。

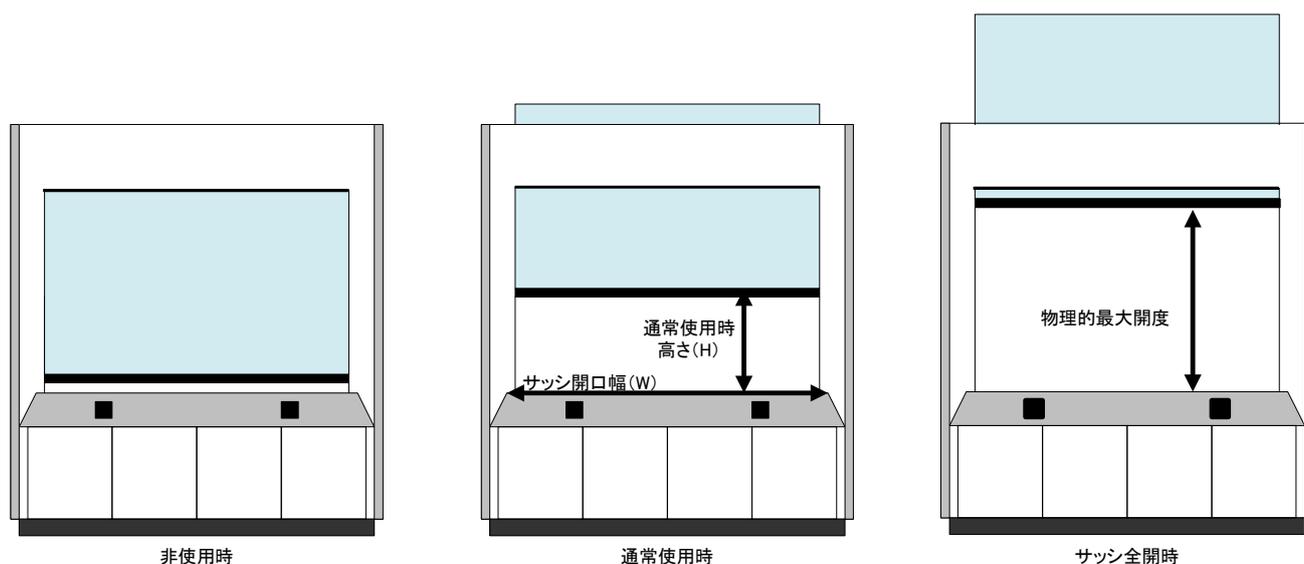


図 1-1 垂直サッシ型 DC のサッシ開口幅 (W) と開口高さ (H)

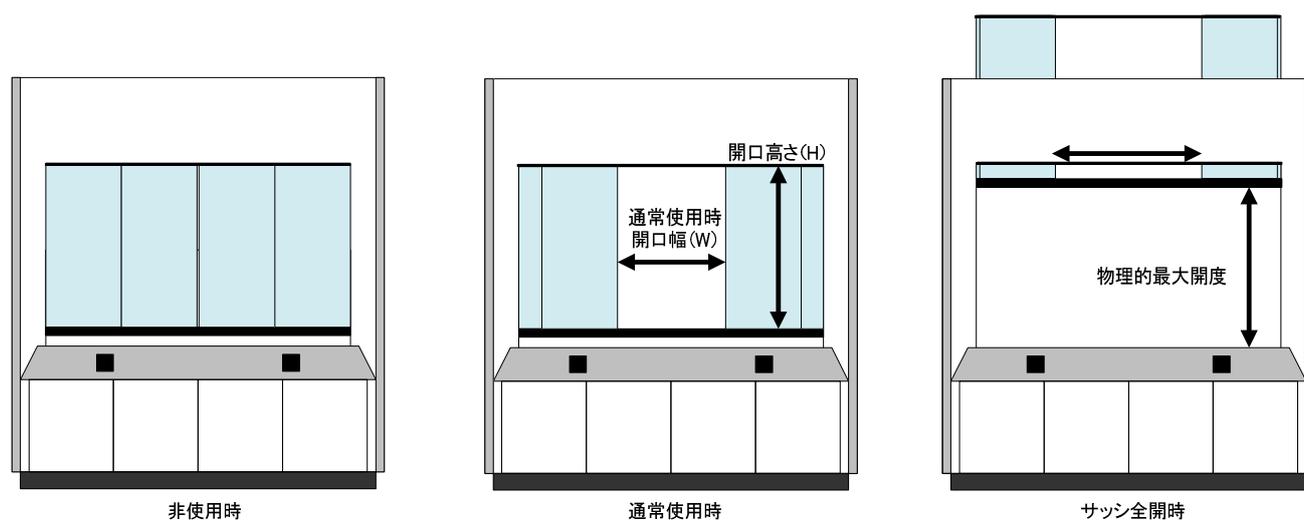


図 1-2 水平サッシ型 DC のサッシ開口幅 (W) と開口高さ (H)

DCの排気量を決定するためのサッシ開口高さH[m]について

DCの開口高さH[m]には、安全装置（ストッパー）で設定されている実験時使用高さメンテナンスもしくは実験装置設定において全開にして使用する時の全開高さがある。DCの風量決定においては、実験時使用高さを用いることとする。

通常、DCは全開で使用されることはなく、メーカーの提供するDCのカタログに記載される風量は、実験時使用高さとなっている。実験時に全開で使用する場合、排気風量を決定するための開口高さHは全開の値とするが、大量の排気が必要となるため、点検など特殊な事情を除き全開にしないこととする。

1.2 DCの種類と特徴

代表的なDCの種類と特徴について表1-2～1-4に示す。

表1-2 DCの特徴（標準方式）

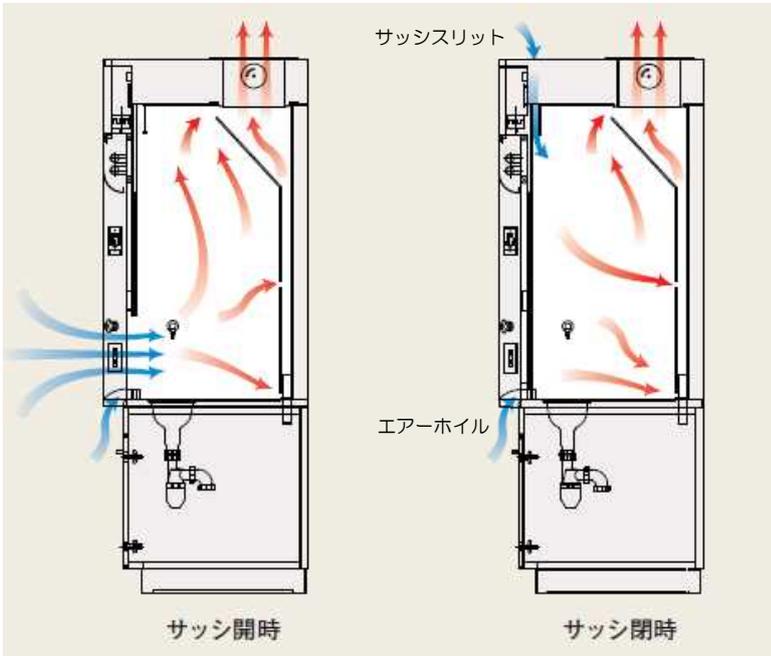
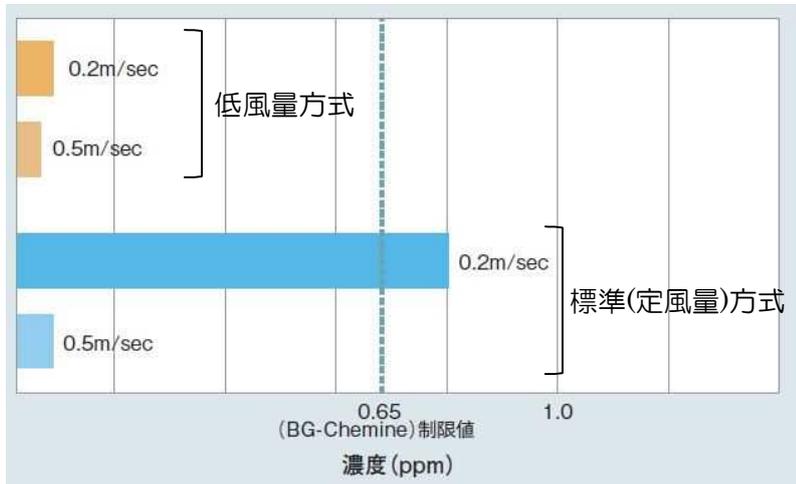
標準（定風量）方式 Constant Air Volume Type	
	
空気の流れ	
	<p>サッシの開閉状態もしくは位置とは無関係に定量排気する。サッシが閉に近づくると天井部のサッシスリットとエア-ホイール（左図参照）からの給気量が多くなって、面風速が速くなることを防ぐ。</p>
	<ul style="list-style-type: none">・給気機能がないため、部屋の大きさと設置台数によっては給気と排気のバランスが崩れ、性能を正しく発揮できなくなる恐れがある。・設置の際には十分な給気を確保することが必要となる。・常時定量排気のため、空調空気のロスが大きくなる。

表 1-3 DC の特徴（低風量方式）

低風量方式 Push-Pull Type

■低風量方式と標準方式の性能比較

封じ込め性能比較（ロバストネス試験）

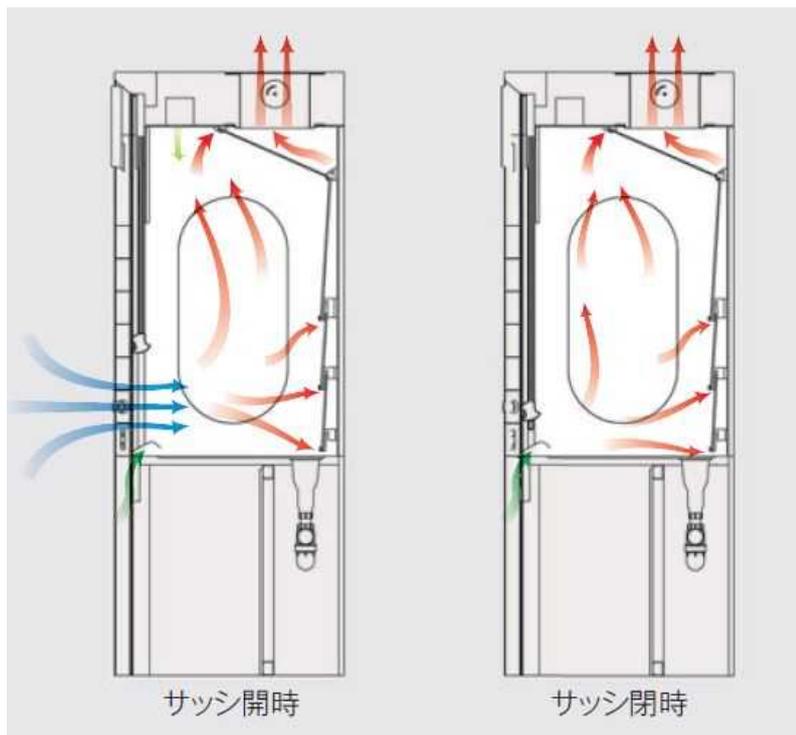


テスト条件

- ・面風速：0.2m/sec・0.5m/sec
- ・室温：23.0℃
- ・吸気温度：23.0℃
- ・サッシ開度：500mm



空気の流れ



安全性が高く省エネ効果に優れている。

フード内整流機構と層流気流形成エアホイルにて高い封じ込めを実現することにより、上記テスト結果からも分かるように少ない風速でも安全性が高いタイプ。

- ・排気風量を少なくすることができるため室内の空調された空気を外部に捨てる量を減らすことができ、空調負荷が減ることにより省エネが図れる方式。
- ・1台からでも省エネ効果が出せる。
- ・法規的にはプッシュプル換気装置として申請を行う。

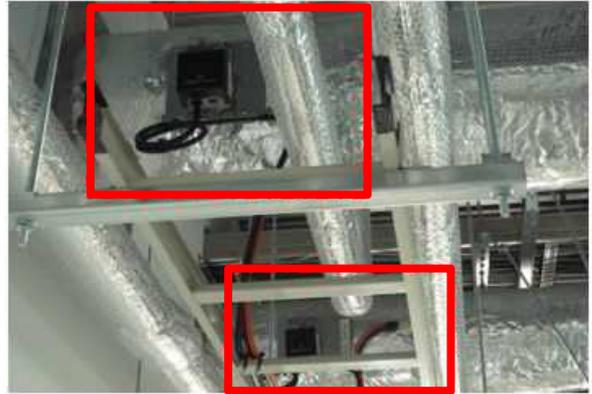
表 1-4 DC の特徴 (VAV 方式)

