

論文

既存事務所ビルにおける給排気バランスの重要性と実測結果

伊藤 秀臣 渡辺 太郎

可変速の給気ファンと排気ファンで構成される空調システムにおいて外気量を可変する要素を把握し、適切な外気量・排気量のエアバランスについて実測および検討を行った。その結果より、曖昧であることが多い部分負荷要求風量運転時の風量バランスを把握する方法としてエアバランス図を考案した。エアバランス図を用いた複数建物での実用性検証結果を報告し、エアバランス図作成の有用性を示す。

曖昧であることが多い部分負荷要求風量運転時のSA・RA・OA・EAの風量バランスを実測により明らかにする。また、風量バランスを把握する方法としてエアバランス図を考案し、それを用いて複数建物での実用性検証を行ったのでその結果を示す。また、OA量増大のための改修工事を行った事例でのエアバランスも実測結果から検証した。

1. はじめに

近年の建築物における省エネルギー化への要求は、カーボンニュートラルの実現に向けてますます高まっている。一般的な事務所ビルの空調に使われるエネルギーは建物全体の消費エネルギーのうち40~50%を占めると言われており、その中でも外気処理のためのエネルギーは大きく、省エネルギー化に対する影響は大きい。空調システムの省エネルギー化には給気風量の変風量制御が広く採用されており、設計外気量一定を想定されたシステムに対して、取り入れ外気量を削減するCO₂制御は大きな省エネルギー効果を期待されていた。

一方昨今のコロナ禍において、換気に対する重要性が注目され、取り入れ外気量を増大させる傾向となった。実際に取り入れ外気量を増大させるための改修工事を行った例もあり、今後は省エネルギー化のための取り入れ外気量削減と感染症対策のため、必要な時に取り入れ外気量を増大させることが可能な空調システムとなる様に、設計・施工することが求められると考える。

本報告では、可変速の給気ファンと排気ファンで構成される空調システムで、給気(SA)・取り入れ外気(OA)・還気(RA)・排気(EA)量を計測し、SAファンINV周波数出力を変更した場合の風量測定を行い、

2. エアバランス把握のための基本調査

東京都にある中央熱源方式を採用しているテナントビル(Sビル)を対象としてSA・OA・RA・EA量を計測し、SAファンINV周波数出力、OA_MDとRA_MD開度をそれぞれ変更した場合の把握を行った。

2.1 対象建物

Sビルは、1988年に竣工した当時としては大規模な氷蓄熱システムを採用した中央熱源システムの事務所ビルである。これまでに幾度か熱源空調システムの改修を行っている。

基準フロアの空調システムを図1に示す。

基準フロアの空調は、空調機(冷房能力51kW、暖房能力30kW、SA量8,000m³/h内OA量2,000m³/h)1台とペリメータゾーンに室内床置きFCU(冷房能力[全熱TH 2.0kW、顕熱SH 1.7kW]、暖房能力0.5kW)8台で冷暖房を行っている。

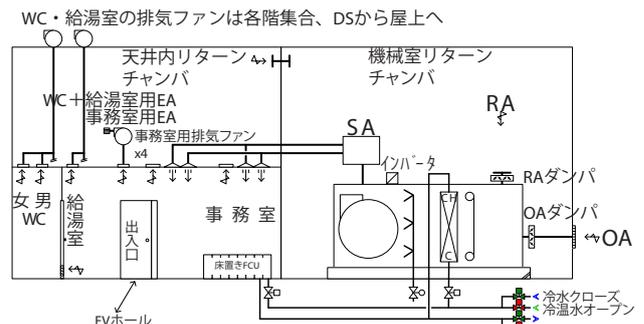


図1 Sビル基準フロア空調システム図

EA系統は、事務室用にEAファン（250 m³/h）4台、屋上階に全フロア共用の給湯室用EAファン（1,000 m³/h、基準階100 m³/h）と便所用EAファン（6,000 m³/h、基準階750 m³/h）がそれぞれ1台ずつ設置されている。

2.2 二次側空調システムの計測

2.2.1 通常時の空調システム運転

SAファンは代表室内温度が設定温度となるように、INVによる変風量制御と給気温度制御を行っている。OA_MDとRA_MDは風量をコントロールするものではなく100 %固定開度となっておりCO₂制御などは導入されていない。そのためOA量とRA量はSAファンINV周波数出力の影響を受ける。各EAファンは空調機に連動して発停を行っており、変風量制御などは行っていない。

測定は2019年12月～2021年3月の間に行った。空調機周りの温湿度をトウプラスエンジニアリング製センサ、風速をカノマックス製の多点風速計、CO₂濃度をazbil製のダクト挿入型センサ、電流は自己給電型の無線電流センサ、室内の温度・CO₂濃度計測は無線センサ、人数把握はAI搭載型人数検知カメラを用いた。データはクラウド上に自動一括収集更新されWebでリアルタイムに確認可能なシステムを採用した。SA・OA・RAの風量は風速より算出した。EA量はEAファンが固定速運転であるため、吸込み口で風量を一時測定し設計EA量との比較を行った。設計EA量に対してトイレEA量は性能の低下が見られたが、事務室EA量は多くなっており、合計で設計EA量に近い状態となっていることが確認できた。

設計EA量と実測EA量を表1に示す。

表1 設計EA量と実測EA量

m ³ /h	設計	実測
事務室1	250	341
事務室2	250	344
事務室3	250	330
事務室4	250	336
事務室_計	1,000	1,351
男子トイレ	400	245
女子トイレ	350	107
給湯室	100	101
トイレ・給湯_計	850	453
合計	1,850	1,804

2.2.2 外気量変化の影響

CO₂制御を実施した場合を想定して1日の中で①～③を順に実施し、OA量変化による室内のCO₂濃度の変化を確認した。

- ① SAファンINV周波数出力を設計風量で固定し、OA_MDを操作しOA量を変更
- ② OA_MDは100 %固定とし、SAファンINV周波数出力を操作しOA量を変更
- ③ SAファンINV周波数出力を設計風量で固定し、OA_MDは0 %固定とし、事務室EAファン4台を停止
SA・OA・RA量を図2に、CO₂濃度を図3に示す。

