

3. 第2種排煙(告示第1437号第一)における排煙量と給気量に関する分析と考察

告示1437号(告示1437号第一)の第2種排煙が自然排煙と機械給気の組合せによる煙制御方式であることは第2節の解説の通りである。それでは、自然排煙量と機械給気量は実際にどのように設計すればよいのだろうか。

本節では、まず告示の規定に従う排煙量と給気量の算定方法を整理し、次いで給気量の決定に対する扉の開閉状況の影響について考察する。

3.1 告示規定の整理、及び給気量の算定方法

(1) 排煙量と給気量の関係

告示1437号第一では、風量決定に関わる項目として「排煙口の開口面積」と「空気を排出できる能力」の2点を規定している。「空気を排出できる能力」とは、幾分曖昧な言い方であるが、避難安全検証法の解説書⁵⁾に示された「特殊な排煙設備」の解説によれば、これは結局排煙量(m_e とする)のことであり、給気量(m_0 とする)は以下の式により決定することと書かれている。

$$m_o = m_e + m_d \quad (1)$$

ここで m_d は排煙口以外の隙間からの漏れ量である。つまり、告示自体の文中には、漏れ量に関して明示されていないものの、解説書では何らかの隙間からの漏れ量を見込むことが前提とされている。(図-3.1参照)

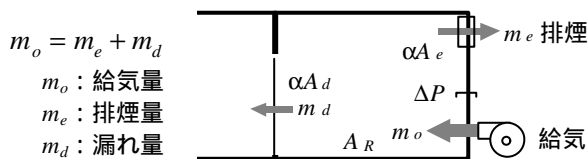


図-3.1 第2種排煙(告示第1437号第一)の排煙量と給気量の関係

(2) 告示の規定

まず、告示の排煙量と排煙口面積に関する規定について、整理してみよう。

排煙量の規定

告示に示されている排煙量 m_e の規定は次の通りである。

1分間に、当該室床面積 1 m^2 につき 1 m^3 以上で、かつ、排煙口の開口面積の合計値に 550 を乗じた数値 [$\text{m}^3/\text{分}$] 以下の空気を排出できること。

すなわち、この規定は以下の通り2つの条件から成り立っている。

[条件1] 1分間に当該室床面積 1 m^2 につき 1 m^3 以上の空気を排出できること

$$m_e \quad A_R \quad [\text{条件1}] \quad (2-1)$$

ここに、 A_R は室床面積である。

解説書⁵⁾によれば、[条件1]の設定根拠は、自然排煙口からの排出量を機械排煙における基準値以上確保するためとなっている。

[条件2] 排煙口開口面積の合計値に 550 を乗じた数値以下の空気を排出できること

$$m_e \quad 550aA_e \quad [\text{条件2}] \quad (2-2)$$

ここに、 aA_e は排煙口の有効開口面積である。(告示の文中には排煙口の開口面積について有効開口面積を用いることといった明示はない。しかし本節では解説書⁵⁾の方法に従い、排煙口の開口面積は、排煙口の実質開口面積 A_e に流量係数を乗じた有効開口面積 aA_e として取り扱うこととした。以降、簡便のため「排煙口面積(記号は aA_e)」と呼ぶことにする。)

解説書⁵⁾によれば、[条件2]の設定根拠は、給気により生じる室内圧力上昇が扉開放の妨げとならないよう室内外圧力差を 50 Pa 以下とするためとなっている。

上記規定をまとめれば次のようになる。

$$A_R \quad m_e \quad 550aA_e \quad (2)$$

この排煙量の規定をグラフに表してみると、図-3.2a)のようになる。横軸は排煙口面積 [m^2]、縦軸は流量(ここでは排煙量) [$\text{m}^3/\text{分}$] である。式(2)で表される排煙量の範囲は図の網掛け部分となる。