VAV (変流量) 方式 Variable Air Volume Type

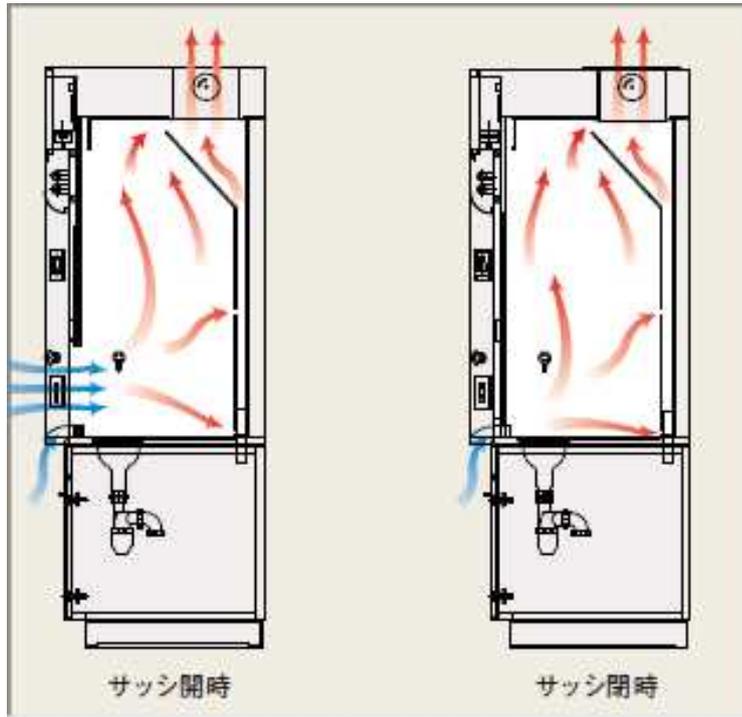
■ ドラフトチャンバー
+
排気VAV



■ 給気VAV



空気の流れ



自動的に必要排気風量を算出して排気するために、安全性と省エネ効果に優れている。

DCのサッシ開度が変わっても、開口部の面風速が常に一定になるように、排気風量をコントロールするタイプ。

- ・排気される空気の量をサッシの開閉に従い制御する。
- ・開口部を狭くすることにより空調された空気のロスを低く抑えられる。
- ・面風速を常時一定に保てるので安全性も優れている。
- ・主に複数台で運用する際に適している。

・其他方式

エアカーテン方式 Auxiliary Air Type

DCで排気される室内の空調された空気の一部を外気によって補い、省エネを図る方式であるが、昨今では構造上給気によって外乱がおきてしまうため安全上導入には十分な検討を行う必要があり、導入数は減っている。

(参考) 水平サッシ型

開口部の上下で風速のばらつきが出てしまい開口部での均一な層流の流れはできない。また開口部が鼻、口まで及ぶ場合、DC内に顔が入らないよう注意が必要である。

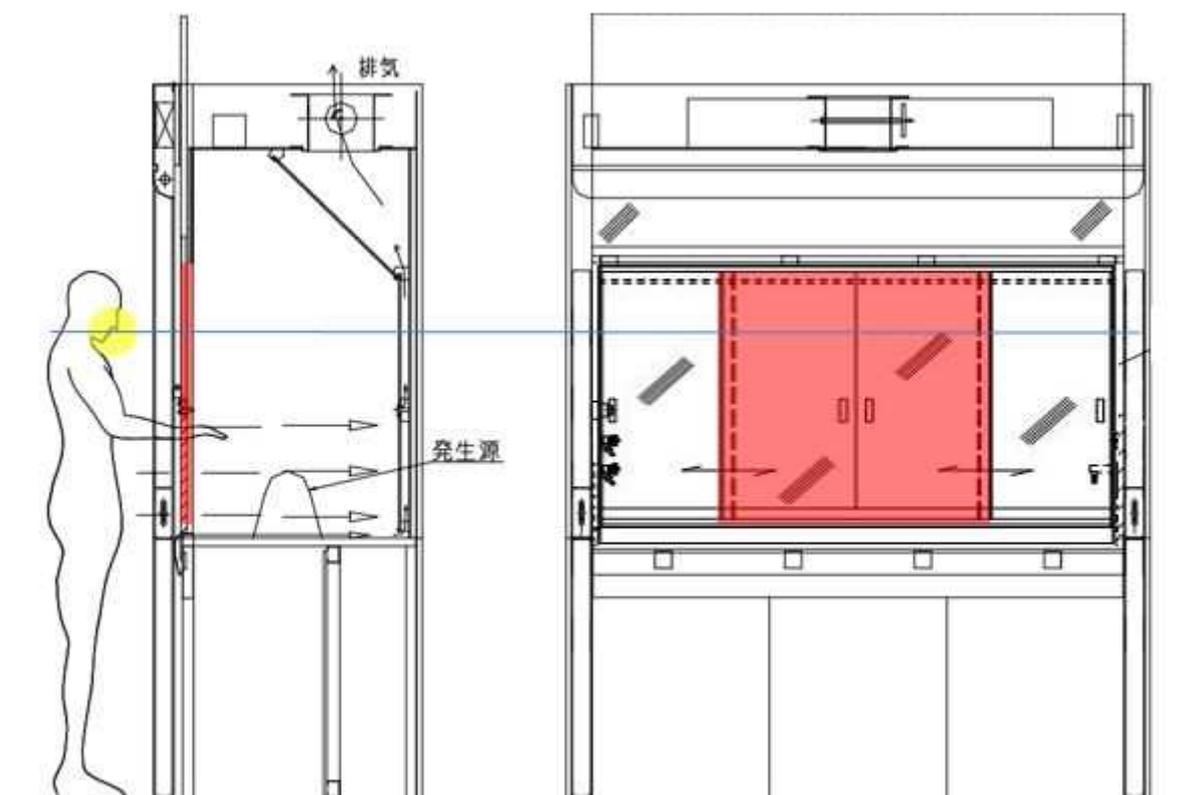


図 1-3 水平サッシ型 DC

1.3 実験室における DC の配置例

DC の前面で吸い込み気流の乱れを防ぎ適切な排気を行うためには、表 1-5 および図 1-4 に示すように実験室における DC の配置にも配慮が必要となる。

表 1-5 実験室内における DC の配置に関する留意点

部 位	説 明	図示番号
ドア等の開口部からの距離	ドアからの距離は側方(①)で 1,000mm 以上、後方(④)で 1,500mm 以上離すことが望ましい。	① および④
DC 前面必要空間	作業者が DC と実験台を使用する場合の気流上必要な距離は 1,500mm 以上が望ましい。	②
DC 相互の必要前面空間	ドラフトチャンバー対面間の距離は 3000mm 以上が望ましい。	③
DC の壁との最小離れ	壁との距離は側方で 300mm 以上、後方で 2,000mm 以上が望ましい。	⑤
エアコン・吹出口からの距離	空調等の気流が影響しないこと。	⑥

※英国規格 BS7258 : PART2 , 1994 より。参考:<http://www.safetycabinetsolutions.co.uk/bs7258.html>

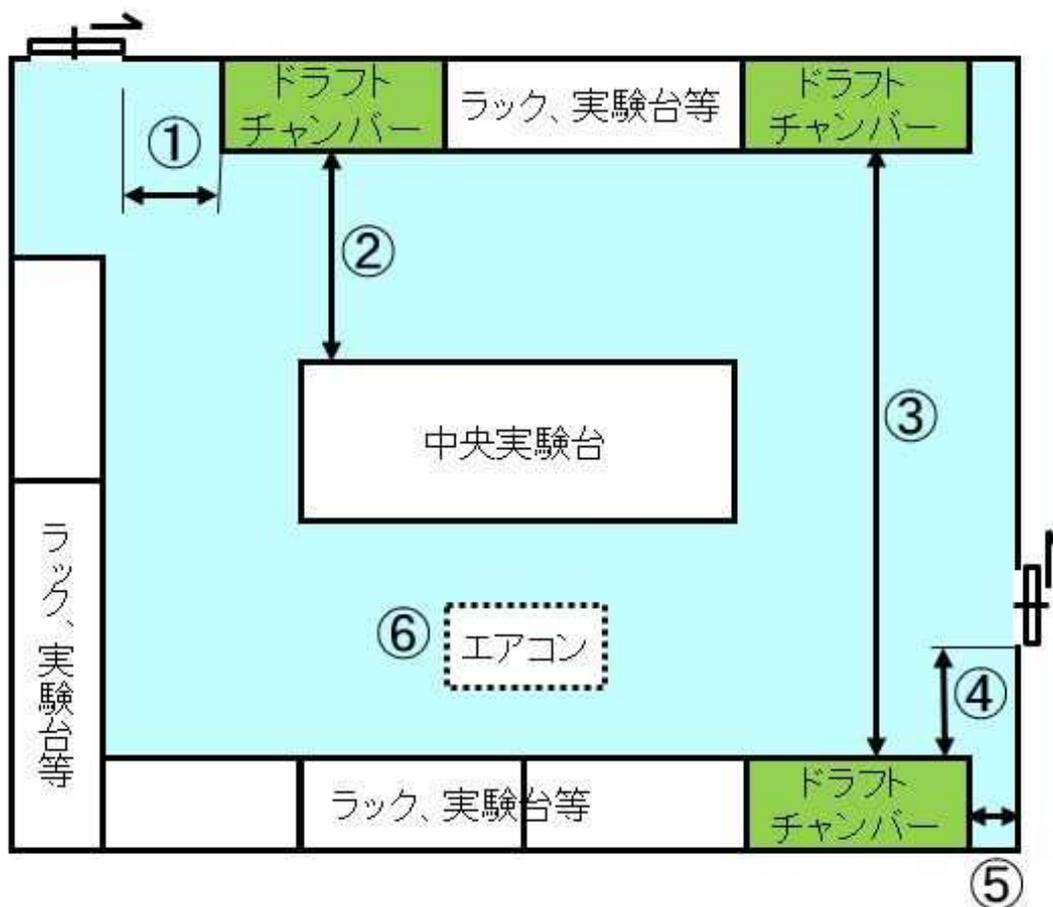


図 1-4 実験室内の DC の配置に関する留意点

1.4 実験室における DC とその換気システム構成

DC は、その安全機能を確保するため制御風速を一定レベル以上確保できることが求められており、DC の開口面積が大きくなると排気量（換気量）が増大することとなる。図 1-5 に DC を持つ実験室の換気システムの全体構成を示す。DC からの排気量 $Q_2 \text{ m}^3/\text{h}$ は、DC の面風速を確保するように決定され、排気ファンにより排ガス処理装置（必要に応じて設置）で処理されたのち屋外に排出される。

一方、給気量は排気量にバランスさせる給気量 $Q_1 \text{ m}^3/\text{h}$ が給気ファンにより実験室に供給される。一般的に実験室から他室に実験排気ガスが流出することを防止するため、「排気量 $Q_2 \text{ m}^3/\text{h} \geq$ 給気量 $Q_1 \text{ m}^3/\text{h}$ 」となるように風量が決定され実験室内は常に負圧（陰圧）に保たれている。室内に給気口が設置できない場合は、外気取り入れ用ガラリ等を壁面もしくはドアに設置するなどして対応する。

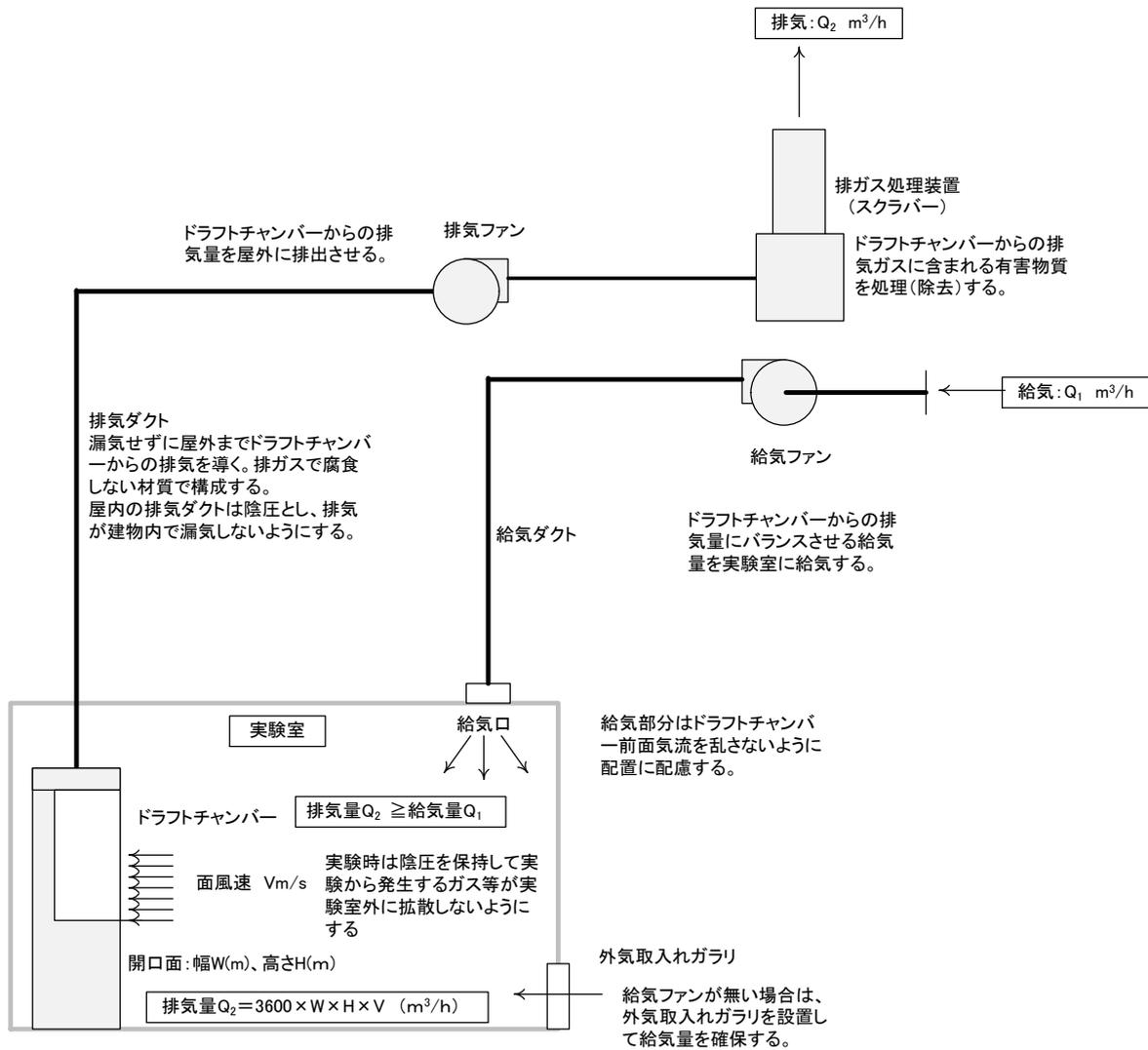


図 1-5 DC を持つ実験室の換気システム

a. 単独方式

DC1 台に対し、排気ファンを 1 台設置した図 1-5 のようなシステムを、本ガイドラインでは単独方式と呼ぶことにする。

単独方式では、DC の電源 ON-OFF に伴い排気ファンが起動・停止する。排気量は一定であることが多いが、サッシを大きく開けた時に安全な面風速が維持できなくなる場合がある。また、DC 使用開始時に電源を入れ、その後 DC の使用有無に関わらず、電源が入れられた状態が長時間続くと、エネルギーの浪費につながる。

