2024年4月 @コペンハーゲン

SFPE国際会議
性能設計に関する国際シンポジウム

性能設計ケーススタディ

日本防火技術者協会　防火研修会

SFPE性能設計に関する国際シンポジウム

ケーススタディ日本案の紹介

- 未開発地域に建つ木造の集合住宅 -

2025年2月7日

峯岸良和　建築研究所

小池悠豊　明野設備研究所

高山兼一　竹中工務店

藤本瑞穂　明野設備研究所

清家萌　　明野設備研究所

15:00-15:10 **課題説明** 峯岸

日本チーム案の紹介

15:10-15:30 1. 建築設計: 規模, ユニット, 階レイアウト, 1階段であること 峯岸

2. 構造耐火・区画設計 藤本（峯岸）

15:30-15:40 3. 延焼防止の設計 高山 & 小池

15:45-15:50 4. 煙制御 清家

15:50-15:55 5. 結論 峯岸

15:55-16:05 **ニュージーランドチーム案の紹介**（日本と同じ課題） 小池

16:05-16:15 **他の課題の紹介** 高山

16:15-17:00 **質疑**

#SFPEPBD24

SFPE Fire Safety Conference & Expo on
PERFORMANCE-BASED DESIGN

17-19 APRIL 2024 | COPENHAGEN, DENMARK

課題説明

ケーススタディの発表は、これまでのSFPEの防火性能設計の会議において重要な特徴の一つであり、参加者から高く評価されてきました。

この会議は、性能設計や火災工学的なソリューションに強く重点が置かれており、**ケーススタディ**も革新的な解決策を探求するというこの目的を反映しています。

各チームには、一般的な規則や基準に縛られる必要はなく、独自の・革新的な解決策の提案が求められます。この**ケーススタディ**の主な目的の一つは、提案されたさまざまな火災・生命安全戦略について、批判的ではない議論、比較、考察を促すことです。

Call for Case Study Presentations
The 15th SFPE Fire Safety Conference & Expo on Performance-based Design to be held in person April 17-19, 2024, in Copenhagen, Denmark.

Case Study Presentations have been a major feature of previous SFPE performance-based conferences, and very well regarded by delegates.
You will see there is a strong emphasis on performance-based design and fire engineering solutions, and the Case Studies reflect this desire for an exploration of innovative solutions. The teams should not feel restricted by common codes and standards and unique and innovative solutions are encouraged. One of the primary goals of the exercise is the resulting non-critical discussion, comparison and reflection of the various proposed fire and life safety strategies.

遠隔地における住宅、レクリエーション施設、
コリビング／コワーキングスペースの計画。

遠隔地であるため、
既存の施設、インフラ、消防力などに制限がある、
拠って立つ基本の法規・基準はない。
（程度感はあるが、ないことを前提に考える）

3つの課題のうち、1つを選択して案を作成する

For this conference, the overall Case Study theme is based upon the initial stages of a remote development to include housing, recreational and co-living/working spaces. The remote location includes very limited existing utilities and infrastructure, no existing local emergency response, and no existing locally adopted codes and standards. There are three (3) building types with associated Case Study Building Specification from which to choose and each team is invited to address one (1) of the three building types.

Case Study 1: Worker Housing

Case Study 2: Recreational Forest Tower

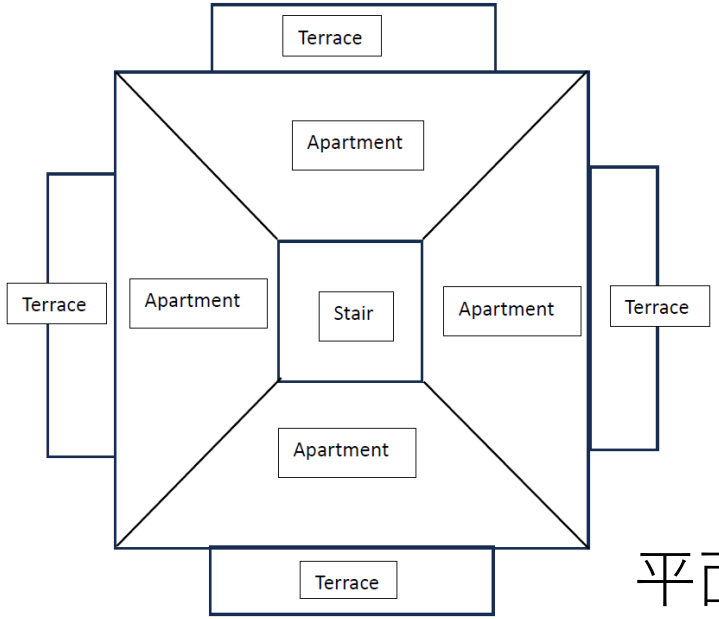
Case Study 3: Co-living/working Facility

Case Study Building 1　Worker Housing

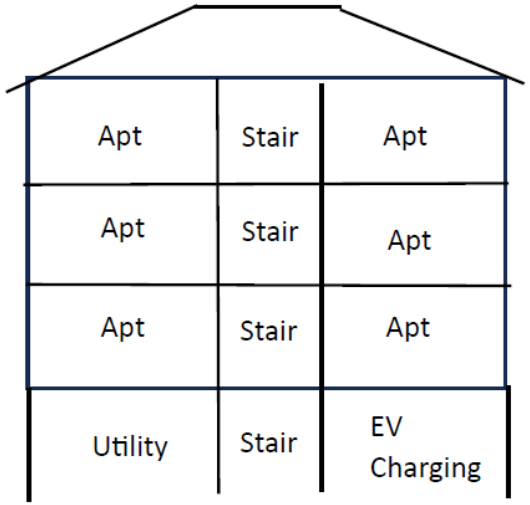
podと呼ばれる高密度な集合住宅の計画

建物の建設初期においては労働者、スタッフ、
ゲストの宿泊施設として利用する。
その後は集合住宅となる。

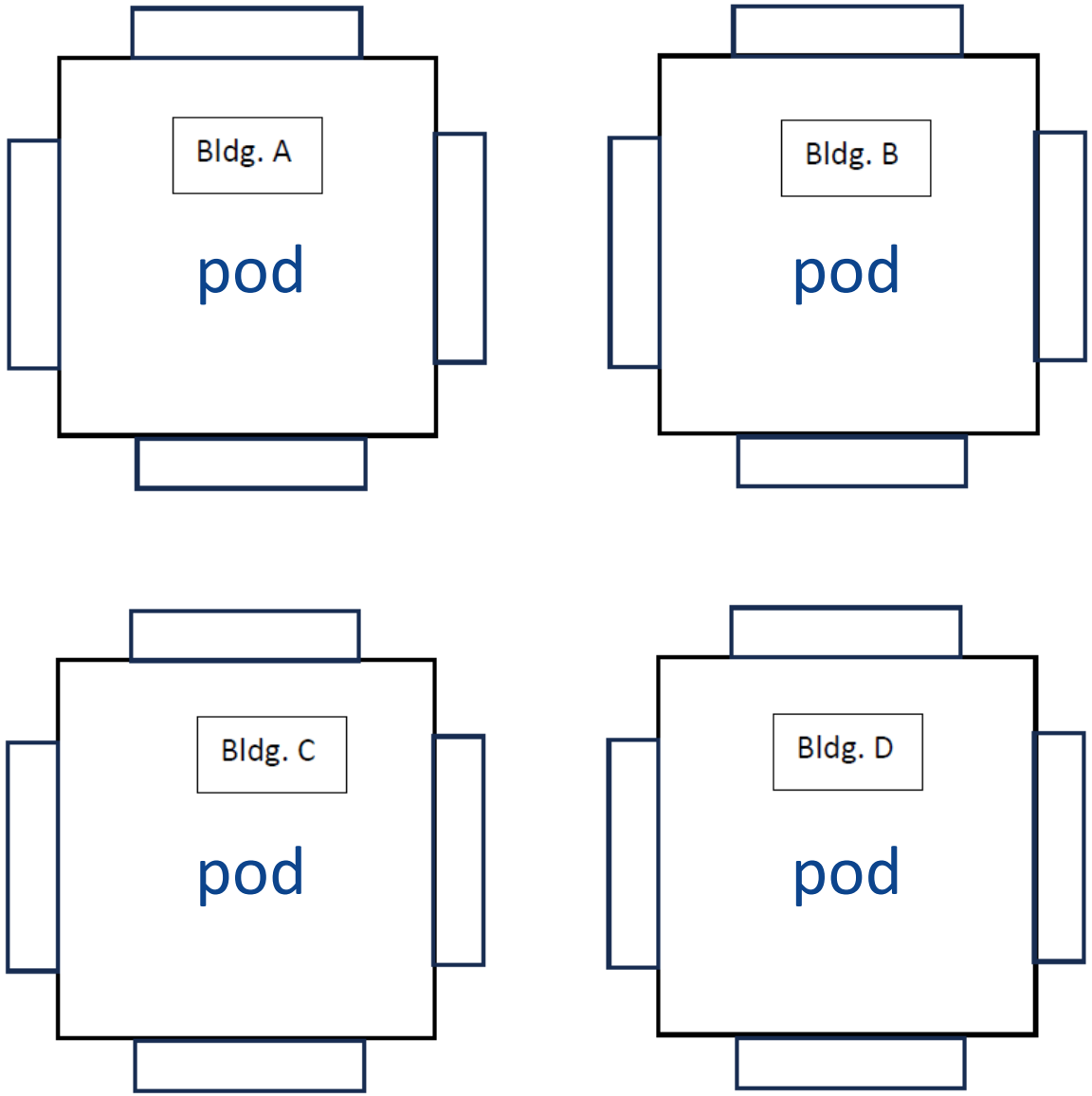
1. Podはできるだけ密集して計画する。
2. Podは階段1本とし、また、できるだけ高層にする。
3. 1つのユニットの入居者数をできるだけ多くする。
4. 主構造を木造とし、できるだけ現しとする。
5. Podは最低限4階建てとする。.
6. 平面の形状は与えられたものとする。
7. Podは2×2, 3×3のようなユニットにより構成する。
   pod間、ユニット間の離隔の条件を考える。



平面



断面



ユニットの構成

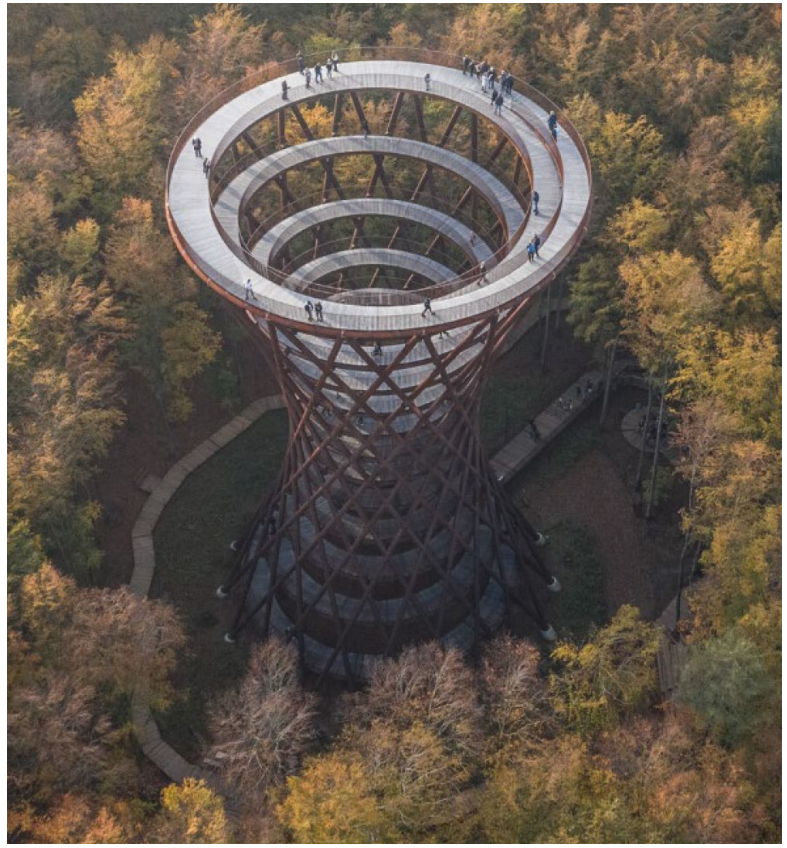
Case Study 2　Skovtårnet (Forest Tower)

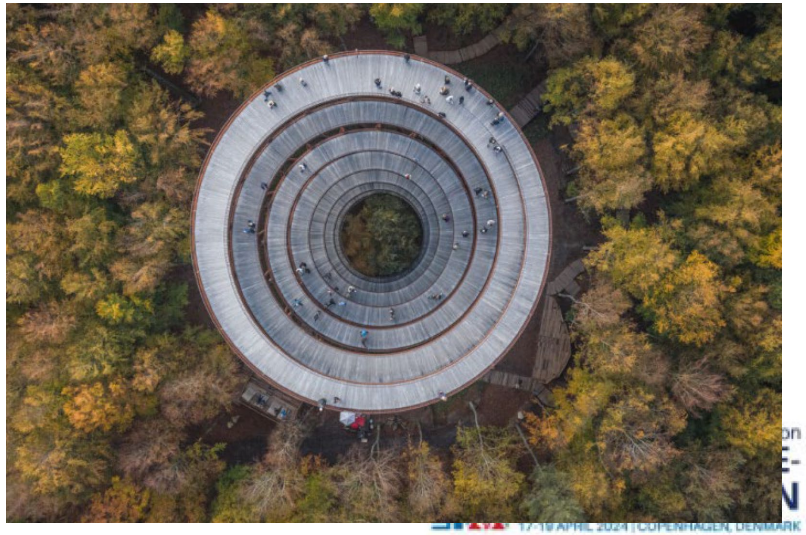
現存するSkovtårnet (Forest Tower)の拡張計画。

デンマークのGisselfeld Kloster‘s forest の中に立地する。
森林を広範囲に見渡せる高さ45mの展望台

レストラン、バー、イベントスペース、ジップラインを
最上部に設けたい。
タワーはらせん状になっていて、入口・出口は1か所。
砂時計のような形状になっていることを考慮する。
主構造はコールテン鉄骨造。120°に立ち上がっている。
坂部は木造。

できるだけ多用途に使えるようにしつつ、
人命安全、構造安定性の検討

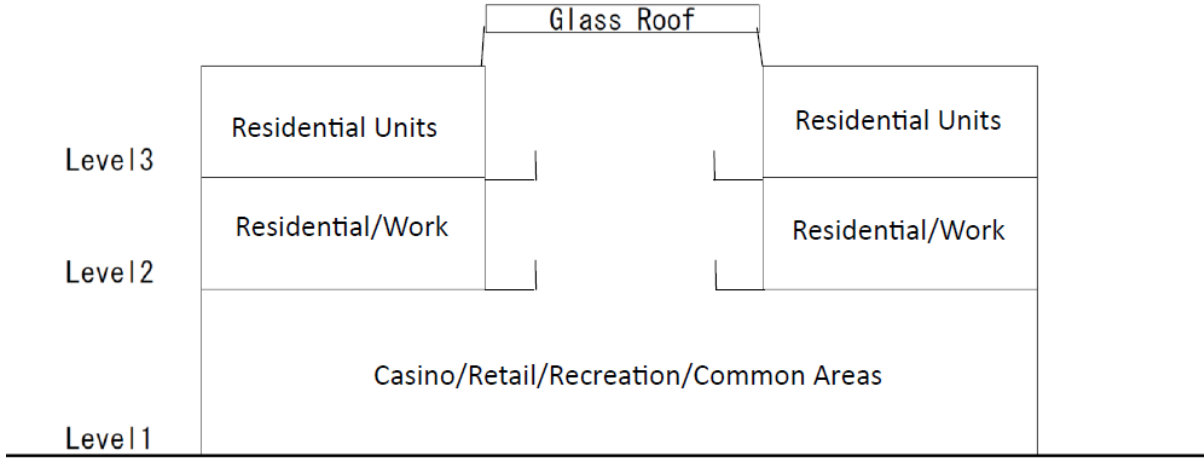


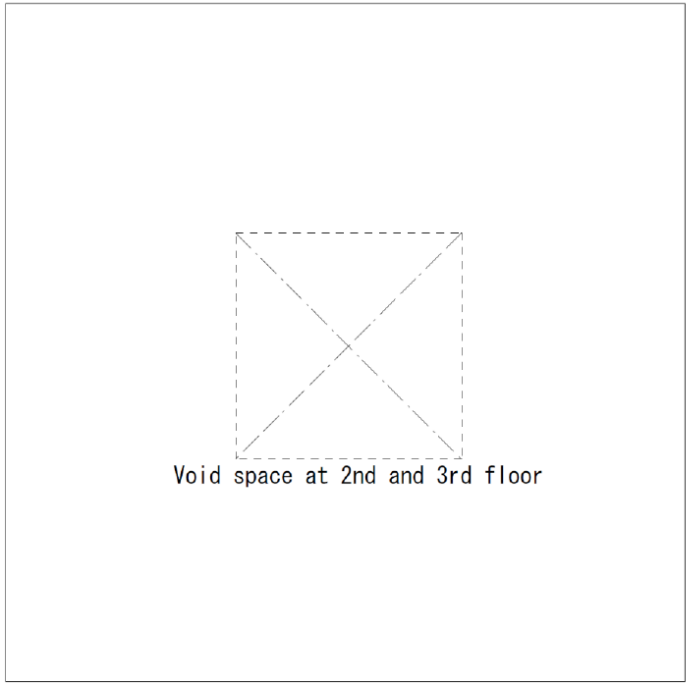


Case Study 3　Co-living/working Facility

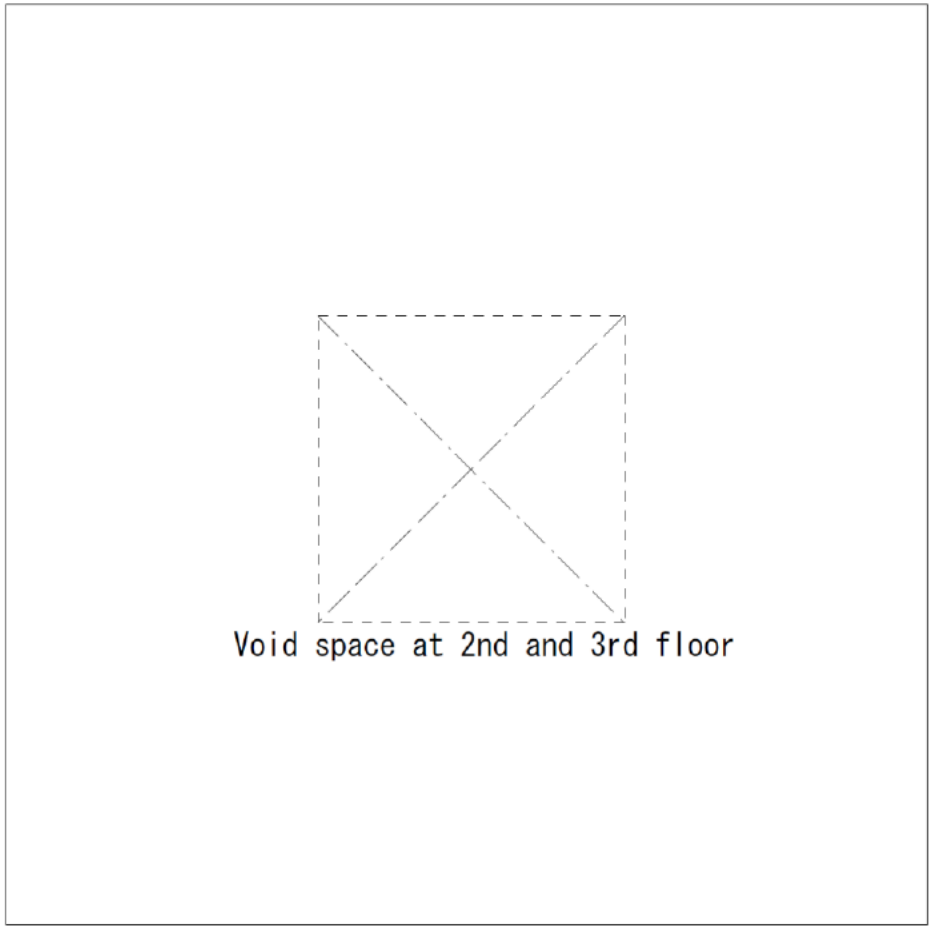
コリビング、コワーキング施設の計画。
遠隔地の大規模開発における初めの建物。
住宅、オフィススペース、
商業施設、カジノを設置。

1. 共用空間は可能な限り開放的なものとする。
   中央に吹き抜けを設ける。
2. 建物の基部には可能な限り木材を用いる。
3. 共用部、商業、カジノの許容在館者数を
   可能な限り多くする。
3. 屋上緑化、太陽光発電、壁面緑化などを行う。

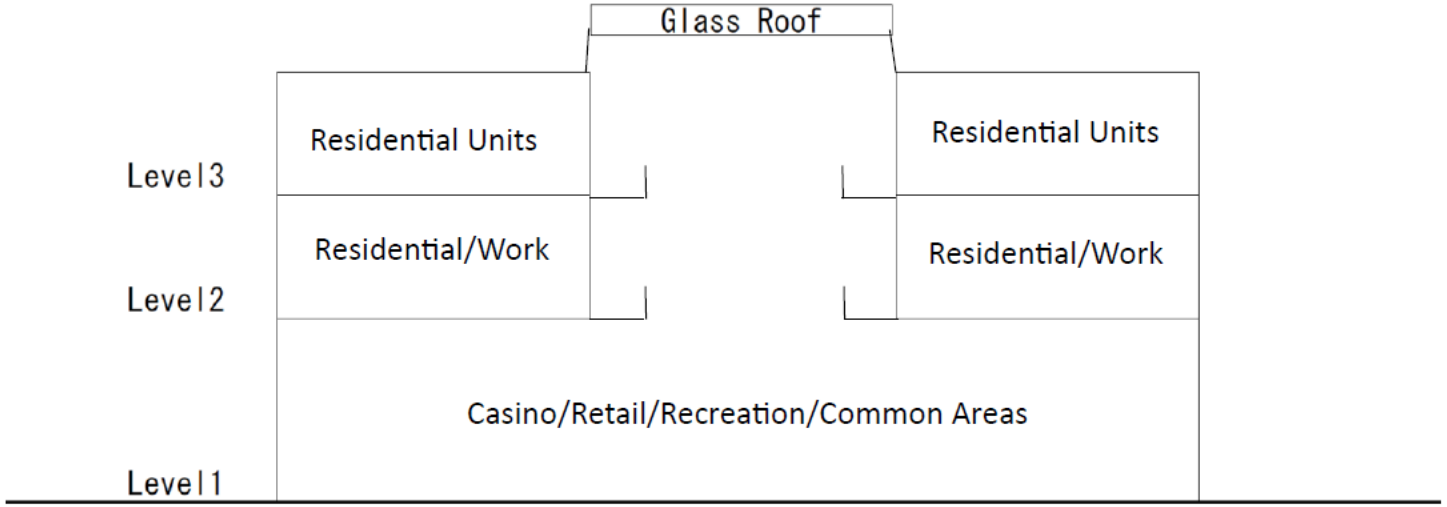




Floor Plan



Floor Plan



Section

どれに取り組むか決めるところから課題

Case Study 1: Worker Housing

日本チーム、ニュージーランドチーム

Case Study 2: Recreational Forest Tower

UKチーム、スイスチーム

Case Study 3: Co-living/working Facility

IMFSE Studentチーム

#SFPEPBD24

SFPE Fire Safety Conference & Expo on PERFORMANCE-BASED DESIGN

17-19 APRIL 2024 | COPENHAGEN, DENMARK

Case Study 1:

Worker Housing

SFPE Japan Chapter Team

Y. Minegishi, Y. Koike, K. Takayama,

M. Fujimoto, M. Seike

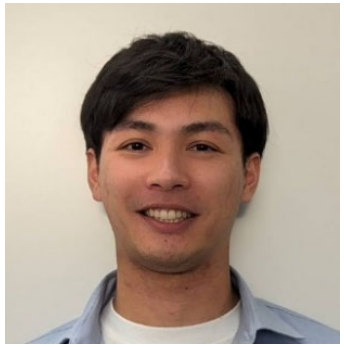
SFPE Japan Chapter Team - Speakers

峯岸良和
PhD, PE, MSFPE, LA

BRI 建築研究所

Past presentation in the SFPE-PBD conference
2012, 2014, 2016,
2018, 2020, 2022

小池悠豊
MEng



AFRI Akeno Facility Resilience Inc.

NEW!!

高山兼一
MEng

TAKENAKA

NEW!!

藤本瑞穂
MEng

AFRI Akeno Facility Resilience Inc.

2022

NEW!!
(presentation & in person)

清家萌
MEng, LA

AFRI Akeno Facility Resilience Inc.

2016

NEW!!
(presentation)

LA: Licensed Architect (first-grade), Japan, 1級建築士

SFPE Japan Chapter Team

榎本満帆
PhD

AFRI
Akeno Facility Resilience Inc.

城明秀
PhD

TAKENAKA

土屋伸一
PhD, LA
Representative executive of AFRI

AFRI
Akeno Facility Resilience Inc.