排煙口面積の規定

告示に示されている排煙口面積 aA_e の規定は次の通りである。

当該室の床面積の数値を 550 で除した数値以上で、かつ、当該室の床面積の数値を 60 で除した数値以下であること。

上記規定は次式のように表すことができる。

$$A_R/550 \quad aA_e \quad A_R/60 \quad (3)$$

式(3)についても式(2)と同様に排煙口面積と流量(ここでは排煙量)のグラフに表すと、図-

3.2b) のようになる。

排煙口面積の範囲の設定根拠については、まず式(2)を満足するような排煙量 m_e が存在するためには、明らかに $A_R \leq 550aA_e$ でなくてはならないから、左半分は納得される。一方、排煙口面積の上限 $aA_e \leq A_R/60$ の設定根拠は明らかにされていない。

排煙量の規定を表す図 - 3.2a) と排煙口面積の規定を表す図 - 3.2b) を一つのグラフに表したものが図 - 3.2c) である。c) の網掛けで示した三角形部分は、告示に定められた排煙量の範囲を表している。

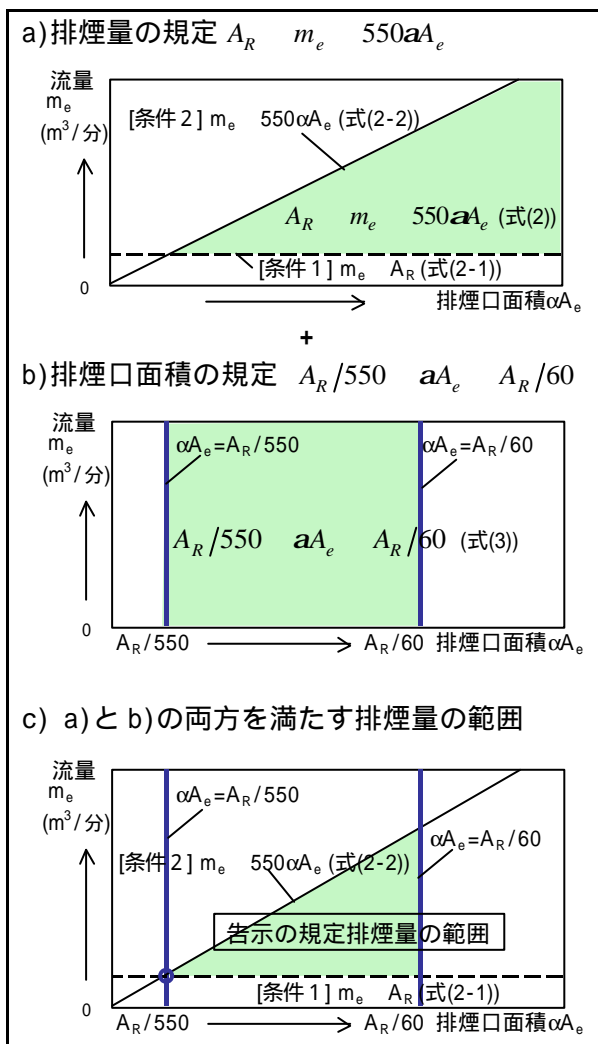


図 - 3.2 告示の規定による排煙量の範囲

(3) 給気量の算定

排煙量 m_e は前項(2)のとおり告示の範囲から決定されるので、あとは漏れ量が算定できれば給気量を求めることができる。そこで、漏れ量 m_d および給気量 m_o の算定方法を示す。

上昇圧力差の算定

漏れ量 m_d を求めるにはまず室内外上昇圧力差 ΔP を知る必要がある。告示の範囲内で排煙量 m_e と排煙口面積 aA_e をある値に決定したときの圧力差 ΔP は下式で与えられる。

$$\Delta P = \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{m_e}{aA_e} \right)^2 \cdot \frac{r}{2} \quad (4)$$

r は空気密度 ($=1.2 \text{ kg/m}^3$) である。この圧力差 ΔP とは、ある排煙口面積 aA_e を与えたときに目標排煙量 m_e を維持するのに必要な圧力差を表している。