このシステムでは DC 設置に伴う工事は最小限にとどめられるため小さな初期投資で導入可能だが、排気量と給気量とのバランスは考慮されていないため、DC 追加時には給気量が不足する可能性がある。

b. 集合方式

DC が多数設置される実験施設では、図 1-6 のように 1 台の排気ファンに複数台の DC を設置するシステムが検討可能である。このようなシステムを本ガイドラインでは集合方式と呼ぶことにする。

集合方式では、全ての DC が常に 100%稼働で継続運転されていることはないため、ダクトの集合化（マニフォールド化）と排気ファンの共通化を行い、DC の使用状況に合わせて排気量を変風量化することで搬送動力の低減を図ることができる。さらに、設備のインシヤルコストの削減が可能である。

なお、設備容量については稼働率 100%で設計するのが原則であり、稼働率を考慮した設備容量とする場合は厚生労働省の設置許可を特例として取得する必要がある、当該許可取得に時間を要することに留意する必要がある。

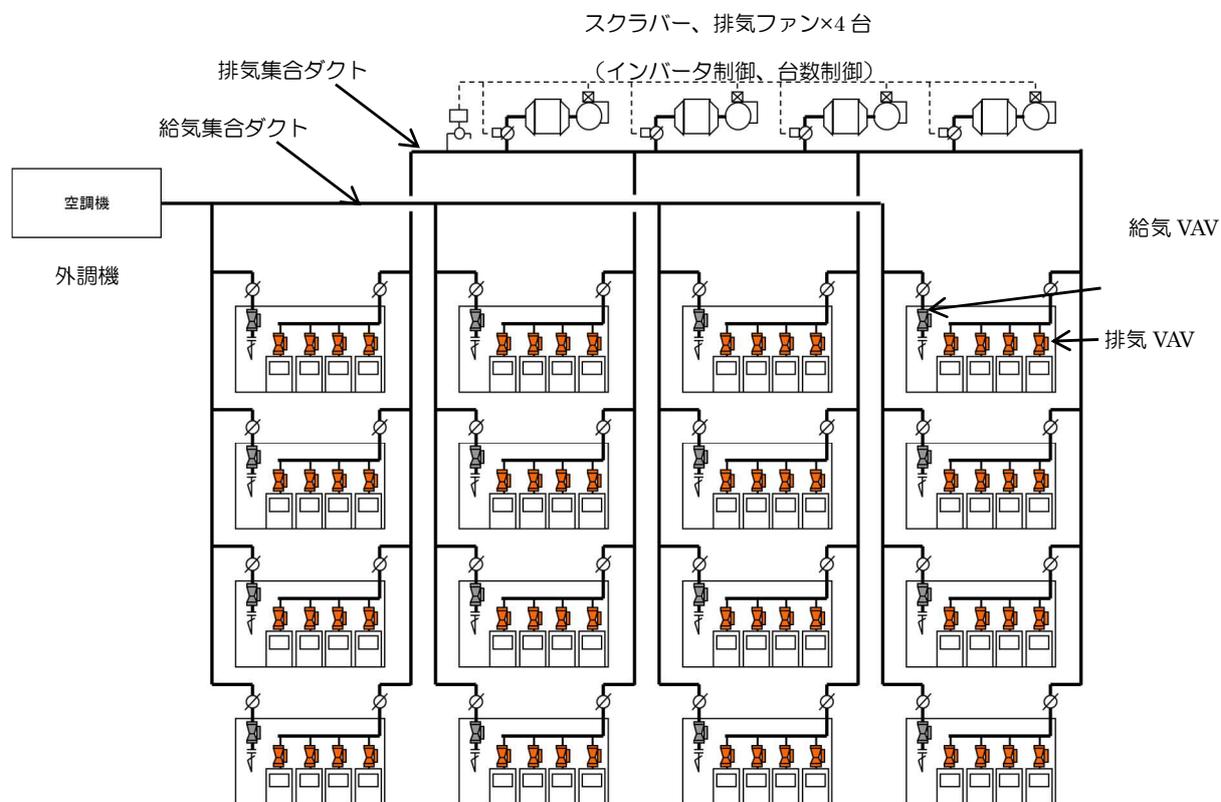


図 1-6 集合方式の構成例

単独方式

メリット：

- ・ インシヤルコストが安価

デメリット：

- ・ DC 使用時のオペレーションが煩雑なためファンが都度停止されないケースが多いため、省エネルギーではない。
- ・ 外気が取り込まれるため吹き出し近傍では作業環境が著しく損なわれる。
- ・ 冷房時には吹き出し口に結露が発生することもある。
- ・ DC 排気風量に相当する外気を取り込むため実験室に塵埃問題が発生する。

集合方式

メリット：

- ・ DC の同時使用率を考慮して機器選定を行うことにより必要で十分な設備が構築できる。
- ・ DC の封じ込めと実験室の封じ込めにより高い安全性が確保される。

デメリット：

- ・ インシヤルコストが高価
- ・ 省エネルギーが DC 使用者の運用に依存する

表 1-6 方式分類

分類	排気			給気・空調		
	DC 制御	ダクト	ファン	3 種換気	1 種換気	
DC 実装数				PAC	ファン + PAC	外調機 ^{注2} + PAC
少ない (ダクト施工可)	固定風量	単独ダクト	インバータ付ファン マニュアル設定	◎	○	△
多い	VAV 制御	集合ダクト ^{注1}	ファン インバータ+自動制御	—	—	○

◎ (よくある)、○ (ある)、△ (あまりない)

注 1 : 化学薬品の種類により混合排気が可能な範囲で集合ダクト化

注 2 : 直膨コイルエアハン、外気処理エアコンは風量制御範囲に制限あり

c. 給気方式

DC が設置される実験室では、室内の排気量が多いため、排気量に見合った量を給気することで過剰な負圧状態を防ぐことが必要である。給気方式は、外気の直接給気、または温度調節した空気の給気に分類される。導入には DC の使用頻度や設置台数およびランニングコスト等を考慮する。

外気を直接給気する方式では、ドアのガラリ等からの自然給気と、給気ファンでの機械給気とがある。初期コストおよびランニングコストは低く抑えることができるが、温度調節がされていないため、室内の温湿度環境に影響を与えることがある。特に自然給気では、給気量は成り行きとなるため、室内の排気量が増加すると過負圧になる場合がある。

温度調節した空気を給気する場合は、外気処理空調機あるいはパッケージ型空調機の使用に分けられる。選定には、対象となる実験室の規模や設置スペース等を考慮する。

① 外気処理空調機

送風機（ファン）・熱交換器（コイル）・加湿器・エアフィルタ・ケーシングで構成される。熱源装置を持たずに外部から冷水・温水・蒸気などの供給を受けて空気調和を行い、ダクトにより室内に必要空気量を送る。比較的大きな空間や複数の部屋への送風に向いている。

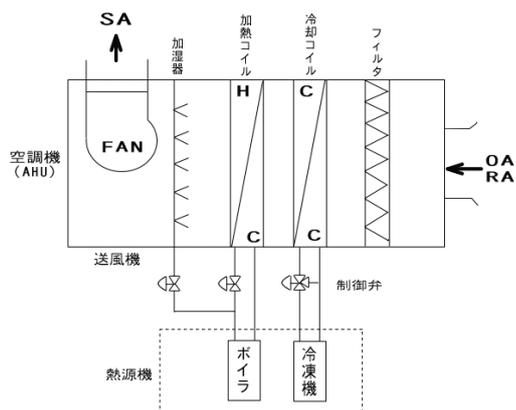


図 1-7 外気処理空調機

② パッケージ型空調機

送風機・熱交換器・圧縮機・凝縮器・制御機構・エアフィルタからできている。必要な機能がセットで組み込まれており、セットの内容の範囲で考えれば簡単に設備設計が行える。室内の排気設備が増えた時などには小さい単位で増設することが可能だが、管理点数も増えることになる。

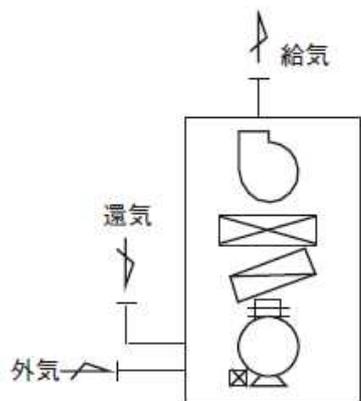


図 1-8 パッケージ型空調機

d. 方式によるエネルギー消費の比較

DC での排気に伴い、ファンの動力（搬送動力）を要するほか、外気処理をする場合は冷暖房用のエネルギー（冷暖房動力）を消費することとなる。ここでは、搬送動力、冷暖房動力に関する代表的な省エネルギー手法として以下の3つを紹介し、各方式のエネルギー消費量の概算比較を行う。

① サッシ開度（DC 開口率）の変更

DC 開口率が 100%の場合と 50%の場合のエネルギー比較を図 1-9 に示す。DC 開口率を小さくすることにより排気量が削減されるため、冷暖房動力も削減される。また排気量の減少に伴い、搬送動力も減少する。

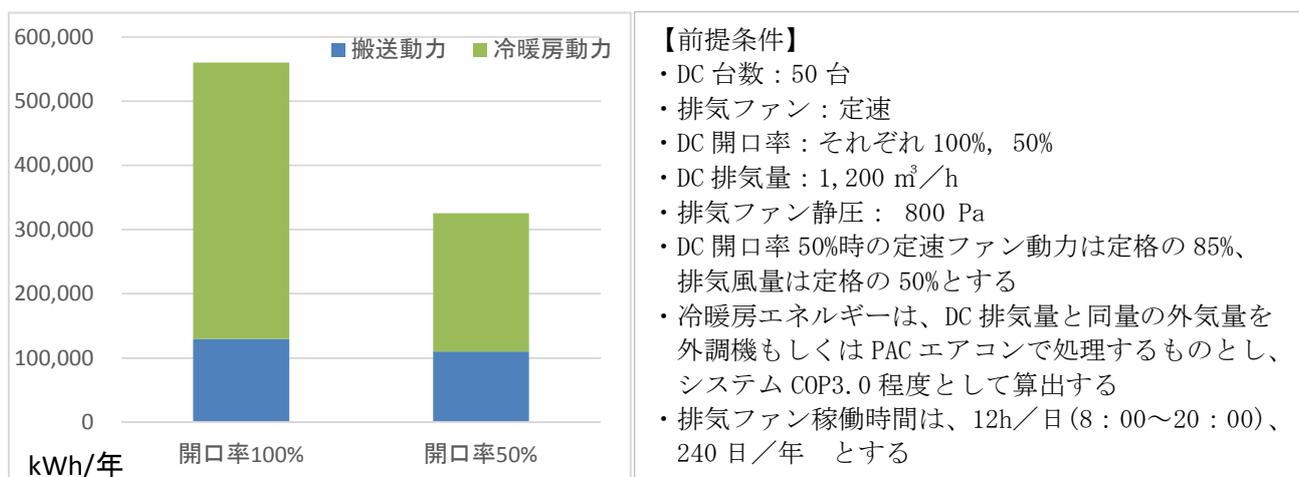


図 1-9 DC 開口率による消費電力量

② 変風量制御（INV）の導入

定風量方式と、変風量制御（INV）を導入した場合のエネルギー比較を図 1-10 に示す。インバータ導入時のファン動力は理論上風量比の 3 乗に比例する（風量比 50%であれば 50%の 3 乗=12.5%）ことから、非常に大きな省エネルギー効果をもたらす。

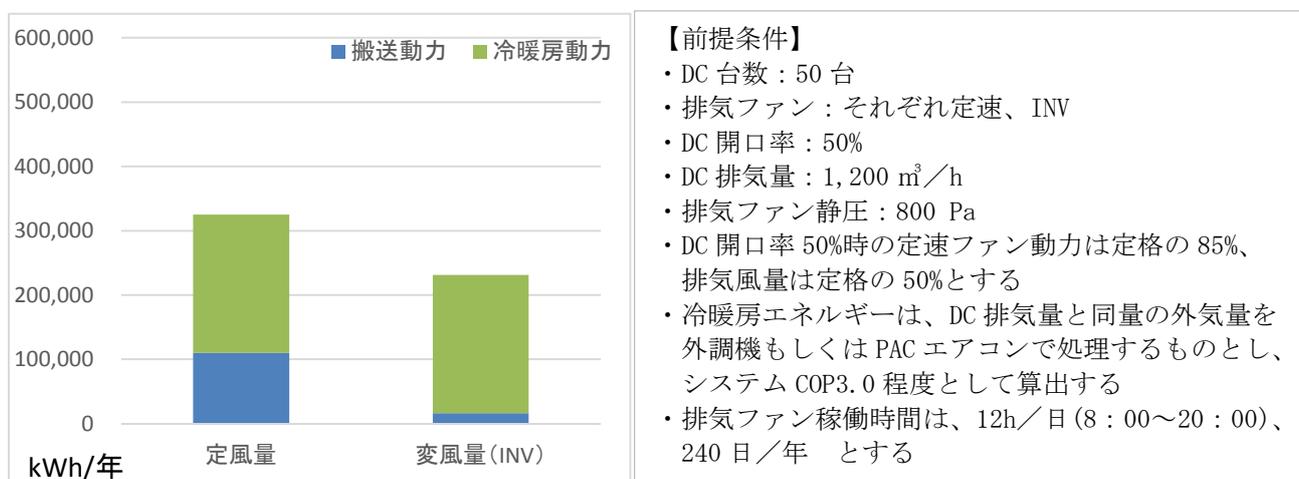


図 1-10 定風量、変風量方式による消費電力量比較

③ 集合化

50 台の DC をそれぞれ単独で排気する方式（単独方式）と、DC を複数台集合化した場合の方式（集合方式）のエネルギー比較を図 1-11 に示す。

集合化は前述（1.3.b 参照）のとおり設備構成の合理化（インシヤルコストの削減）にも資するが、集合方式とすること、さらにインバータと組み合わせることにより、単独系統で定風量排気を行うよりも確実に省エネルギーに結びつくことがわかる。