Supervisor:
福井潔
Director of
SFPE Japan Chapter

LA: Licensed Architect (first-grade), Japan, 1級建築士

SFPE Fire Safety Conference & Expo on PERFORMANCE-BASED DESIGN
17-19 APRIL 2024 | COPENHAGEN, DENMARK

Outline

1. 建築設計: 規模, ユニット, 階レイアウト, 1階段であること 峯岸
2. 構造耐火・区画設計 藤本
3. 延焼防止の設計 高山 & 小池
4. 煙制御 清家
5. 結論 峯岸

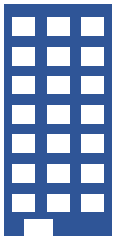
1.建築設計:
規模, ユニット, 階レイアウト, 1階段であること

Three Requirements for Structural Fire Resistance in Japan

在館者

Safety of occupants

(explained in detail following slides)



大規模

Preventing building collapse

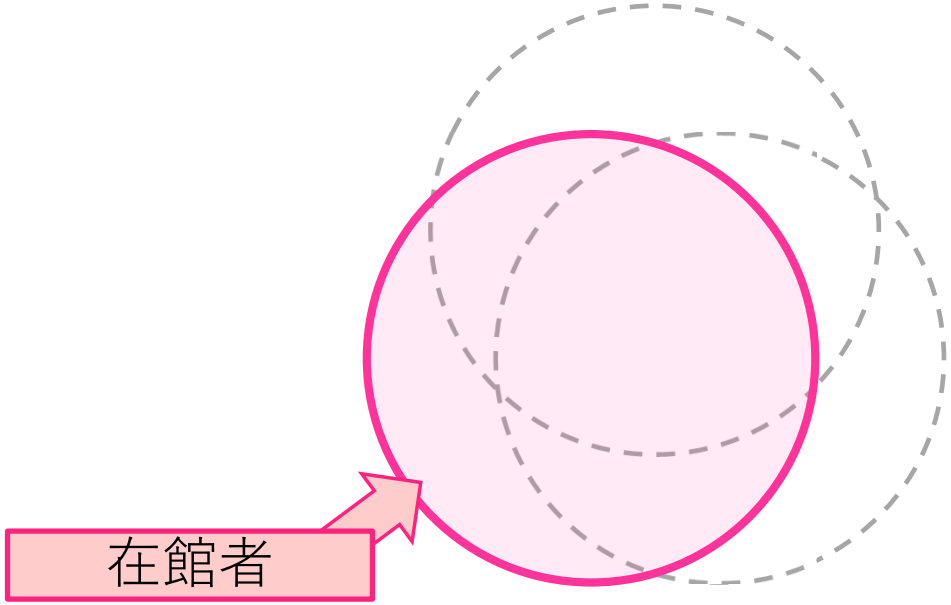
(explained in detail following slides)

立地

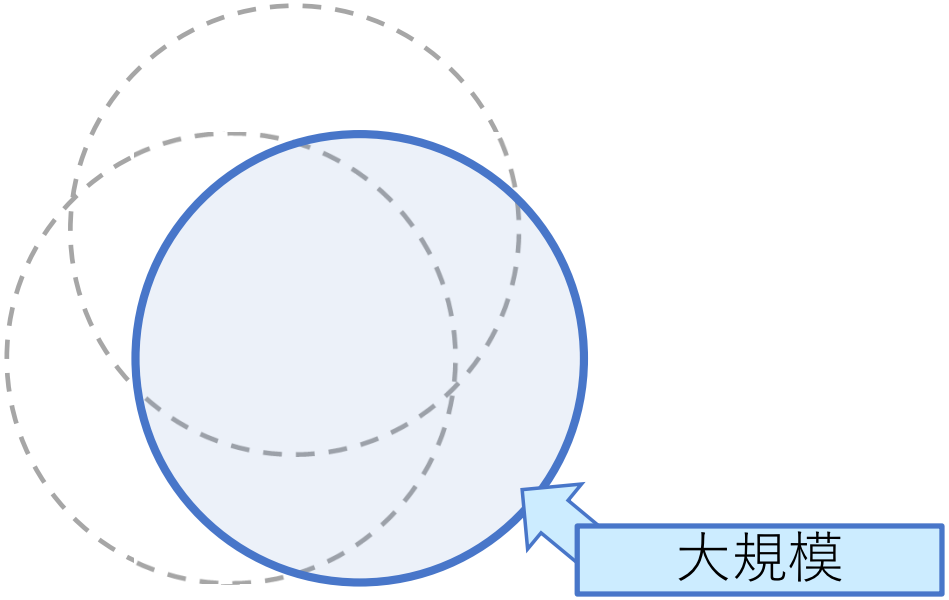
Preventing spread of fire to the neighborhood

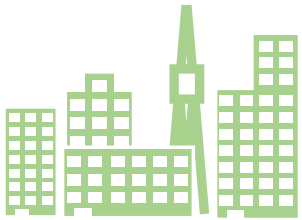
(explained in detail following slides)

	Target buildings	Requirement
 在館者 Safety of occupants	• Large number of occupants • Unfamiliar occupants • People with mobility impairments	Structure should be sustained for evacuation/rescue

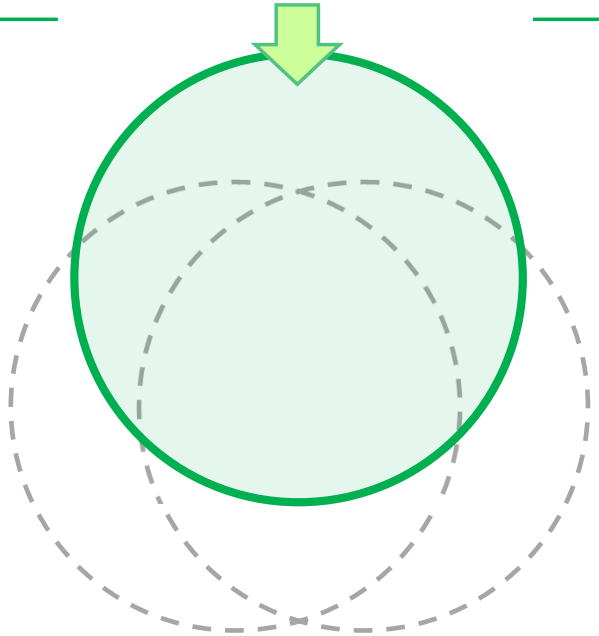


	Target buildings	Requirement
大規模 Preventing building collapse	• Large scale buildings • High-rise buildings	Structural retention/ damage prevention for adjacent buildings

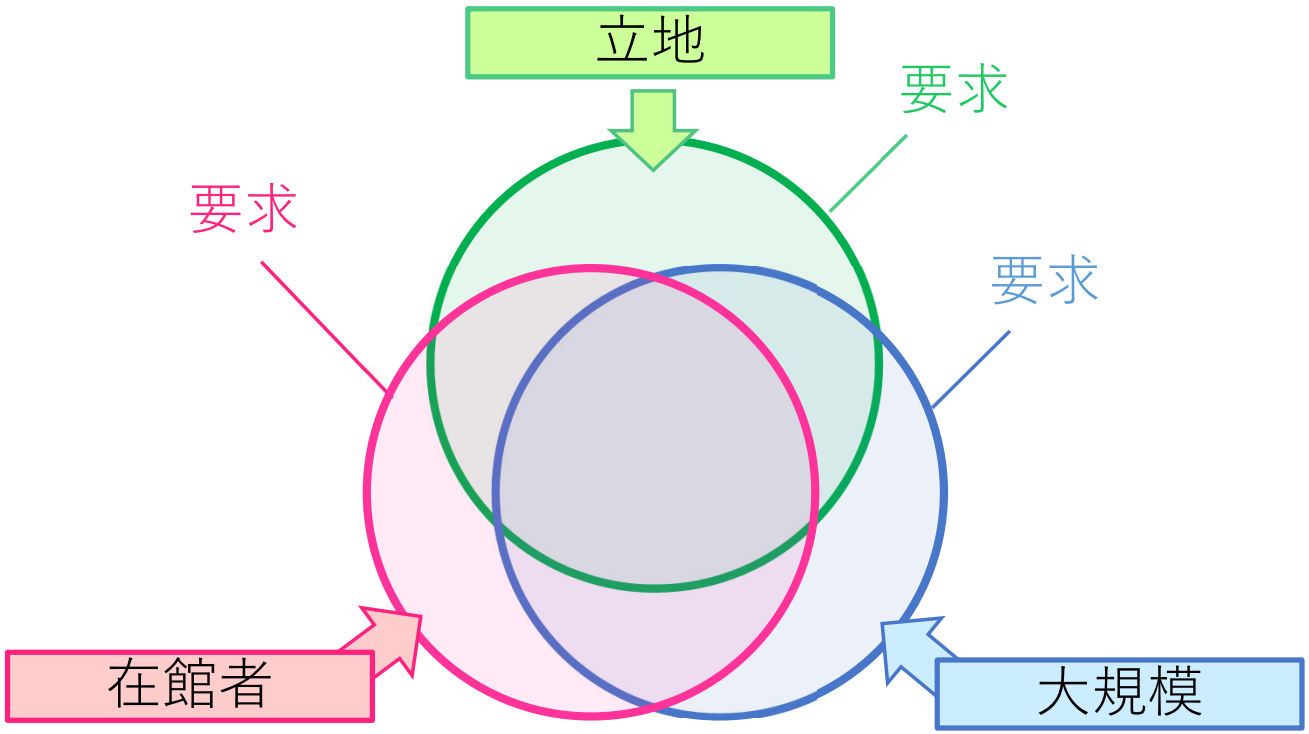


	Target buildings	Requirement
 立地 Preventing spread of fire to the neighborhood	• Buildings located in ~~urban area~~ **Remote area**	Prevent ~~urban fire~~ **WUI fire** **+** **the units of pods as an owners' property**

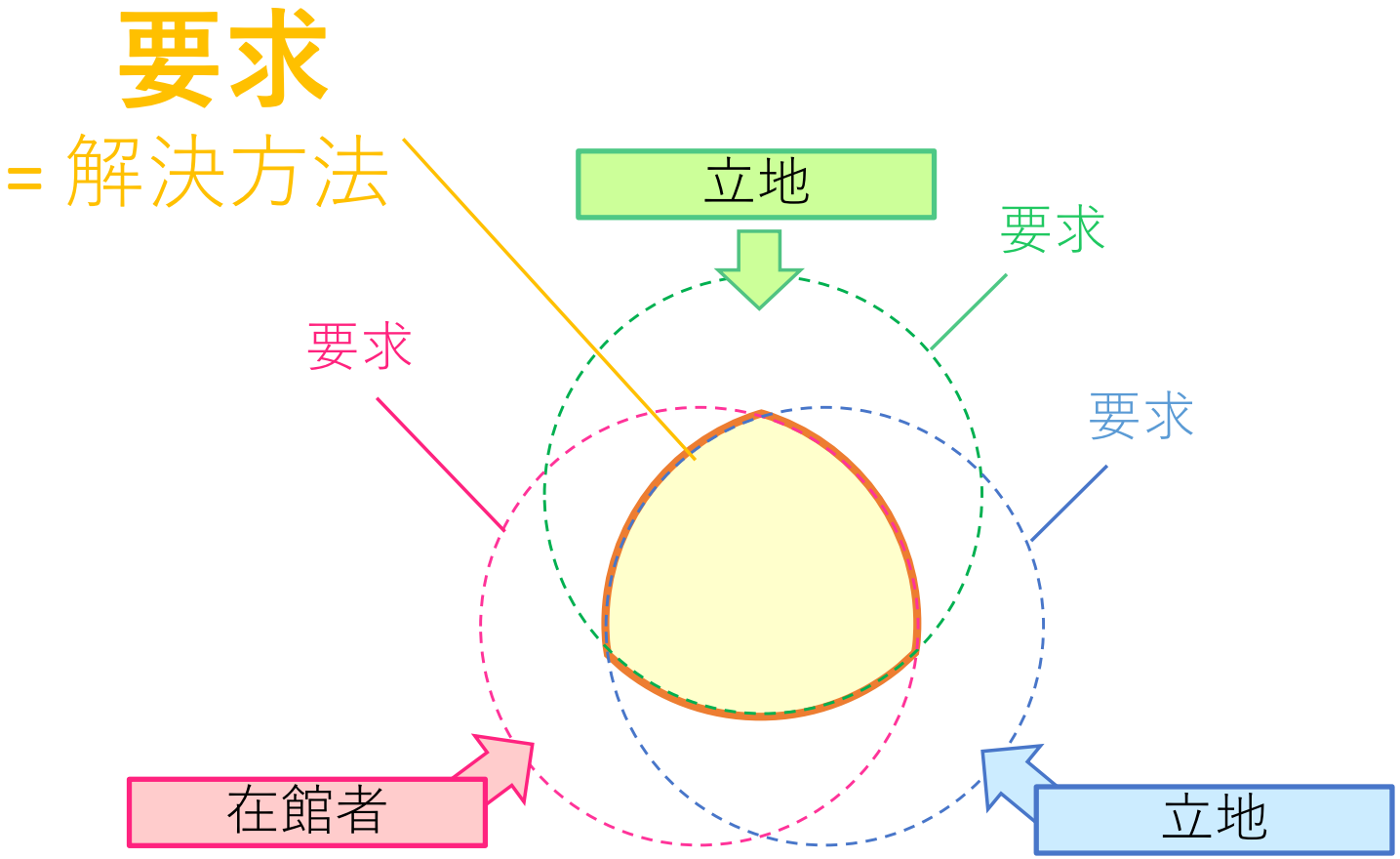
立地



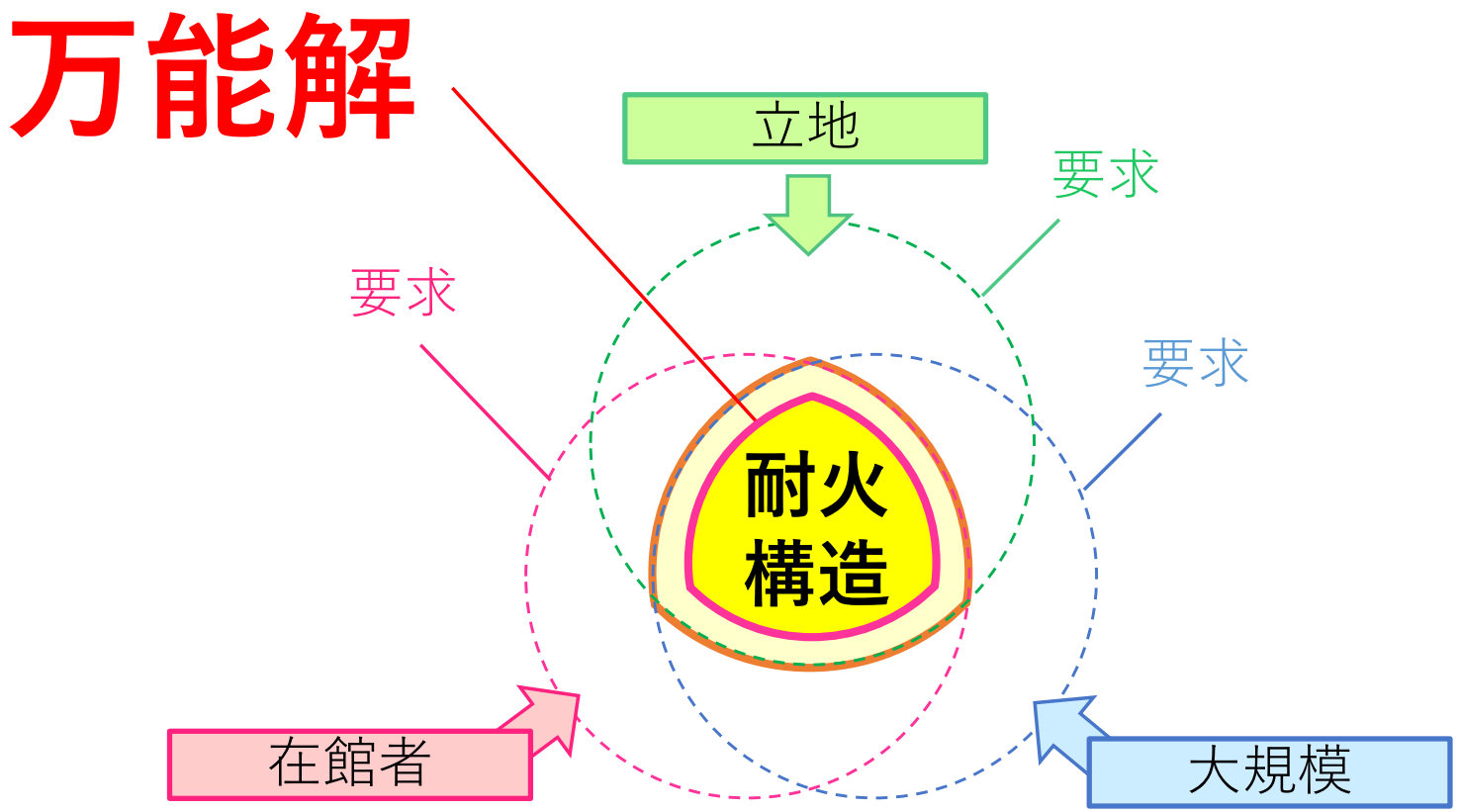
Structural requirements for our pods



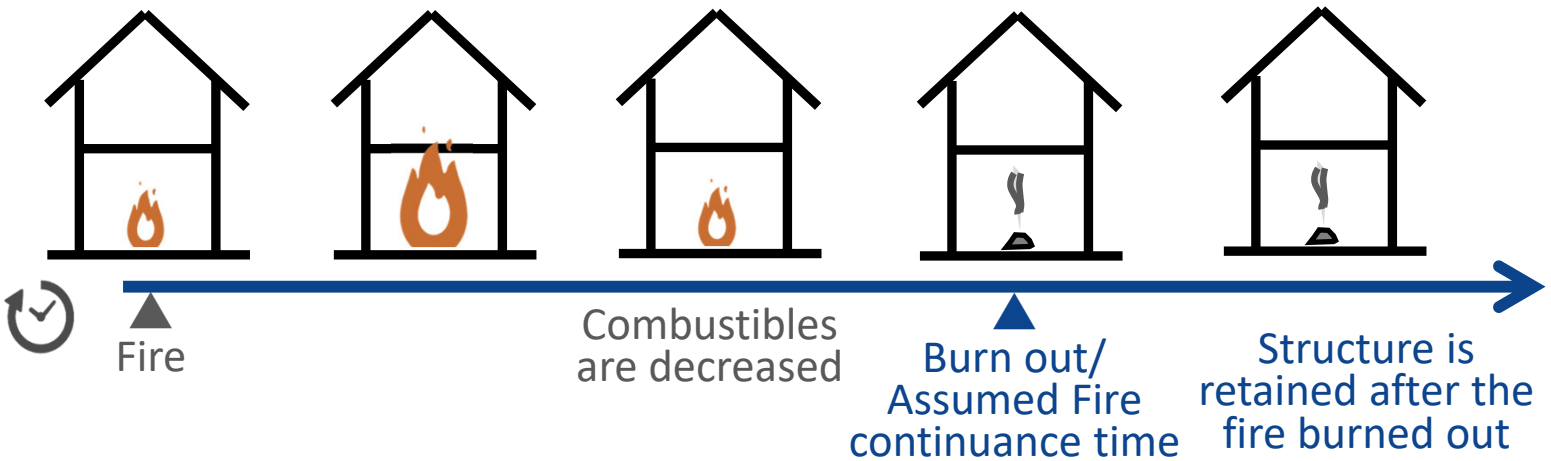
Solution has to satisfy all requirements



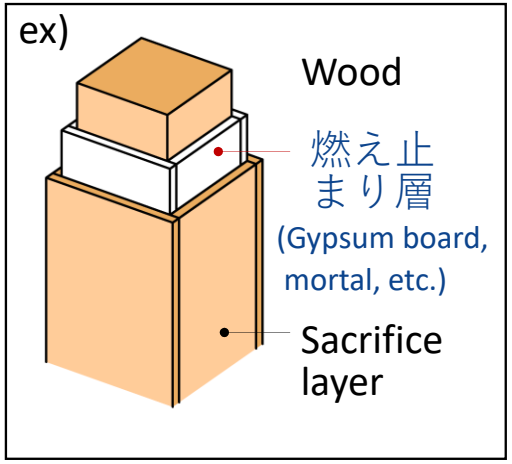
耐火構造 is the almighty solution. But,



耐火構造 (FR)



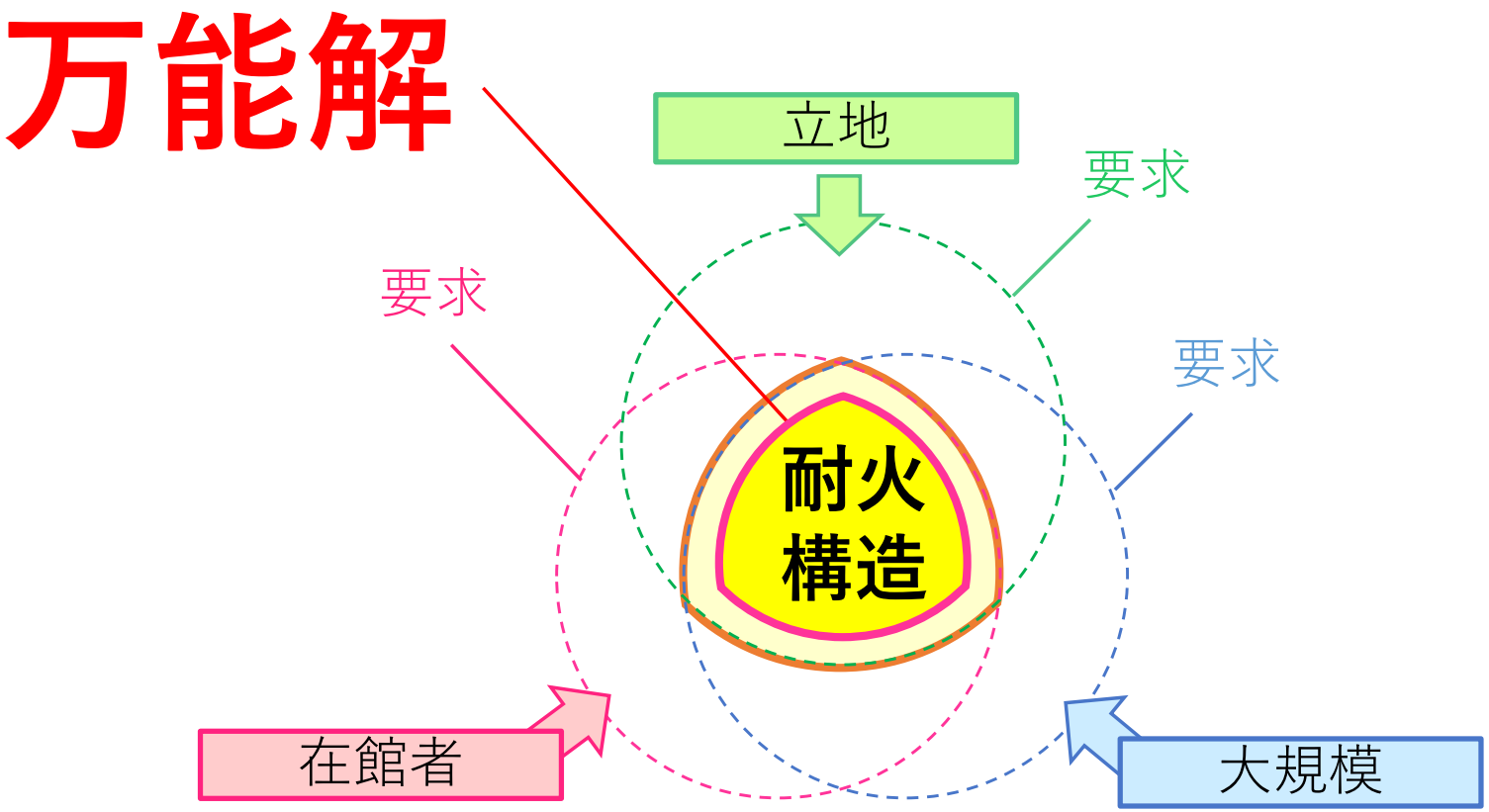
Wooden member



FR-approach is the simplest. However, FR components are

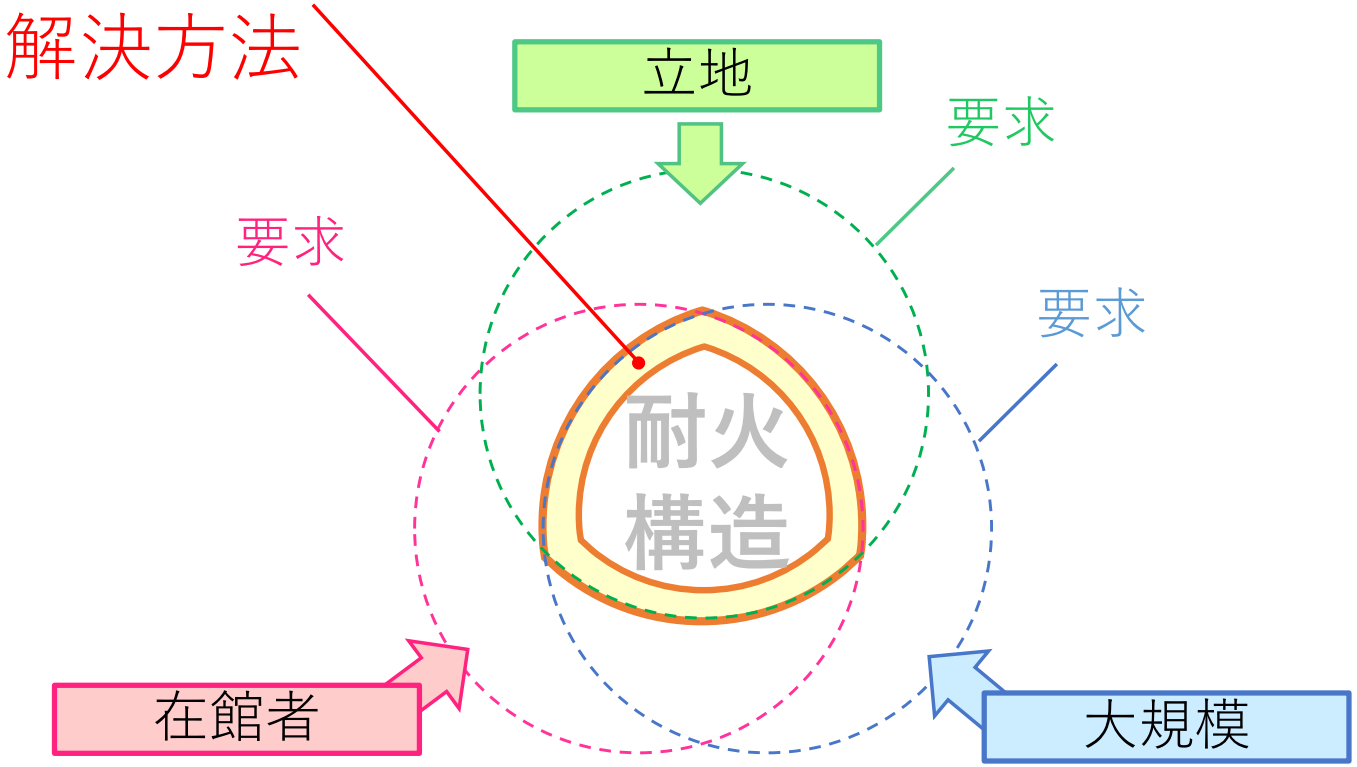
- 被覆　(some are wood finishing)
- 高価
- 重い
- 遠隔地での施工が困難