ここで圧力差 ΔP についてもグラフに表してみる。前項(2)に表した排煙量規定の2条件の1つである[条件1]の式(2-1)を式(4)に代入すれば圧力差 ΔP は、

$$\Delta P = \frac{A_R^2}{6000} \cdot \frac{1}{aA_e^2} \quad [\text{条件1}] \quad (4-1)$$

と表すことができる。すなわち[条件1]の最小必要排煙量に対応する圧力差 ΔP は、排煙口面積 aA_e の2乗に反比例する。

一方、排煙量の[条件2]を表す(2-2)を式(4)に代入すれば、

$$\Delta P = 50 \quad [\text{条件2}] \quad (4-2)$$

となり、[条件2]の設定根拠である「圧力差は50Pa以下」を裏付けている。

式(4-1)及び式(4-2)をグラフに表すと図 - 3.3 のようになる。図の網掛け部分は排煙量の条件が満たされる圧力差の範囲を表している。

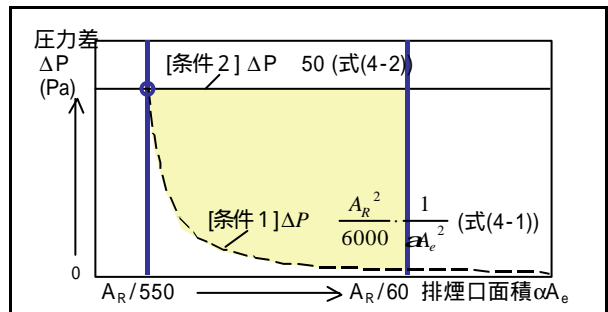


図 - 3.3 排煙量と排煙口面積から定まる圧力差

漏れ量の算定

圧力差が ΔP のときの漏れ量 m_d は次の式を用いて簡単に算定することができる。

$$m_d = 60 \cdot aA_d \sqrt{\frac{2}{r} \Delta P} \quad (5)$$

ここで aA_d は有効開口面積である。この ΔP に先に求めた圧力差の上・下限の式(4-1)と式(4-2)を代入すると漏れ量は次のような範囲となる。

$$m_d = A_R \cdot aA_d \cdot \frac{1}{aA_e} \quad \text{[条件 1]} \quad (5-1)$$

$$m_d = 550aA_d \quad \text{[条件 2]} \quad (5-2)$$

必要給気量の算定

必要給気量 m_o は、式(1)により排煙量 m_e と漏れ量 m_d の合計として求めることができる。

$$m_o = m_e + m_d \quad \text{(再掲)} \quad (1)$$

排煙量規定の[条件 1]に対応する排煙量の式(2-1)と漏れ量の式(5-1)、および[条件 2]に対応する排煙量の式(2-2)と漏れ量の式(5-2)を式(1)に代入すれば、必要給気量を表す次の2式が求められる。

$$m_o = A_R \left(1 + aA_d \cdot \frac{1}{aA_e} \right) \quad \text{[条件 1]} \quad (6-1)$$

$$m_o = 550(aA_d + aA_e) \quad \text{[条件 2]} \quad (6-2)$$

これを図 - 3.2c) のグラフの上に描き表すと、図 - 3.4 のようになる。図 - 3.4a) の網掛け部分は排煙量の設計範囲で、先の図 - 3.2c) と同じである。この排煙量に漏れ量を加算したものが図 - 3.4b) の網掛け部分で、この範囲が給気量の設計可能範囲と言うことになる。

