

電気室における高効率排熱システムの開発

金井 泰人 谷口 明
滝澤 勇輝

概 要

新築建築物では2030年までにZEB水準の省エネ性能が求められ、特に電気室は常に熱負荷が発生するため、空調・換気設備の稼働が長く、エネルギー消費量が大きい。本研究では、配電盤の排気口にダクトを取り付け、排熱を効率的に排気するシステムを開発し、ダクトの有無による温度環境や処理熱量の違いを検証した。夏期には、ダクトの使用により空調設備の還気口への高温空気の流入が抑えられ、空調処理熱量の低下が確認された。一方、冬期は換気設備のみの運用では省エネ効果は得られなかった。中間期では、配電盤の熱を効率的に排気することで空調処理熱量は減少した。また、CFD解析から配電盤の熱負荷が大きい時ほど空調処理熱量は大きくなり、高負荷時には最大13.7%の削減効果が示された。

Development of a highly efficient heat exhaust system for electrical rooms

Abstract

Newly constructed buildings will be required to achieve ZEB-level energy-saving performance by 2030. Electrical rooms, in particular, continuously generate heat loads, resulting in frequent operation of air conditioning and ventilation equipment and significant energy consumption. In this study, a system was developed to efficiently exhaust heat by attaching ducts to the exhaust ports of distribution panels, and differences in temperature conditions and heat load processing with and without ducts were examined.

In the summer, the use of ducts prevented the inflow of hot air into the return vents of air conditioning equipment, resulting in a reduction in the air conditioning heat load. In the winter, however, operating ventilation equipment alone did not produce energy-saving effects. In the intermediate seasons, efficiently exhausting heat from the distribution panels reduced the air conditioning heat load. Furthermore, CFD analysis showed that the larger the heat load of the distribution panels, the greater the air conditioning heat load, with a maximum reduction of 13.7% observed during high-load periods.

キーワード：ZEB、BEI、省エネ、電気室、ダクト

§1. はじめに

新築建築物は、2030年までにZEB水準相当の省エネルギー性能が求められており、設計時にはエネルギー性能を意識した計画が重要である¹⁾。電気室は、電力会社から供給される電気を変圧する際、常に熱負荷が発生するため、空調設備及び換気設備の稼働時間が長く、多くのエネルギーを要する。また、空調設備を用いて電気室を冷却する場合、BEIの値は高くなる傾向があるため、ZEB実現のためには対策が求められる。

本研究では、配電盤の排気口にダクトを取り付けることで、排熱を電気室内上部に集熱し、その熱を効率良く処理するシステムを開発した。本報では、配電盤の排気口に取り付けるダクトの集熱性能、ダクトの有無による温度環境特性や処理熱量の違いの確認を行った。

§2. 集熱ダクトシステム概要

本研究で開発した、集熱ダクトシステムの構成を図1に示す。本システムは配電盤の排気ファンの排気口にダクトを取り付け上部に立ち上げることで、排熱を電気室内上部に集熱し、換気による排熱効率の向上と空調負荷を低減させる。

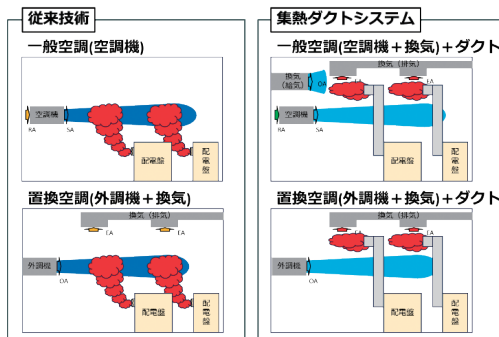


図1 集熱ダクトシステム構成概要

§3. 実験室実験によるダクトの集熱性能の検証

3-1. 実験室実験の概要

集熱ダクトの配電盤排気口への直接接続の可否を配電盤メーカーにヒアリングしたところ、4社のうち1社は接続不可能という回答が得られたため、本検証では、配電盤とダクトの離隔距離が集熱性能に与える影響を確認した。

本実験は、(株)フジタ技術センターの実験室で行った。実験室は、面積は約324㎡で天井高さ約5.5m、である。実験装置の写真を図2に示す。配電盤内の温度の再現は加熱装置を用い、電気室内の温度の再現は実験室の

