公益財団法人大林財団

研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	超高層建築物の避難安全区画の排煙性状解析と最適排煙設備設計手法に関する研究
研究者名※	永井 久也
所属組織※	三重大学大学院 工学研究科 建築学専攻 教授
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

（ ）は、報告書提出時所属先。

（研究報告-様式 2）

大林財団２０２２年度研究助成実施報告書

所属機関名　　三重大学大学院工学研究科建築学専攻
申請者氏名　　永　井　久　也

研究課題	超高層建築物の避難安全区画の排煙性状解析と最適排煙設備設計手法に関する研究

（概要）※最大 10 行まで

ある一定規模以上の建築物は、火災発生時の安全対策の一つとして排煙設備の設置が義務付けられている。この排煙設備は機械排煙方式と自然排煙方式に大別され、それぞれその設置に当たってはその設置や構造に定量的な法的基準が設けられている。本研究では、特に気密性が高く、また火災や自然災害時にその安全性を確実に担保する必要がある廊下等の第一安全区画に設置される自然排煙方式および機械排煙方式による排煙性状を CFD 解析により定量的に検討し、その問題点を定量的に明確化し、その対応方法を CFD 解析により検討する。本助成研究においては、近年大都市圏で建設の続く超高層集合住宅であるいわゆる“タワーマンション”における共用廊下の火災時の排煙性状を自然排煙方式、機械排煙方式の両方式について定量的に検討を行うもので、本年度については、前者の自然排煙方式をタワーマンションの回廊型共用廊下に採用した場合の排煙性状の検討までを検討することができた。

１．研究の目的　　（注）必要なページ数をご使用ください。

ある一定規模以上の建築物は、火災発生時の安全対策の一つとして排煙設備の設置が義務付けられている。この排煙設備は機械排煙方式と自然排煙方式に大別され、それぞれその設置に当たってはその設置や構造に定量的な法的基準が設けられている。例えば、「当該防煙区画部分の各部分から排煙口の一に至る水平距離が 30m 以下」という基準や「自然排煙方式の場合には、排煙口の面積は防煙区画された部分の床面積の 1/50 以上とする」という基準などがあげられる。こういった基準（数値）は理論的な根拠が不明であることが多いことに加え、無条件に一律にこの数値を規定することにも大きな問題があることが多い。また、通常の第三種方式の機械排煙設備においては、特別避難階段付室、非常用エレベーター乗降ロビーと言った特殊な火災時の消防活動拠点となる狭小空間を除き、排煙に必要な給気口の設置義務はなく、建築物の気密性が格段に向上している現在における建築空間においては問題があると言わざるを得ない。昨今の建築物の気密性や廊下等比較的面積の小さな空間の気積を考慮すれば、こういった排煙時の排煙性状に与える給気の問題は大きい。現実問題として、研究代表者が委員として務めている建築防災計画評定委員会においても、こういった法的基準は満足しているが、火災が発生した場合に設置したシステムが期待通りの性能を発揮してくれるか否かの検討をせず、極めて事務的に排煙設計が行われているケースが非常に多い。