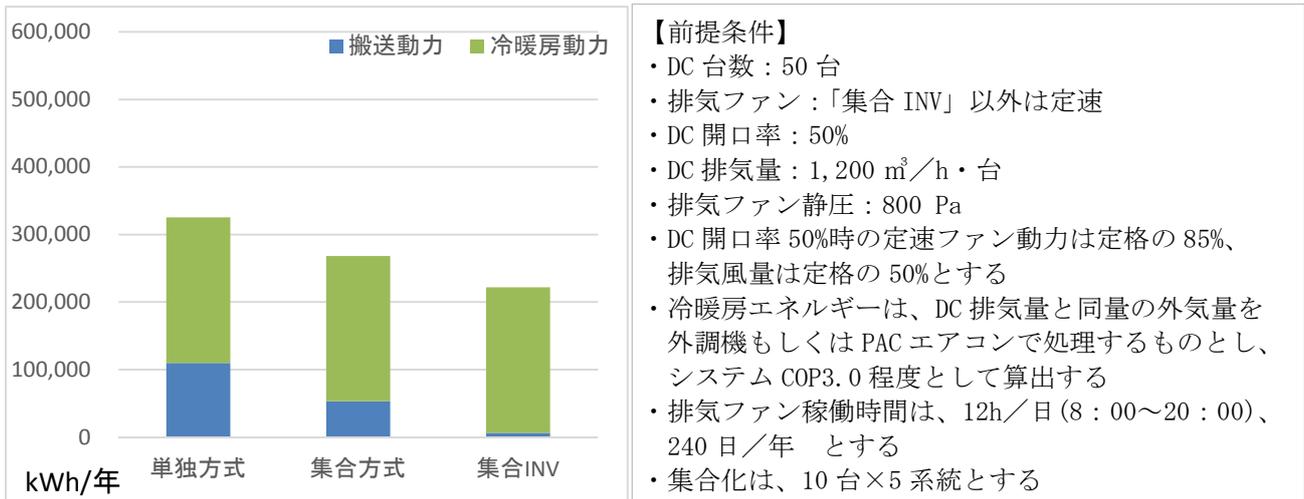


図 1-11 単独方式と集合方式、集合方式+INV 方式での消費電力量比較

以上より、設備構築に際しては、インシヤルコスト削減・設備構成の合理化・エネルギー削減の観点から集合方式を検討することが望ましい。また、特にエネルギー削減に着目するとインバータの効果は極めて大きい。DC 導入後の運用面での省エネについてはサッシの開度を極力小さくすることが重要である。

ここでは基本的な内容について説明したが、具体的な検討方法、運用時のサッシ開口率を適正にする手法については、4 章、5 章にて後述する。

2. 化学実験室の実態

2.1 実験室の構成

東京大学本郷キャンパス（工学部・理学部）におけるDCの採用状況を表2-1、規模別分類を表2-2に示す。従来設備と最新設備で傾向が大きく分かれており、従来設備の排気システムでは「単独ダクト+FAN+スクラバー」がほとんどの建物で採用されており、給気については考慮されていなかった。一方、近年新設もしくは大規模改修を行った大規模なDCを有する建物では、マニフォールド化したシステムが導入され、排気ファンやスクラバーの容量を適正化する傾向にある。また、給気系統もしっかりしており外気処理を行った給気が行われている。

表2-1 建物別採用台数（本郷キャンパス工学部、理学部）

建物名称	台数	排気システム	換気方式	空調方式
工学部 A	6	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 B	16	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 C	95	マニフォールドダクト+FAN+スクラバー	第1種換気	外調機+PAC
工学部 D	7	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 E	104	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 F	5	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 G	1	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 H	16	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 I	28	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 J	2	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 K	7	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
工学部 L	24	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
理学部 A	5	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
理学部 B	5	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
理学部 C	1	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
理学部 D	1	単独ダクト+FAN+スクラバー	第3種換気	PAC
理学部 E	94	マニフォールドダクト+FAN+スクラバー	第1種換気	外調機+PAC

注1：学生実験室を除く

注2：換気方式は第1種（給排気とも機械式）、第2種（給気のみ機械式）、第3種（排気のみ機械式）に分類

表2-2 規模別分類（本郷キャンパス工学部、理学部）

分類	基準	DC台数	建物名称	特徴
大規模	DC \geq 50	293	工学部 C, E、理学部 E	VAV制御、マニフォールドダクト、1種換気、給気空調
中規模	DC<50	84	工学部 B, H, I, L	定風量、単独ダクト、3種換気、部屋空調
小規模	DC<10	42	上記以外	定風量、単独ダクト、3種換気、部屋空調

2.2 実験室のエネルギー消費

DC が設置された理学部 E の電力量データ（2014/8～2015/3）と工学部 C の電力量データ（2014/4～2015/3）からの電力量分析を行った。

a. DC に関するエネルギー

建物全体の消費電力量に対して空調関連（空調熱源、外調機、PAC、排気ファン）の割合が理学部 E では 65%、工学部 C では 51%となっている（図 2-1、2-2）。

b. 排気ファン搬送動力と空調熱源負荷

DC 排気風量と連動して空調処理された給気風量が制御されるため、排気風量増により外調機、空調熱源、PAC の使用量も増加する。このことより、排気ファン動力の削減（排気風量を適正にすること）が上述の「DC に関するエネルギー」の削減に大きく影響するキーファクターであることがわかる。

c. 排気風量と DC の運用

使用者在のときの排気風量、および使用者不在でサッシが閉となっているときの排気風量を“理想風量”、使用者が不在にもかかわらず排気されている風量を“無駄風量”と定義する。DC 前面の使用者の在・不在状態を検知することにより、この“無駄風量”を把握することができる。

理学部 E での“無駄風量”と“無駄風量”を図 2-3 に示す。いずれの時間帯においても使用者不在にもかかわらずサッシが開いており、“無駄風量”が発生している。このことから運用の適正化（不在時のサッシ閉の徹底）による省エネの余地があることがわかる。

“無駄風量”を定量的に管理し DC 運用に反映することにより、VAV システムの理想形である安全と省エネルギーを両立するシステムの実現が可能となる。

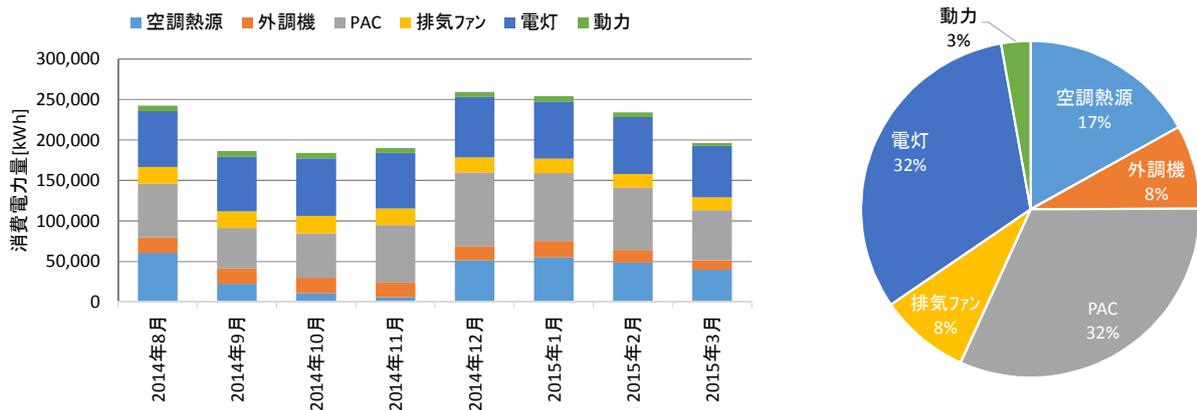


図 2-1 理学部 E-電力量データ (全電力量)

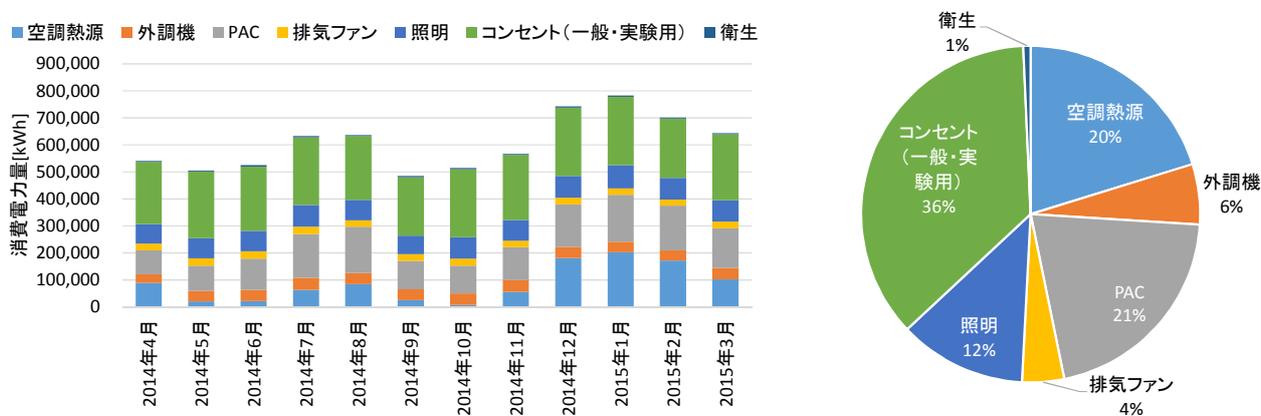


図 2-2 工学部 C-電力量データ (全電力量)

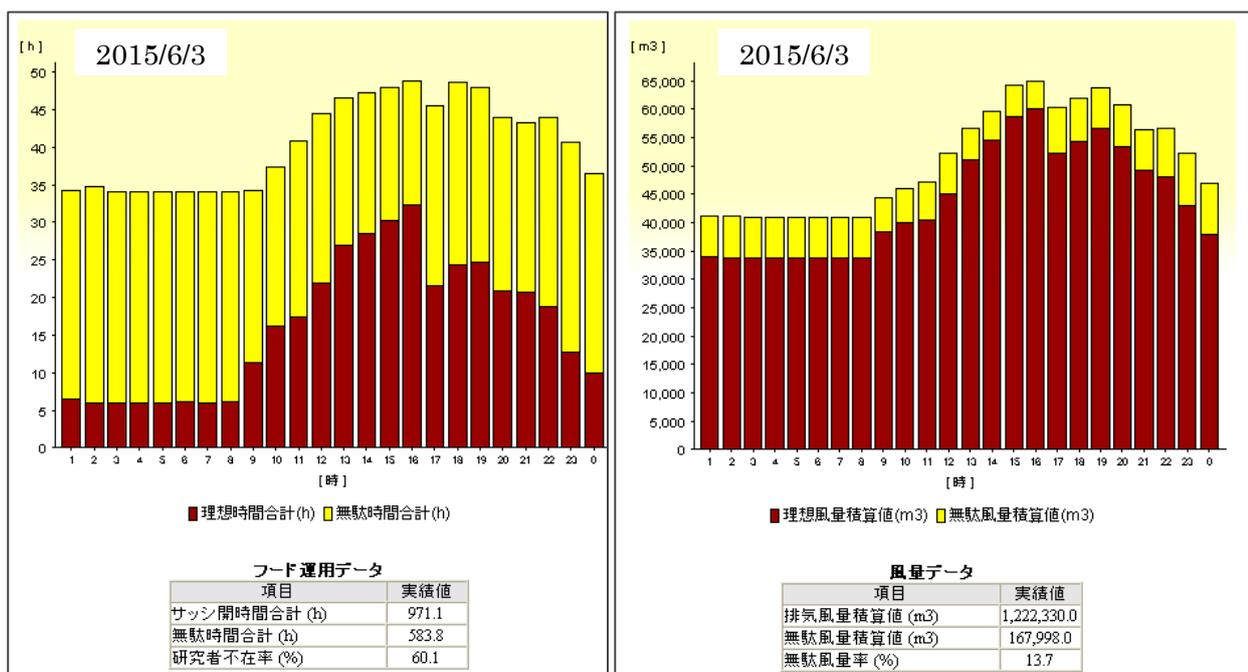


図 2-3 DC 理想時間/無駄時間と理想風量/無駄風量の状況 (理学部 E 全体)

3. 省エネルギーを考慮した DC 設置時の検討項目

DC 設置における省エネルギーのポイントは、1.4.d に示す様に排気ファンおよび給気ファンなどの搬送動力の削減と外気処理(加温、冷却)に対する冷暖房エネルギーの削減の2つである。

DC の給排気システムの検討においては、設置される DC の台数、運用状態(間欠運転か 24 時間運転)、室内の温湿度管理の有無を確認し、DC の発停、扉の開度による風量制御、排気ファンの台数運転やインバーター化、集合ダクト化による同時使用率を踏まえたファン風量の削減などを検討する。