①と②はOA量に変化してもCO₂濃度変化は緩やかであり、設計OA量2,000 m³/h未満のOA量となっても最大で約700 ppm程度で安定した。反対に③はCO₂濃度変化が大きく最大で約800 ppmまで上昇した。①と②でOA量が1,000 m³/h程度以下のときには、入口付近やEVホールと階段室間の扉などで風切り音が発生しており隙間風が事務室に流入していることが確認できた。③では風切り音が無くなり隙間風の流入も感じられなかった。これらのことから、SAファンINV周波数出力やOA_MDによりOA量を変更しても、EAファンが運転していることでEA量がかわらないため、隙間風が流入しCO₂濃度の変化が緩やかとなっていることが示唆された。

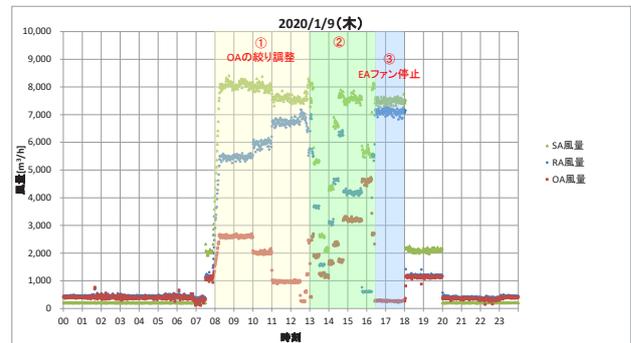


図2 SA・RA・OA量変化

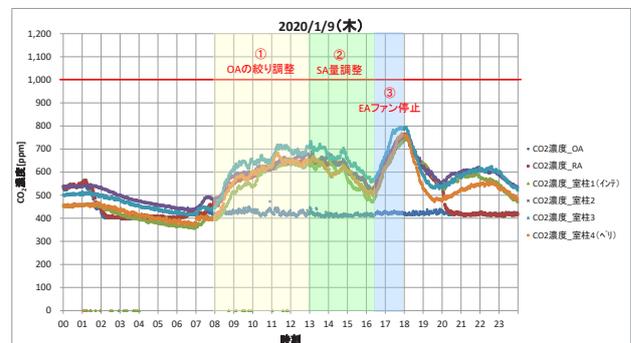


図3 CO₂濃度変化

次に1)～4)の各空気状態と処理熱量を算出した。

- 1) 通常運転、OA_MD 100 % 【OA>EA】 (9:00-9:59)
- 2) 設計OA量運転、OA_MD調整 【OA≒EA】 (10:00-10:59)

- 3) OA量削減運転、OA_MD 0% 【OA<EA】 (12:32-12:45)
 - 4) OA・EA量削減運転、OA_MD 0% + 事務室EAファン4台停止 【OA≒EA<設計OA・EA】 (17:15-17:59)
- 各空気状態と処理熱量の冬期の結果を表2に、夏期結果を表3に示す。

各処理熱量の違いは次の要因であると考えられる。

- 1) はOA量が設計風量よりも多いため処理熱量が最も大きく、OA量がEA量よりも多いためSAの一部が隙間風として流出している。
- 2) と3) では空調処理されるOA量が大きく異なるが処理熱量に差がなかった。EA量が変化しないため3) では隙間風が流入し、削減したOA量の代わりに負荷となっている。
- 4) では事務室EAファンを停止したことでOA量とEA量が共に削減され、隙間風も無くなったことで処理熱量が最も少なくなった。

表2 各空気状態と処理熱量 (冬期)

	SA	RA	OA	EA	処理熱量 (熱量/SA量)
	m ³ /h (°C,%)	m ³ /h (°C,%)	m ³ /h (°C,%)	m ³ /h	
1)	8,085 (23.9,53.4)	5,471 (23.3,48.6)	2,605 (12.1,38.4)	1,804	115 (14)
2)	7,994 (25.1,50.3)	5,950 (23.7,49.5)	2,017 (13.5,33.3)	1,804	93 (12)
3)	7,517 (25.5,48.9)	6,993 (22.6,49.9)	262 (14.3,28.5)	1,804	87 (12)
4)	7,500 (24.7,44.2)	7,077 (23.6,47.0)	267 (13.4,44.2)	453	39 (5)

表3 各空気状態と処理熱量 (夏期)

	SA	RA	OA	EA	処理熱量 (熱量/SA量)
	m ³ /h (°C,%)	m ³ /h (°C,%)	m ³ /h (°C,%)	m ³ /h	
1)	7,708 (17.3,84.1)	5,360 (26.6,50.1)	2,348 (33.6,53.3)	1,804	171 (22)
2)	7,691 (20.5,85.5)	5,417 (26.7,60.7)	2,274 (33.5,61.1)	1,804	138 (18)
3)	7,203 (18.9,85.3)	6,894 (26.5,62.2)	309 (33.6,59.0)	1,804	117 (16)
4)	7,908 (20.2,84.3)	7,465 (26.4,60.0)	443 (32.8,60.0)	453	77 (10)

2.2.3 操作別の外気量変化

SビルはOA量を変化させることができる機構としてSAファンINV周波数出力・OA_MD開度・RA_MD開度の3つがある。

それぞれを変更した場合の風量を図4~6に示す。

SA≒RA+OAとなっており、各風量は確からしい値になっていると言える。SAファンINV周波数出力だけを変更した場合、各風量は比例的に変化していることが分かる。また、5Hzまで出力を落とした時、RAがOAから機械室内に逆流していることが確認できた。SA<EAとなったことで天井・機械室チャンバで抵抗が

少ないRAに影響したためと考えられる。

SAファンINV周波数出力を45Hzで固定しOA_MDとRA_MDを変更した場合も比例的ではないが一定の傾向が見られた。OA_MDを絞るとOAとSA量は減少し、RA量は増加する。RA_MDを絞るとRAとSA量は減少し、OA量は増加する。SAファンINV周波数出力を25Hzに変更固定しOA_MDとRA_MDを変更した場合も行ったところ各風量変化は45 Hz固定時の相似形となった。また、OA量が多い時にEAファン4台を段階的に停止した場合やOA量が少ない時にEAファン4台を段階的に運転した場合に事務室入口付近やEVホールと階段空間の扉などで風切り音が発生し隙間風の流入出を体感できた。