耐火構造 is the almighty solution. But,



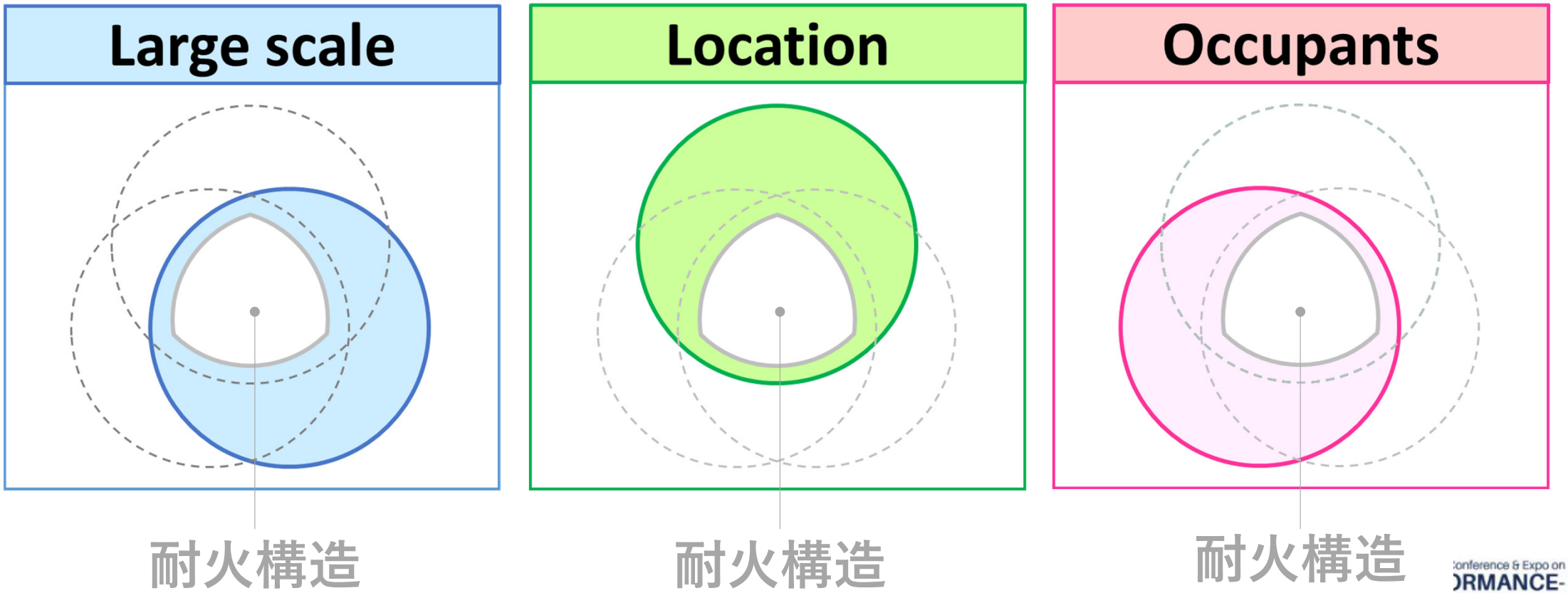
Our proposal

非・耐火構造

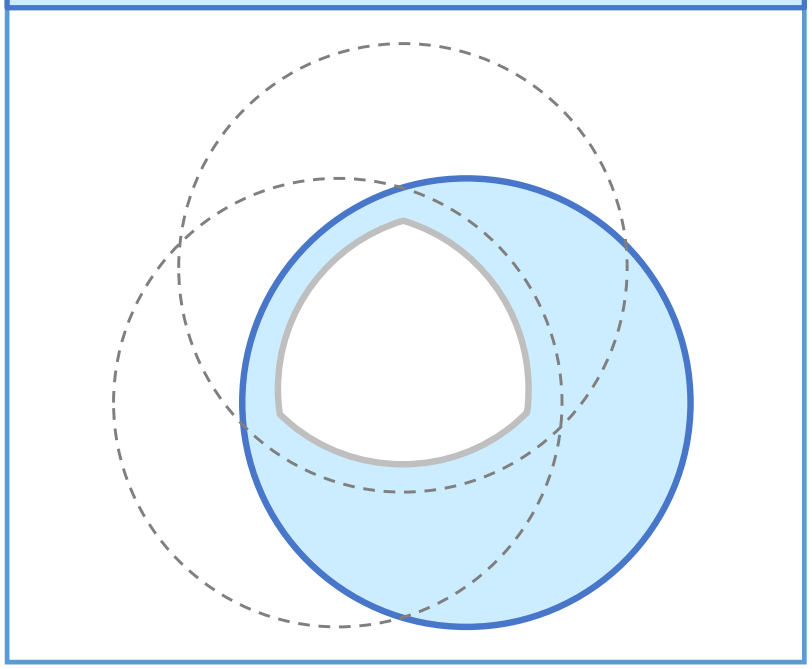


耐火構造を採用しない場合の

構造に対する3つの機能要求



大規模



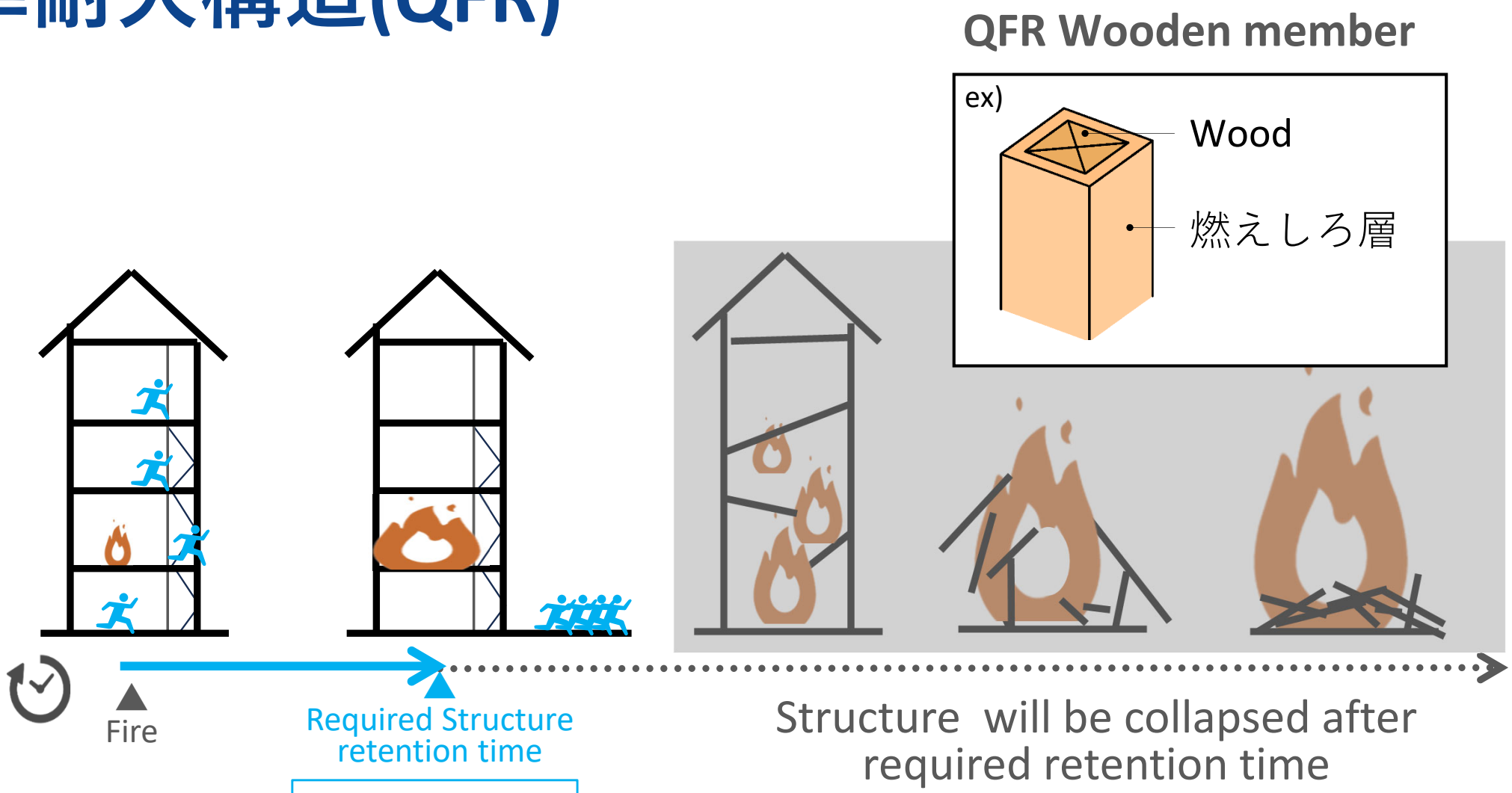
隣棟にダメージを与えるような崩壊をしないこと。

消防活動を考慮できるなら、準耐火構造の設計があり得る。
しかし、遠隔地であり、消防活動は期待できない。

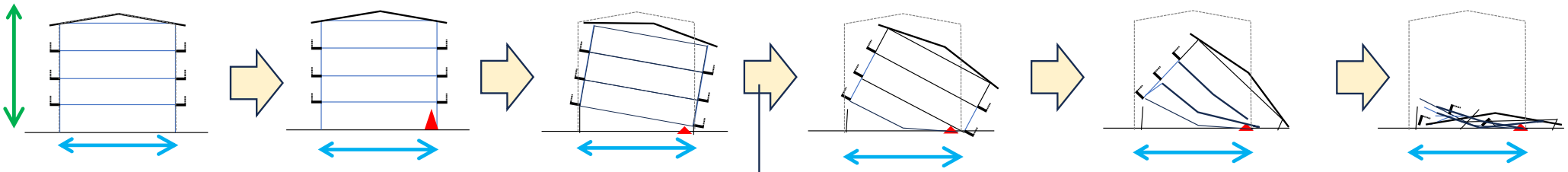
崩壊モードを制御する

隣棟に影響を与えないように

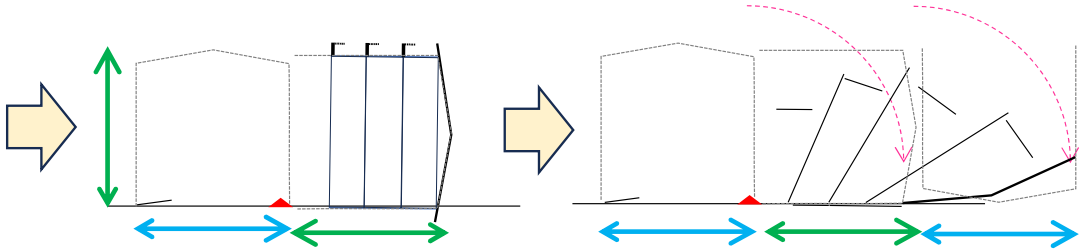
準耐火構造(QFR)



崩壊モードの制御



不利側に考えると: **ひっくり返る**

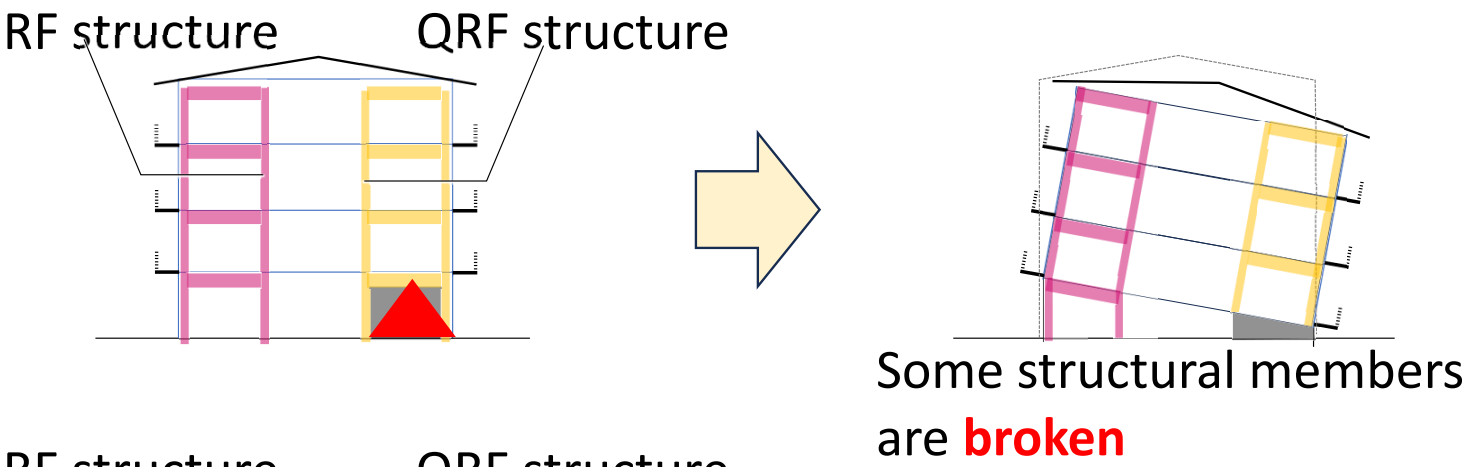


準耐火 と 耐火 の ハイブリッド

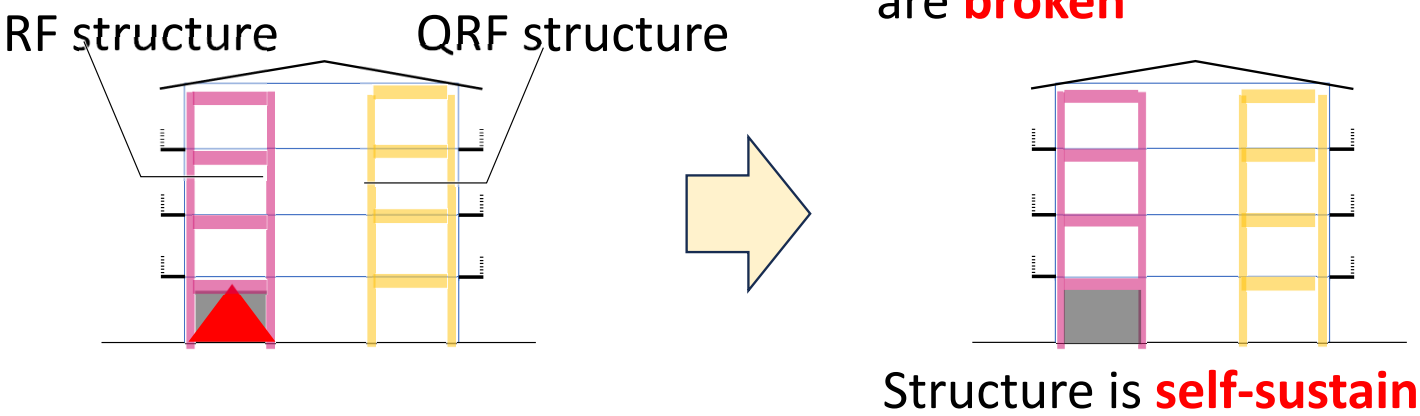
崩壊モードの制御

火災継続中　　火災後

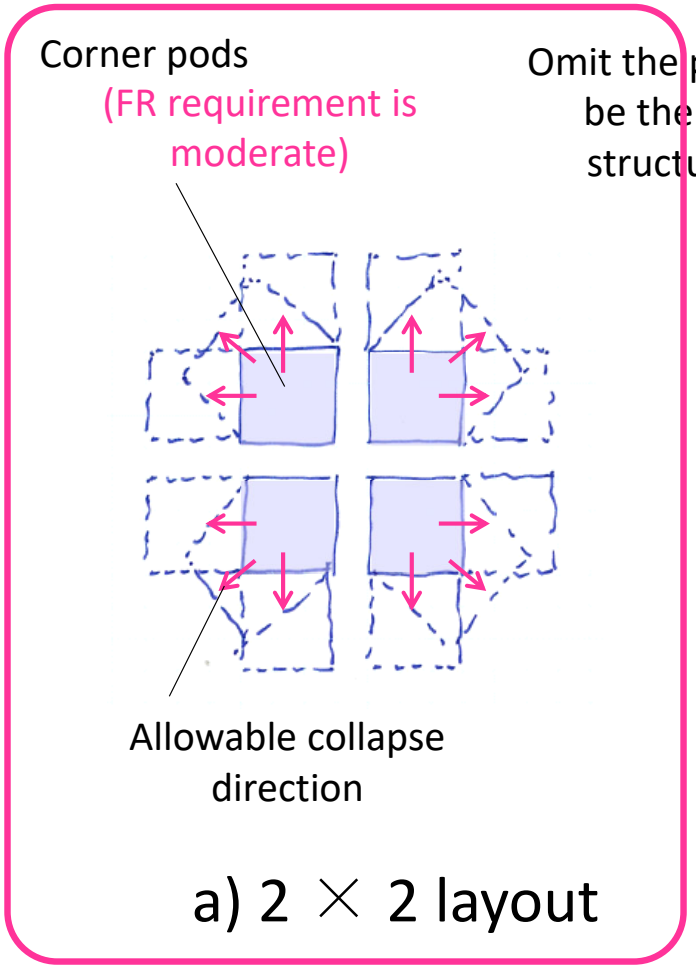
a) When a fire occurred in **QFR structural** area



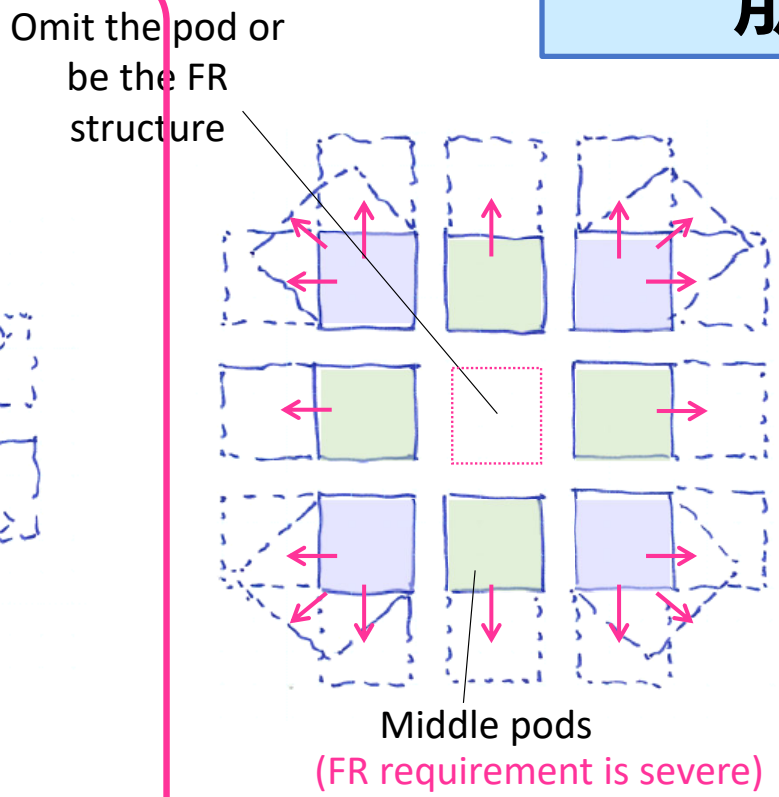
b) When a fire occurred in **FR structural** area