外気処理には多くのエネルギーが消費される。DC の設置台数が多く導入外気による室内温度湿度の変動が大きくなる場合もしくは実験の目的から室内温度変動が許容できない場合は、外気処理を行う外気調和機を設置する。この場合は、排気ファンとともに外調機も変風量化することで省エネルギーを図る。

表 3-1 に DC 系統の排気ファンシステムと給気システムの組み合わせを示す。

表 3-1 給排気システム分類

排気システム			給気システム			システム分類
記号	DC 制御方式	排気風量制御	記号	外気処理	給気風量制御	
EC	定風量	定格運転/ INV による手動 設定 (定風量) 発停	S-	成行	なし	EC-S-
			SC	外気送風	定風量	EC-SC
			AC	外気処理	定風量	EC-AC
EV	変風量	INV 制御 (+台数制御)	S-	成行	なし	EV-S-
			SV	外気送風	INV 制御 排気に連動	EV-SV
			AV	外調機+ VAV	INV 制御 排気に連動	EV-AV

3.1 検討フロー

排気系統および給気系統のマニフォールド化について以下のフローで検討を行う。

a. 排気系統

DCの排気方式として、単独設置とするか集合設置とするかは図3-1に示す排気系統の検討フローに従い検討し決定する。

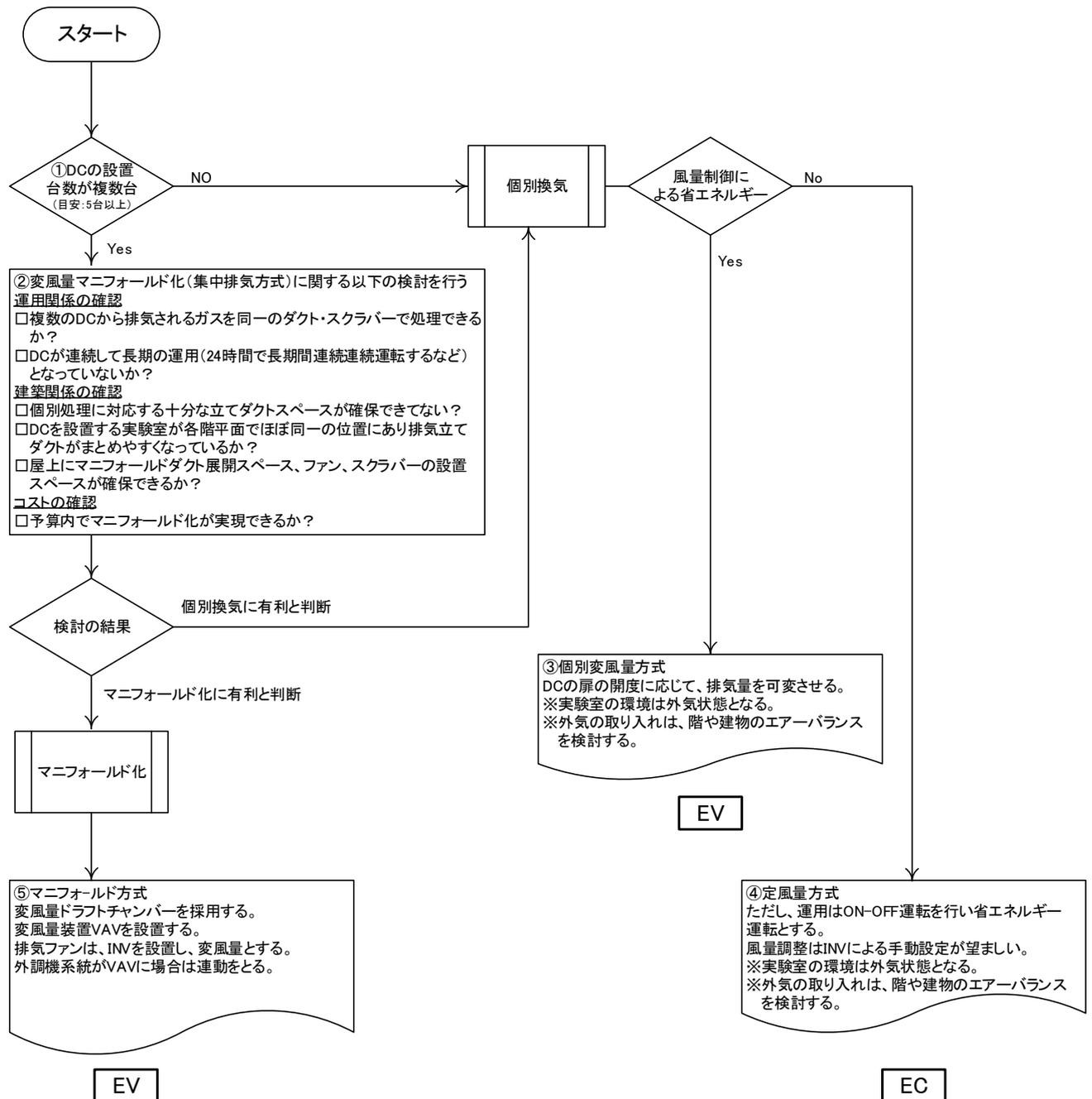


図3-1 排気系統の検討フロー

① DC の設置台数

あらかじめイニシャルコストおよびランニングコスト等の試算結果から DC の設置台数が複数台（目安として 5 台以上）ある場合は、変風量マニフォールド化が可能か検討を行う。

② 変風量マニフォールド化に関する検討

変風量マニフォールド化の採用については、以下のチェックを行いマニフォールド化による対応が効果的かどうか確認を行う。

運用関係の確認

- 複数の DC からの排気ガスが、同一のダクトで搬送、同一のスクラバーで処理できるか？
- DC が連続して長期の運用（24 時間使用で長期間連続運転するなど）となっていないか？

建築関係の確認

- 個別排気に対応できる十分な立てダクトスペースが確保できていないか？
- DC を設置する実験室が各階平面で同一の位置にあり排気立てダクトとしてまとめやすくなっているか？
- 屋上にマニフォールドダクト展開スペース、ファン、スクラバーの設置スペースが確保できるか？

コストの確認

- 予算内でマニフォールド化が実現できるか？

③ 個別換気・変風量方式

この場合は、DC の扉の開度に応じて、排気量を可変させる。排気に見合う給気の検討を行い、エアバランスが確保できるようにする。

④ 個別換気・定風量方式

この場合は、ON-OFF 運転が中心となる。排気に見合う給気の検討を行い、エアバランスが確保できるようにする。

⑤ 変風量マニフォールド化方式

各 DC に高速 VAV を、排気ファンにはインバータを設置して変風量制御を行うことにより省エネルギーを図る。給気系統も変風量化を行い、実験室内のエアバランスを図るとともに空調外気負荷の軽減を図る。

なお、さらなる省エネルギー手法として、ファン風量およびダクトサイズを同時使用率を加味して削減する場合は、学内の関係部署および監督官庁との事前協議を踏まえて実施する。

b. 給気系統

排気系統のシステム検討と並行して、給気系統の方式検討を行う。図 3-2 に検討のフローを示す。

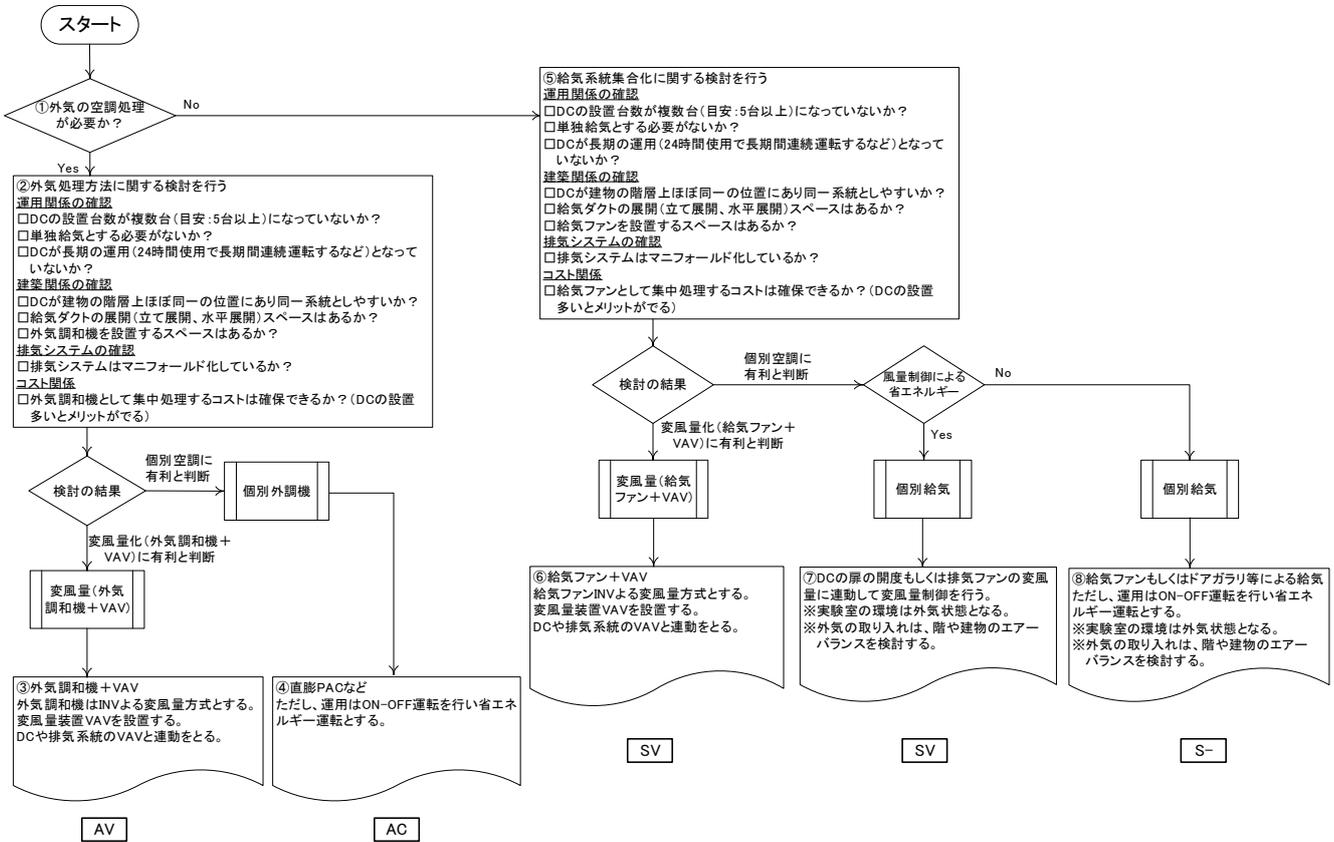


図 3-2 給気系統の検討フロー

① 外気処理が必要かの判断

実験の目的等から外気を空調処理する必要があるかを確認する。台数が少なくても外気処理が必要な場合はそれに従う。

また、大量に排気を行う DC の場合、それにバランスさせる給気が必要となる。外気をそのまま導入すると、DC が設置されている実験室は、冬季や夏季において屋外と同じ温熱環境になるため実験室の環境としては、良好な環境とはならない。一度の使用時間が短く使用時以外は止められる場合や中間期に利用する場合などは直接外気を導入することも可能と考えられるが、常時 DC が使用される場合は、外気処理を導入することが実験室の環境作りには必要と考えられる。

なお、DC の運用が短期である場合、もしくは中間期のみの利用あるいは夏季・冬季において DC が使用される室温が外気温度と同等となっても実験者がその環境を許容できる場合は、直接外気導入のみで行うことができる。

② 外気処理方法に関する検討

変風量化としては、以下のチェックを行い、個別空調（外気処理）とするか、変風量（外気調和機+VAV）とするかの判断を行う。

運用関係の確認

- DC の設置台数が複数台（目安として5台以上）になっていないか？
- 単独給気とする必要がないか？
- DC が長期の運用（24時間使用で長期間連続運転するなど）となっていないか？

建築関係の確認

- DC が建物の階層上ほぼ同一の位置にあり同一系統としやすいか？
- 給気ダクトの展開（立て展開、水平展開）スペースがあるか？
- 外気調和機を設置するスペースはあるか？

排気システムの確認

- 排気システムはマニフォールドとしているか？

コストの確認

- 外気調和機として集中処理するコストは確保できるか？（DC の設置多いとメリットがでる）

③ 変風量（外気調和機+VAV）

排気系統と連動し、外気調和機+VAV で実験室内のエアバランスを確保しながら外気処理負荷を軽減して省エネルギーを行う。

④ 個別外調機

直膨式 PAC などを設置して外気の処理を行う。

⑤ 給気系統の集合化の検討

運用関係の確認

- DC の設置台数が複数台（目安として5台以上）になっていないか？
- 単独給気とする必要がないか？
- DC が長期の運用（24時間使用で長期間連続運転するなど）となっていないか？

建築関係の確認

- DC が建物の階層上ほぼ同一の位置にあり同一系統としやすいか？
- 給気ダクトの展開（立て展開、水平展開）スペースはあるか？
- 給気ファンを設置するスペースはあるか？