以上、告示の規定を整理し、漏れ量と給気量の算定方法を示した。

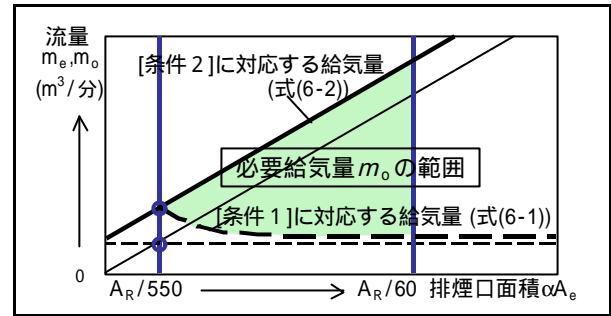
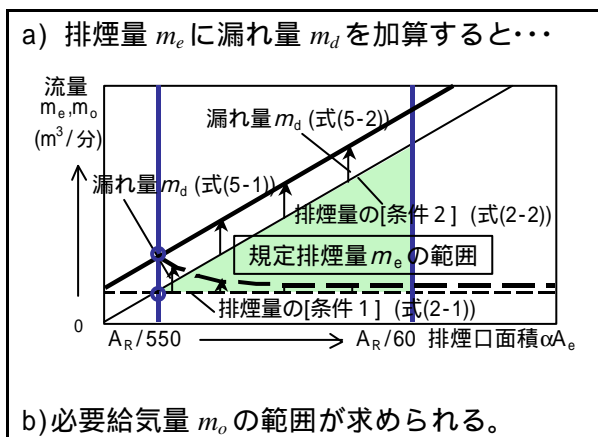


図 - 3.4 必要給気量の設計範囲

3.2 扉開閉と必要給気量について

(1) 解説書⁵⁾による扉閉鎖のみを想定した方法

前項 3.1 にて漏れ量と給気量の計算方法を示したが、漏れ量を決定する有効開口面積 aA_d は扉を閉鎖状態と想定するか開放状態と想定するかによって大きく異なり、それに伴い給気量も大きく変化する。

解説書⁵⁾では、有効開口面積は床面積に係数 0.002 を乗じたものとしている。これは扉を閉鎖したときの隙間のみを考慮したものである。それでは常に扉は閉鎖状態と想定してよいのだろうか。

(2) 扉の開閉と第 2 種排煙に関する問題

実際の火災時の状況では、第 2 種排煙が作動している間中、扉は必ず閉鎖されているとは言い難く、給気量の算定では扉の開放状態についても考慮しておく必要があるのではないかとと思われる。その理由は下記のようなものである。

第 2 種排煙起動中の避難による扉の開放

告示では第 2 種排煙を用いる室について面積が 1,500 m²以下であること以外何も制限がないことから、付室のみならず居室や廊下に第 2 種排煙が採用されてしまう場合も予想される。

付室に第 2 種排煙を採用する場合、付室まで煙が到達するには多少の時間がかかると想定できれば、付室の排煙システムが起動する頃にはすでに階避難が終了しているというシナリオが成り立ちやすい。しかし、居室や廊下の場合、一般的には階避難が終了する以前に排煙システムが起動することが前提となるはずであり、第 2 種排煙を採用する室の避難状況に応じて排煙作動中に扉が開いていることを想定する必要があると考えられる。

扉開放により排煙量が減少する第 2 種排煙

第2種排煙は従来の機械排煙と同等の位置付けであるとも言われているが、従来の機械排煙と第2種排煙では排煙方法の仕組みに大きな違いがあることに留意しておく必要がある。

機械排煙は機械力で排煙口から積極的に煙を抜こうとする方法であるのに対し、第2種排煙は機械給気により生じる圧力上昇で排煙口から外気側へ煙を押し出そうとする方法である。

図-3.5は扉閉鎖時と扉開放時の第2種排煙の状況を表したイメージ図である。扉が閉鎖しているときは、排煙口での圧力差が大きいので排煙量も十分確保されると考えられる。しかし、扉が開放されれば、開いた扉からは多くの漏れが生じるので、この圧力差は小さくなり、排煙口からの排煙量が減少する。

したがって、扉の閉鎖状態のみを考慮して給気量を設計した場合、扉が開放されてしまうと期待通りの排煙性能は維持できなくなる。特に扉閉鎖を想定して少ない排煙量で設計した場合には、扉開放により告示の規定排煙量が確保できない危険性も予測される。