そこで、本研究は特に超高層建築物における極めて重要な避難経路である第一次安全区画（共

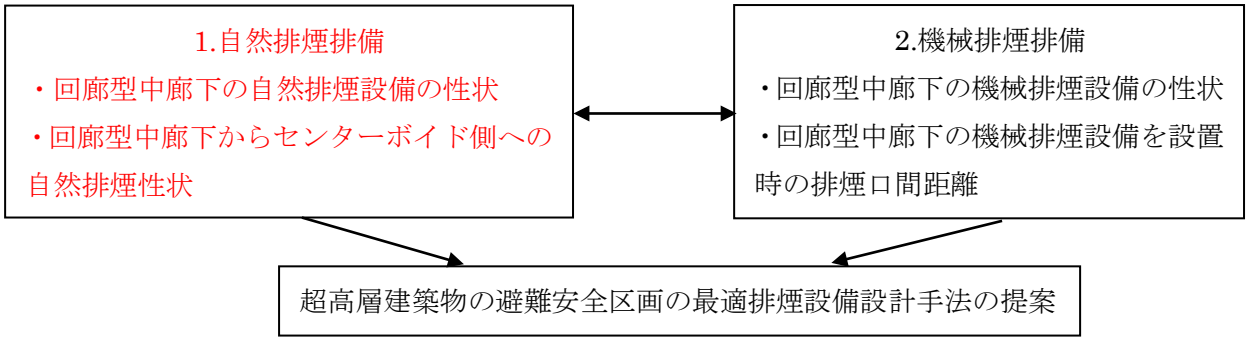
用中廊下）の各種排煙設備の排煙性状を CFD 解析によって明らかにし、極めて気密性の高い超高層建築物の第一次避難安全区画に設置すべき排煙設備の排煙口面積、排煙のための給気条件、排煙口間距離等を定量的に明らかにすることを目的としている。

本研究で対象とする超高層建築物における火災発生時の避難経路の安全性は、その建築物の形状（規模）等の特性に加え、外界の条件（外気風等）も通常の中高層建築物とは大きく異なることから、その安全性の検討はより慎重におこなうべきであり、本研究では従来の自然排煙設備、機械排煙設備の法的範疇を超えた安全基準を定量的に見直すことにもなるため、その技術的価値、社会的意義は極めて大きいと考えている。

上記のような背景を踏まえ、本研究では、特に気密性が高く、また火災や自然災害時にその安全性を確実に担保する必要がある廊下等の第一安全区画に設置される自然排煙方式および機械排煙方式による排煙性状を CFD 解析により定量的に検討し、その問題点を定量的に明確化し、その対応方法を CFD 解析により検討する。

２．研究の経過　　（注）必要なページ数をご使用ください。

本研究で実施する具体的な検討項目は大別して 1. 自然排煙設備の排煙性状と最適条件の明確化、2. 機械排煙設備の排煙性状と最適条件の明確化の２項目であり、この２項目の検討により、超高層建築物の第一次避難安全区画である共用廊下等に排煙設備を設置するための条件を定量的に示し、その有効な設計方法を提案することが最終目的である。本助成研究においては、以下の研究フローの朱文字部分（1. 自然排煙設備）の検討までを実施することができた。



３．研究の成果　　（注）必要なページ数をご使用ください。

3.1　対象とした超高層集合住宅

本検討で対象とした超高層集合住宅の住戸階（一般階）は以下の３つの回廊とした（図 1、表 1）。

図１　各回廊タイプの平面図

表１　各回廊タイプの詳細

(a)タイプA		(b)タイプB		(c)タイプC	
廊下総面積	53.76 ㎡	廊下総面積	66.56 ㎡	廊下総面積	42.88 ㎡
廊下総長	40m	廊下総長	48m	廊下総長	30m
漏煙部から排煙口までの最長距離	24m	漏煙部から排煙口までの最長距離	16m	漏煙部から排煙口までの最長距離	30m
法定基準排煙口面積	1.0752 ㎡（幅1600(mm)×高さ 672(mm))	法定基準排煙口面積	1.3312 ㎡（幅1600(mm)×高さ 416(mm)×2)	法定基準排煙口面積	0.8576 ㎡（幅1600(mm)×高さ 536(mm))

3.2　CFD 解析概要

火災は実際に実験することが難しく、排煙性状の予測において数値解析を用いることは大変有効である。火災から生じる煙はかなり高温であるが、本研究では、回廊内で火災が発生することは考え難いため、廊下に接する居室で火災が発生し非火災空間である廊下へ漏煙することを想定し、既存の火災想定実験の結果から煙の温度は比較的低温であることとし MSC 社ソフト STREAM の非圧縮流体を対象とした標準の k-ε モデルを用いた。表 2 に CFD 解析条件を示す。