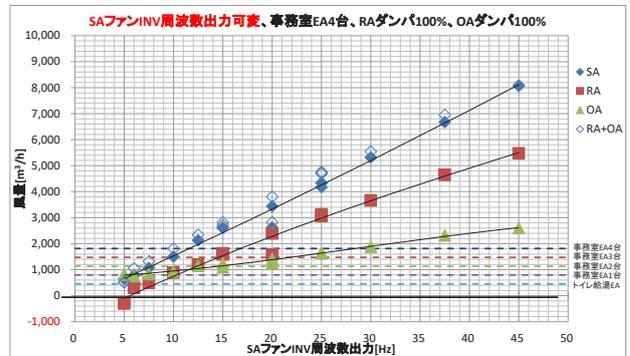


図4 SAファンINV周波数出力変更による風量変化

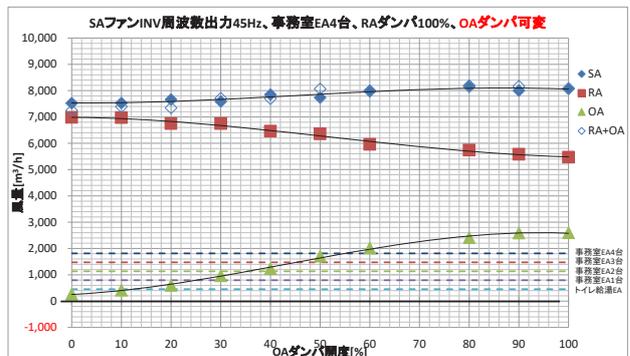


図5 OA_MD変更による風量変化

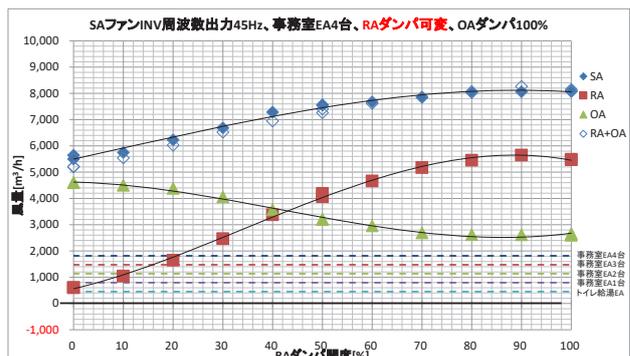


図6 RA_MD変更による風量変化

2.2.4 外気量適正化のための確認

OA_MDとRA_MDを開度100%に固定しているとSAファンINV周波数出力高域時にOA>EAとなっており不必要なOA処理をしている。中低域時はOA<EAとなっており空調されていない隙間風が流入してくる。省エネルギー化と室内環境向上のためにはOA≒EAとなるように各機構をコントロールする必要がある。

適正なOA量となる制御状態と風量を図7に、CO2制御想定として事務室EAファンを段階的に停止した2台と0台運転時を図8,9に示す。

SAファンINV周波数出力とSA量は比例的に変化しており、事務室EAファン4台運転時（設計OA量）は、SAファンINV周波数出力高域時はOA_MDを閉方向・RA_MD100%とし、低域時はOA_MD100%・RA_MDを閉方向とすることでOA≒EAとなる。事務室EAファンを段階的に停止させても同様の方法でOA≒EAとすることができた。事務室EAファン1台以下運転では、RA_MDは常に100%でOA_MDのみ閉方向となった。

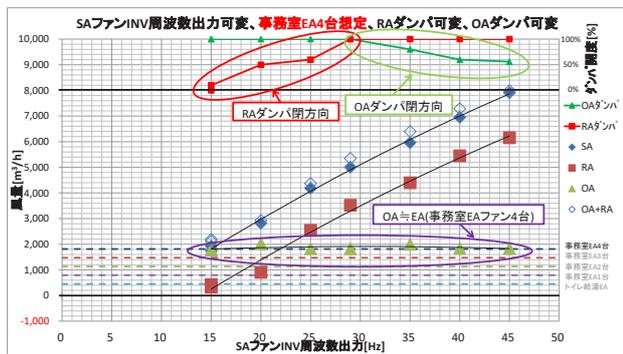


図7 OA≒EAとなるSAファンINV周波数出力とMD開度 (EA；事務室EAファン4台+トイレ給湯EA)

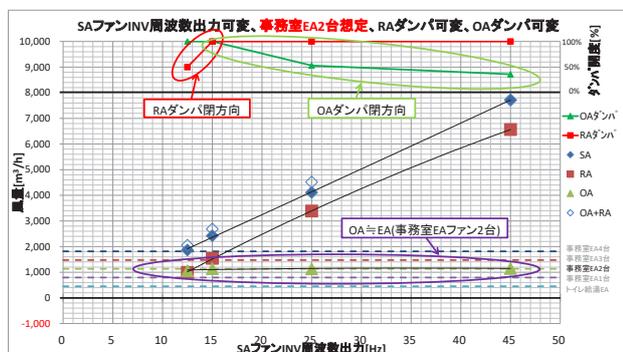


図8 OA≒EAとなるSAファンINV周波数出力とMD開度 (EA；事務室EAファン2台+トイレ給湯EA)

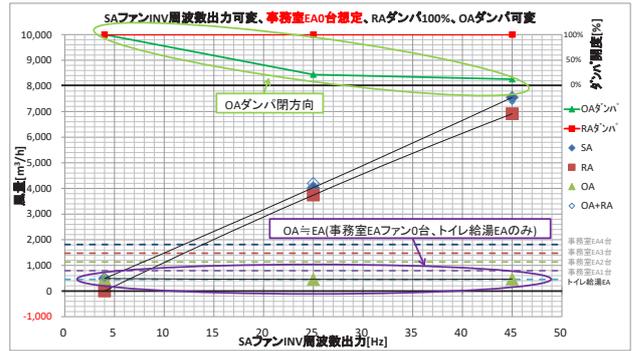


図9 OA≒EAとなるSAファンINV周波数出力とMD開度 (EA；事務室EAファン0台、トイレ給湯EAのみ)

対象としたSビルではSAファンINV周波数出力によりSA・OA・RA量が比例的に変化することが確認できた。また、OA≠EAとなった場合、OAの過剰処理や非空調空気の流入が発生することも確認した。省エネルギーのためにOA量を減らしてもEA量が減っていなければ隙間風が室内負荷となり期待した省エネルギー効果とはならない。SAファンINV周波数出力、OA_MDとRA_MDを適切に設定することでOA≒EAとなり省エネルギー改善が可能となる。