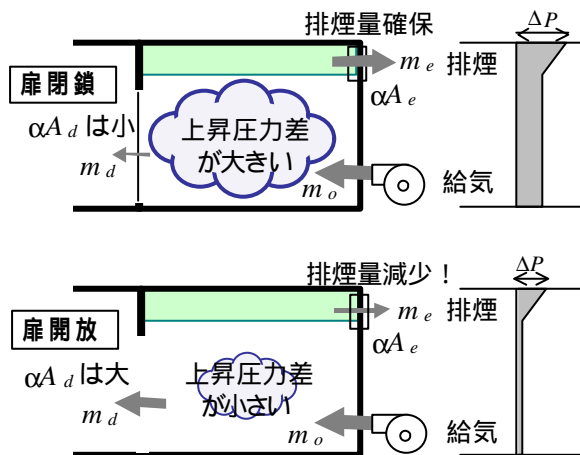


図-3.5 扉の開閉と第2種排煙の排煙量

(3) 扉の開閉と必要給気量に関する考察

扉の開閉と第2種排煙に関する上述の問題を踏まえ、次に、扉閉鎖のみを想定したときの必要給気量、及び、扉閉鎖と扉開放の両方を考慮したときの必要給気量を算定する方法について考え、それぞれの給気量の設計範囲について考察を行った。

「扉閉鎖」のみを想定した時の必要給気量

扉閉鎖時に告示の規定排煙量を確保するため

に必要な給気量は、前項3.1の式(6-1)および式(6-2)において、有効開口面積 aA_d を扉閉鎖時の有効開口面積 aA_{dclose} として計算できる。

$$m_o = A_R \left(1 + aA_{dclose} \cdot \frac{1}{aA_e} \right) \quad [\text{条件1}] \quad (7-1)$$

$$m_o = 550(aA_{dclose} + aA_e) \quad [\text{条件2}] \quad (7-2)$$

「扉開放」も考慮した時の必要給気量

扉閉鎖時と扉開放時の両方において必要排煙量を確保するための給気量の算定は、次のように考えればよい。

まず、[条件1]を満たすための給気量を算定する際は、扉閉鎖時と扉開放時の両方において規定排煙量を満足できるように給気量を設定する。つまり、式(6-1)の有効開口面積 aA_d を、扉開放時の有効開口面積 aA_{dopen} 、および、扉閉鎖時の有効開口面積 aA_{dclose} とした場合の両方において式(6-1)が満たされるようにする。

しかし、実際には扉開放時の方が漏れ量が多く必要給気量が大いのは明らかであるから、[条件1]に対しては扉開放時のみを考慮しておけば足りる。すなわち

$$m_o = A_R \left(1 + aA_{dopen} \cdot \frac{1}{aA_e} \right) \quad [\text{条件1}] \quad (8-1)$$

一方、[条件2]は扉閉鎖時の圧力上昇が扉開放の妨げとならないために設定された条件であり、扉開放時には関係が無い。従って扉閉鎖時のみを考慮しておけばよく、式(6-2)の有効開口面積 aA_d を、扉閉鎖時の有効開口面積 aA_{dclose} を用いて計算すればよい。

$$m_o = 550(aA_{dclose} + aA_e) \quad [\text{条件2}] \quad (8-2)$$

これは、言うまでもなく式(7-2)と同値である。

扉の開閉と必要給気量の設計範囲に関する考察

扉閉鎖のみを想定したときの必要給気量(式(7-1)と式(7-2))を図-3.6a)に、扉閉鎖と扉開放の両方を考慮したときの必要給気量(式(8-1)と式(8-2))を図-3.6b)に表した。図-3.6a)は先の図-3.4b)と同じであるが、図-3.6b)との比較の便のために示している。また参考に、

規定排煙量を維持するために必要な圧力差も併せて表しておく。

図 - 3.6b)の網掛け部分は、扉が閉鎖でも開放でも、排煙量に関する[条件 1]、[条件 2]がともに満足される範囲である。前述のとおり[条件 2]は扉閉鎖時の圧力上昇を抑えるための上限値であるので、給気量のラインは a)も b)も共通である。