表 2　CFD 解析条件

ソフトウェア		STREAM Ver2023.1
計算アルゴリズム		SIMPLE C
移流項		QUICK
乱流モデル		標準の k-ε モデル
メッシュ間隔	回廊型廊下	XYZ 方向：0.05m
	外部空間	最低限が XYZ 方向：0.1m の等比間隔(1.2)
計算時間間隔		0.02 秒間隔
廊下内初期温度		20℃
漏煙温度		60℃
流入境界		流量規定
流出境界		全圧
計算時間		300 秒

3.3　想定漏煙量の決定

ここで対象としている回廊は第一次安全区画であり、ここでの火災の発生は火災安全上のシナリオとして、隣接する区画された居室で発生した火災からの漏煙によるものであることから、廊下にどの程度の漏煙があるかを想定する必要がある。ここでは、ここで想定した廊下の面積と同じ床面積、高さを持つ通常の居室に法定排煙面積の自然排煙設備を設置した際に、漏煙開始後 300 秒間（階避難時間）までに煙層が高さ 1.8mを下回らない漏煙量とし、この値を別途 CFD により算

出し、この値を漏煙量とした。なお、ここでは、A から C タイプの回廊のうち最も床面積の小さなタイプ C の床面積から算出し 0.2325m³/s とした。

3.4　排煙性状の評価方法

本研究での排煙性状の評価方法は、火災室から廊下へ漏煙の熱量に対する廊下空気内熱量の比である煙残留率および一回微分法による煙層下端位置により評価を行った。

3.5　回廊形状と漏煙位置の変化による外気無風時の排煙性状

図 2 に各タイプ、各漏煙位置の煙残留率の結果を示す。図 2 に示すようにタイプ B の漏煙位置①は他と比べ、煙残留率の下がる時間が早いことがわかる。また、回廊形状、漏煙位置に関わらず、漏煙開始から 300 秒経過した時点における煙層下端位置はほぼ 1.8m を下回っていることが確認できた。図 3 に前節でもっとも排煙効率の高かったタイプ B 漏煙位置①の 300 秒経過時点①—①’断面における煙層下端位置を示す。図に示すように、比較的排煙効率の高いこのケースでも、廊下内でも廊下や場所によって煙層下端位置が 1.8m を上回る箇所が存在していることがわかる。