3. エアバランス図による空調システムの分類

3.1 エアバランス図

エアバランス図は、線形で作成でき、各運転点での各風量が予測できる。これを活用することで部分負荷要求風量運転での性能把握がし易くなる。室内外への風量変化を示すためOA量変化に影響を及ぼさない循環系の空調機（FCU、PAC等含む）は除外できる。

可変速のSAファンとEAファンで構成される空調システムをグレード別にCase.1~4で想定した。

SA・OA・RA・EAの制御方法を表4に、各Caseの空調システム図とエアバランス図を図10~13に示す。

表4 SA・OA・RA・EAの制御方法

	SA	RA	OA	EA
Case1	回転数制御※1	-	-	固定速運転
Case2	回転数制御※1	-	OA-VAV※2	固定速運転
Case3	回転数制御※1	RA-MD※2	OA-VAV※2	固定速運転
Case4	回転数制御※1	RA-MD※2	OA-VAV※2	回転数制御※3

※1. 要求風量に合わせるための回転数制御
 ※2. OA規定量を確保するための機構
 ※3. OA量=EA量とするための回転数制御

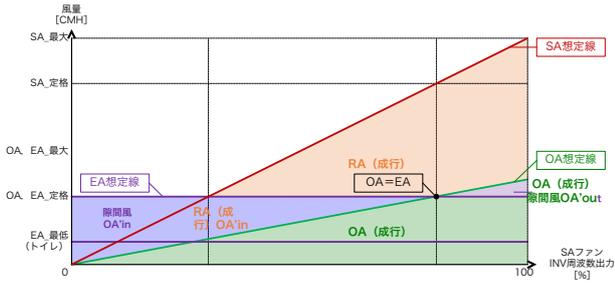
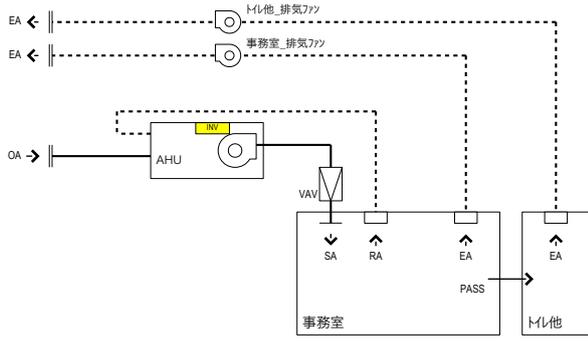


図10 Case1. 空調システム図とエアバランス図

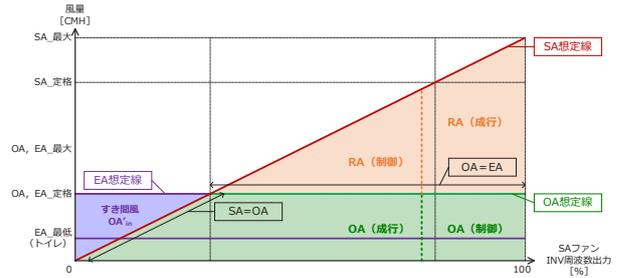
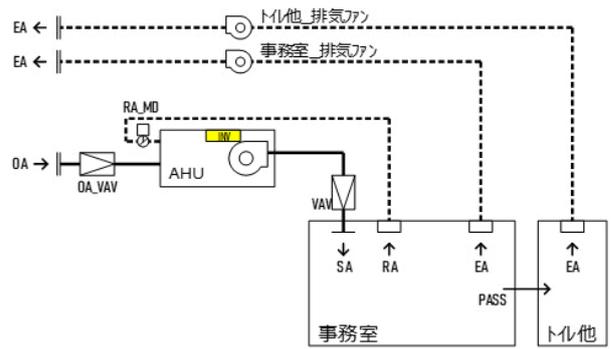


図12 Case3. 空調システム図とエアバランス図

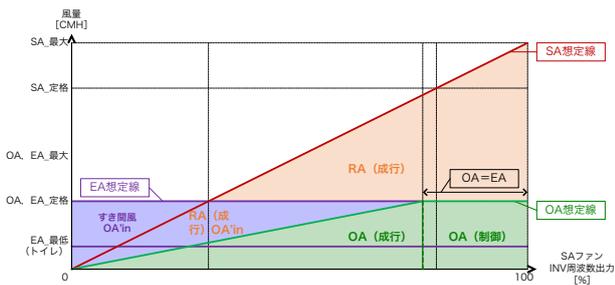
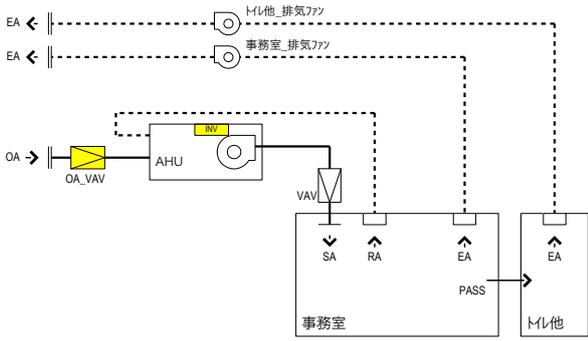


図11 Case2. 空調システム図とエアバランス図

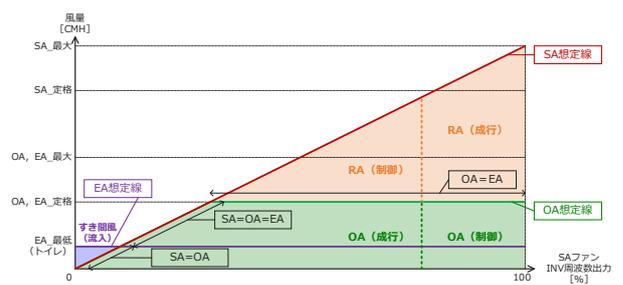
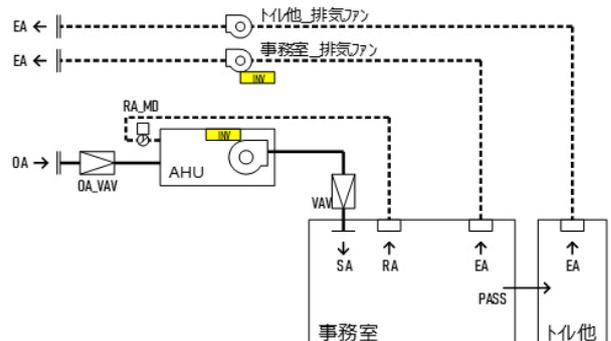