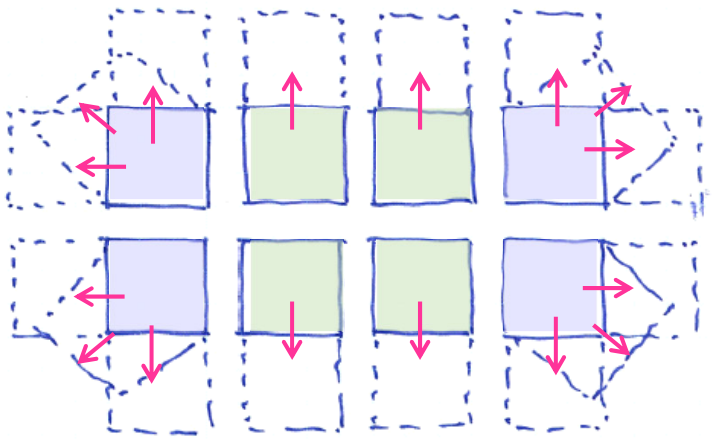
崩壊モードの制御



a) 2 × 2 layout

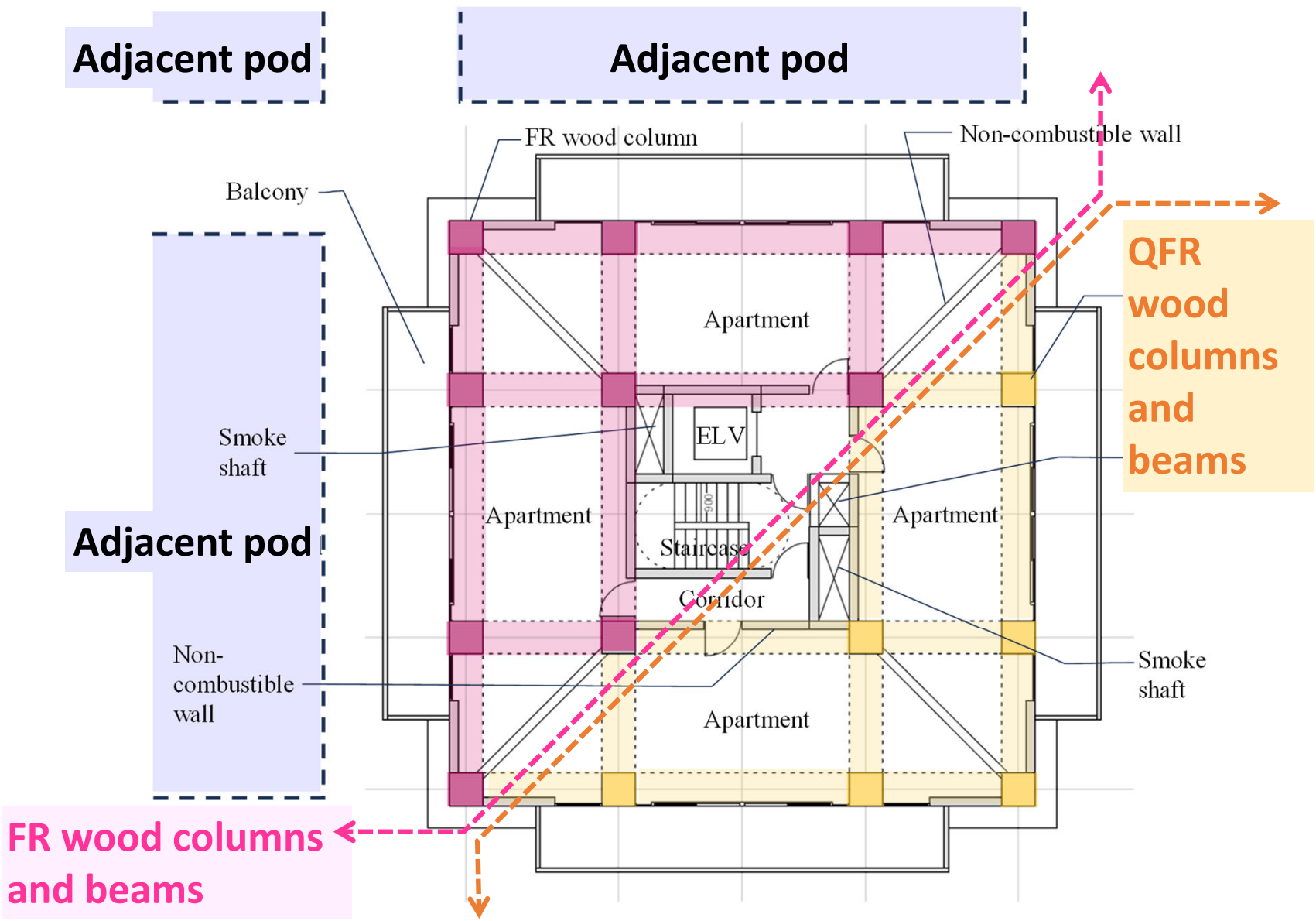


b) 3 × 3 layout

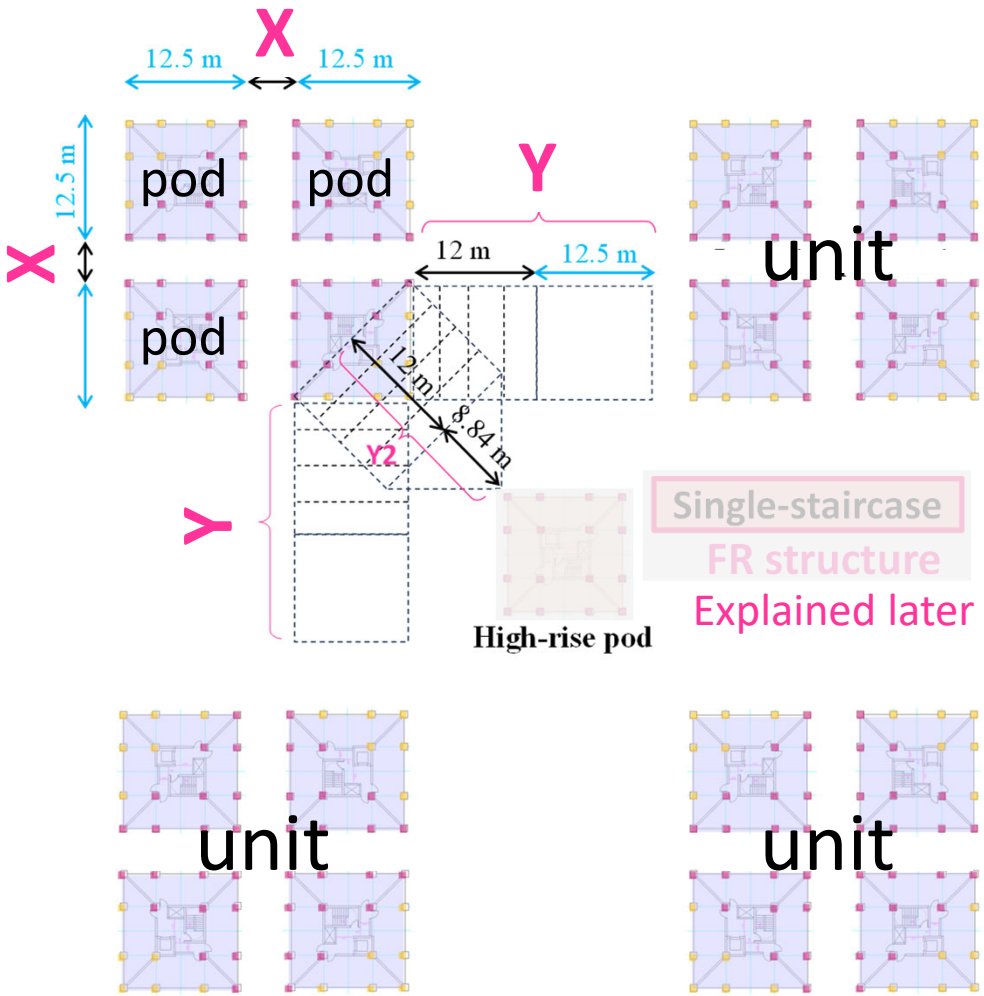


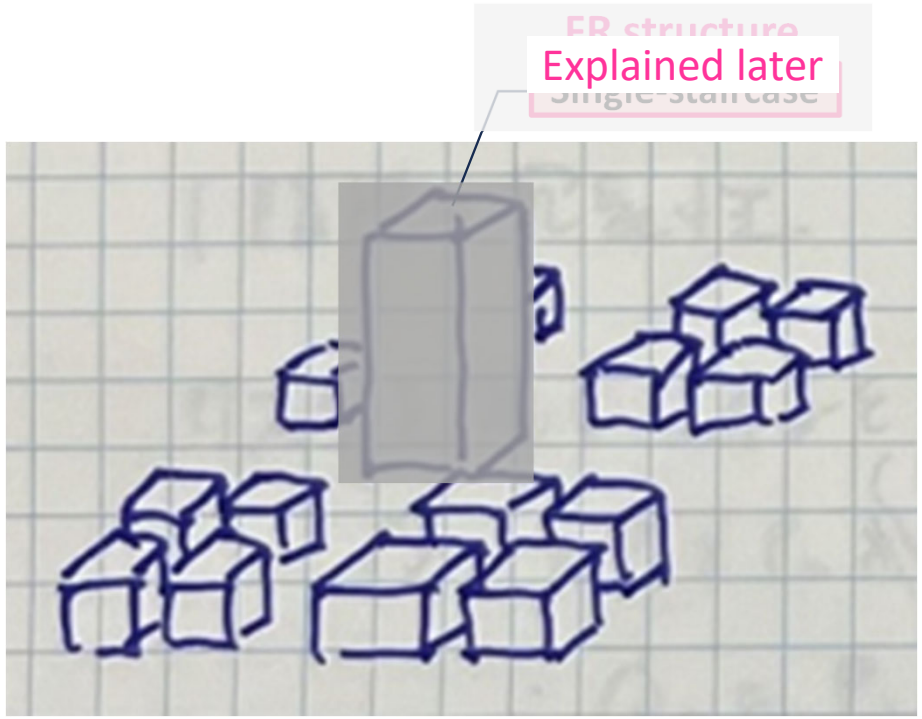
c) 2 × n layout

崩壊モードの制御



崩壊モードの制御

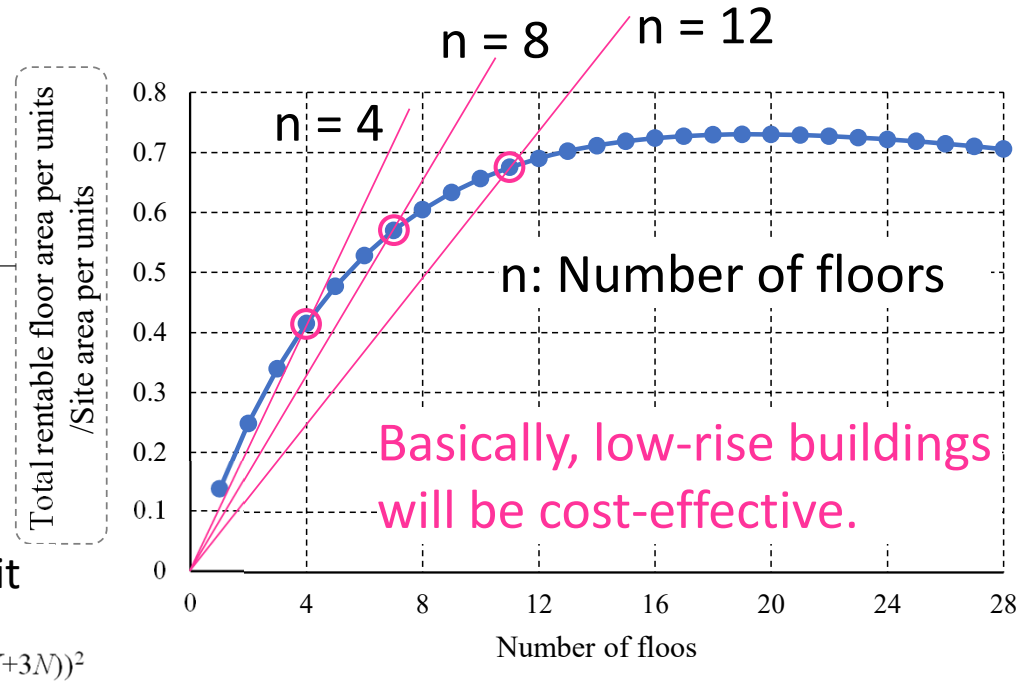


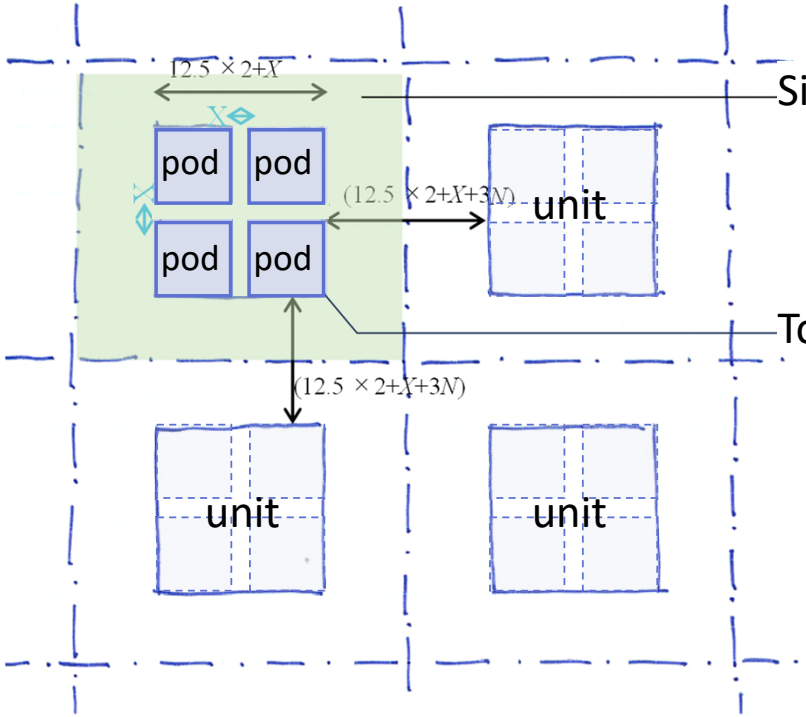


X は **火災（放射）** の観点により決まる。
Y は **構造（崩壊）** の観点により決まる。

崩壊モードの制御

1ユニット当たりの居室面積/
1ユニット当たりの敷地面積





Site area per unit

$((12.5 \times 2+X) + (12.5 \times 2+X+3N))^2$

Total rentable floor per unit

$(12.5 \times 12.5 - 5.4 \times 5.4) \times N \times 4 = 508.36 \times N\ \mathrm{m}^2$

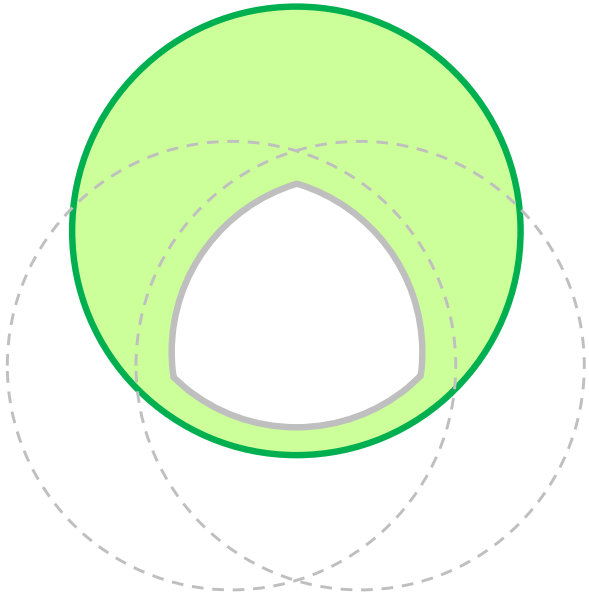
X: Distance between pods [m]

N: Number of floors [–]

階数
(低層 pod)

4 (minimum of the specification of the CaseStudy)

立地



放射や**火の粉**の飛散による延焼の防止

基本的な方針は、建物を火災により崩壊させないこと。
しかし、今回は、建物を崩壊させまいまでの構造にはできない。

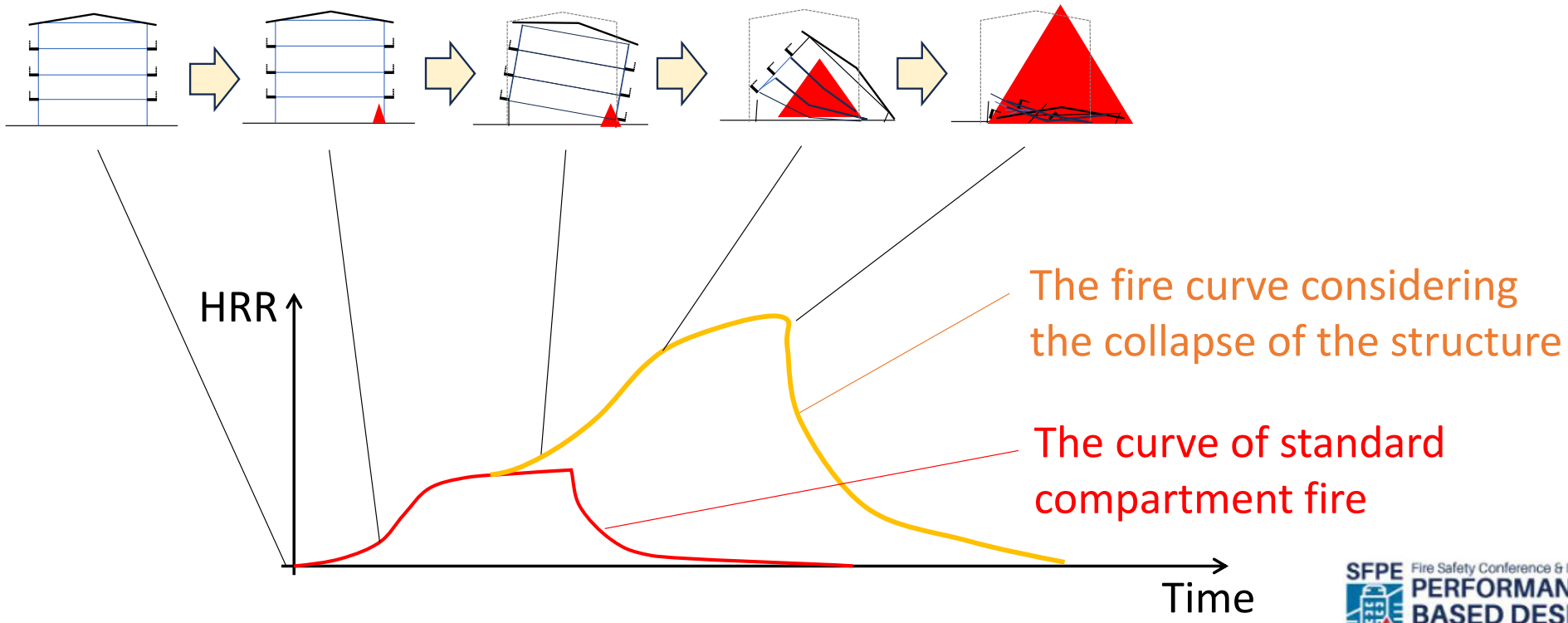
次の方策としては、
消防隊の消火活動に期待。
しかし、これも期待できない。

火災盛期に構造が崩壊しないようにする

自主防災による放水活動

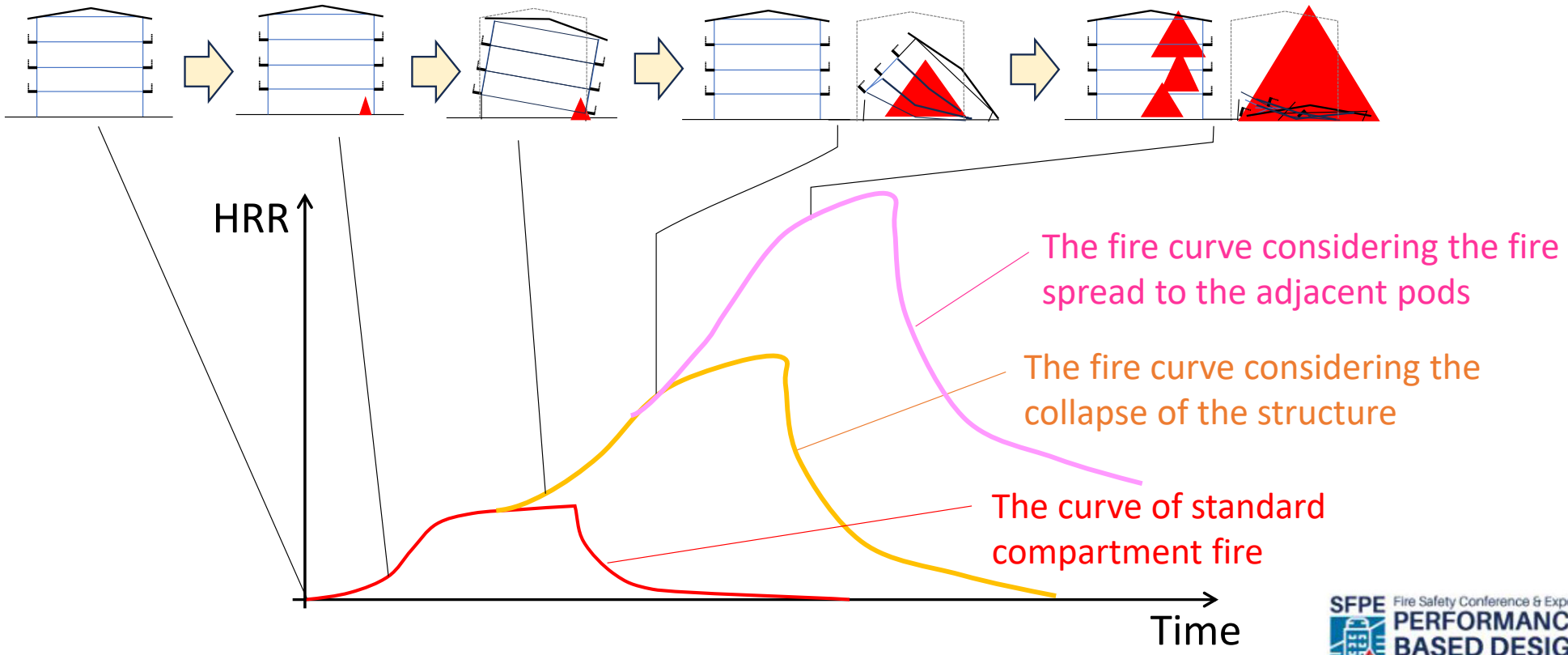
火災盛期に構造が崩壊しないようにする

a) Collapse mode and heat release rate of the **usual structure**



火災盛期に構造が崩壊しないようにする

b) Collapse mode and heat release rate of the usual structure when **a fire spreads to the adjacent buildings**

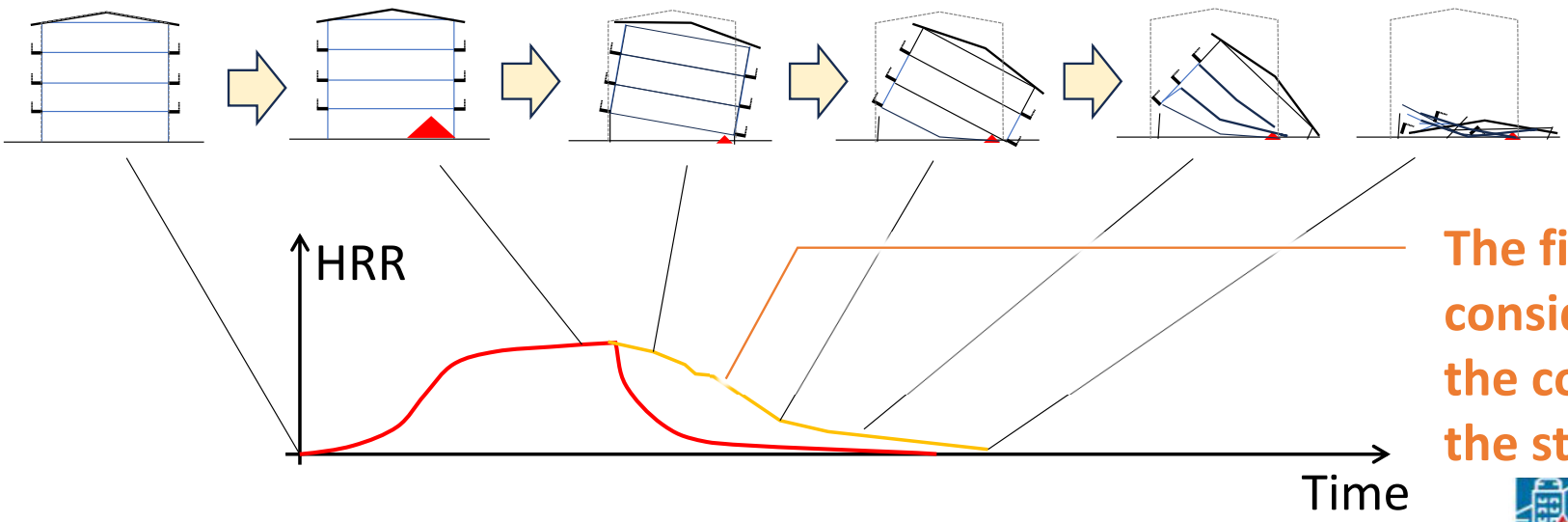


火災盛期に構造が崩壊しないようにする

半・準耐火構造 (SQ-FR)

避難終了後の**構造崩壊は許容**する（**準耐火**）。

ただし、**火災盛期中には崩壊しない**ようにする（**半耐火**）。



The fire curve considering the collapse of the structure

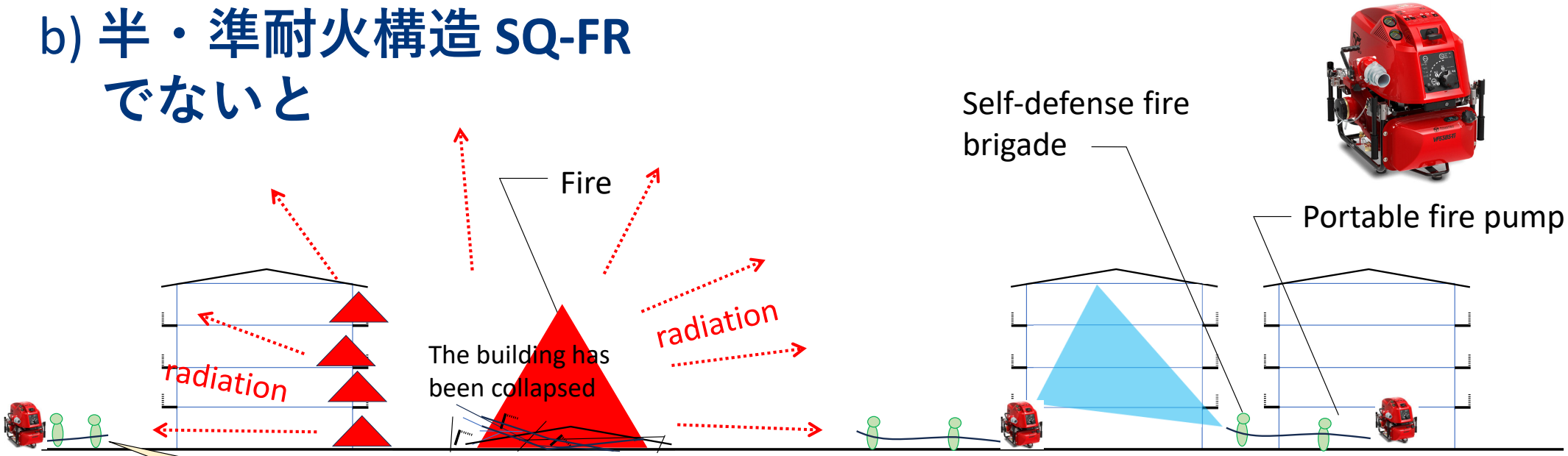
自主防災による放水活動

可搬ポンプ

佐藤秀樹、長谷見雄二ほか：可搬式消防ポンプを活用した市街地火災対策計画法に関する研究
～所要時間概算式の提示と歴史的市街地におけるケーススタディ～,日本建築学会大会学術講演梗概集（関東） 2015年 9月