一方、扉を開放すると漏れ量が増大するので、最小排煙量を規定している[条件 1]を維持するための必要給気量(式(8-1))は増大し、結果として b)の必要給気量の範囲は a)の範囲よりも狭くなる。特に排煙口面積が小さい範囲では、扉開放の影響を大きく受け、必要給気量増加の変化が著しいことが分かる。

図 - 3.6 中の [A] は排煙口面積も給気量も小さい範囲である。この辺りから排煙口面積および給気量の値を選択した場合は、扉が開放したとき漏れ量の増加が大きいため、規定排煙量を確保できないおそれがある。[B] は排煙口面積も給気量も大きい範囲である。この場合は、排煙量は比較的多く確保できる反面、圧力差が大きいため漏れ量も多くなる。[C] は排煙口面積は大きく給気量は小さい範囲である。この場合は圧力差が小さいため漏れ量が比較的小さいが、排煙量も最小限に近い。

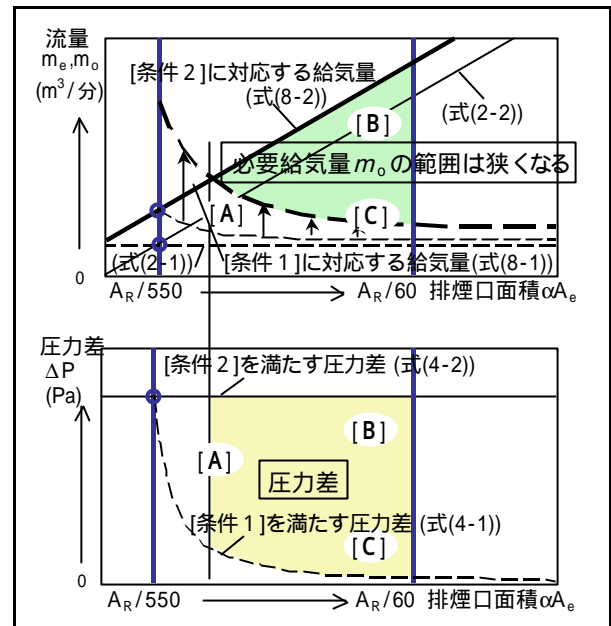
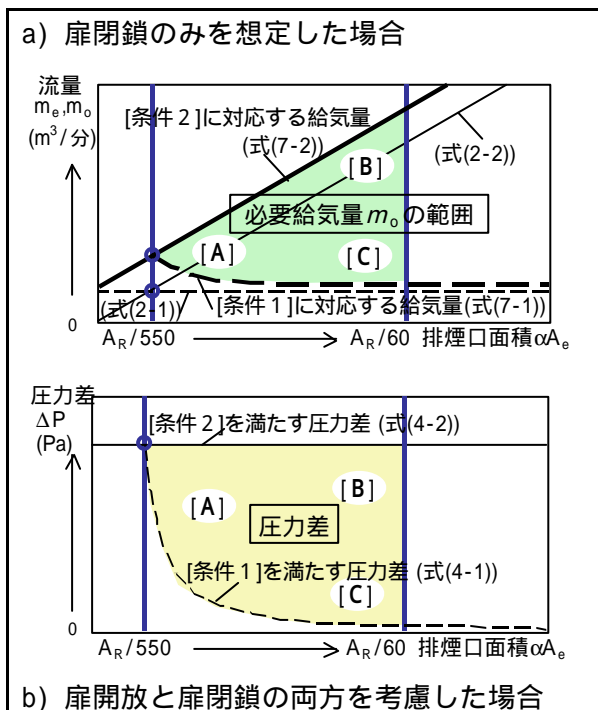


図 - 3.6 必要給気量の範囲および圧力差

(4) 必要給気量のケーススタディ

最後に、前項 3.2(3)の給気量の算定方法を用いてケーススタディを行い、必要給気量の範囲について確認を行った。

ケーススタディの方法

一般居室を想定した 500 m²の室(ケース 1)と、付室を想定した 15 m²の室(ケース 2)の 2 種類の室を設定した。漏れ量は躯体隙間による隙間と扉開閉による開口から生じるとし、両ケースとも扉寸法は同じとした。扉開放時の流量係数 a については扉が全開放される場合 ($a=0.7$)と半分開放される場合 ($a=0.35$)の 2 種類について調べた。計算条件を表 - 3.1 に記す。