排気システムの確認

- 排気システムはマニフォールド化しているか？

コスト関係

- 給気ファンとして集中処理するコストは確保できるか？（DC の設置多いとメリットがでる）

⑥ 給気ファン+VAV

給気ファン INV による変風量方式とし、排気ファンとの連動により室内のエアバランスを確保する。

⑦ 個別給気変風量

DC の扉の開度もしくは排気ファンの変風量に連動した風量制御を行う。

⑧ 個別給気定風量

個別換気のみとなる。ON-OFF を励行することによる省エネルギー運転とする。給気は固定風量のファンもしくはドアガラリからとなる。

3.2 方式別検討項目

a. 単独方式

単独方式での省エネルギー対策を以下に挙げる。

① 低風量型 DC の採用

通常よりも面風速が低いため、排気風量を抑えることができる。詳細は 9 ページを参照のこと。

② 給気方式の検討

前述の方式検討に沿い、外気処理済みの給気が必要かどうか十分に検討する。

③ 排気風量データの収集

排気風量データを BEMS 等に取り込んで分析する事により、使用時以外の無駄な運転確認が可能。単独方式の場合、排気ファンは定風量となることが多いため人検知センサと組合せれば on-off データでも運転評価が可能となる。

b. 集合方式

集合方式では適切な設備の導入と運用により省エネルギー効果が期待できるが、実験者の安全確保にも十分留意したシステムが必要である。

① DC 変風量 (VAV) 制御

(1) サッシセンサによる変風量制御：サッシセンサでサッシ開度を計測し、DC のサッシ前面風速を一定に維持しながら、開口面積に比例して風量を増減させる。サッシ開閉時に DC 内部のガス漏出を防ぐため、制御の応答速度は極力速くできるようにする。

(2) 自動サッシ開閉による変風量制御：人検知センサにより DC 前に使用者が不在と判断された時には、自動的にサッシを閉じることで風量を低減させる。

② 昼夜 (使用時/不使用時) 換気回数切替

夜間は必要最低の換気量で運転する。スケジュールまたは手動で切替可能とする。

③ 給気風量バランス制御

実験室内の空気が外部に漏出しないように、実験室は、廊下⇒実験室の一方方向気流を保たなければならないが、DC の台数が多くなると、給気量が不足し極度の陰圧となり、ドアの開閉が難しくなったり、空調が効きにくくなる場合がある。給気にも VAV 装置を設置して、DC の排気風量の増減に対応して適切な給気量となるように制御する。給気制御においても、気流方向の逆転が起きないように、排気風量に対してできるだけ速い応答ができるようにする。

④ 圧力独立機構付き VAV 装置

ダクトを集合化した場合、各 DC の使用で排気風量が増加することによって、ダクト内静圧の変動が発生する。圧力独立機構を持った VAV 装置により、こうした静圧の変動に影響を受けずに設定した風量を維持することができる。

⑤ 安全のための装置・警報

(1)面風速・異常表示：DC ごとに、面風速を表示するモニタを設置し、実験者が使用中の DC が安全な面風速を維持していることを確認できるようにする。また、給排気風量制御やサッシセンサ等に異常が発生した場合、警報を発報・表示する。

(2)強制排気機能：DC 内で薬品をこぼした時などに、手で排気量を増加できる機能を有する装置を設置する。

⑥ BEMS 導入による設備の統合管理と DC 使用状況の可視化

BEMS (Building Energy Management System) により空調設備や機器を統合的に管理・制御することで、エネルギー使用量の削減が可能である。蓄積されたデータは設備の運用改善に活用することができる。

また、DC やエネルギーの使用状況を可視化することで、省エネルギーに対する使用者の意識の向上が期待できる。BEMS では、電力量・ドラフト運用状態（作業中／不在／非作業中）・排気風量および機器の故障などの状態把握が可能になる。電力量データにより、エネルギーの定量化が可能になるほか、使用の実態に合わせた課金にも利用できる。また、将来の DC 増設や実験室新設の際にも活用することができる。

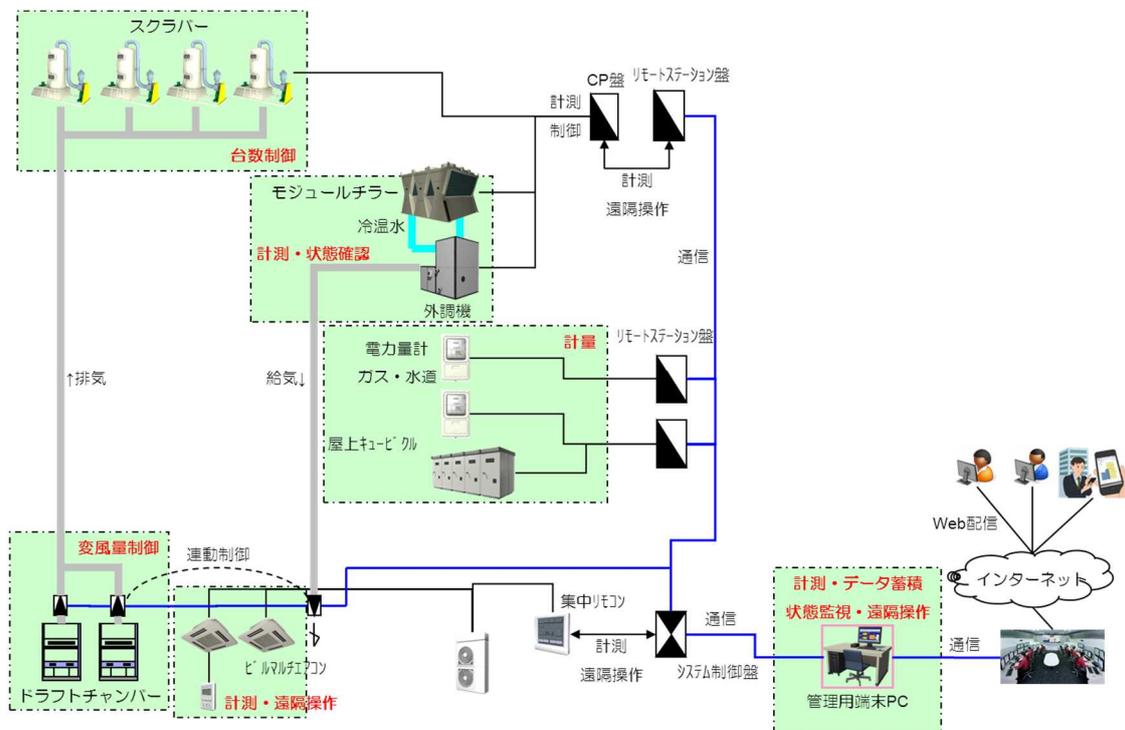


図 3-3 BEMS 構成例 (化学西館)

3.3 既存の部屋に DC を追加配置する場合の検討事項

学内の既存実験室で一番多く採用されている DC の系統例を図 3-4 に示す。DC 排気に伴い必要となる給気(外気)はドアガラリ等から導入されるが、その際実験室内の温熱環境は給気により乱れてしまうと考えられる。これを受け、室内に設置された空調設備(PAC や FCU など)が温熱負荷を処理することにより、空調エネルギー消費量が増加する。このことから、室内の温熱環境・利用者の生産性に配慮しつつ徒に空調負荷が増える事の無いよう計画する必要がある。

DC の利用時間が比較的短時間の場合(学生実習など)には、室内外の寒暖差による室内環境の乱れによる生産性の低下は限定的と考えられるため、直接外気導入*を行うことにより給排気のバランスを保てば良い。一方、同一室内に複数の DC を有している場合や、研究の特殊性から連続運転を行う必要がある場合など室内の温熱環境を快適状態に維持する事が困難な場合は、新たな空調設備を追加するなど検討する必要がある。

※直接外気導入を行う場合は、以下の例に示す結露などの問題が発生しないよう留意する必要がある。

冷房時：降雨時等の外気湿度の高い空気が直接室内に導入されることによる空調吹出面での結露発生

実験室内が実験等で高湿度状態になっている場合における空調吹出面での結露発生

暖房時：高湿度な実験が行われている場合における外気吹出口での結露発生

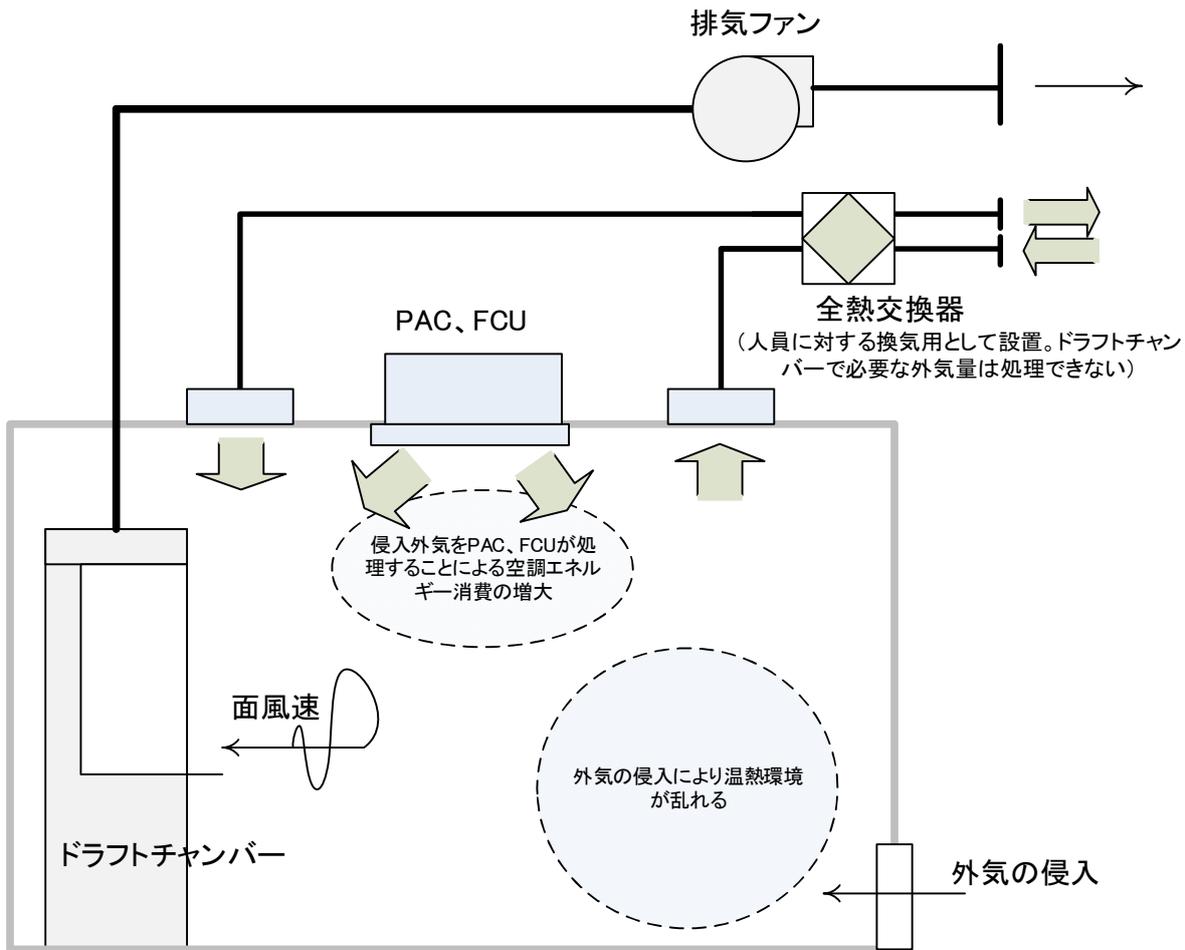


図 3-4 東京大学において最も多く見られる事例(通常の居室を実験室に改修)

3.4 実験室改修計画立案にあたって

DC 周りの改修を計画する際は、新設時と同様、安全性の確保だけでなくメンテナンス性、省エネルギーへの配慮をすると共に、既存他設備に影響を与えないか(エアバランスは問題ないか、電源容量は不足しないか等)留意する必要がある。また、その他特に注意すべき点として、既に存在する建物に対する計画となるため、施工面での検討が重要となる。

一方で、現状の使用状況を把握することで、DC 使用率を現実に近い数値で設定でき、排気ファン台数分割の検討等に活用できる。

a. 施工面における留意事項

改修計画を検討する際、実際に施工可能であるかも重要なポイントとなる。施工面において留意すべき点を例として以下に挙げる。

(施工面における留意事項の例)

- ・ マニフォールド化する場合、ダクトルートを確保できるか確認する。
- ・ 施工にあたって、足場の設置は可能であるか確認する。
- ・ 構造上重要な躯体に穴をあけずに施工できるか確認する
- ・ 屋上に機器を新設する場合は耐荷重や防水層の保護を考慮する。

4. 運用時における省エネルギー手法

DC の排気量は空調全体のエネルギー消費量に大きく関わるが、その排気量を削減するためには、非作業時にサッシをできるだけ閉め、開口面積を小さくすることが効果的である。DC 使用者が、DC から離れる時にはサッシを閉めることが習慣になるような仕組みを考慮すべきである。

4.1 利用状況の可視化

理学部 E では、各 DC に設置されている人検知センサの情報を活用して、無駄な運用（無駄風量）の確認を行うことができる（図 2-3）。無駄風量の定義は、「不在時にサッシが開いた状態で排気された風量」とし、DC のサッシを閉めることで削減できる風量である。本建物では全 DC の運用状態が確認できるため、建物全体での無駄風量の把握が可能となっている。また、工学部 C では、各 DC 前に iPod を配置し、同一排気系統における設計排気量と実排気量を確認することができるようにしている。

このような DC の運用を可視化するシステムの導入により、どの DC が適切に運用されているか、運用の改善余地がある DC がないかといった情報を得られるとともに、消費エネルギーの定量化が可能になり、エネルギー使用状況に応じた実験室単位での課金に利用できる。また、DC の使用者に情報をフィードバックすることで、省エネルギーへの意識づけが期待できる。

4.2 適切な利用方法の明示

DC の運用における省エネルギー化は、適切な利用方法の徹底にかかっている。そこで利用者に適切な運用を促すために有効なツールを紹介する。

a. 開け放し防止ステッカー

図の例では、サッシの開放により家庭の 3.5 倍のエネルギーが使用されることを記載して、DC 使用者に具体的なエネルギー消費のイメージを持たせている。

As previously mentioned, the main problem with fume hood energy efficiency is that laboratory workers are not aware how much energy the fume hood uses during the day and that simply shutting the sash is something easily forgotten. To combat these two issues I designed two stickers that will act as reminders for workers to shut the sash and to alert them to the fact that fume hoods use a large amount of energy on a daily basis. The first of the two stickers is shown below:



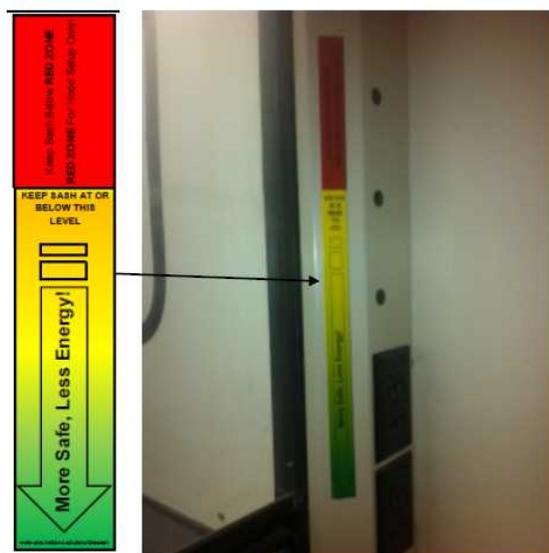
This sticker is being placed on the front of the sash to remind laboratory workers to close the sash when they are done working and provides them the web address to the shut the sash website which is located on the EHS web page. It also addresses the fact that a single fume hood can use as much energy as there to four residential homes in a single day.