図13 Case4. 空調システム図とエアバランス図

Case1は、OA・RAに制御機構がないためSA量変風量制御に伴い、OA量も変化する。SA定格風量で手動MDが適切に調整されてないとOA量が過剰となっていることが想定される。OA量=EA量となるのは一点のみで、それ以外では室内が陽圧または陰圧となり隙間風が生じる。

Case2は、Case1にOA量一定となるように制御するOA_VAV機構を追加した。SAファンINV周波数出力高域時はOA_VAV機構によりOA=EAとなり空調エリア外に流出する隙間風(OA'out)が無くなる。INV周波数出力中低域時は規定OA量を確保できず、SA量変風量制御に伴いOA量も変化する。OA量=EA量となるのはOA_VAV機構が機能している間で、それ以外では室内が陰圧となり空調エリアに流入する隙間風(OA'in)が生じる。

Case3は、Case2にOA量一定となるように制御するRA_MD機構を追加した。INV周波数出力高中域時はOA_VAV・RA_MD機構によりOA'outが無くSA量>EA量となるまでOA=EAとなる。INV周波数出力低域時はOA量(=SA量)<EA量となるので、室内が陰圧となりOA'inが生じる。

Case4は、Case3の事務室EAファンにINVを追加した。事務室EAファンを可変速化することで外気冷房やCO₂制御に対応可能となる。SAファンINV周波数出力高中低域時にOA_VAV・RA_MD機構、事務室EAファンINVによりOA'outが無く最大～最低(トイレ他)EA量で必要に応じてOA量=EA量となる。

3.2 エアバランス図の実測結果

SA量とOA量が把握できる事務用途の既存ビルに対してエアバランス図を作成し、実測結果と比較した。

各ビルのOA量変化に影響を及ぼす空調システムのみにした空調システム図と実測結果をプロットしたエアバランス図を図14～16に示す。

SビルはCase1に相当する空調システムである。RA_MDとOA_MDは開度100%固定状態、SAファンINV周波数出力は設計OA量付近の12.5Hz(下限)～設計SA量となる45Hz(上限)で制御されていた。30Hz付近がOA量=EA量のポイントになっており、30Hz以上で室内陽圧となりOA'outが生じ、30Hz未満で室内陰圧となりOA'inが生じる。

SA定格風量時に設計OA量に対して実OA量が過剰になっており、OA_MDの絞り調整が必要であることが分かったが、コロナ禍であることからOA量を増やしたいとの要望があり、現在の設定はOA_MD開度100%

のままとし、SAファンINV周波数出力下限値を設計OA量が確保できる30Hzに変更し、常に設計OA量以上(室内陽圧)で運用している。更にOA量を増やしたい場合はRA_MDの絞り調整を行うことでOA量増大が期待できる。

Tビルは、Case2に相当する空調システムである。SAファンINV周波数出力は23Hz(下限20Hz)～設計SA量付近となる68Hz(上限71.7Hz)で制御されていた。58Hz付近がOA量=EA量のポイントになっており、58Hz以上ではOA_VAV機構によりOA量≒EA量となりOA'outは生じず、58Hz未満で室内陰圧となりOA'inが生じる。SAファンINV周波数出力58Hz未満の高中低域時でOA量がCase1と同様に減少する。OA_VAV機構を導入していればOA量は常に設計OA量を確保できていると思いつく人もいるがSAファンINV周波数出力を下げればOA_VAV機構の制御限界によりOA量は減少する。Tビルもコロナ禍の対策としてOA量を増やしたいとの要望があり、2020年にRA_VAVを追加しCase3に相当する空調システムに変更した。

変更後のエアバランス図の実績比較は次章に示す。

UビルはCase4に相当する空調システムである。OA_VAV機構、RA_MD機構を備え、事務室EAファンは固定運転であるがEA_MDとRA_MDを逆動作ならびに運転/停止させることでOA量に合わせEA量を自動調整しCO₂制御に対応する。SAファンINV周波数出力は設計EA量上限付近の46Hz(下限)～設計SA量となる92Hz(上限)で制御されていた。

通常時のCO₂制御設定値は900ppmに設定されており、OA量はEA量下限値800CMH付近で制御されていた。CO₂制御設定値を600ppmにて運用した場合、OA量はEA量上限値1,800CMH付近で制御された。

想定SA量とEA量下限が交差する24Hz付近まではSAファンINV周波数出力下限設定値を変更することで隙間風を生じさせず変風量運転可能であり、省エネルギー効果が期待できるが、Uビルもコロナ禍の対策としてOA量を増やしたいとの要望があり、SAファンINV周波数出力下限設定値は変更せず、CO₂制御設定値を600ppmとし、常に上限OA量となるように運用している。

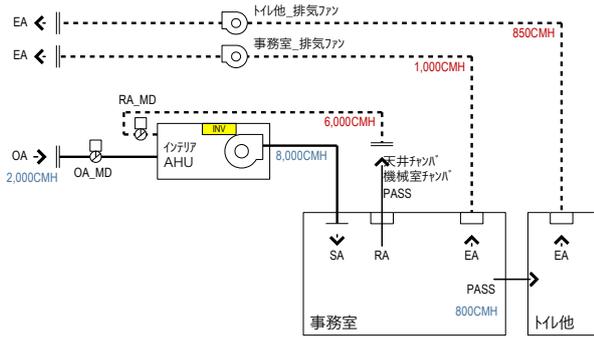


図14 空調システム図とエアバランス図 (Sビル)

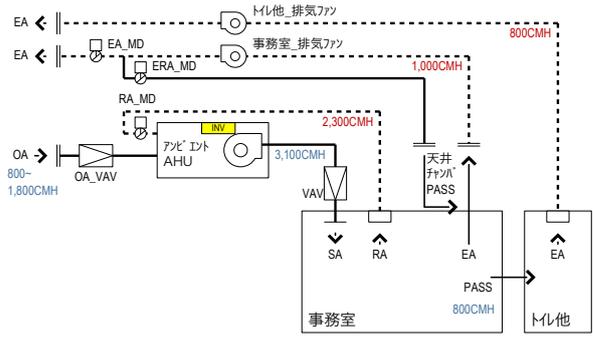
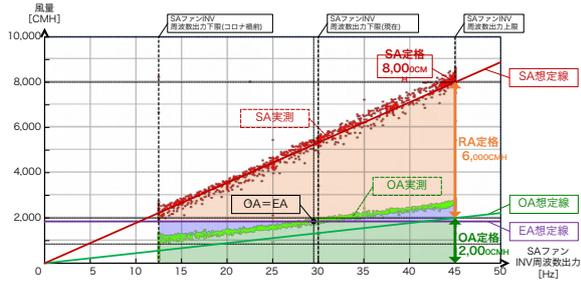