表 - 3.1 計算条件

		ケース 1	ケース 2
室床面積 A_e		500 m ²	15 m ²
隙間	扉開口	1.89 m ² × 2	1.89 m ² × 2
	(閉鎖) (開放)	0.005 0.35, 0.7	0.005 0.35, 0.7
αA_d	躯体隙間	500 m ²	15 m ²
	(閉鎖) (閉鎖)	0.001	0.001

ケーススタディの結果

図 - 3.7 は排煙口面積に対する必要給気量を表したケーススタディの結果である。

ケース 1 では、扉が開放すると必要給気量の設計範囲は多少狭まるものの、給気量の選択範囲はまだ広い。(図 - 3.7b), c)) これは室面積が大きいことから、もともと[条件 1]に対応す

る給気量が多く、このため扉が開放したときの影響が相対的に小さいためである。

一方ケース2では、扉開放時の開口条件を半開($a=0.35$)とすると、給気量の設計範囲はかなり小さくなる。図中[A]や[C]の部分は設計範囲からはずれ、給気量や排煙口面積が大きい[B]の範囲から決定せざるを得ない結果となった(図-3.7e)。これは、室面積が小さいことから、もともと給気量が少ないので、扉が開いたときの漏れ量の影響が大きいためである。

さらに、ケース2で開口条件を全開($a=0.7$)とすると、[条件1]に対応する給気量範囲(式(8-1))が、 $A_R/550$ aA_e $A_R/60$ の範囲で[条件2]に対応する給気量範囲(式(8-2))を超えてしまい、給気量の設計範囲は存在しなくなることが分かった。(図-3.7f))

3.3 第2種排煙の排煙口と給気量に関するまとめ

以上、告示1437号第一の第2種排煙における扉の開閉と必要給気量に関する考察を行った。

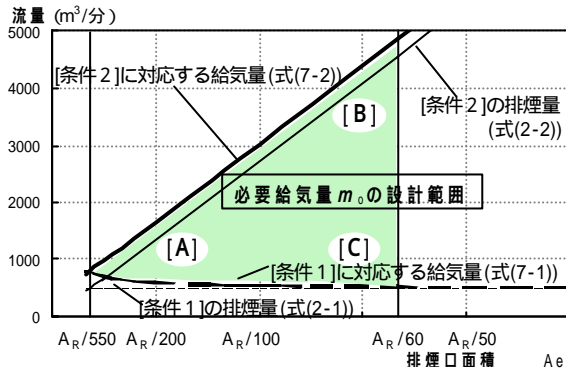
扉開放を想定して設計量を決めるとき、扉開放の程度が大きくなるほど必要給気量の設計範囲は狭くなり、条件によっては給気量の設計可能範囲が存在しない場合もある。従って、第2種排煙を採用する場合は、その室の避難や消防活動の状況と排煙作動について十分検討の上、適切な排煙口と給気量を計画することが必要であるといえる。

[記号と単位]

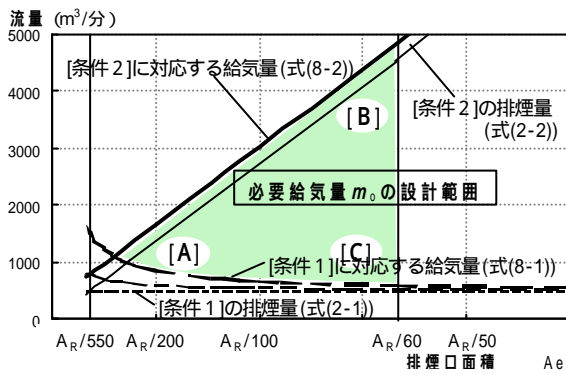
当該室床面積	A_R	[m^2]
有効排煙口開口面積	aA_e	[m^2]
有効隙間開口面積	aA_d	[m^2]
給気風量	m_o	[$m^3/分$]
排煙量	m_e	[$m^3/分$]
漏れ量	m_d	[$m^3/分$]
室内外圧力差	DP	[Pa]
空気密度	r	$= 1.2$ [kg/m^3]