自主防災による放水活動

b) 半・準耐火構造 SQ-FR でないと

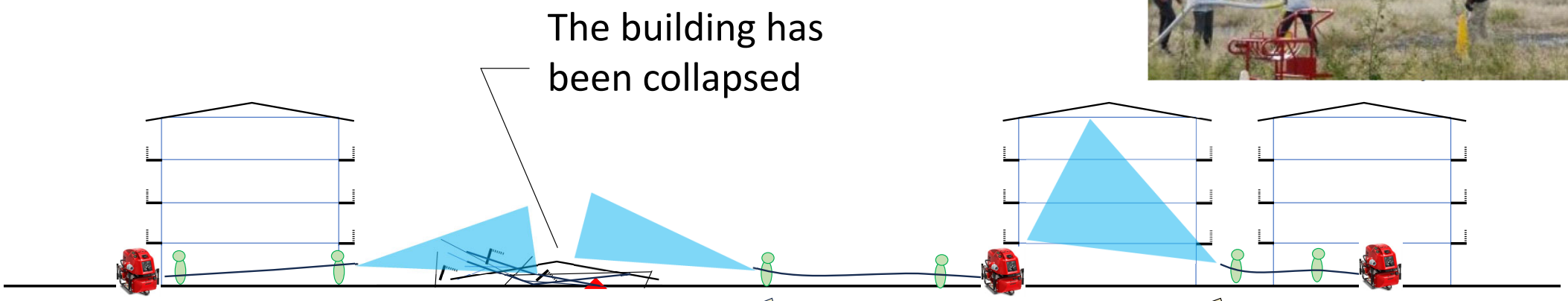


放射が強すぎて建物に近づけない。

火の粉や輻射による延焼を防ぐため、近くの建物に放水しておく

自主防災による放水活動

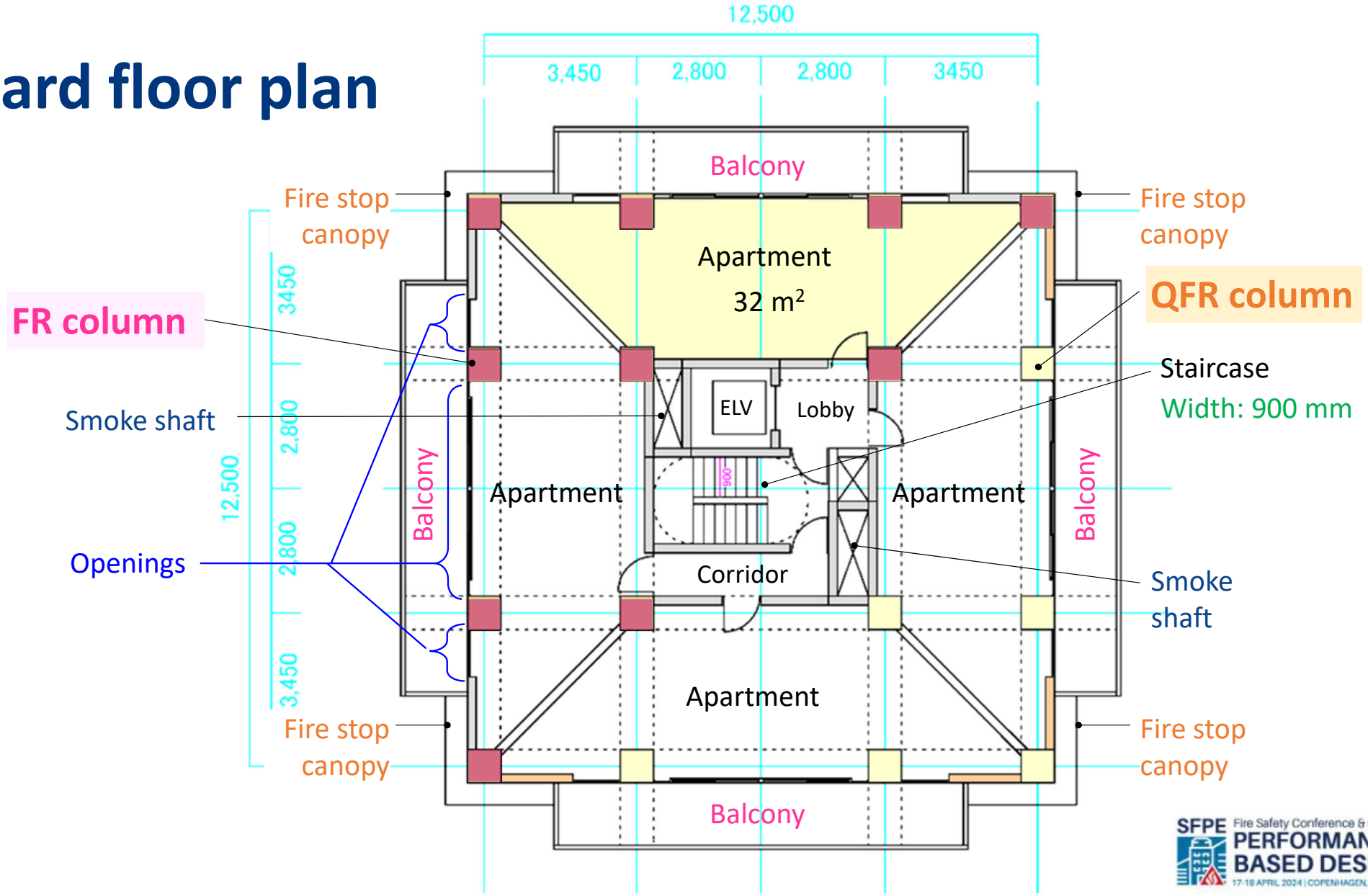
c)半・準耐火構造 SQ-FR で建物崩壊後



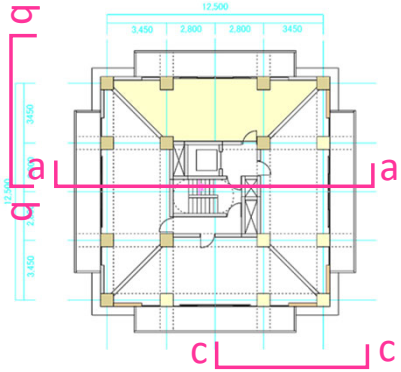
建物が崩壊した後、**再燃しないように、**
また、火の粉の飛散を抑えるために、
離れた場所から放水する。

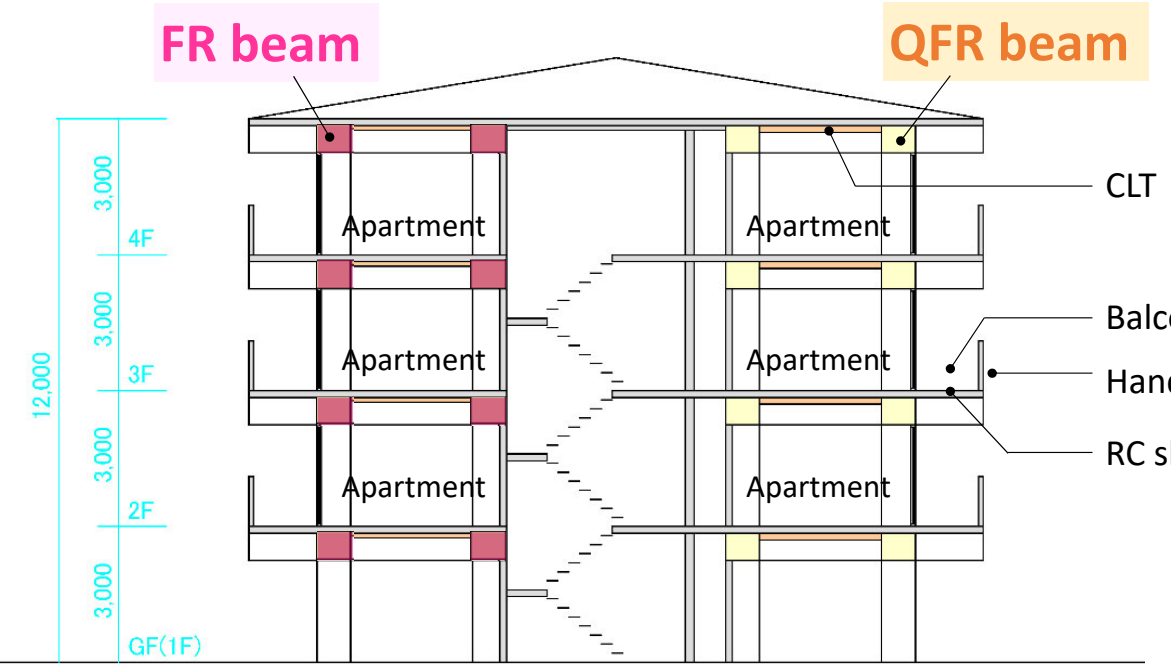
火の粉や輻射による延焼
を防ぐため、近くの建物に
放水しておく

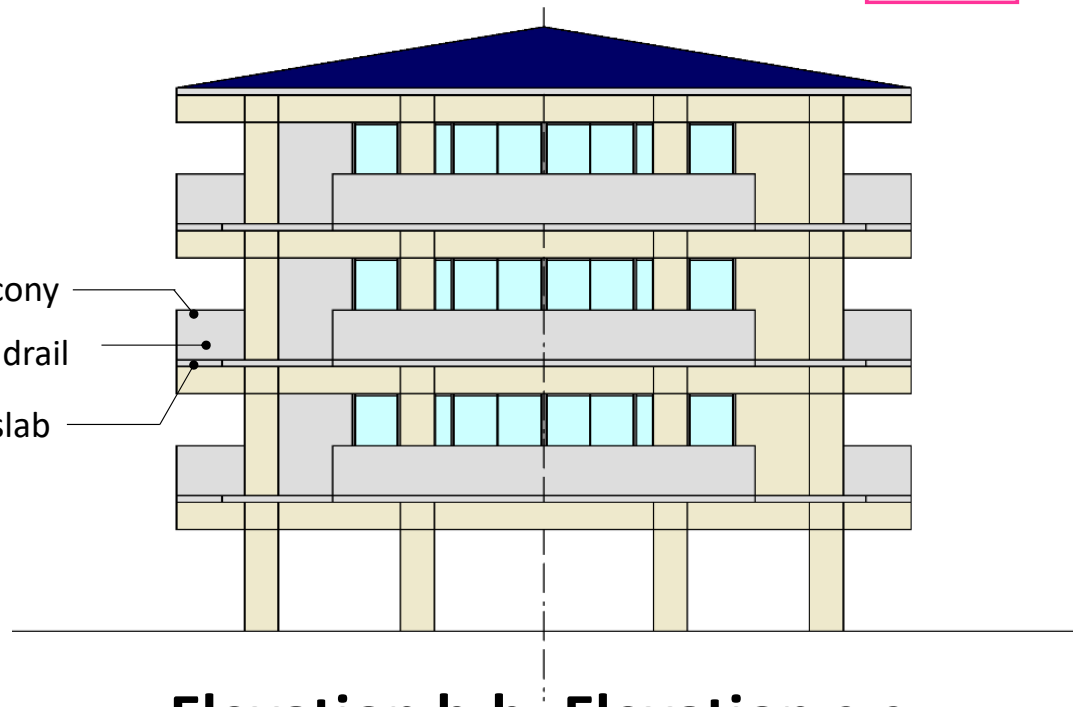
Standard floor plan



断面・立面







Section a-a

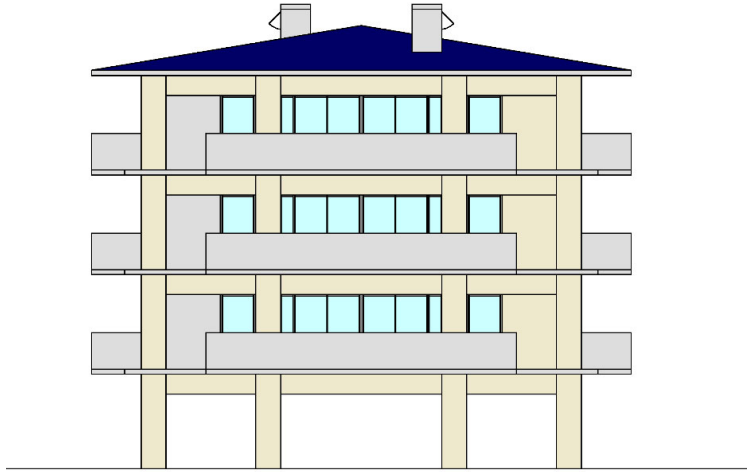
Elevation b-b Elevation c-c

しかし、

4階建てであると、

1階段であることの

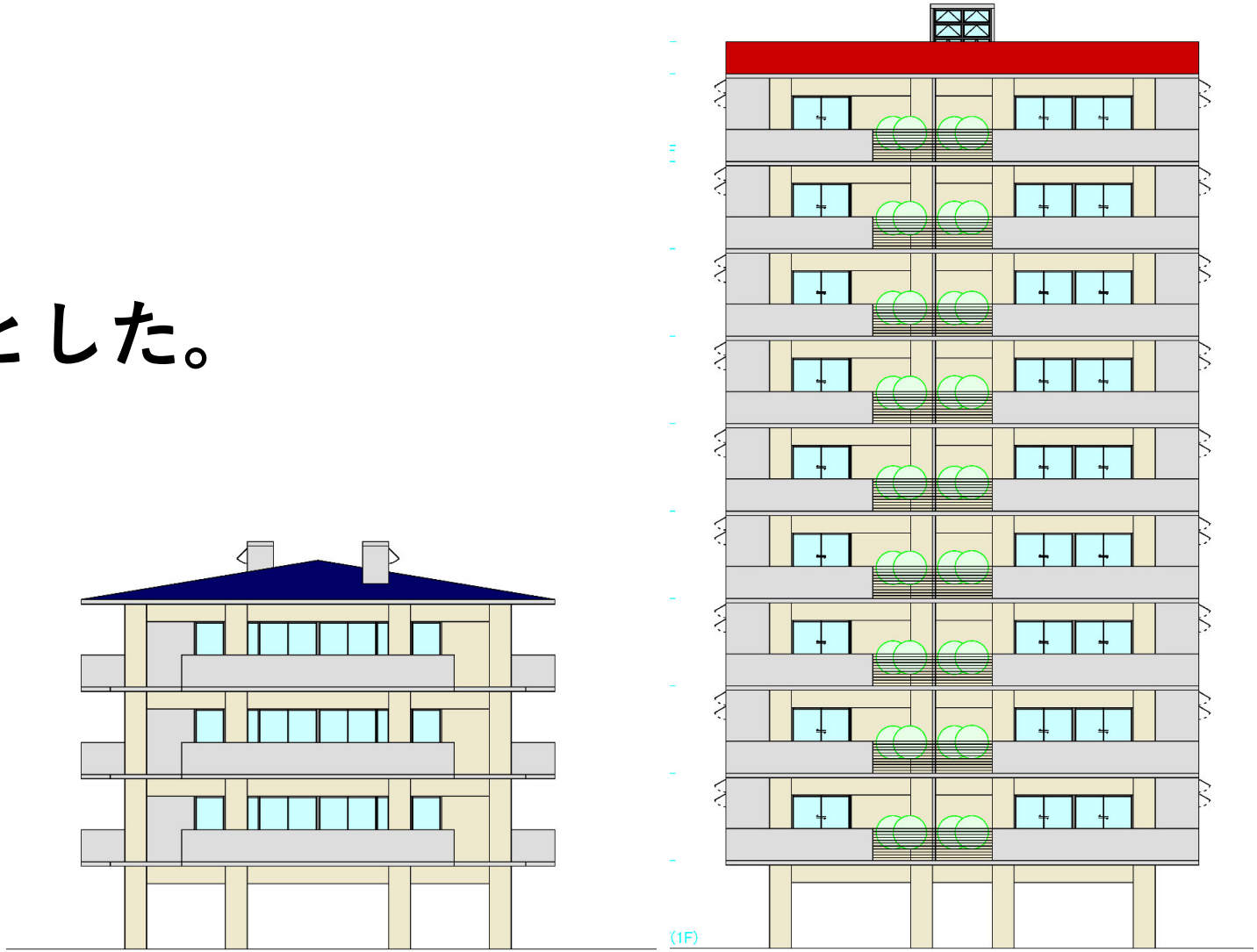
困難さの検討が抜ける。。



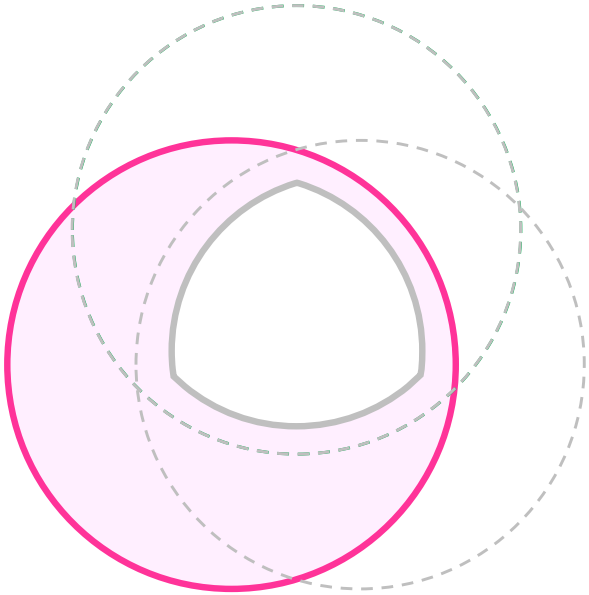
ということで、

高層 pods

も計画することとした。



在館者



全ての在館者が
建物が崩壊する前に
避難完了できる.

高層Podは、

大規模 と 立地

の要求から、

崩壊してはならないため

耐火構造 structure を採用する。

1階段である　階数

階段1本であることを代替する対策 (←→どうあれば階段1本を許容できるか。)

観点

階避難

全館避難

消防活動

1階段である **階数**

階段1本であることを代替する対策 (⇔どうあれば階段1本を許容できるか。)

観点	項目	どのように階段を代替するか
階避難		ASET vs RSET (確定論的)
	B1) 全館避難時間	
全館避難		

問題ない: 階の人数はそう多くない

1階段である　階数

階段1本であることを代替する対策 (⇔どうあれば階段1本を許容できるか。)

観点	項目	どのように階段を代替するか
階避難		ASET vs RSET (deterministic)
全館避難	B1) 全館避難時間	
	B3) 開口からの噴出火炎による上階延焼のおそれ　**Grenfell Tower fire** in 2017.	階段が複数あっても解決できない
Firefighters' activity		

工学的設計により解決するしかない

1階段である　階数

How to substitute the second stairs (⟷ How to accept single stairs)

Aspects	Items	どのように階段を代替するか
Floor evacuation		ASET vs RSET (deterministic)
Building evacuation	B1) Total evacuation time	
	B3) Fire spread by opening jet plumes on upper floors or facades, such as in the **Grenfell Tower fire** in 2017.	Even second stairs will not secure the evacuation safety
Firefighters' activity	**Enable stay put** / within the height of fire truck ladder	

} **This building cannot rely on firefighters due to the remote location**

1階段である　階数

How to substitute the second stairs (⟷ How to accept single stairs)

Aspects	Items	どのように階段を代替するか
Floor evacuation		ASET vs RSET (deterministic)
Building evacuation	B1) Total evacuation time	
	B2) If **smoke or fire enters the staircase**, at least the occupants on the upper floor from the fire floor lose all their evacuation route.	**Acceptable risk** (probabilistic)
	B3) Fire spread by opening jet plumes on upper floors or facades, such as in the **Grenfell Tower fire** in 2017.	**Even second stairs will not secure the evacuation safety**
Firefighters' activity	**Enable stay put** / within the height of fire truck ladder	

Major consideration

1階段である **階数**

建築基準法では、

屋外避難階段、付室なし屋内避難階段、スプリンクラーなしの場合、10階程度が現実的なところ

	Specification for single stairs				Evacuation balcony	Floor area (Occupational area)
F = 2	open stairs			Outside stairs	Not required	Non FR structure: A < 200 m^2 FR structure: A < 400 m^2
3 ≤ F ≤ 5	Fire-compartmented staircase					Non FR structure: A < 100 m^2 FR structure: A < 200 m^2
6 ≤ F	Fire-compartmented staircase with vestibule				Required	

詳細は省略

	Staircase (single-stair/multiple stairs)	Floor area (Occupational area)
F ≤ B3 F ≤ 15	Fire-compartmented staircase with vestibule	To be a single-stair configuration, the condition of the above table must be satisfied. If multiple stairs are prepared, all the stairs that reach to the floors shown in this table must satisfy this table's condition

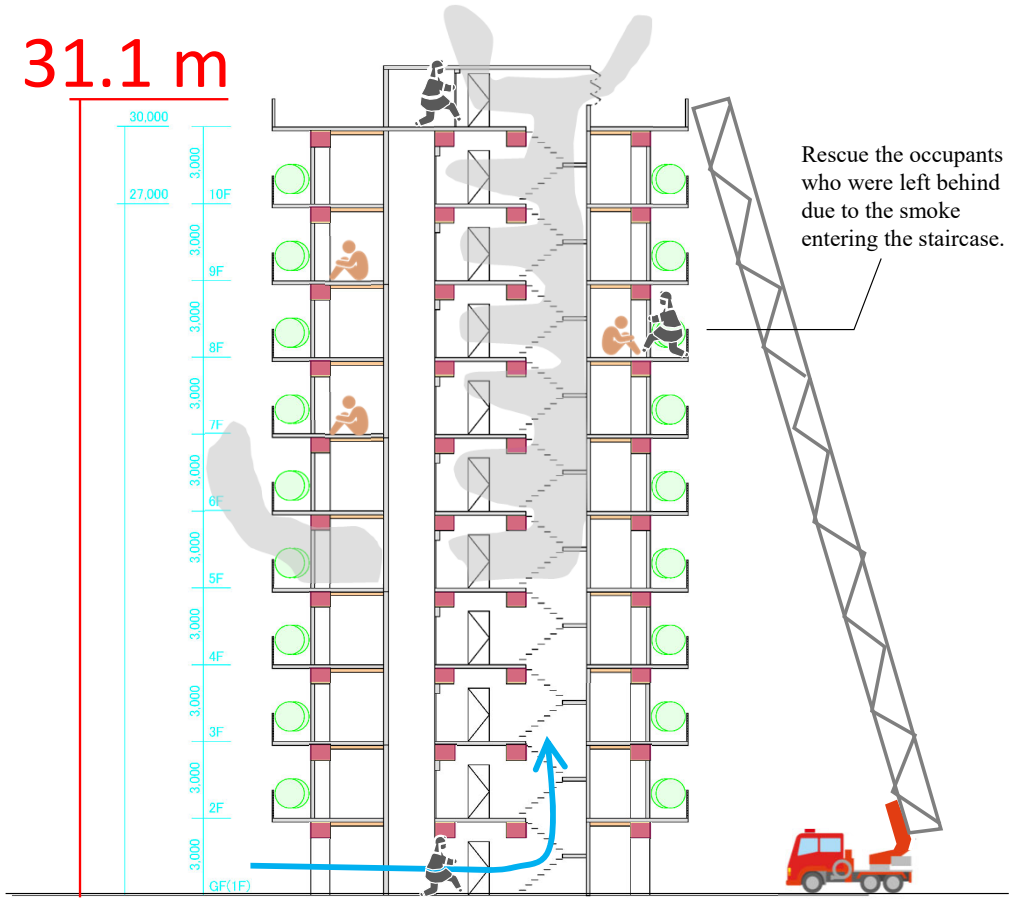
F = 1 is ground floor

1階段である **階数**

遠隔地であるため、消防隊が10～20分で到着することはできない。

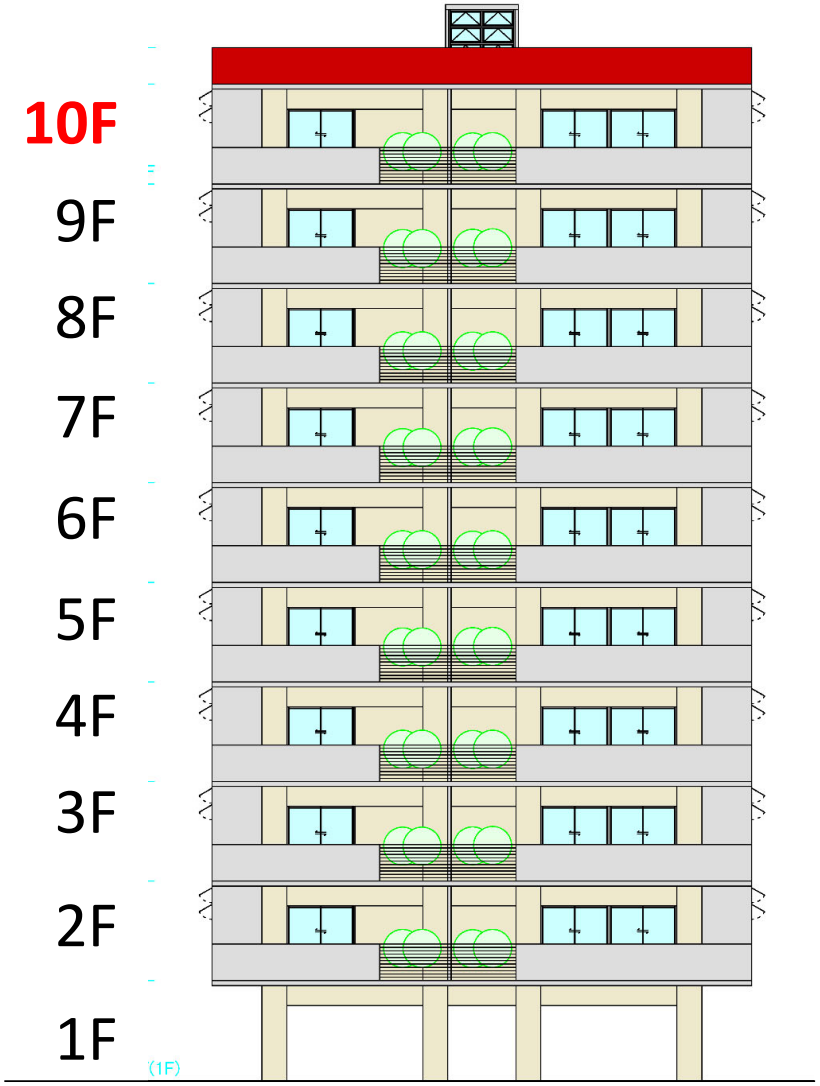
が、建物が火災後も自立しているなら、**取り残された人を救助する**ことは可能。

しかし、階段が使えない状態である。**はしご車のはしごが届くのは約30m。**



最大の階数

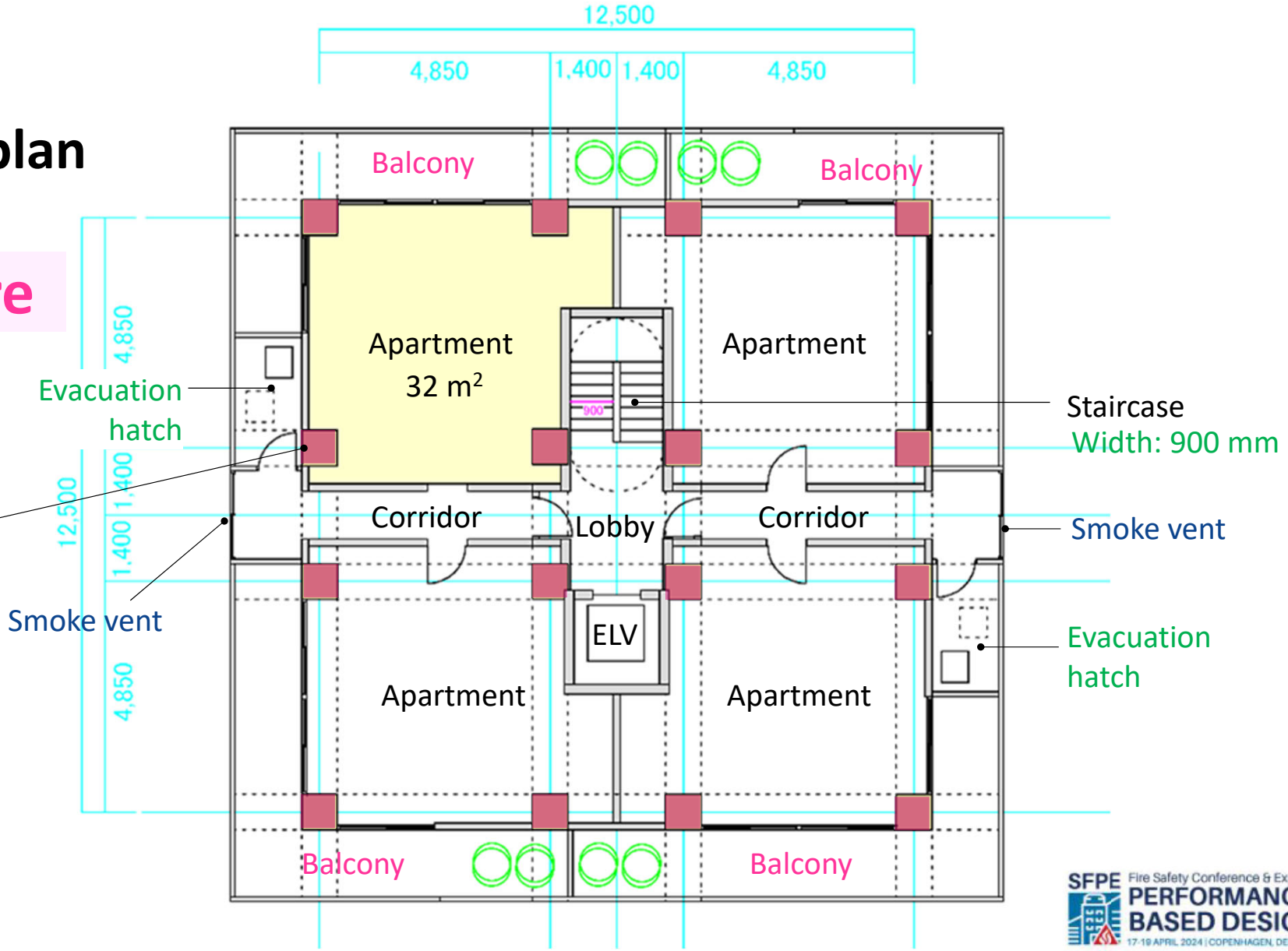
10.