図16 空調システム図とエアバランス図 (Uビル)

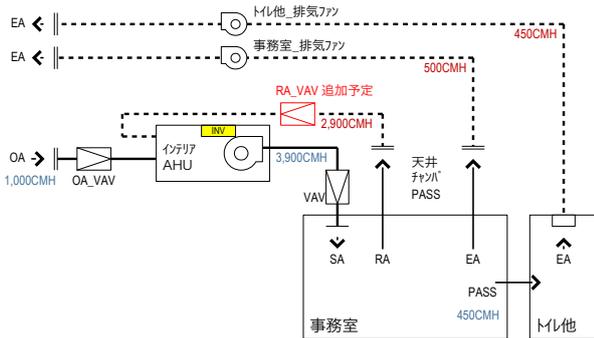
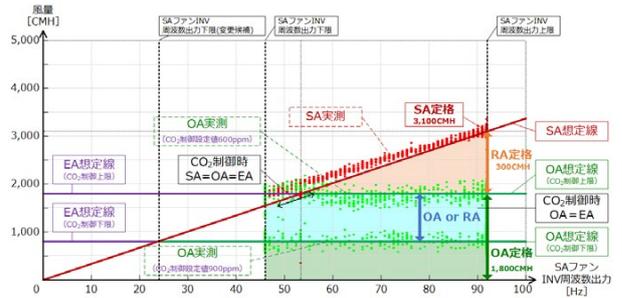
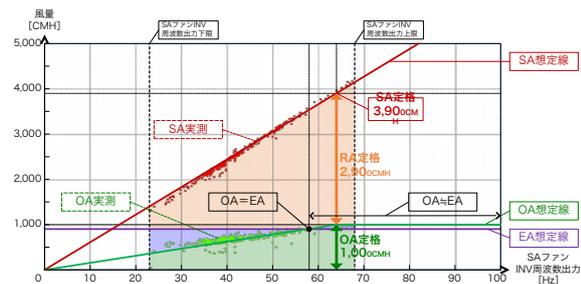


図15 空調システム図とエアバランス図 (Tビル)



4. 取り入れ外気量確保のための改修工後エアバランス

4.1 実運用時のエアバランス

Tビルは、Case2の空調システムであったが取り入れ外気量を増大させたいという要望によりCase3の空調システムへの改修工事を行った。天井チャンバ内既存RAダクトにRA_VAVを追加し、設定OA量に対してOA_VAVが100%開となったらRA_VAVを閉方向に制御しOA量を設定値通り確保させる自動制御も追加した。改修後の実運用の実測結果をプロットしたエアバランス図を図17に示す。

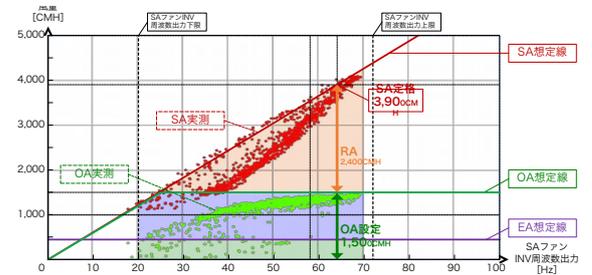


図17 改修後の実運用のエアバランス図 (Tビル)

実運用では、設計条件とは異なる運用としていた。部分負荷要求風量時に室内が陰圧となることから事務室EAファンの停止 (EA量950CMH→450CMH)、取り

入れ外気量をできるだけ多くしたいことからOA量設定値変更 (OA量1,000CMH→1,500CMH) となっている。事務室EAファン停止とOA量設定値変更によりOA'inがなくなりOA'outが大幅に増えていることが分かる。また、SAファンINV周波数出力が約58Hz以上で設定値1,500CMH程度を確保でき、約30Hz以上で設計値1,000CMH以上を確保できている。

4.2 設計条件での追加検証

実運用ではSAファンINV周波数出力中低域時に想定線に対してSA量とOA量が減少している傾向がみられたため、設計条件である事務室EAファン運転、OA量設定値1,000CMHでの追加検証を行った。

停止させていた事務室EAファンを運転させOA設定値1,000CMHとし、SAファンINV周波数出力を変更しながら測定した。また、廊下と室内天井チャンバをつなぐPASSダクトの風向確認も行った。Case2を想定したRA_VAVを100%開として測定したエアバランス図を図18に、Case3を想定したOA量1,000CMHを維持確保するようにRA_VAVを調整開として測定したエアバランス図を図19に示す。

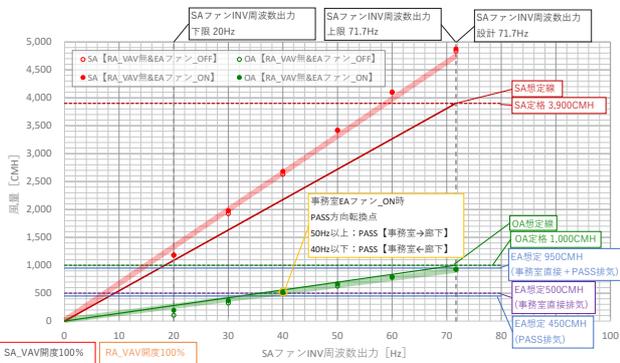


図18 設計条件Case2想定エアバランス図 (Tビル)

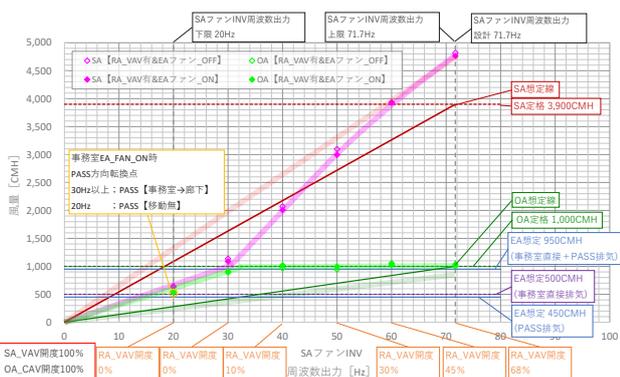


図19 設計条件Case3想定エアバランス図 (Tビル)