空調設備を用いた。実験に用いたダクトは、スパイラルダクトの下部に、開口を開けたボックスを取り付けたものである。スパイラルダクトは、φ350とした。図3にスパイラルダクトの下部に取り付けたボックスの画像を示す。ボックスは開口サイズ□400mm×400mm、奥行400mmを用い、配電盤の排気空気を開口から取り込みダクトを通して上部に排熱する仕様である。排気ファンは、図4に示す25cm有圧換気扇を用いた。配電盤とダクトの離隔距離は、0mm、50mm、100mm、150mm、200mm、250mmの6ケースで行った。

計測項目及び測定機器を表1に示す。本実験では、温度、風量の計測を行うことで熱量を算出した。配電盤から排気される熱量に対する集熱ダクトから電気室上部に排気される熱量を集熱割合として評価した。

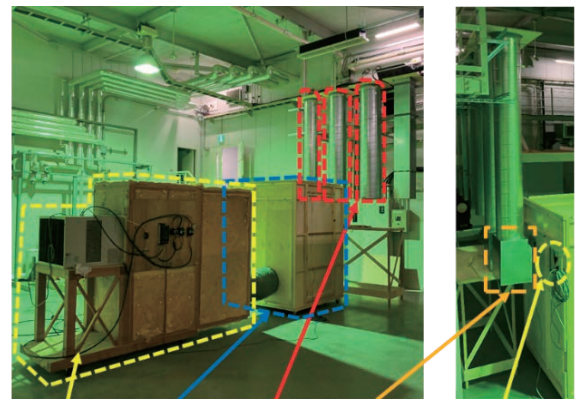


図2 実験装置の写真

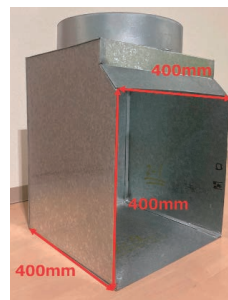


図3 ボックス



図4 配電盤排気側面

表1 計測項目及び測定機器（実験室実験）

計測項目	単位	メーカー	計測器
配電盤排気温度 ダクト上部温度 盤周囲温度	℃	Ninomiya	熱電対TC-T-GR-032
配電盤排気風量 ダクト上部風量	m³/h	株式会社テストー	フード風量計 testo 420

3.2 実験室実験の結果

集熱割合を図5に示す。集熱割合は、離隔距離

100mm以内の時に90 %以上となり、離隔距離150mmを超えると大きく低下する傾向が見られた。

実験時の温度と風量の計測結果を表2に示す。離隔距離100mmと150mmを境に配電盤位置に対するダクト上部の温度と風量が大きく低下する傾向が見られた。ボックスの開口サイズに対して排気ファンの吹出範囲が収まらない距離となったのが原因と考えられる。

そのため、25cmの有圧換気扇に対する離隔距離は、配電盤にダクトを接続可能な場合は0 mmに、離隔が必要な場合は100mm以内にするのが望ましいと考えられる。

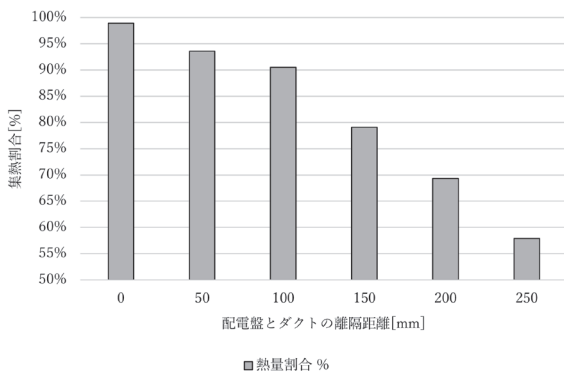


図5 集熱割合

表2 実験室実験の計測結果

配電盤とダクトの 離隔距離 [mm]	配電盤 排気温度	ダクト 上部温度	配電盤排 気風量	ダクト 上部風量
	℃	℃	m ³ /h	m ³ /h
0	51.4	50.9	987	1007
50	50.2	49.4	1004	992
100	49.9	48.8	1007	984
150	50.9	49.0	1025	926
200	49.1	46.9	1027	853
250	50.5	47.2	1029	769
ダクト設置前 配電盤排気風量	52.9		1040	