図 4-1 開け放し防止ステッカー

b. 開度確認シール

サッシの開け過ぎを防止し、サッシ開度を小さくすることで省エネルギーとなることを視覚的に伝えている。

A second sticker, shown below, was designed to address the energy use of a fume hood and laboratory safety as well.



The second sticker runs vertically along the outside of the fume hood next to the sash. The line at the bottom of the "Red Zone" is placed at the operational sash height. The operational sash height is the maximum height that the sash can be positioned while the fume hood is in operation. This sticker will serve as a visual reminder that lowering the sash will save energy and remind the worker lowering the sash is also safer when working at a fume hood.

図 4-2 開度確認シール

c. 開口制限ストッパー

法規で定められている面風速を担保するため、または風量制限を行うために開口制限を設けている。



図 4-3 開口制限ストッパー

5. ケーススタディ（工学部 E）

工学部 E において、DC の省エネルギー化を図った場合の試算を行う。

5.1 各条件・試算内容

【前提条件】

- ・ 単独方式、集合方式のいずれの場合においても、同時使用率を 60% とする
- ・ 現状の DC の開口率は 50% 程度とする

【試算内容】

- ① 現状：単独方式（一部集合化）、排気ファン定速
- ② 省エネ改修（想定）：集合方式、排気ファン INV

【試算条件】

- ・ 排気ファン稼働時間は、12h/日（8：00～20：00）、240 日/年 とする
- ・ DC 開口率 50% 時の定速ファン動力は、定格の 85% とする
- ・ 冷暖房エネルギーは、DC 排気量と同量の外気量を水配管システムの熱源＋外調機もしくは室内 PAC エアコンで処理するものとし、システム COP3.0 として算出する。
- ・ 集合化にあたっては、図 5-1 のようにエリアを分割し、主に 4 系統となるように系統分けを行った。ただし、2 階学生実験室は DC が多いため、実験室のみで集合化した

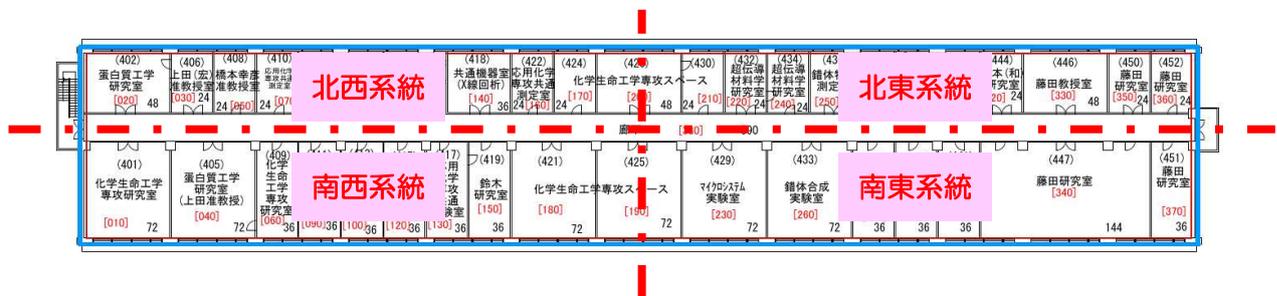


図 5-1 工学部 E 基準階エリア分割

5.2 結果

現状と、省エネ改修をした場合との消費電力量を比較すると、省エネ改修をした場合、搬送動力が大きく減少（約 85%）し、全体で比較して約 50%減少する。このことより、概算ベースではあるが、集合方式+排気ファンのインバータ化により、省エネルギー効果が見込めることがわかる。なお、3章に記載している施工面等の制約をクリアすることが前提となる。

なお、現状は外気処理をしておらず、室内 PAC エアコンによって温熱環境を整える形となっており、必ずしも概算試算結果ほど空調負荷が発生していない可能性もある。搬送動力が削減されることは想定に難くないが、改修前後で室内温熱環境の改善がなされる場合、空調負荷が従前より増加する可能性があることに留意する。

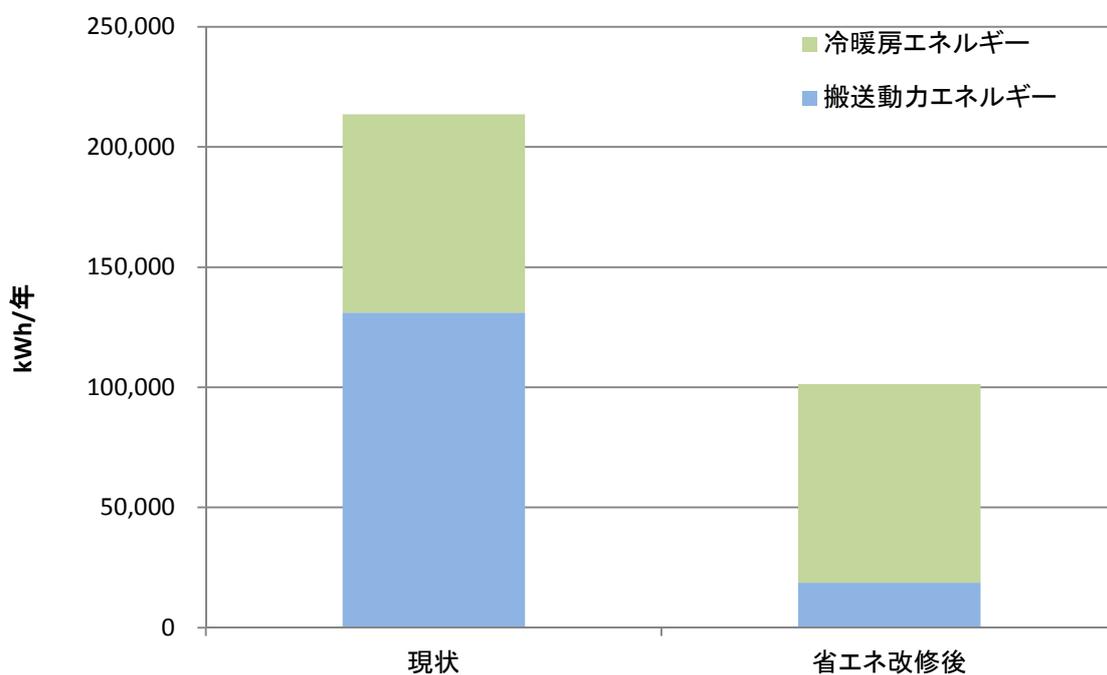


図 5-2 消費電力量の比較

資料編

A.1 実験施設の整備等における安全衛生に関する主な法律

項目	法律名	備考
建築・設備	建築基準法	
	都市計画法	
	建築物における衛生的環境の確保に関する法律	
	高圧ガス保安法	
	ガス事業法	
	消防法	
	水道法	
	下水道法	
	学校保健安全法	
労働安全衛生	労働安全衛生法	
	労働安全衛生規則	
	有機溶剤中毒予防規則	有機則
	鉛中毒予防規則	
	特定化学物質障害予防規則	特化則
	石棉障害予防規則	
	電離放射線障害防止規則	
	事務所衛生基準規則	
	粉じん障害防止規則	
毒劇物	毒物及び劇物取締法	
環境保全	大気汚染防止法	
	水質汚濁防止法	
	悪臭防止法	
	騒音規制法	
	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	
遺伝子組換え	遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律	
病原体	感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律	
放射性同位元素等	放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律	
核原料物質	核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律	

A.2 DC 性能試験の国際規格

ANSI/ASHRAE 110-1995

米国の性能試験方法で、DCの前にマネキンを立たせ、鼻孔部を測定基準としてDCの庫内からのトレーサーガスの漏れ量を測定する「封じ込め試験」で性能を定量化する試験。

項目	試験方法
風速試験	前面サッシ開口部を均等縦横寸法に区切り、風速を測定
気流可視化試験	発煙装置ほか、目視を可能にする装置により発煙させ、目視により観測。ドラフトチャンバー庫内で発生する気体を境界内で抑える能力を目視で評価する試験
封じ込め試験	ドラフトチャンバー庫内でトレーサーガスを発生さ、その漏れ量を測定する。定位置試験、サッシ移動試験、走査試験の3つの試験を行う。 放出器の位置は中央、左右の3箇所測定。封じ込め性能の性能等級は測定される条件に応じ、3つの等級に区分され、yyyはコントロールレベルを示す。 製造時試験：AM (As Manufactured) yyy 据付時試験：A (As Installed) yyy 使用時試験：AU (As Used) YYY
① 定位置試験	サッシを設計開口高さにセットし、トレーサーガス放出器を試験位置のうちの1つに置き、トレーサーガスを放出し、5分間濃度を測定し記録する。
② サッシ移動試験	サッシを開閉し、トレーサーガス濃度を測定記録する。
③ 走査試験	サッシトレーサーガスを検出し、開口部廻りを検知部で走査する。
VAV 応答試験	前面サッシを 25%の開度に設定し、全開まで開き、設計風速になるまでの時間を測定する。

A.3 排気ファン容量の算出手順

変風量制御された DC が集合ダクトに接続されたケースで、その排気ファン容量を算出するための手順を以下に示す。

① DC 開口条件規定

通常使用時のサッシ開度を規定する。

参照：参考資料-1 作業中 DC 開度分布

② 作業中 DC 台数

統計手法を用いて作業中の DC の台数を求める。

参照：参考資料-2 DC 最大同時作業率（台数）

- DC 平均使用率：10%
- 統計安全率：99.9%

③ 非作業中 DC 台数

非作業中の DC の状態を想定して、サッシ開口状態と台数を規定する。

※ 非作業中 DC：前面に研究者が不在で放置されている DC

④ DC 総排気風量の算出

表A3-1 排気ファン容量算出

			開口／風量 m ³ /h	割合／台数	合計風量 m ³ /h		
変風量	DC	作業中	全開	1800	32%	16	28,800
		非作業中	半開	1080	34%	17	18,360
			全閉	360	34%	17	6,120
	小計				100%	50	53,280
固定風量	局所排気		60		10	600	
合計						53,880	

表 A3-2、表 A3-3 に、DC が 50 台、60 台、70 台、80 台、90 台、100 台の場合の排気ファン容量算出例を示す。

表 A3-2 排気ファン容量算出例 1/2 (50 台、60 台、70 台)

		DC 台数			50		60		70	
		最大同時作業率			26.0%		23.3%		18.6%	
					台数	風量	台数	風量	台数	風量
変風量	DC	作業中	全開	1,800	13	23,400	14	25,200	13	23,400
			非作業中	半開	1,080	19	20,520	23	24,840	29
		全閉	360	18	6,480	23	8,280	28	10,080	
	合計(a)				50	50,400	60	58,320	70	64,800
	半開風量×台数(b)				54,000		64,800		75,600	
a/b				93.3%		90.0%		85.7%		

表 A3-3 排気ファン容量算出例 2/2 (80 台、90 台、100 台)

		DC 台数			80		90		100	
		最大同時作業率			21.3%		21.1%		20.0%	
					台数	風量	台数	風量	台数	風量
変風量	DC	作業中	全開	1,800	17	30,600	19	34,200	20	36,000
			非作業中	半開	1,080	32	34,560	36	38,880	40
		全閉	360	31	11,160	35	12,600	40	14,400	
	合計(a)				80	76,320	90	85,680	100	93,600
	半開風量×台数(b)				86,400		97,200		108,000	
a/b				88.3%		88.1%		86.7%		