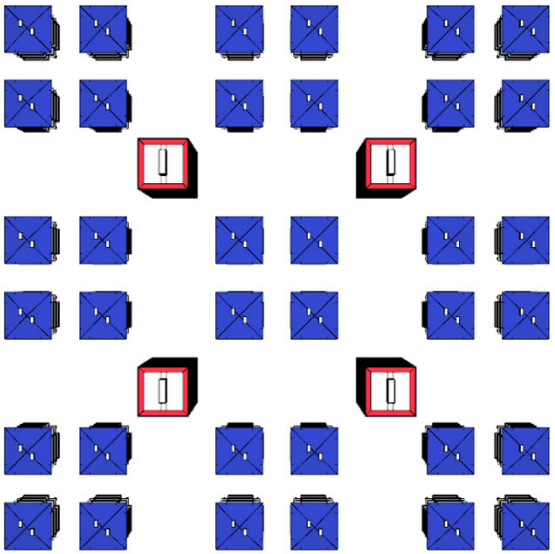
高層 pods

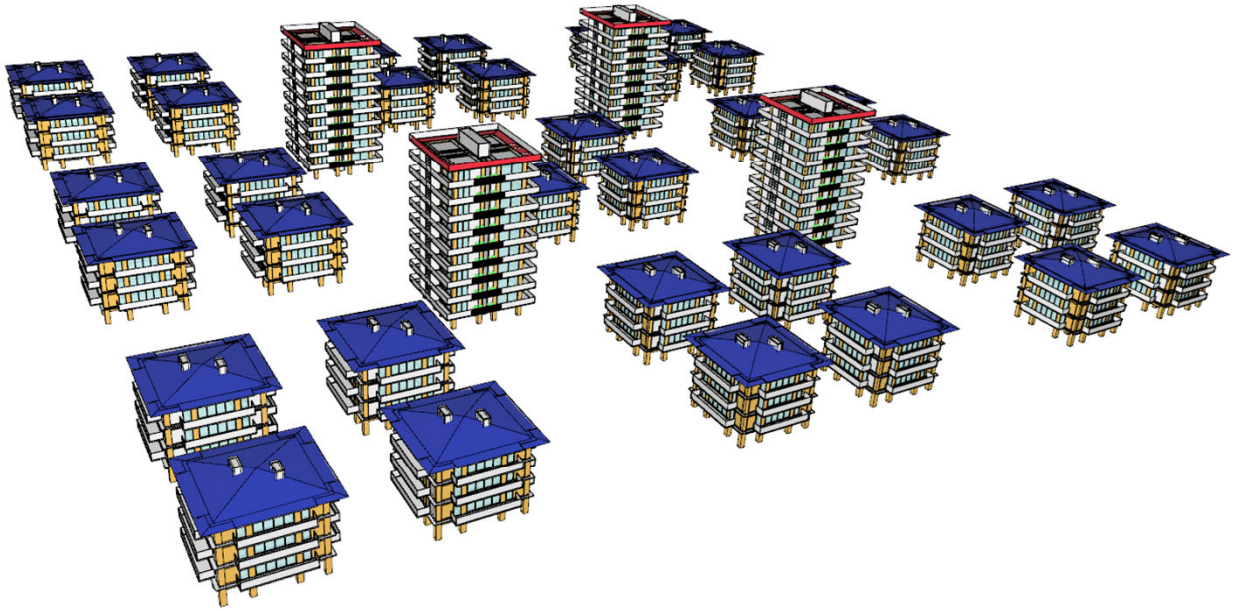
Standard floor plan

FR structure



初期案

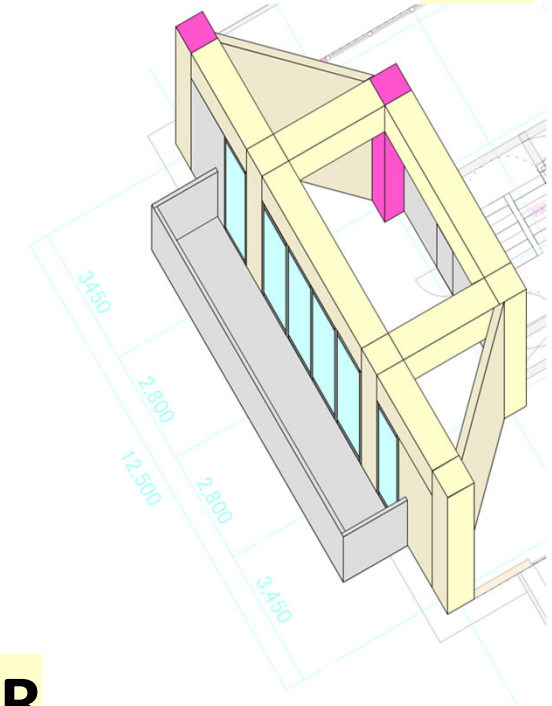




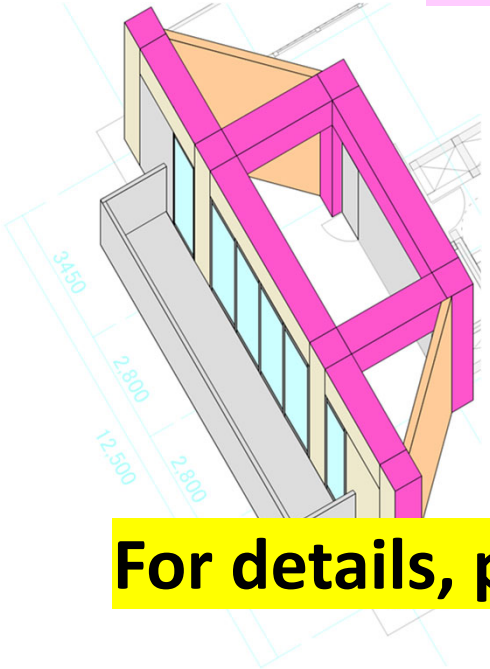
2. Fire Resistance Design for Structure and Compartment

Building model

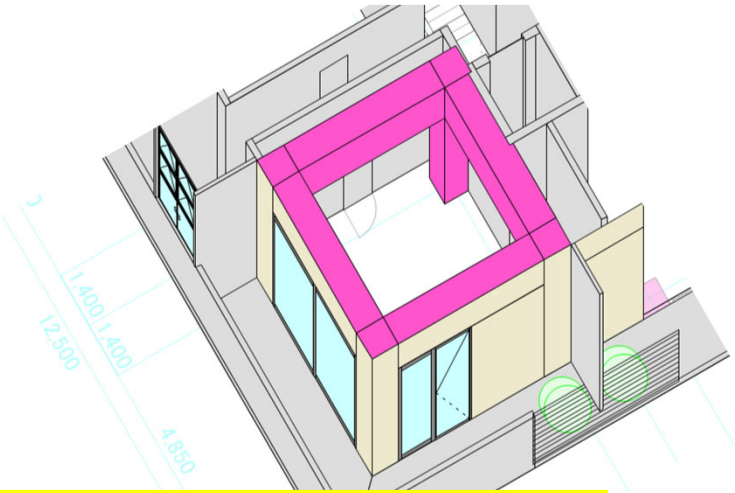
Low-rise pods, QFR



Low-rise pods, FR

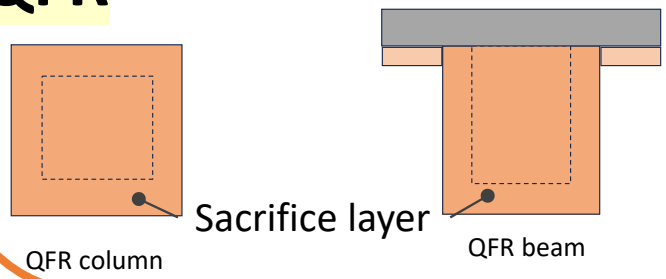


High-rise pods, FR

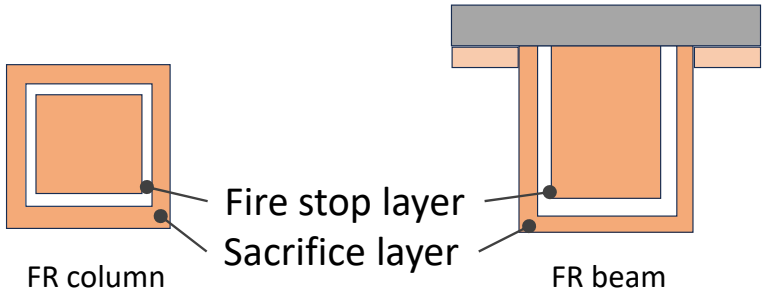


For details, please see our report.

QFR



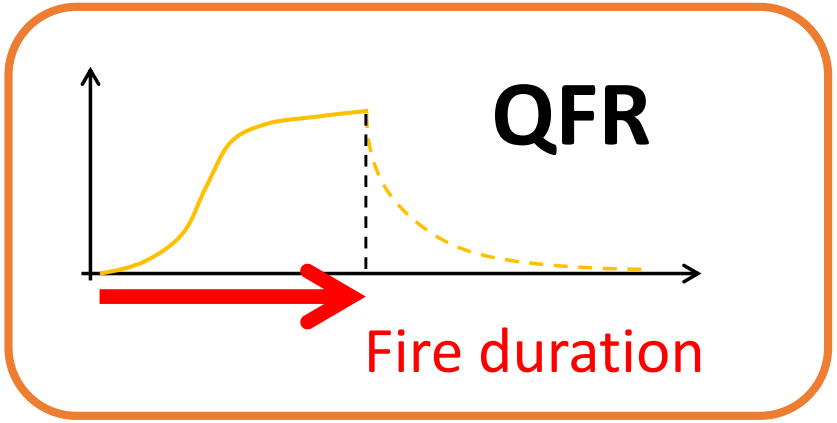
FR

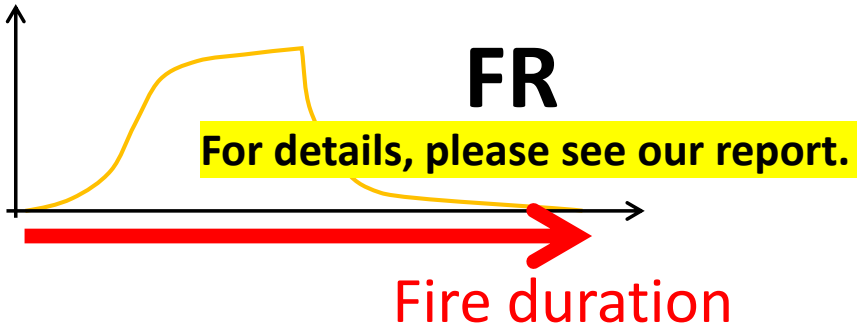


Criteria

火災継続時間 < 保有耐火時間

(of structural components)



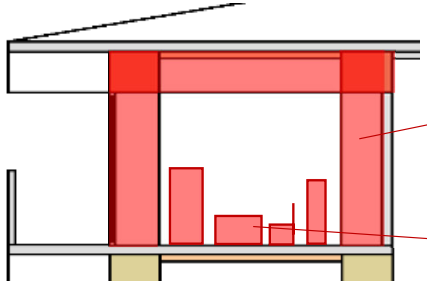


Criteria

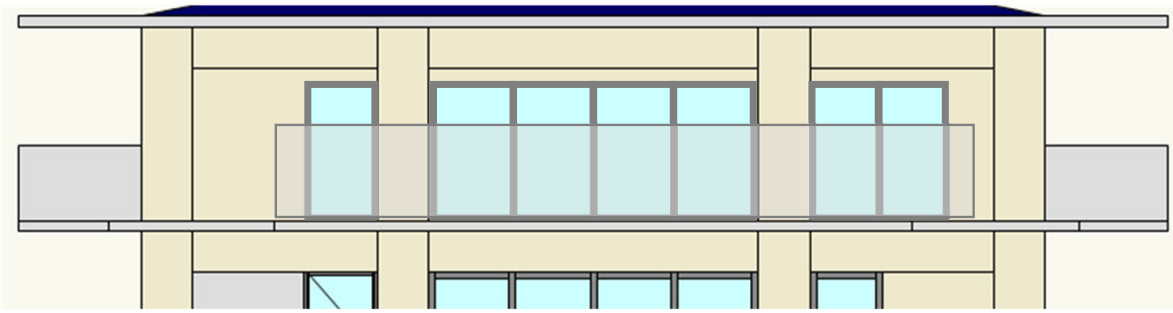
火災継続時間 < 保有耐火時間

To shorten

- Decrease the fire load

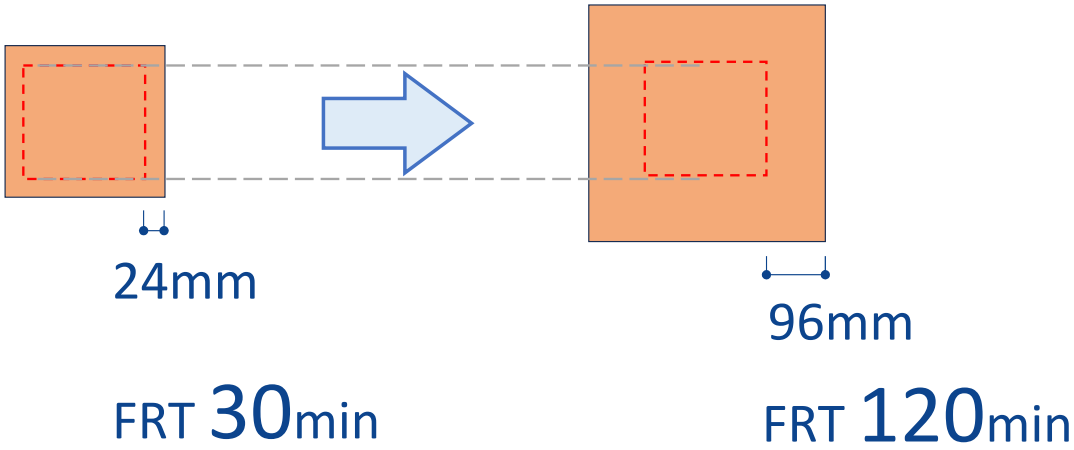


- Increase the opening area (width)



Criteria

火災継続時間 < 保有耐火時間



To extend

thicken the wooden **sacrifice layer**

↓ but

Increase the **fire load**

Criteria

火災継続時間 < 保有耐火時間

To shorten

- Decrease the **fire load**
- Increase the opening area (width)

相反

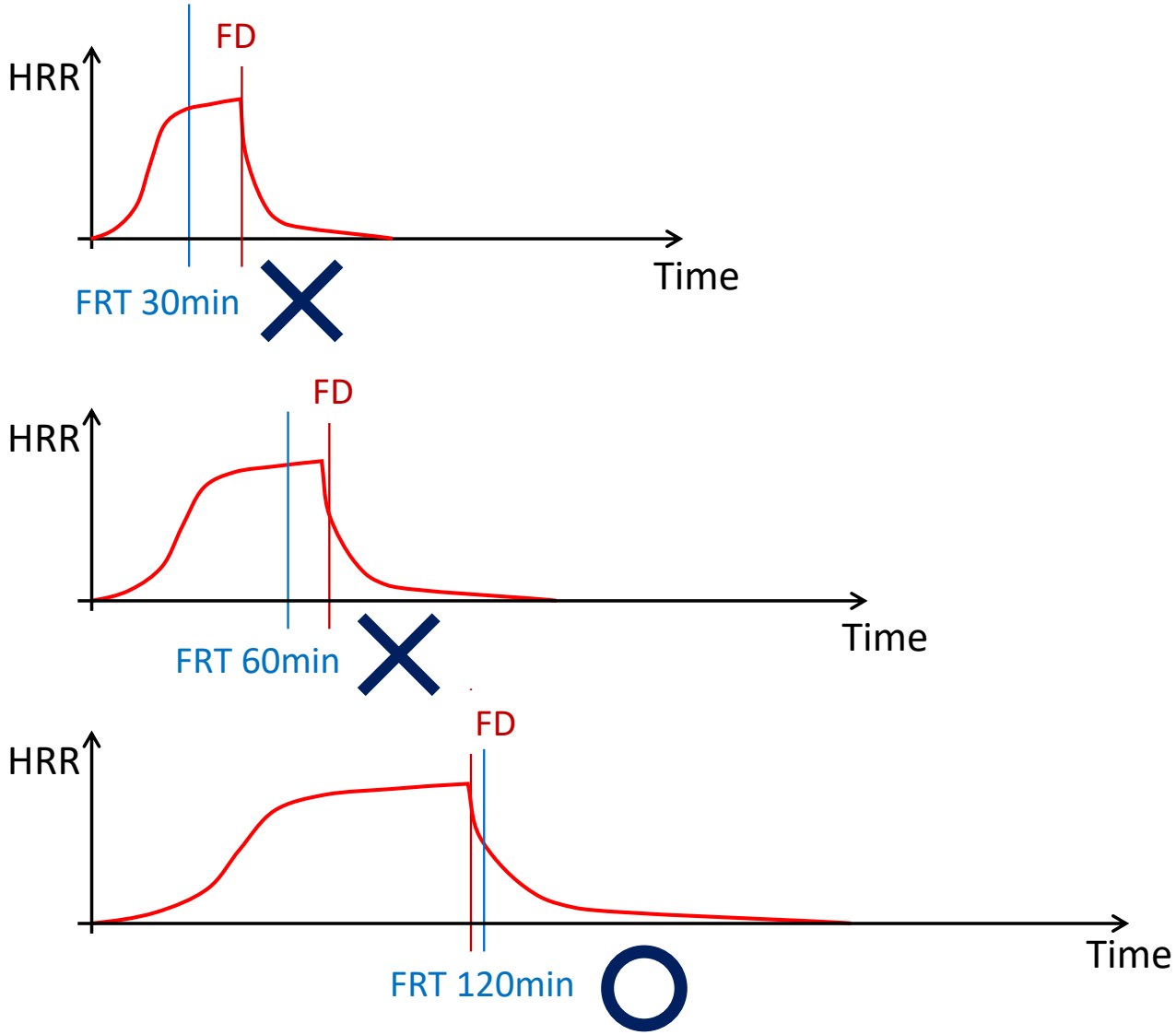
To extend

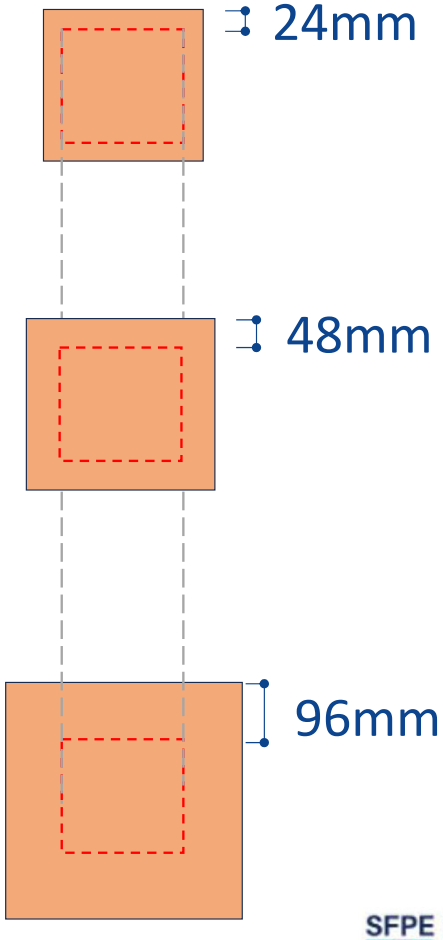
Increase the wooden sacrifice layer

↓

Increase the **fire load**

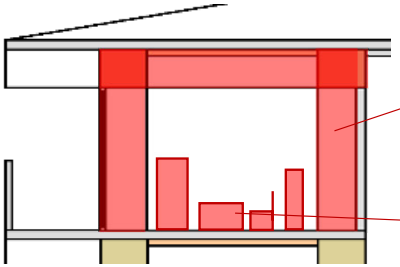
Impact of 燃えしろ層 for 保有耐火時間 and 火災継続時間





Verification of FD

Fire resistance verification method in Japan



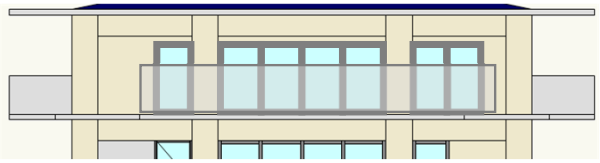
Wooden components

Furniture, etc.

Fire load

Total heating value of the flammable materials

$$Q_r = q_l A_r + \Sigma(q_f A_f d_f) + \Sigma f_a (q_{la} A_{ra} + \Sigma(q_{fa} A_{fa} d_{fa}))$$



calorific value

Heating value per second generated by combustion of the flammable materials q_b

$$\chi = \max\left[\frac{\sum A_{op}\sqrt{H_{op}}}{A_{fuel}}, \frac{A_r}{70 A_{fuel}}\right]$$

For details, please see our report.