§4. 既存電気室における温度環境特性の把握

4-1. 実証実験の概要

本検証では、電気室へ集熱ダクトを導入し、夏期、冬期、中間期それぞれの温度環境特性を確認した。対象とした電気室及び集熱ダクトの仕様を表3に示し、実験時のダクトの設置状況を図6に示す。ダクトは、アルミフレキシブルダクトを用い、上部は換気排気口付近に開放させた。実験はダクト有り無しによる温度環境特性を把握するため、一週間ごとにダクトを着脱し条件を切り替えた。実験期間は2024年10月18日～2025年7月31日である。実験caseを表4に示す。実際

の運用に合わせ、期間ごとに空調設備と換気設備の稼働条件を変更させた。夜間や休日は建物の利用率が低下し負荷が発生しにくいため、平日の日中（8時～19時）のみを対象とした。

計測項目及び使用した計測器を表5に、主な計測位置を図7に示す。本実験では、事前に風量計を用いて各設備機器の風量を計測し、空調設備の処理熱量及び換気による熱負荷を算出した。

表3 既存電気室の概要

平面配置 凡例 配電盤 空調設備 (FL+2.2m) 換気設備排気位置 (FL+3.15m) 換気設備給気位置 (FL+3.6m) 換気設備給気吹き出し方向 配電盤排気ファン排気方向		
床面積 [m ²]	68.2	
天井高 [m]	4.15	
室容積 [m ³]	283.0	
変圧器最大発熱量 [kW]	11.6	
床面積当たりの発熱量 [W/m ²]	170	
配電盤排気ファン風量 [m ³ /h]	①1140 ②1680 合計2820	
空調設備仕様	一般空調 (PAC)	
定格空調冷却能力 [kW]	25	
換気設備仕様	シロッコファン	
換気風量 [m ³ /h]	4200	
集熱ダクト径 [mm]	①φ400 ②φ500	

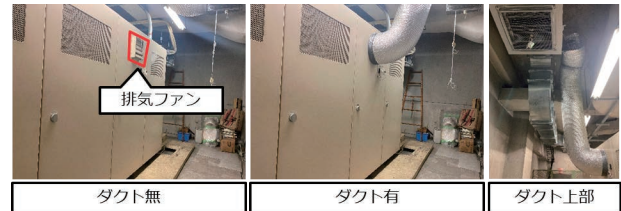


図6 ダクト設置状況

表4 実験 case 概要

	計測期間			設備機器稼働条件	
				空調設備	換気設備
case1_夏期	2025/6/26	～	2025/7/31	ON	OFF
case2_冬期	2024/11/20	～	2025/3/25	OFF	ON
case3_中間期	2024/10/18	～	2024/11/19	ON	ON
	2025/3/26	～	2025/6/25		

4-2. 実証実験結果

計測結果の平均値を表6に示す。

4-2-1. case 1_夏期

ダクト有りは、配電盤熱負荷が2.13kWであり空調

表5 計測項目及び測定機器（実証実験）

計測項目	単位	メーカー	計測器
空調設備SA温度、RA温度 換気設備OA温度、EA温度 配電盤EA温度 集熱ダクト排気温度 電気室内FL+3.6m温度	℃	株式会社 T&D	RTR500B シリーズ
配電盤排気風量 換気設備OA風量、EA風量	m ³ /h	株式会社 テストー	フード風量計 testo 420