以上の手順に基づいて導入された実例における設備負荷率の状況例を参考資料-3 に示す。

参考資料-1 作業中 DC 開度分布

DC の物理的な全開サッシ開口を 100%とした DC 使用時の開度分布。

- 50%（半開）以上のサッシ開度でも日常的に使用されている状態が確認できる。

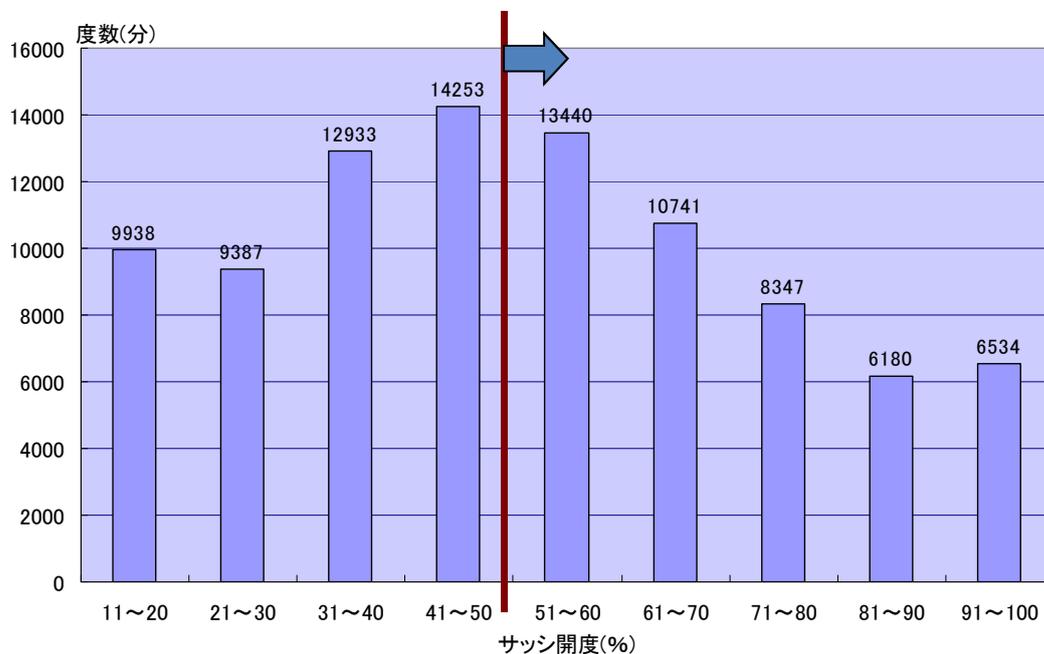


図 A3-1 使用中 DC の開度分布

参考資料-2 DC 最大同時作業率（台数）

二項分布を用いた DC の最大同時作業率（台数）算出方法を図 A3-2 に示す。

なお、条件設定は以下のとおり。

- DC の台数 : 50 台
- DC の作業率 : 10%
- 統計安全率 : 99.9%
- 最大同時作業率 : 24% (12/50)

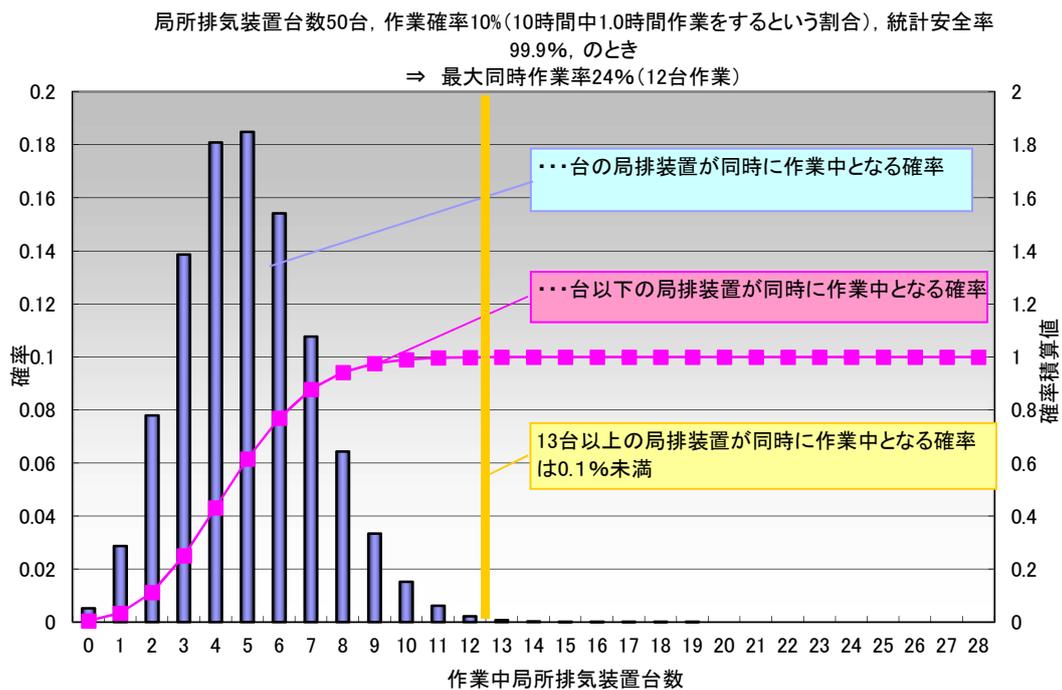


図 A3-2 DC 最大同時作業台数

参考資料-3 設備負荷率

設備に対する負荷率のグラフを示す。一週間の中で平均的な運用が行われている水曜日のデータを挙げる。

表 A3-4 排気機器、排気ファン

		風量 (m3/h)	台数	合計風量 (m3/h)	備考
排気機器	ドラフトチャンバー	1,160	83	118,280	半開風量、平均
	卓上フード	2,000	7		
	実験台	500	6		
	その他	5,000	—		
排気ファン		14,700	4	58,800	7.5KW, 800Pa

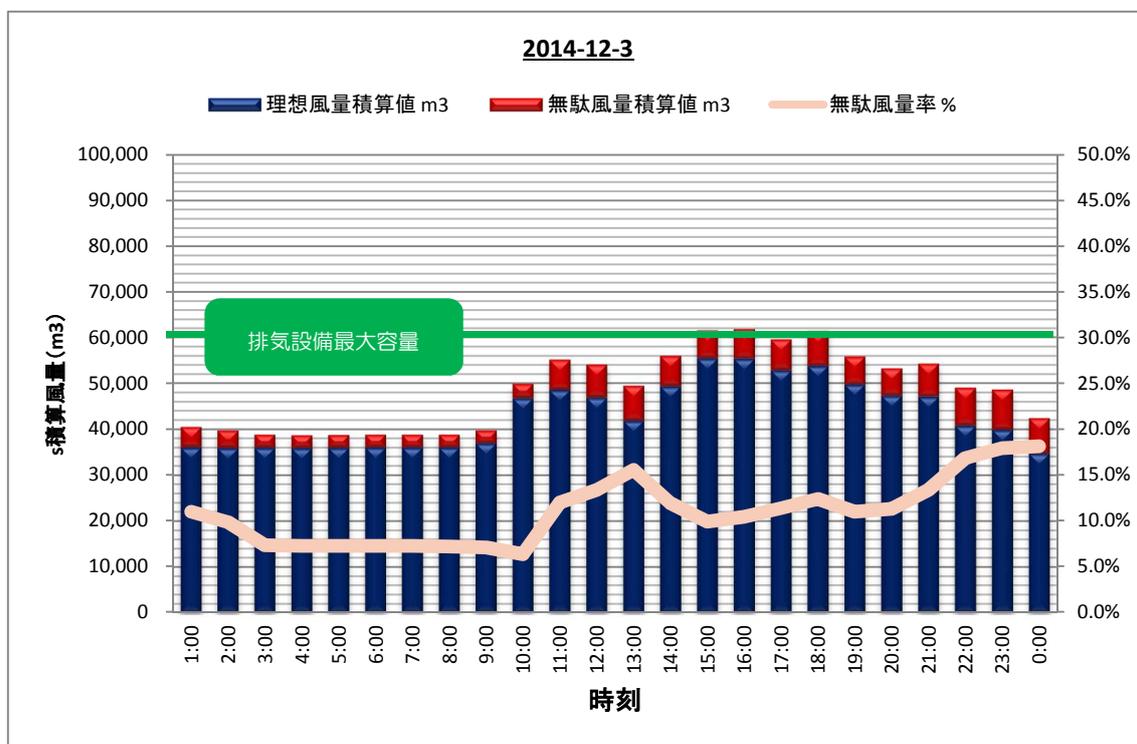


図 A3-3 設備負荷グラフ 2014-12-3（水曜）



図 A3-4 設備負荷グラフ 2014-12-10 (水曜)

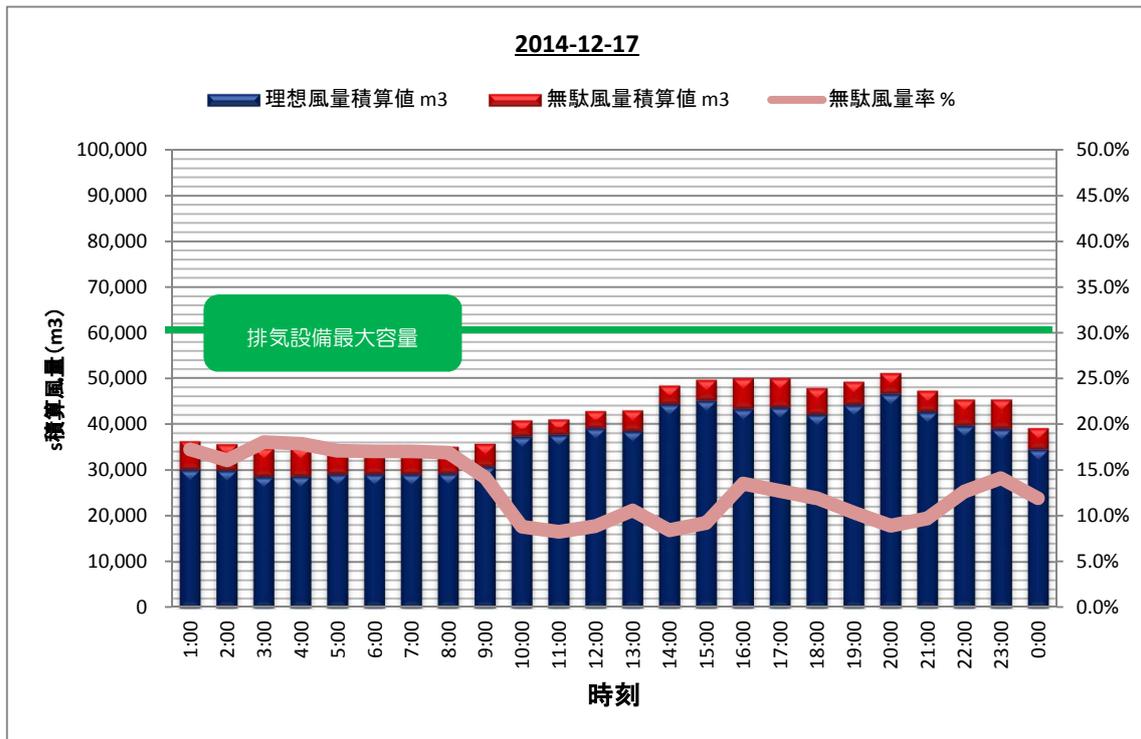


図 A3-5 設備負荷グラフ 2014-12-17 (水曜)

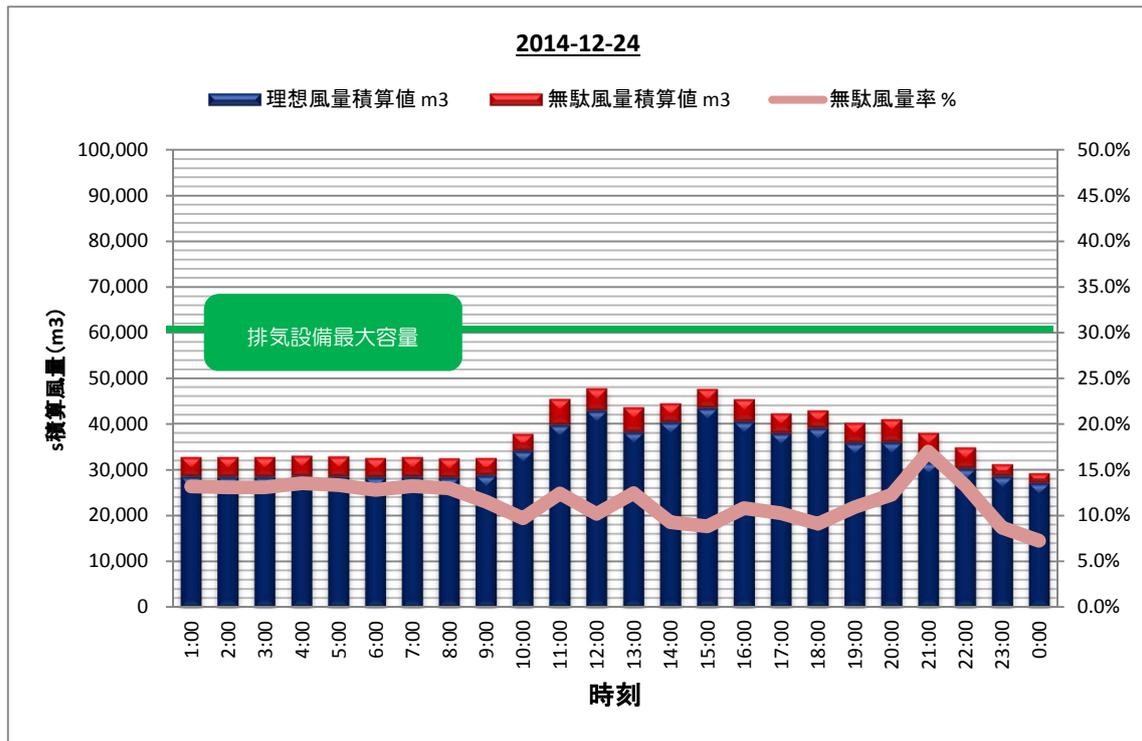


図 A3-6 設備負荷グラフ 2014-12-24 (水曜)

<作成日>

2016年3月31日

<作成者>

TSCP産学連携研究会

ドラフトチャンパー施設における省エネ化検討WG

主 査：東京大学 赤司 泰義教授

メンバー：アズビル 木下哲男，本田暢秀，高崎 さゆり，伊東 勝彦
オリエンタル技研工業 佐久間 健治，井坂 聡，大友 弘法
高砂熱学工業 佐部利 俊和，坂上 雅美
森村設計 村田 博道，長田 拓也，福本 雅彦

アドバイザー：施設部 岡野 正，鈴木 道弘，戸田 宏之
環境安全衛生部 結城 康宏

事務局：TSCP室 迫田 一昭，岡本 泰英，山田 崇司