Fire duration t_f

$$t_f = Q_r / 60\, q_b$$

Equivalent fire duration t_{eq}

$$t_{eq} = t_f \left(\frac{\alpha}{460}\right)^{\frac{3}{2}}$$

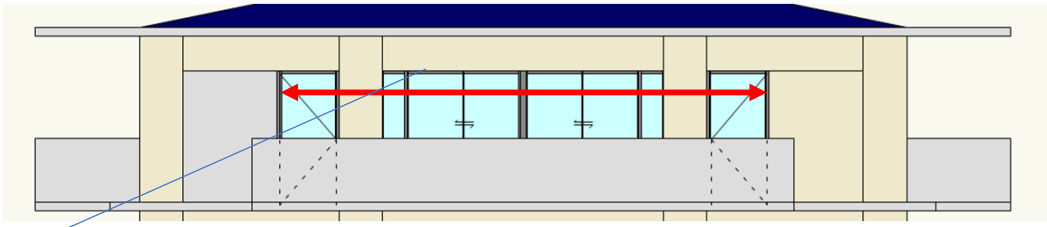
Fire temperature rise coefficient α

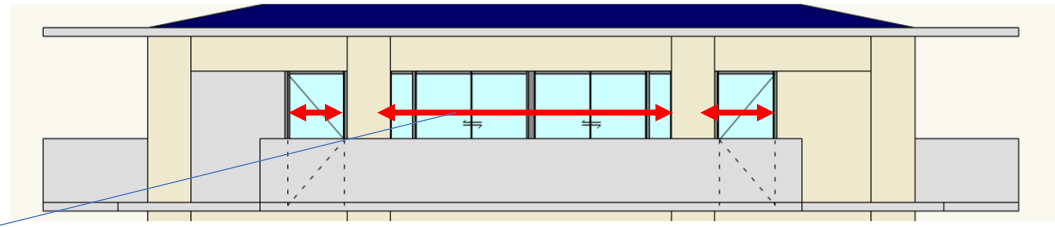
$$\alpha = 1280 \left(\frac{q_b}{\sqrt{\Sigma A_c I_h}\sqrt{f_{op}}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

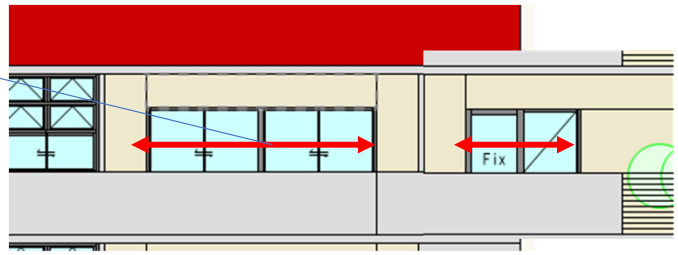
$$f_{op} = \max\left[\sum A_{op}\sqrt{H_{op}}, \frac{A_r\sqrt{H_r}}{70}\right]$$

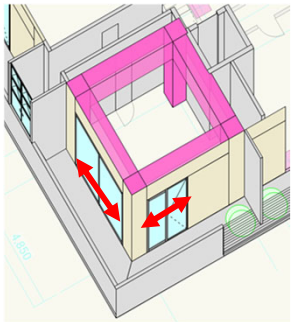
Results: 必要となる最小の開口幅

Structures	FRT	Minimum opening width
Low-rise pods, QFR	QFR-30 min	16 m
	QFR-45 min	10 m
	QFR-60 min	7 m
	QFR-75 min	6 m
	QFR-90 min	5 m
	QFR-120 min	4 m
Low-rise pods, FR	FR-60 min	9 m
	FR-120 min	1 m
High-rise pods, FR	FR-60 min	8 m
	FR-120 min	1 m







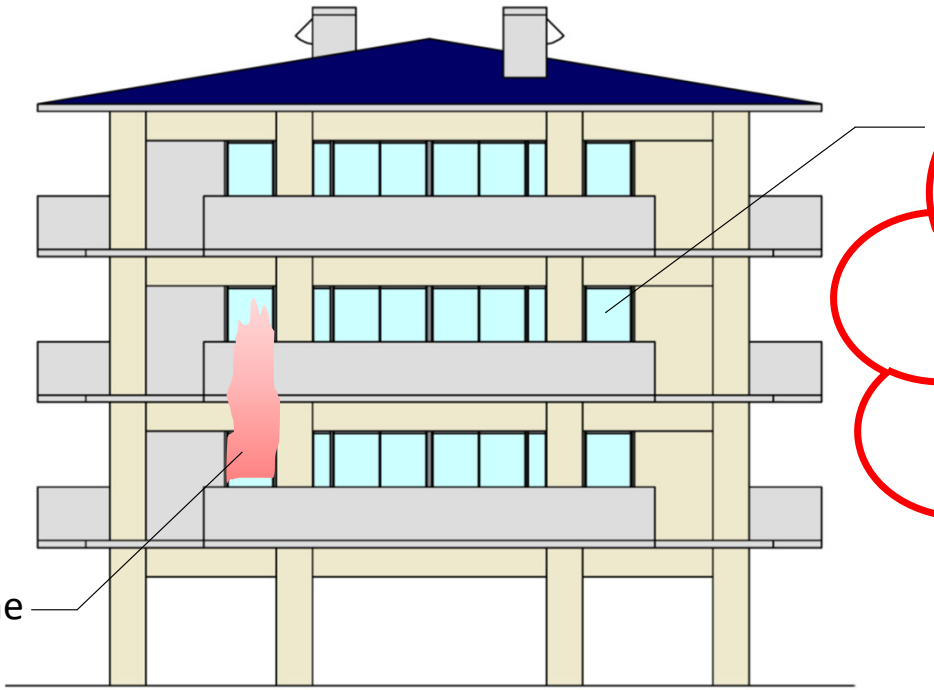


→ Next step: Requirement from fire spread prevention

3. Design for Fire Spread Prevention

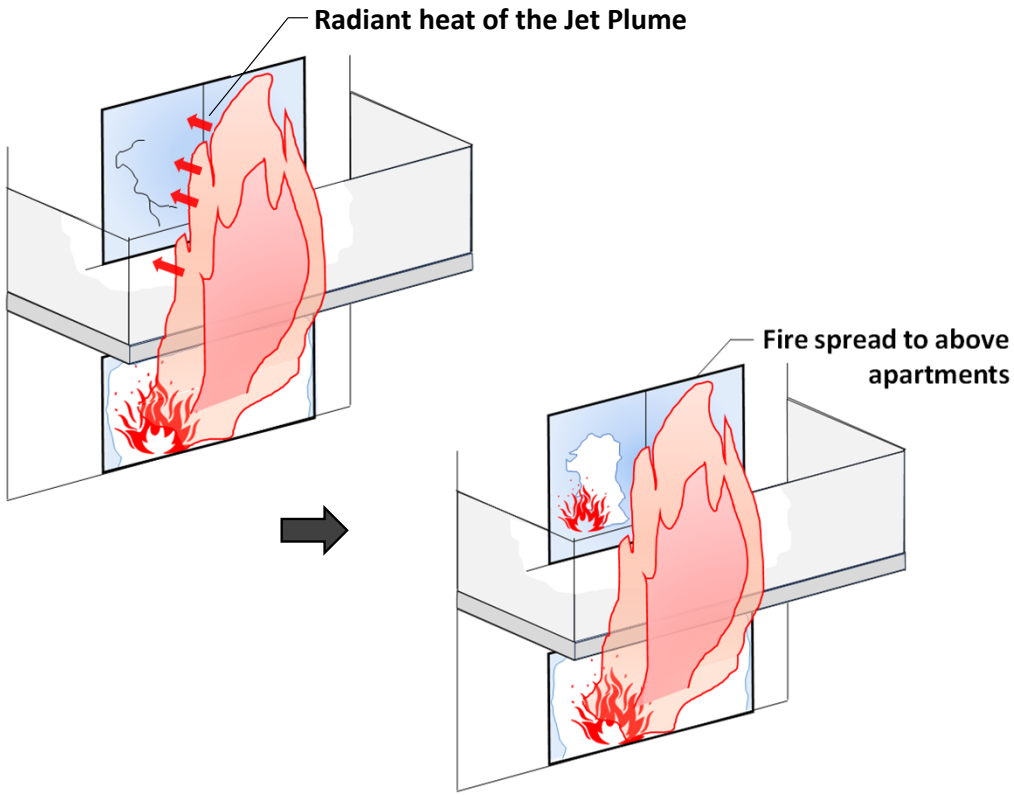
Purpose

- Each apartment usually requires large glass window for comfort.
- In the event of a fire in a room, flames could erupt through its window.

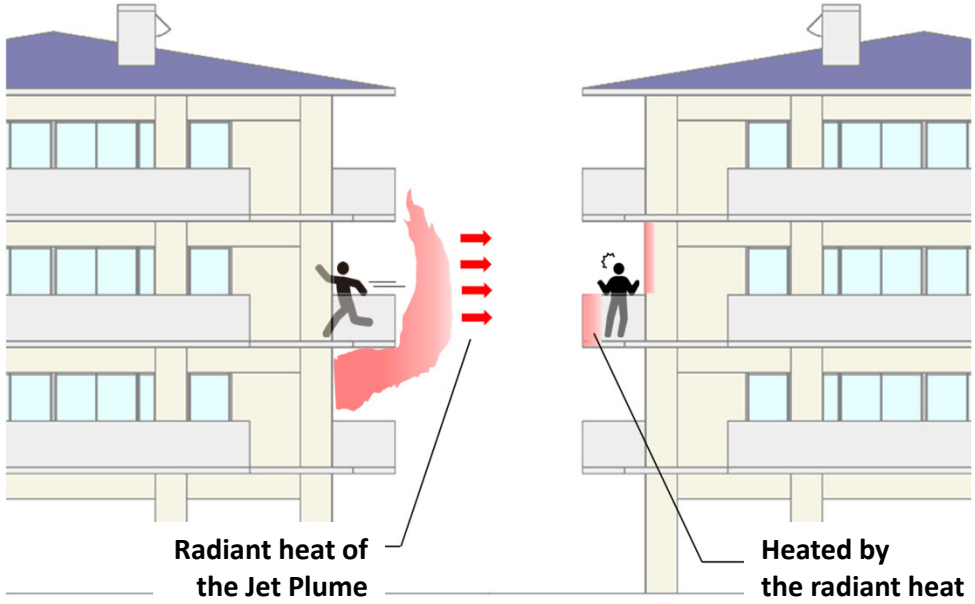


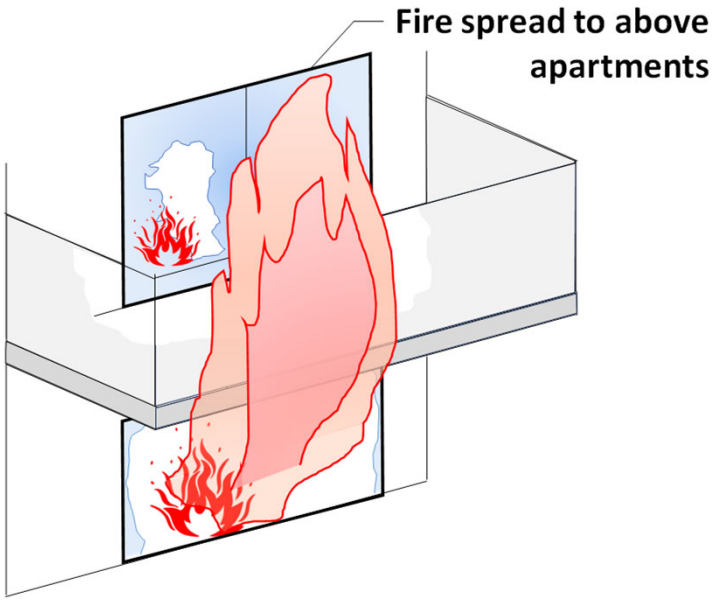
We have to consider mainly 2 types of fire spread by the opening jet plume.

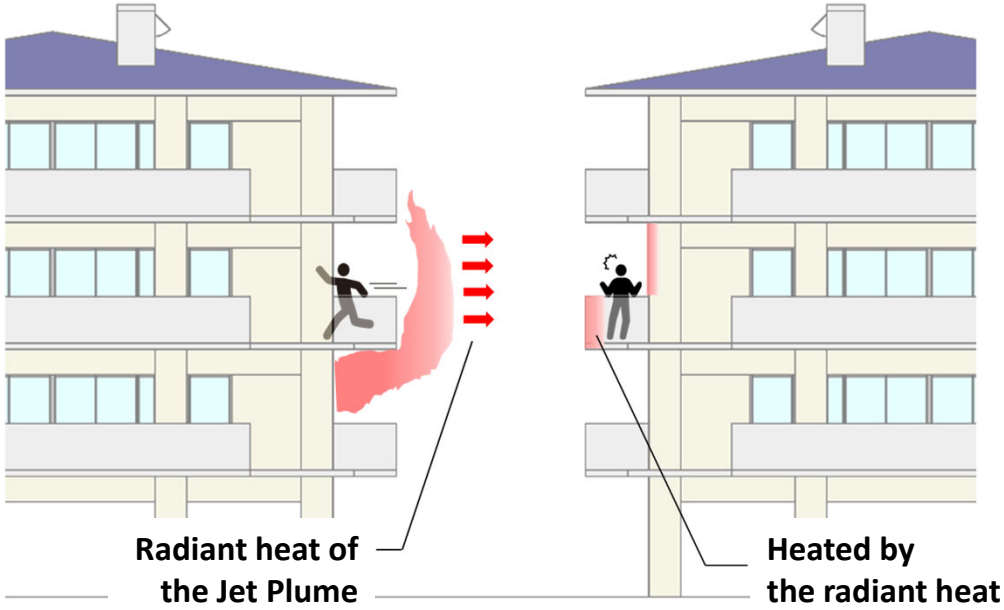
(1) Fire spread to the above apartments



(2) Fire spread to the adjacent apartments







We try to find the optimal opening width etc. in preventing fire spread to both above and adjacent apartments.

Prediction of the height of the opening jet plume

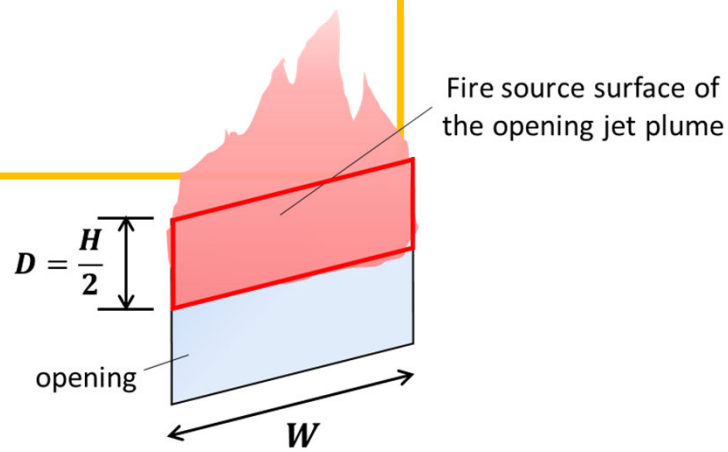
Height of the Jet Plume

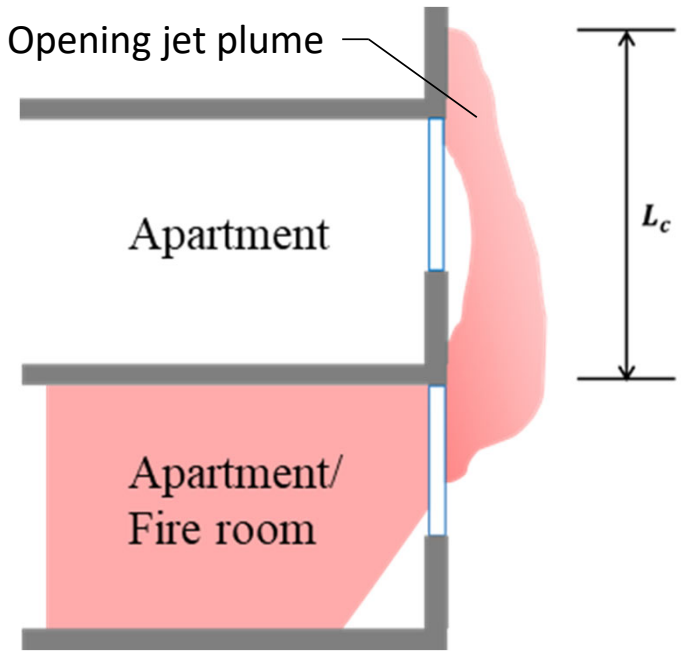
$$\frac{W}{D} < 2 \rightarrow \boldsymbol{L_c = 2.2 Q_B^{*\frac{2}{5}} D} \qquad Q_B^* = \frac{Q_{ef}}{1116 D^{2.5}}$$

$$\frac{W}{D} \geq 2 \rightarrow \boldsymbol{L_c = 2.8 Q_B^{*\frac{2}{3}} D} \qquad Q_B^* = \frac{Q_{ef}}{1116 W D^{1.5}}$$

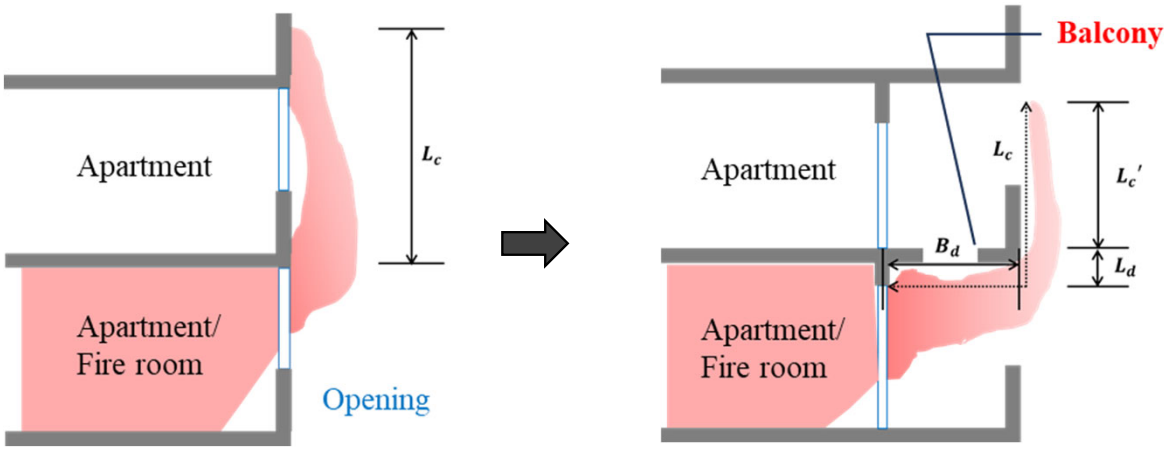
Lc : Continuous Flame Height [m]

Qef : Heat of opening jet plume [kw]





Installing balconies



$$L_c = L_c' + L_d + B_d$$

Bd : the balcony depth [m]

Ld : the length between the top of the opening and the upper floor level [m]

Installing balconies has two purposes

- Shortens the flame length running vertically
- Offsetting the distance between the jet plume and glass windows of the above apartments

Does the jet plume reach the above apartments?

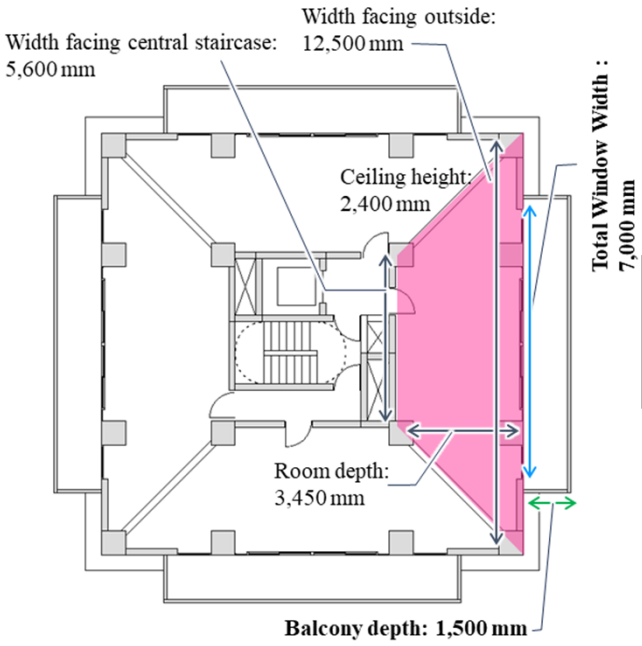
- We examined the plume height with using opening dimensions and the balcony depth as variables

Opening width	**1 - 12 [m] (increase by 1m)**
Balcony depth	**1.5, 3.0 [m]**

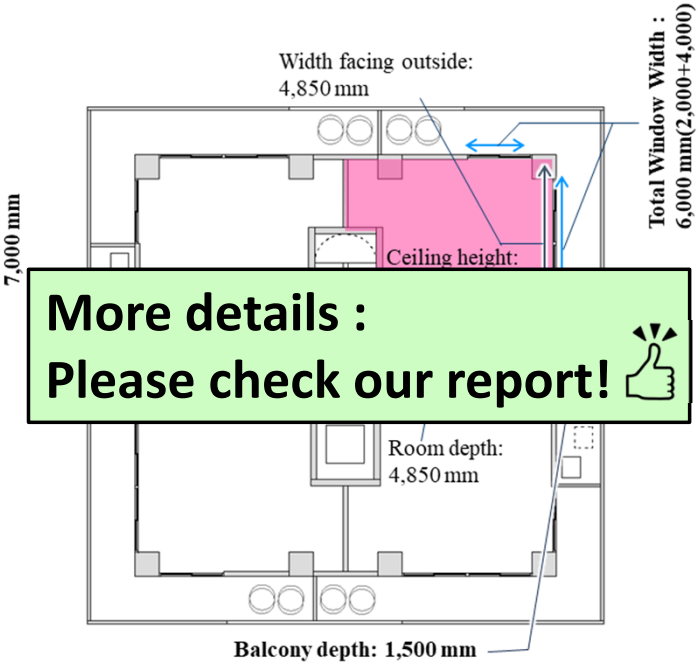
※ opening height is 2.4[m]

Initial plan

Low-rise pod



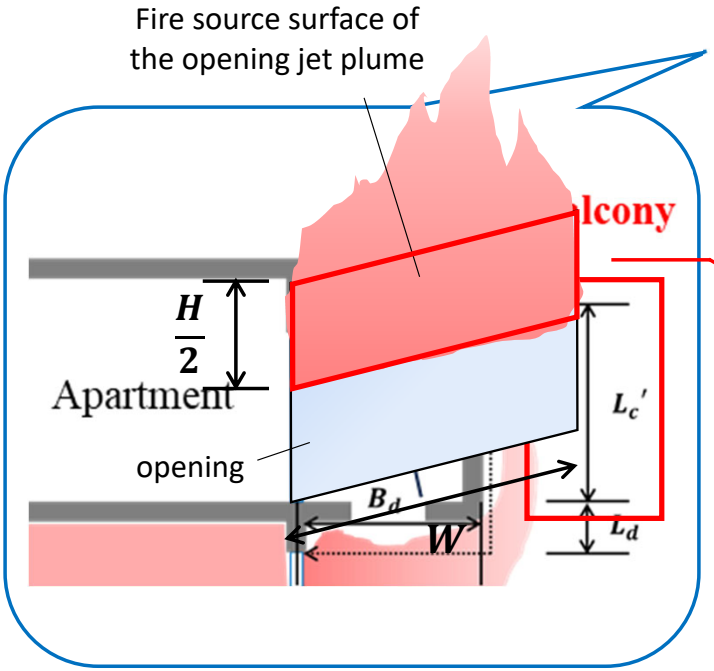
High-rise pod

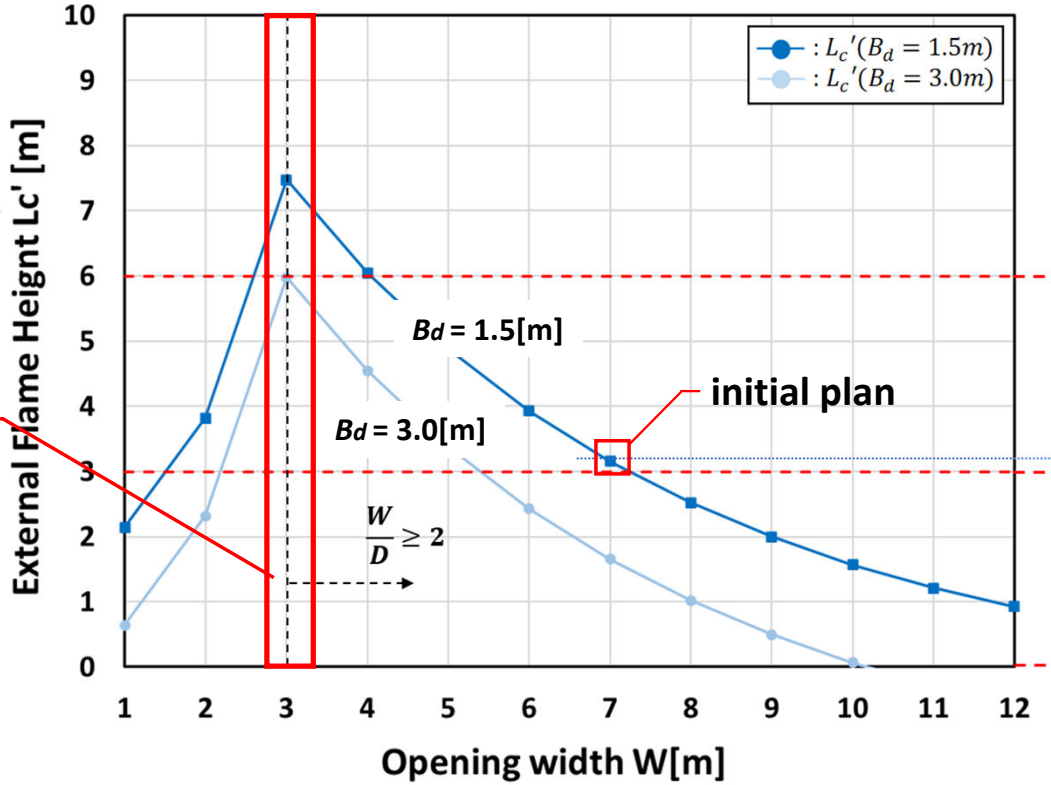


More details :
Please check our report!