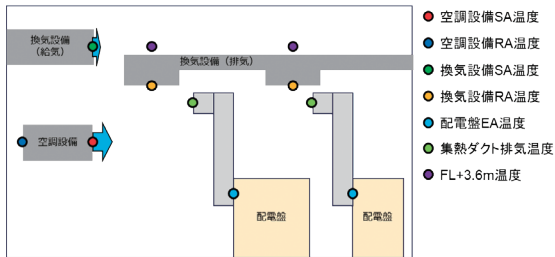


図7 計測位置概要図

表6 実証実験の計測結果

		case1_夏期		case2_冬期		case3_中間期	
		ダクト有	ダクト無	ダクト有	ダクト無	ダクト有	ダクト無
空調設備処理熱量	kW	5.0	5.1	—	—	2.1	3.0
空調設備SA温度	℃	22.4	22.1	—	—	23.7	22.5
空調設備RA温度	℃	25.0	24.7	—	—	24.4	23.6
換気設備熱負荷	kW	—	—	-2.1	-2.3	-0.5	-0.3
換気設備OA温度	℃	—	—	17.0	16.6	24.0	23.3
換気設備EA温度	℃	—	—	19.0	18.9	24.5	23.7
配電盤①EA温度	℃	—	—	20.0	20.3	26.7	27.1
配電盤①EA温度	℃	—	—	23.7	25.8	27.5	27.8
配電盤熱負荷	kW	2.13	2.02	0.07	0.05	1.18	1.14
配電盤①熱負荷	kW	1.59	1.54	0.00	0.00	0.66	0.75
配電盤②熱負荷	kW	0.55	0.48	0.07	0.05	0.52	0.41
配電盤①側_FL+3.6m温度	℃	26.2	24.8	19.6	19.4	25.3	23.9
配電盤②側_FL+3.6m温度	℃	24.8	24.5	20.7	20.5	25.0	24.0

設備処理熱量が5.0kWであった。ダクト無しは、配電盤熱負荷が2.02kWであり空調設備処理熱量が5.11kWであった。ダクトを用いた場合、空調設備処理熱量が低下する傾向が確認された。

ダクトを用いた場合、FL+3.6m温度が上昇しており、上部に高温空気が溜められていることが確認できた。夏期は換気を稼働させていないため排気されないが、上部に排熱するため、空調設備の還気口に高温空気が吸い込まれにくく、空調設備処理熱量が低下したと考えられる。

4-2-2. case 2_冬期

ダクト有りは、配電盤熱負荷が0.07kWであり換気

負荷が-2.1kWであった。ダクト無しは、配電盤熱負荷が0.05kWであり換気負荷が-2.3kWであった。ダクトを用いた場合、配電盤熱負荷が小さく、換気負荷は0.2kW増加した。

冬期においては、換気設備OA温度が低く、電気室と配電盤内の温度が低下して、配電盤の排気ファンが稼働しない時間帯がほとんどであった。本実験では、排気ファンによる排熱から配電盤熱負荷を計測したため、ファンが稼働しなかった配電盤①は熱負荷が0.00kWであった。排気ファンからの排熱がない場合、集熱ダクトの効果は出ないため、冬期においては効果が確認できなかった。

4-2-3. case 3_中間期

ダクト有りは、配電盤熱負荷が1.18kW、換気OA温度24.0℃であり、空調設備処理熱量は2.1kWであった。ダクト無しは、配電盤熱負荷が1.14kW、換気設備OA温度23.3℃であり、空調設備処理熱量は3.0kWであった。ダクトを用いた場合、空調設備処理熱量が低下する傾向が確認された。

ダクトを用いた場合、FL+3.6m温度が上昇しており、上部に高温空気が溜められていることが確認できた。そのため、換気設備の給排気温度差は増加し、配電盤の熱を効率よく排気できていたと考えられる。

§5. CFD 解析による集熱ダクトの性能検証

5-1. CFD 解析概要

本検証は、CFD解析を用いて集熱ダクトの有無による省エネ効果の確認を実施した。前章での実証実験から、中間期に空調設備処理量が低下する結果を得たが、配電盤の熱負荷が小さい場合がほとんどであった。配電盤の熱負荷が大きいほど処理量は低下すると考えるため、実証実験の中で最も配電盤負荷が大きかった時間を代表の条件として再現し、そのモデルを用いて負荷が大きい時の省エネ効果を確認した。対象とした電気室の仕様は表3に示した通りである。

CFD解析は、熱流体解析ソフトFlowDesigner2024

表7 CFD 解析概要

解析ソフト	FlowDesigner2024
解析内容	対流・放射連成解析
乱流モデル	標準k-εモデル
解析領域	11m×6.2m×4.15m
分割メッシュ数	4965840
解析方法	定常解析
差分スキーム	一次風上スキーム
収束判定	10 ⁻⁴

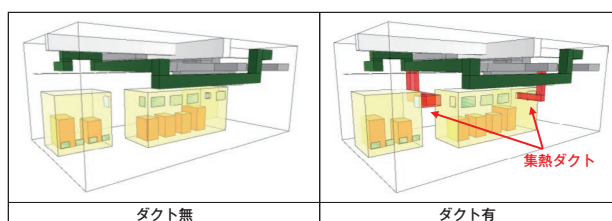


図8 モデル画像

表8 解析 case および熱負荷設定値

	トランス負荷		空調設備 SA温度	換気設備 OA温度	壁体境界 外温度
	熱量	発熱強度			
	kW	%	℃	℃	℃
case1_低負荷	1.7	15%	22.6	26.5	26
case2_中負荷	5.2	45%	22.6	26.5	26
case3_高負荷	8.7	75%	22.6	26.5	26