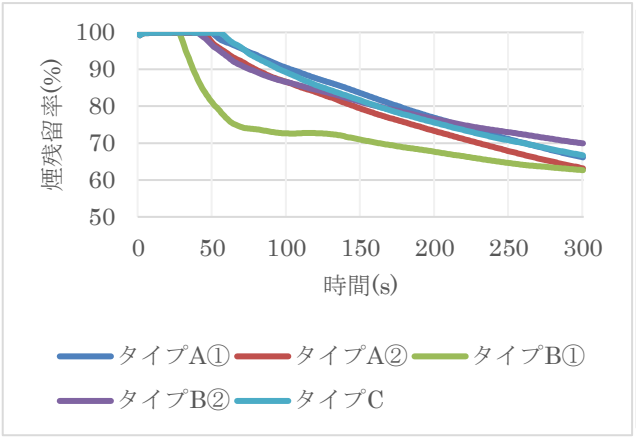


図 2　各廊下の外気無風時の煙残留率

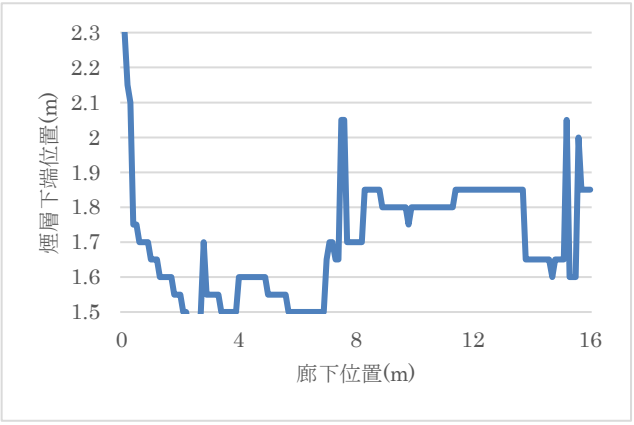


図 3 タイプ B 漏煙位置①の①—①’断面における 300 秒時の煙層下端位置

3.6　外気風が生じている場合の排煙性状

外気無風時での A から C の 3 つの回廊で漏煙があった場合に、自然排煙口を二か所有する B タイプで排煙口方向に漏煙がある場合は、比較的良い排煙性状となることが明らかとなった。しかしながら、この場合でも煙層下端位置については漏煙開始後 300 秒時点で 1.8m を下回っており必ずしも安全に避難できるとは言えないことが明らかになった。超高層建物の高層では微風速時においてもある程度の定常風が吹いているため、ここでは、外気有風時の解析を行い前章の結果と比較した。想定した外気風速は、地上付近の風速がそう高くない状況を想定し東風 2m/s, 3m/s, 4m/s と南風 2m/s, 3m/s, 4m/s とし、煙残留率と煙層下端位置を用いて評価を行った。風向きは排煙口に垂直に吹く南風と排煙口に平行な東風の二種類を想定した（図 4）。

図 5 から 9 に有風時の各タイプ、各漏煙位置ごとの煙残留率を示す。全てのケースで廊下に漏煙が外部に排出されるまでの時間は無風時と有風時で差がなかったが、煙が外部に排出されてからは、図 5 と 6 に示すようにタイプ A の漏煙位置①と②東風 2m/s 以外は無風時より有風時の方が煙残留率は低くなった。また、無風には最も排煙効率の高かったタイプ B 漏煙位置①については、煙が外部に排出されて以降、漏煙開始 150 秒までは有風時の排煙効率は無風時の方が高くなっているが、これ以降には効率が逆転した。風向きで比較をすると A から C すべてのタイプで南風の