SAファン想定線の定格SA量時INV周波数出力は、SAファン仕様書記載かつ上限値に設定されてる値 (71.7Hz) を採用した。調整開となっていた手動RA_MDがRA_VAV追加時に100%開とされたことで抵抗が減り、SA量は想定線や改修工事前の実運用時よりも多くなっている。

改修前のCase2を想定した場合の事務室EAファン運転時はOA量と事務室用EA量の交点に近い40HzでPASS風向の逆転を確認できた。OA'outの発生は無くSAファンINV周波数出力のほぼ全域でOA'inが発生していると言える。(約40Hz以上; 外→廊下→トイレ他EAファン、約40Hz未満; 外→廊下→トイレ他EAファン+外→廊下→室内天井チャンバ→事務室EAファン)

改修後のCase3では、SAファンINV周波数出力約30HzまでRA_VAVで設計OA量を維持確保できることを確認した。SAファンINV周波数出力を下げたときにRA_VAV開度は閉方向となり抵抗が増すことでCase2よりもSA量が減少した。事務室用EAファン運転によるPASS風向の逆転は見られなかった。OA'outの発生は無く、設計OA量が維持できなくなる約30Hz以下でOA'inが発生すると言える。(約30Hz以下; 外→廊下→トイレ他EAファン) また、事務室EAファンを停止している時はSAファンINV周波数出力下限設定値20HzでもOA'inは発生せずINV周波数出力全域でOA'outが発生すると思われる。

改修前後想定ともに、事務室EAファンを運転/停止した場合でのSA量とOA量への影響は見られなかった。また、Tビルのシステムでは、OA'inは抵抗の少ない外から廊下のルートで流入し室内天井チャンバ内で事務室EAファンにより排出されるため事務室内まで侵入してくることはないと思われる。

5. エアバランス図の作成方法

エアバランス図は設計時に作成し試運転調整結果を踏まえて修正を行うことを推奨する。

5.1 設計時作成エアバランス図

設計時エアバランス図作成手順を図20に示す。

風量を縦軸、SAファンINV周波数出力を横軸とし、

1. 縦軸にSA・OA・EAの最大/定格/最低風量を記入する
 2. 横軸に想定SA定格INV周波数出力を記入する
 3. 0点からSA定格点と通る直線を記入する
- 4.1. Case1は0点からOA定格点を通る直線を記入する

4.2. Case2は0点からOA定格点まで直線で結び、定格点より右は横軸平行線を記入する

4.3. Case3・4はSA想定線との交点から右に各OA量の横軸平行線を記入する

5. 各EA量の横軸平行線を記入する

OA=EAとなっている場所が隙間風0、OA>EAとなっている場所がOA'out、OA<EAとなっている場所がOA'inとなる。

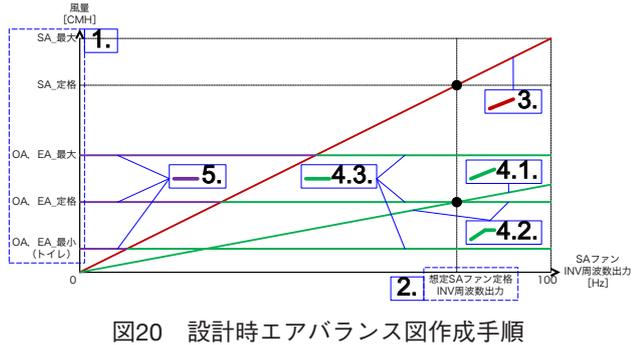


図20 設計時エアバランス図作成手順

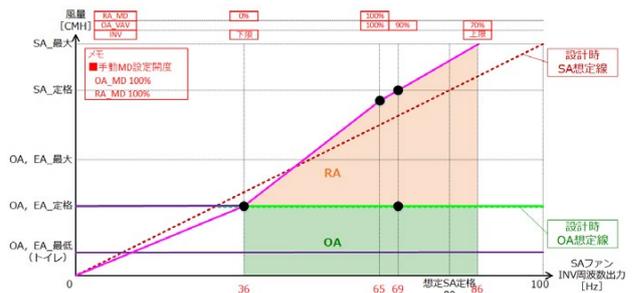


図23 Case3. 試運転後のエアバランス図

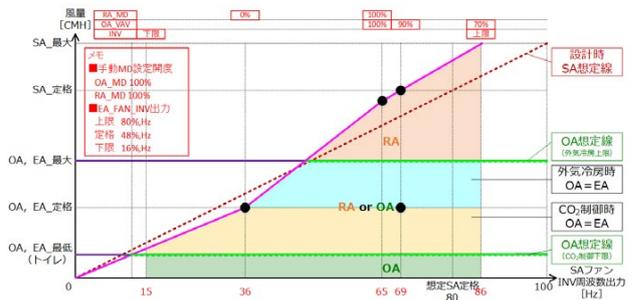


図24 Case4. 試運転後のエアバランス図

5.2 試運転調整時の留意点とエアバランス図の修正

Case1~4について、試運転データを基にエアバランス図を修正する方法を図21~24を用いて説明する。

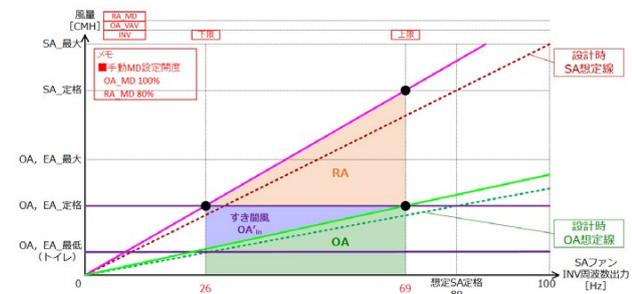


図21 Case1. 試運転後のエアバランス図

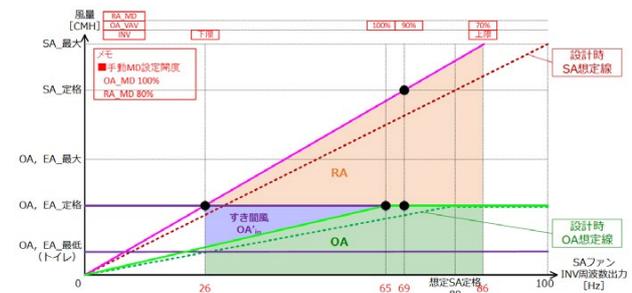


図22 Case2. 試運転後のエアバランス図

Case1について図21に示す。手順①：SAファンINV周波数出力を定格SA量となるように変更しながら、手動OA_MD・RA_MDを規定（定格または最大）OA量となるように調整し、SA定格INV周波数出力として修正する。