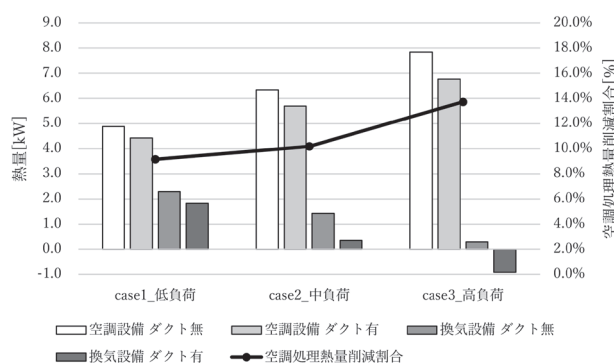


図9 空調設備処理熱量および換気による熱負荷

を用いた。CFD解析の概要を表7に、検証したモデル画像を図8に示す。解析caseおよび熱負荷設定値を表8に示す。

5-2. CFD 解析結果

実験代表時間と各caseの温度環境を表9に示す。実験代表時間とcase1_低負荷を比較すると、配電盤の排気温度に差が見られるもののその他の温度については、概ね一致していることが確認できた。

各caseの空調設備処理熱量と削減割合、換気による熱負荷の結果を図9に示す。空調設備処理熱量の削減

割合は、低負荷では9.1%であったが高負荷では13.7%となった。高負荷になるにしたがって、空調設備処理熱量の削減割合が上昇していることが確認できる。

トランス負荷が高くなることで低負荷時と比較し、換気設備EA温度は上昇した。そのため、ダクト有無で比較した場合、高負荷になるにしたがって、換気による熱負荷は減少し、空調設備処理熱量は低下したと考えられる。

§6. まとめ

本報では、配電盤の排気口に取り付けるダクトの集熱性能、ダクトの有無による温度環境特性や処理熱量の違いの確認を行った。本研究から以下の知見が得られた。

- 1) ダクトによる集熱割合は、配電盤排気口とダクトの離隔距離100mm以内の時に90%以上となり、離隔距離150mmを超えると大きく低下する傾向が見られた。
- 2) 夏期に空調設備のみ用いる場合は、ダクトを用いることで、空調設備の還気口より上部に熱がたまり、高温空気が吸い込まれにくいため、空調設備処理熱量が低下する傾向が確認された。
- 3) 冬期に換気のみ用いた場合は、配電盤の負荷が小さくダクトを用いることによる省エネ効果は確認されなかった。
- 4) 中間期に空調設備と換気設備を用いる場合は、ダクトを用いることで、配電盤の熱を上部に集熱し効率よく排気することができたため、空調設備処理熱量が低下する傾向が確認された。
- 5) CFD解析から、中間期に空調設備と換気設備を用いる場合は、配電盤の負荷が高くなるにしたがい、空調設備処理熱量が減少する傾向が確認できた。

参考文献

- 1) 令和元年度 ZEB ロードマップフォローアップ委員会とりまとめ、2020.08

表9 温度環境結果

		実験代表時間		case1_低負荷		case2_中負荷		case3_高負荷	
		ダクト無	ダクト有	ダクト無	ダクト有	ダクト無	ダクト有	ダクト無	ダクト有
空調設備SA温度	℃	22.1	22.5	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6
空調設備RA温度	℃	24.5	24.7	25.2	25.0	26.0	25.6	26.8	26.2
換気設備OA温度	℃	25.4	25.9	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
換気設備EA温度	℃	24.3	24.9	24.9	25.2	25.5	26.2	26.3	27.2
配電盤①EA温度	℃	29.3	28.8	27.2	26.7	30.7	30.9	35.0	35.1
配電盤②EA温度	℃	27.9	27.1	25.9	25.6	29.3	28.9	32.7	32.0

ひとこと

省エネを意識した計画・設計は浸透しつつありますが、エネルギー削減の課題は多く残されています。今後も更なる省エネのため、設計の改善や研究・技術開発に精進していきます。



金井 泰人