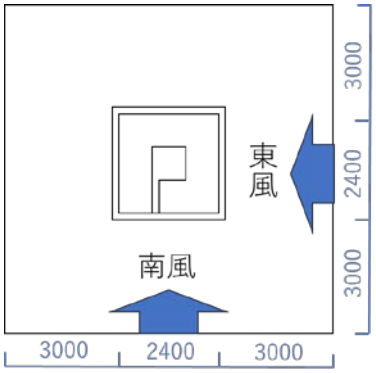


図 4　外気風の風向き

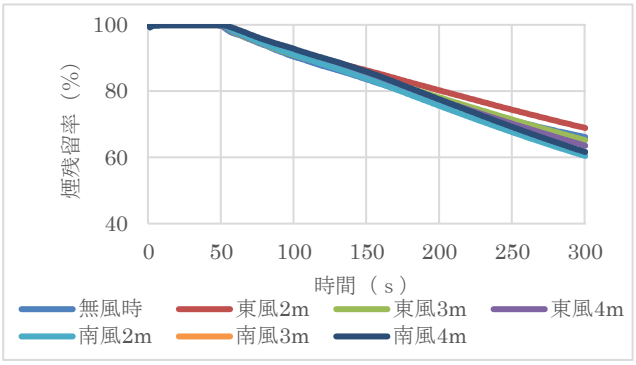


図 5　A タイプ漏煙位置①煙残留率

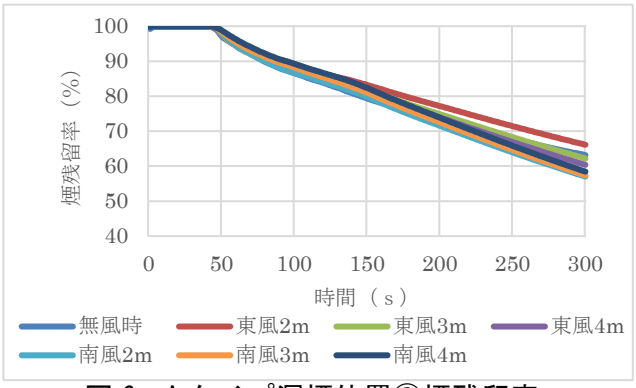


図 6　A タイプ漏煙位置②煙残留率

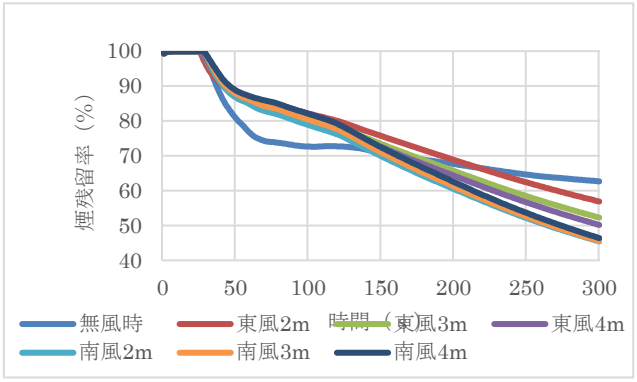


図 7　B タイプ漏煙位置①煙残留率

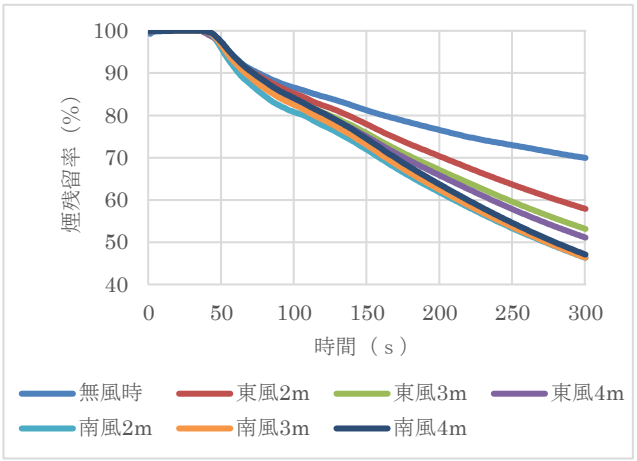


図 8　B タイプ漏煙位置②煙残留率

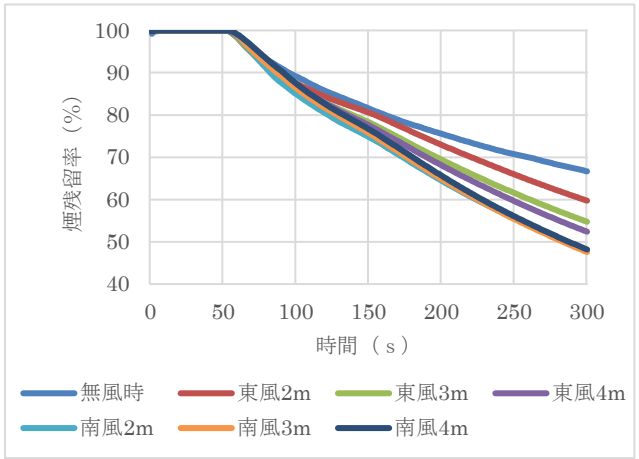


図 9　C タイプ煙残留率

煙残留率よりも東風の煙残留率の方が無風時に近くなる結果となった。風速が大きくなるほど漏煙開始から 300 秒後の煙残留率は小さくなった。以上のことから、自然排煙口位置に外気風の正圧がかかる場合でも、外部に排煙が開始されてからしばらくすると外気風は排煙の効率自体は高くするように働くと言える。

外気有風時の結果から、ある程度廊下への漏煙が自然排煙口から排出され始めれば、排煙効率には外気風が有効に働くことが明らかとなった。しかしながら、外気風が自然排煙開口から侵入するため、外気風が廊下内部の煙の攪拌し、局所的に煙が危険高さまで下降する可能性がある。そこでここでは、前節と同様に煙層下端位置について検討を行った。図 10、11 に B タイプの漏煙