また、Case1は同出力を上限としOA'outを生じさせない設定とすることが望ましい。調整した手動OA_MD・RA_MD開度は記録しておく。

Case2について図22に示す。手動OA_MD全開を基本として手順①の調整をOA_VAV機構が制御状態で行い、規定OA量時にOA_VAV機構が高開度状態となるINV周波数出力をSA定格INV周波数出力として修正する。同周波数出力以上の領域ではOA_VAV機構によりOA'outは発生しなくなるため上限周波数はOA'out起因で決定する必要はない。手順②：SAファンINV周波数出力を下げていき、OA_VAV機構が最大開度で規定OA量となるINV周波数出力とSA量を確認し追記修正する。

Case3について図23に示す。手動OA_MD・RA_MD全開を基本としRA_MD機構を最大開度として手順②の後、手順③：SAファンINV周波数出力を下げながら、RA_MD機構を絞っていき、規定OA量を確保できなくなる手前のINV周波数出力とRA_MD機構開度を確認し追記修正する。

Case4について図24に示す。手順③の後、手順④：

EAファンINV周波数出力を変更しながら、各規程EA量となるINV周波数出力を確認しEAファンINV周波数出力上下限値を設定追記する。SAファンINV周波数出力を変更しながら各運転点でEA量がOA量に準じて制御されるように確認調整を行う。

最後に、Case1~4共通として、手順⑤：SAファンINV周波数出力を下げていき、規定SA量下限値を考慮したINV周波数出力下限値を設定追記する。下限INV周波数は15Hz以上かつOA_{in}が発生させないことを目安とすることが望ましい。

6. まとめ

設計時は最大負荷風量時のエアバランスを考えるが、実際の運用では部分負荷要求風量運転の時間が長い。部分負荷要求風量運転でのエアバランスを十分に考慮することにより、隙間風の侵入等を防止でき室内環境の向上にもつなげる事が可能となる。

実際に対象建物でも部分負荷要求風量の時間が多く、SビルはSAファンINV周波数出力のほぼ全域でOA≠EAとなっており、取り入れ外気の過剰供給であるOA_{out}や非空調空気が隙間風として室内負荷となるOA_{in}が発生し、期待した省エネルギー効果になっていなかった。Tビルはダクトサイズなどの物理的制限により、OA_{VAV}設定値を上げてもらうようにOA量は増加せずOA_{in}防止のため事務室EAファンを停止させていた。RAダクトにRA_{VAV}を追加設置するという比較的簡易な改修工事を行い、部分負荷要求風量時にもOA量を増大させ維持確保することできるようになった。

OA量変化に影響を及ぼさない循環系の空調システムを除外した可変速のSAファンとEAファンで構成される4ケースの空調システムのエアバランス図の提案を行い、実建物の運転データよりその有効性を示した。部分負荷要求風量時の運転を把握するにはエアバランス図が有効である。現在、コロナ禍でOA量を増やす要望が多いがエアバランス図を示すことで各運転点の隙間風を含む実OA量まで把握でき、改善手法の根拠を分かり易く示すことができる。

部分負荷要求風量運転時まで含んだエアバランスを考慮して設計・調整・運用・把握しておかないと以下のような運転が発生し、期待した効果が得られないことがあるので注意されたい。

- OA_{out}が発生するシステムで、SAファンINV周波数出力上限値を高く設定してしまい増エネルギーとなっている

- OA_{in}が発生するシステムでSAファンINV周波数出力下限値を低く設定してしまい、室内環境の悪化や期待した省エネルギー効果を得られていない
- OA_{in}・OA_{out}が発生しないシステムでSAファンINV周波数出力上下限値を狭く設定してしまいSAファン回転数制御による省エネルギー効果を十分に得られていない
- OA_{VAV}機構があることで、OA量設定値を変更させれば実OA量は増えると思いついていない
- OA_{VAV}機構があることで、部分負荷要求風量時にも実OA量は維持確保されると思いついていない
- OA量とEA量のバランスが維持できないシステムで、省エネルギー効果を期待してOA量を絞る運用を積極的に行い、期待した省エネルギーにつながらず室内環境を悪化させている
- OA_{in}が発生するシステムで部分負荷要求風量運転時に室内陰圧となることを回避するためEAファン停止運用を行い、期待している換気量を維持確保できなくなっている

室内環境を確保した上で省エネルギー化を図るためには、OA量とEA量の制御が重要となるが、OA量の制御にはRA量の制御も必要となる場合がある。エアバランス図を施主・設計者・施工者・試運転調整者・運転管理者の共通認識とすることが望ましい。また、今回のコロナ禍の様な非日常時にOA量を増強するような運用を行うことを想定してダクトサイズや制御方式を選定しておくことが望まれる。

謝辞

本報の調査・検討においてご協力いただきました東京電力ホールディングス(株)様、東京電力エナジーパートナー(株)様、東京電機大学様、東山興行(株)様、(株)アイビーエー環境設備研究所様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 渡辺太郎、伊藤秀臣、村澤達、田中勝彦、長谷川絢子：既存事務所ビルにおける給排気バランスの重要性と実測結果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、p.265-268、2020年9月
- 2) 渡辺太郎、伊藤秀臣、村澤達、長谷川絢子、田中勝彦：既存事務所ビルにおける給排気バランスの重要性と実測結果(その2) 二酸化炭素濃度と居室在室者人数情報からの外気量推定の検証、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、p.41-44、

2021年9月

- 3) 伊藤秀臣、村澤達、花崎広隆、猪俣宣公、百田真史、山田博：既存事務所ビルにおける給排気バランスの重要性と実測結果（その3）エアバランス図による空調システムの分類と実測比較、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、p.45-48、2021年9月
- 4) 渡辺太郎、伊藤秀臣、花崎広隆、猪俣宣公、百田真史、山田博：既存事務所ビルにおける給排気バランスの重要性と実測結果（その4）外気量確保のための改修工事によるエアバランスの検証、気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、p.137-140、2022年9月