ケース 1 $A_R = 500 \text{ m}^2$

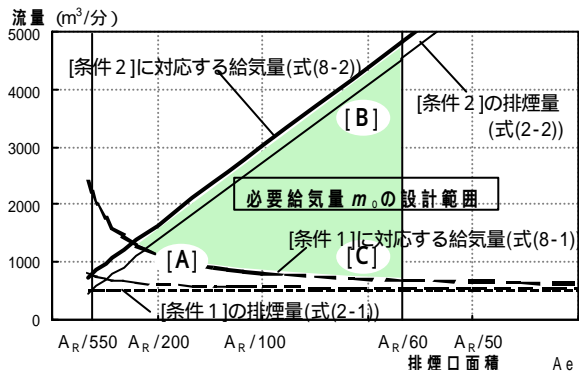
a) 扉閉鎖のみを想定した場合



b) 扉開放も考慮した場合 (扉開放時 = 0.35)

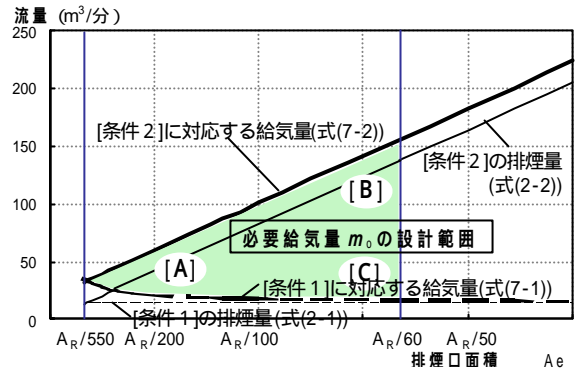


c) 扉開放も考慮した場合 (扉開放時 = 0.7)

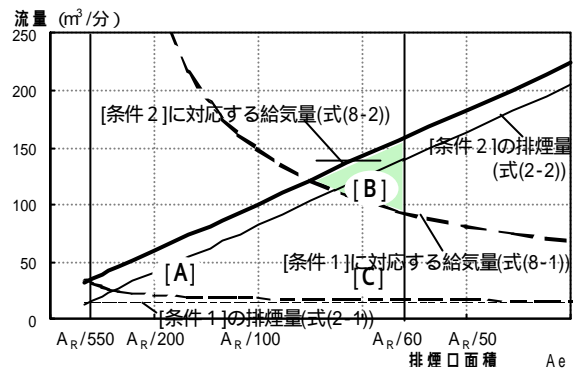


ケース 2 $A_R = 15 \text{ m}^2$

d) 扉閉鎖のみを想定した場合



e) 扉開放も考慮した場合 (扉開放時 = 0.35)



f) 扉開放も考慮した場合 (扉開放時 = 0.7)

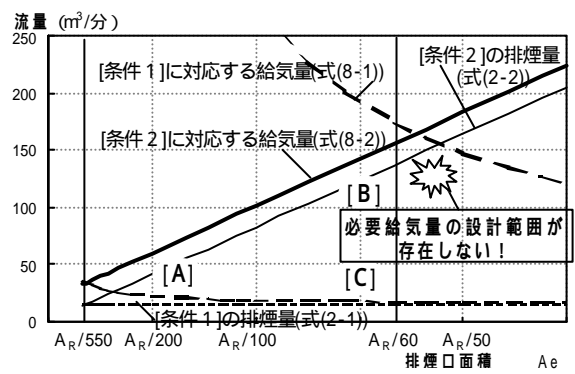


図 - 3.7 必要給気量のケーススタディ