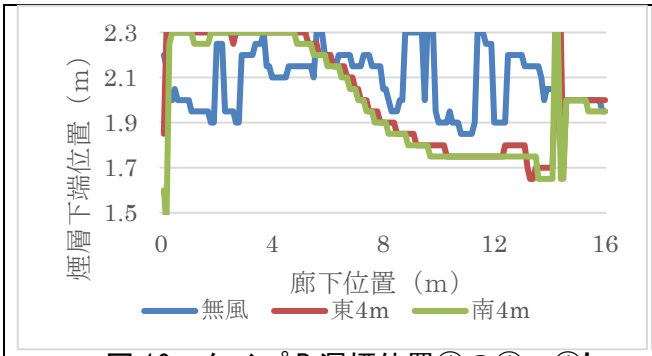


図 10　タイプ B 漏煙位置①の①—①’断面における 100 秒時の煙層下端位置

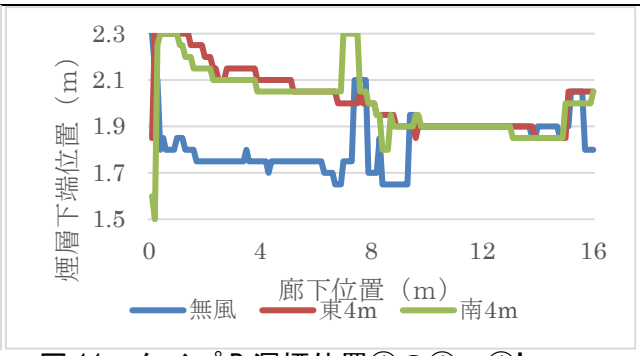


図 11　タイプ B 漏煙位置①の①—①’断面における 200 秒時の煙層下端位置

位置①の漏煙開始後 100 秒後、200 秒後の①-①‘位置の煙層下端位置を無風時、東風 4m/s、南風 4m/s で比較したものを示す。図 10 では漏煙開始後 100 秒経過した時点では無風時の方が煙層下端位置が高い位置にあることがわかる。一方、図 11 に示すように漏煙開始後 200 秒時点では外気有風時の煙層下端位置が逆転し、外気風により排煙効率の向上と共に、場所的（位置的）な危険性も低くなっていることがわかる。

3.7　まとめ

・隅角部を有する回廊型の共用廊下は、法定基準を単に満足する自然排煙設備では、効率的な排煙は一般的には困難である。

・回廊の両端に自然排煙口を有する回廊形状の場合は、漏煙位置から隅角等の煙が滞留する箇所を介さず直線的に煙が排煙口に至るケースでは比較的効率的に排煙がなされる。

・回廊の両端に自然排煙口を有する回廊形状の場合は、自然排煙口位置に正圧がかかる風向きの外気定常風は、廊下への漏煙開始からある程度時間が経過し、漏煙の外部排出開始以降は、逆に排煙効率を高める。

・以上のことから、超高層集合住宅の回廊に自然排煙方式を採用する場合には、排煙口の位置および漏煙位置によって廊下の安全性には問題があることから、住戸外周のバルコニーの連続性を十分考慮した面的な計画が必須であると言える。

本研究課題による研究発表

廣瀬暉、永井久也、北野博亮、岩田剛：超高層集合住宅共用廊下の自然排煙性状に関する研究—外気風が排煙効率に与える影響—、空気調和衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集，第 25 号，pp. 82-85，2024 年 3 月

４．今後の課題　　（注）必要なページ数をご使用ください。

紙面の都合上、本助成研究で得られた成果である「1. 自然排煙排備の回廊型中廊下からセンターボイド側への自然排煙性状」については結果を割愛したが、この一年間の成果として本研究目的である超高層建築物、特に“タワーマンション”の共用廊下における自然排煙時の排煙性状を明らかにすることができた。今後は目的の２つ目である超高層建築物に機械排煙を設置した場合の排煙性状についての定量的検討を継続し、超高層建築物の避難安全区画の最適排煙設備設計手法の提案を目指す予定である。