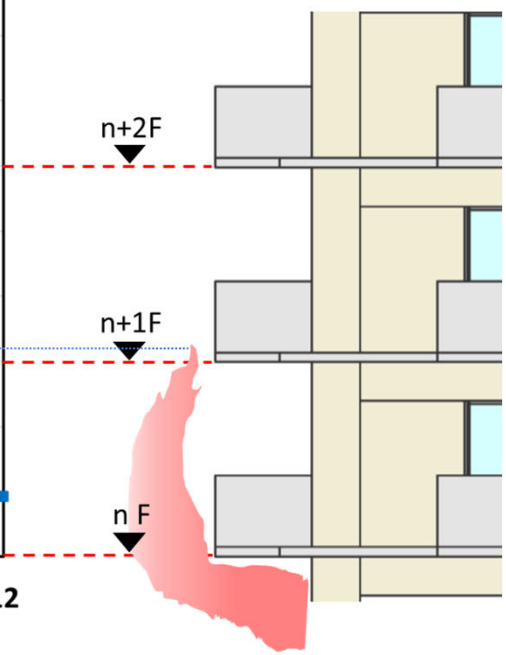
Results

The height of the jet plume is …





Low-rise pod

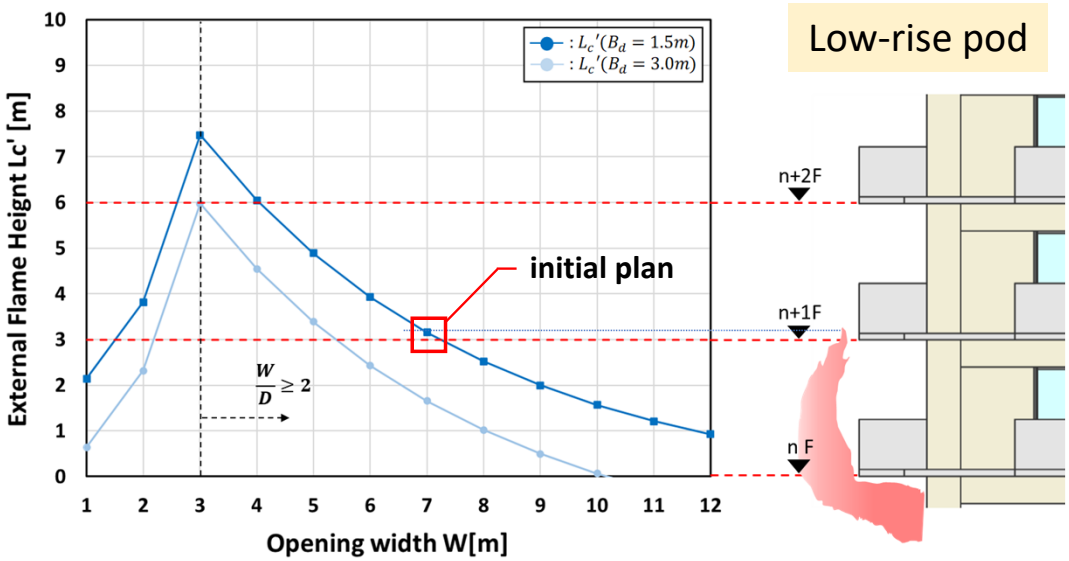


Results

The opening jet plume reaches the above apartments

	Initial plan opening width	Continuous plume height
Low-rise	7m	3.16m

In most cases, preventing jet plume from reaching the above apartments is impractical…

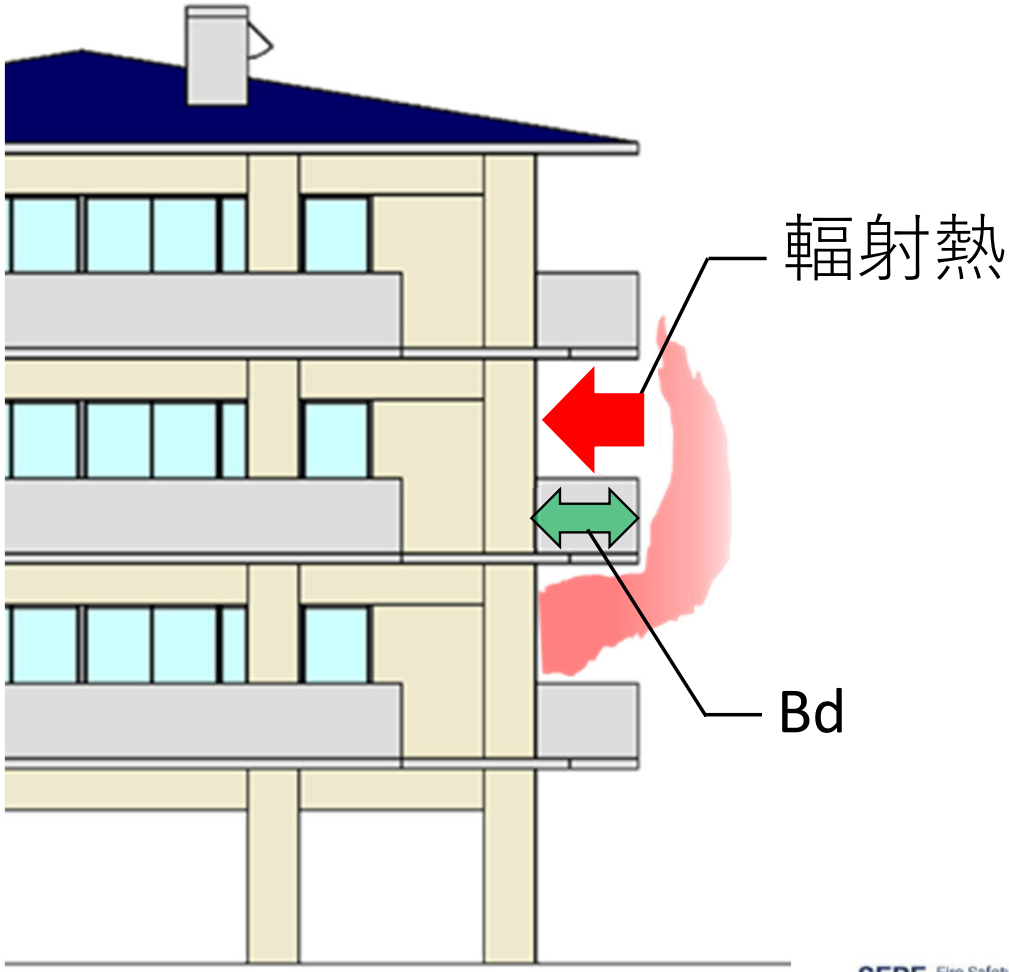


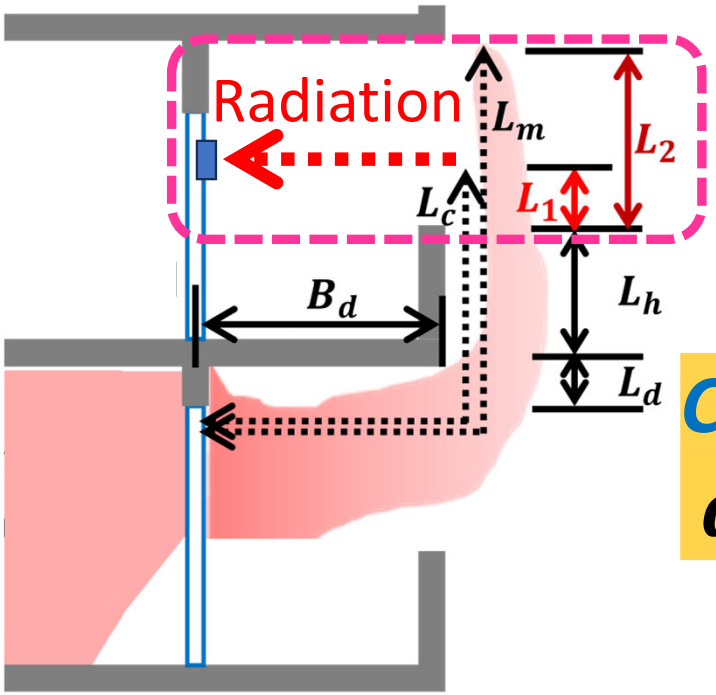
上階延焼の防止対策

Jet plume reaches the upper floors

- Calculate the radiant heat from the jet plume to the upper floors

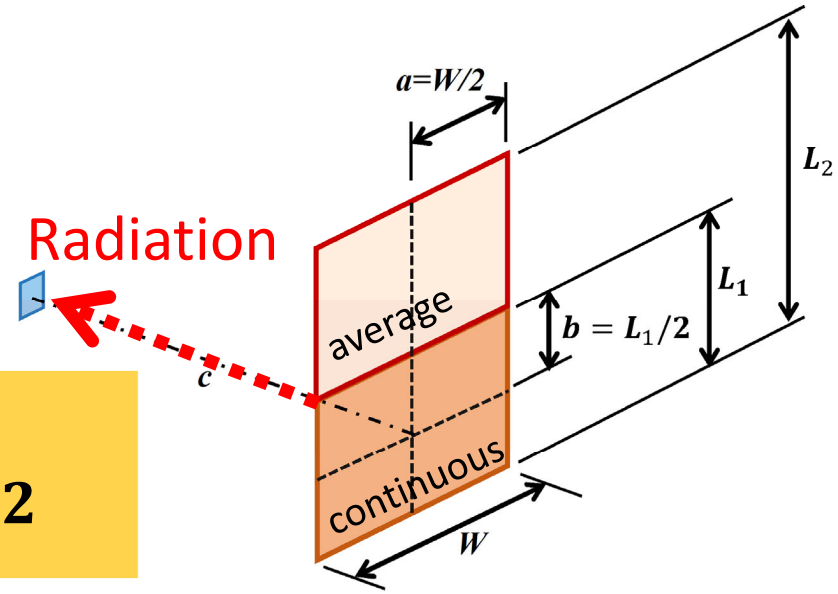
- What building plans can reduce the radiation heat flux ?





Criteria

$$q < 10kw/m^2$$



Equation of radiation heat flux

$$q = F_c \varepsilon \sigma T_{fc}^4 + F_f \varepsilon \sigma T_m^4$$

q: Heat flux due to radiation [kW/m^2]
T_c: Flame temperature of continuous flame height region
T_m: Flame temperature of the average flame height region
σ: Stefan-Boltzmann constant (= 5.67 × 10^{-11}) [kg/m^{2}K^2]
ε: Flame emissivity (= 1.0) [-]

Configuration factor

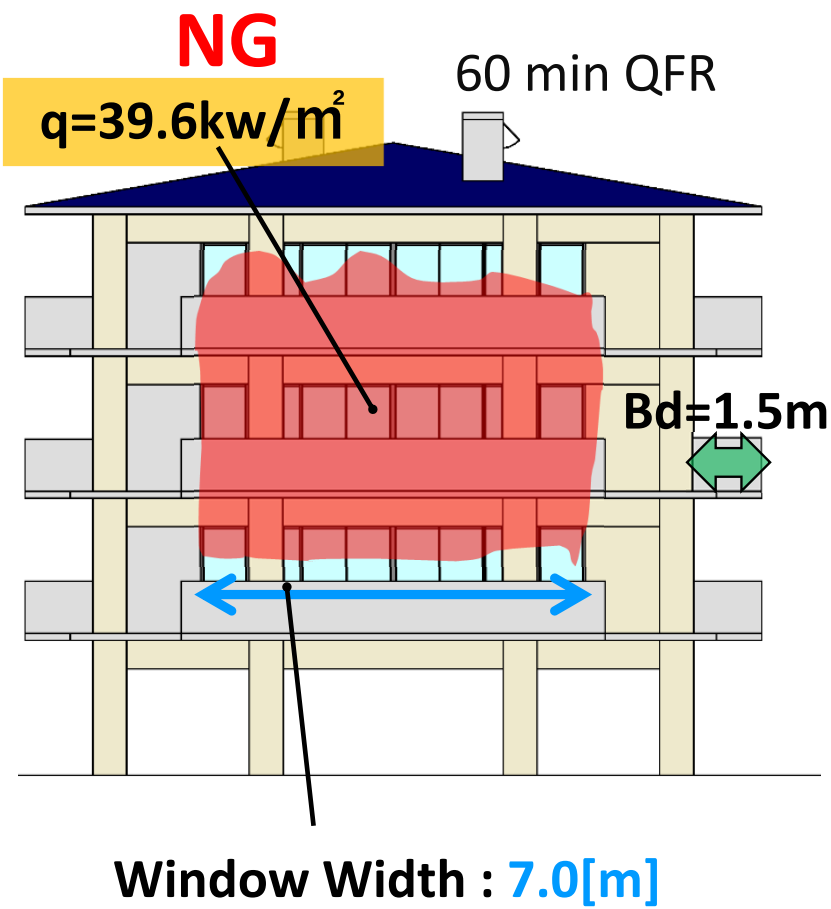
$$F_c = 4 \times f_c$$
$$F_f = 2 \times (f_f - f_c)$$

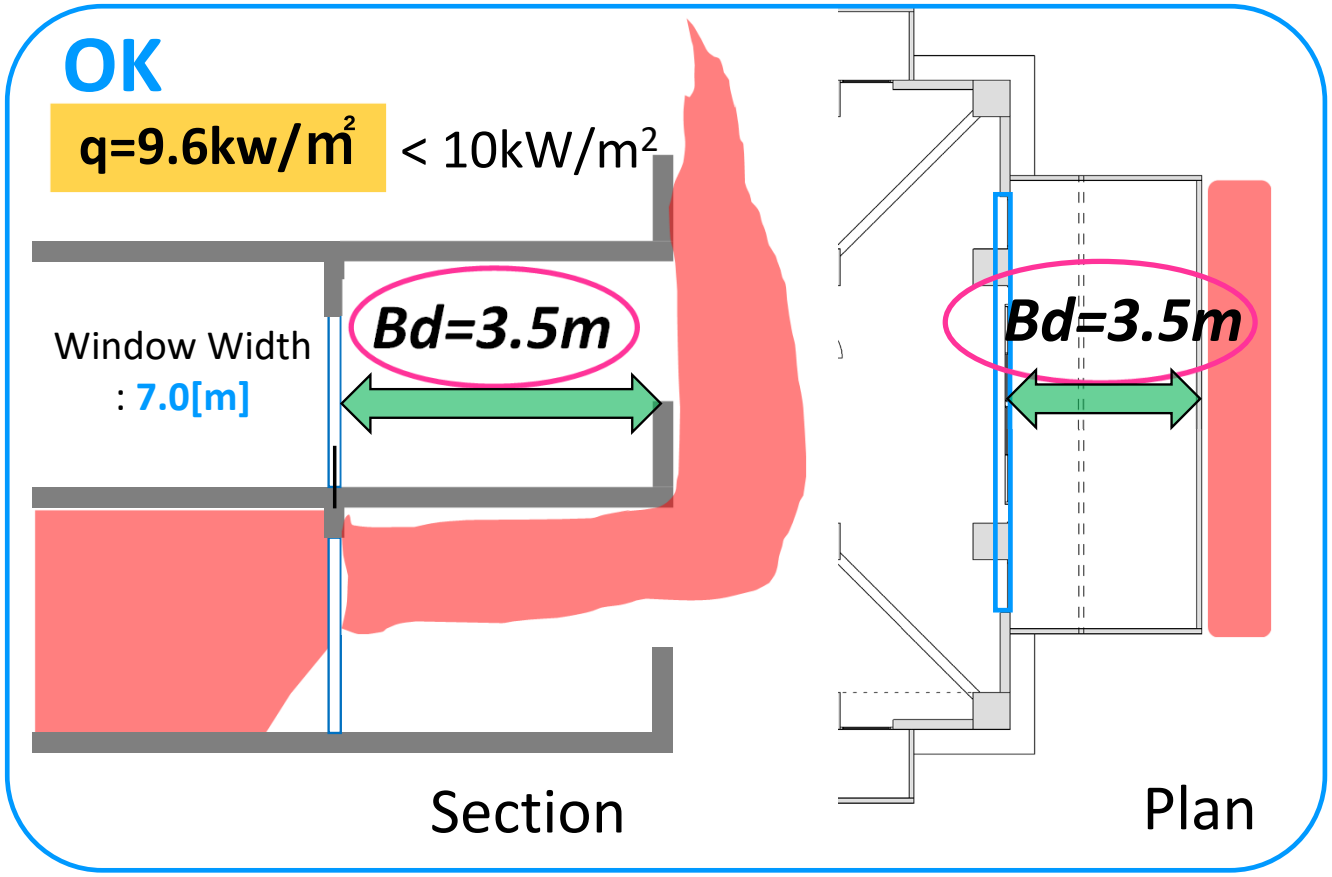
$$f_c = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}}tan^{-1}\frac{Y_c}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y_c}{\sqrt{1+{Y_c}^2}}tan^{-1}\frac{X}{\sqrt{1+{Y_c}^2}}\right)$$

$$f_f = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}}tan^{-1}\frac{Y_f}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y_f}{\sqrt{1+{Y_f}^2}}tan^{-1}\frac{X}{\sqrt{1+{Y_f}^2}}\right)$$

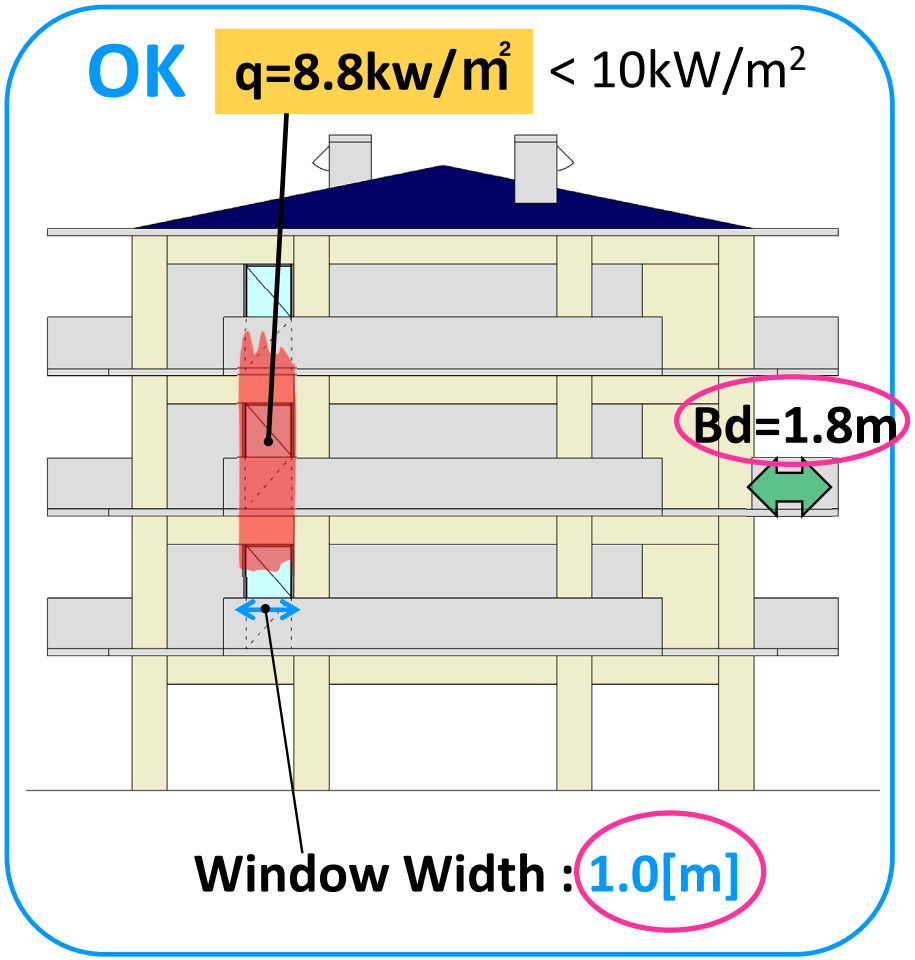
$X = a/c$, $Y_c = b/c$, $Y_f = (L_2 - b)/c$

Results



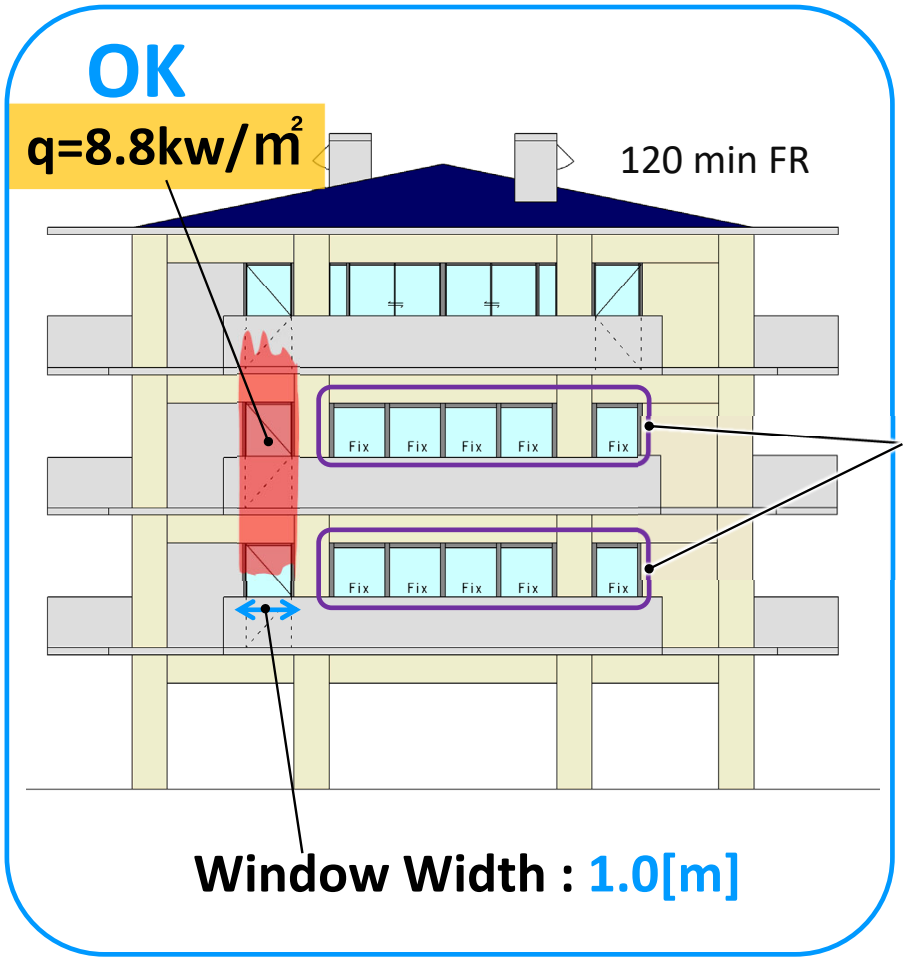


This will be an unrealistic value for architectural design.



Width of the opening: no more than 1 m
Depth of the balcony: no less than 1.8 m

Very small windows



Fire-rated glass

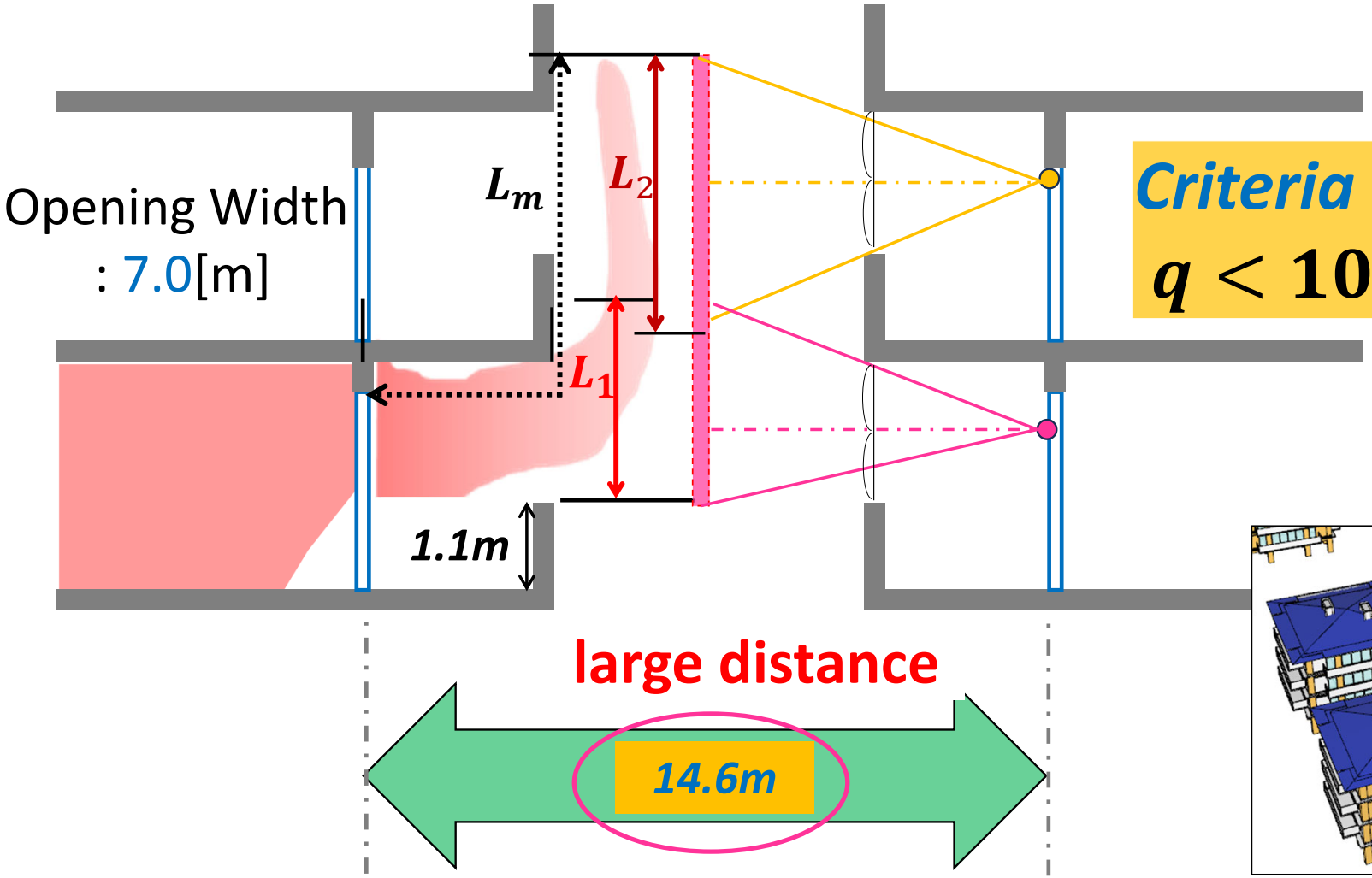
Ex. 1 h fire-rated glass

https://pyrosystem.co.jp/products/slimscreen/

Width of the opening: no more than 1 m

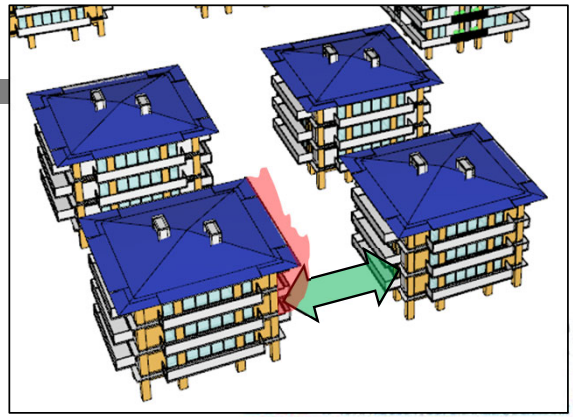
Depth of the balcony: no less than 1.8 m

隣棟延焼の防止対策



Criteria

$q < 10kw/m^2$



4. Smoke Control

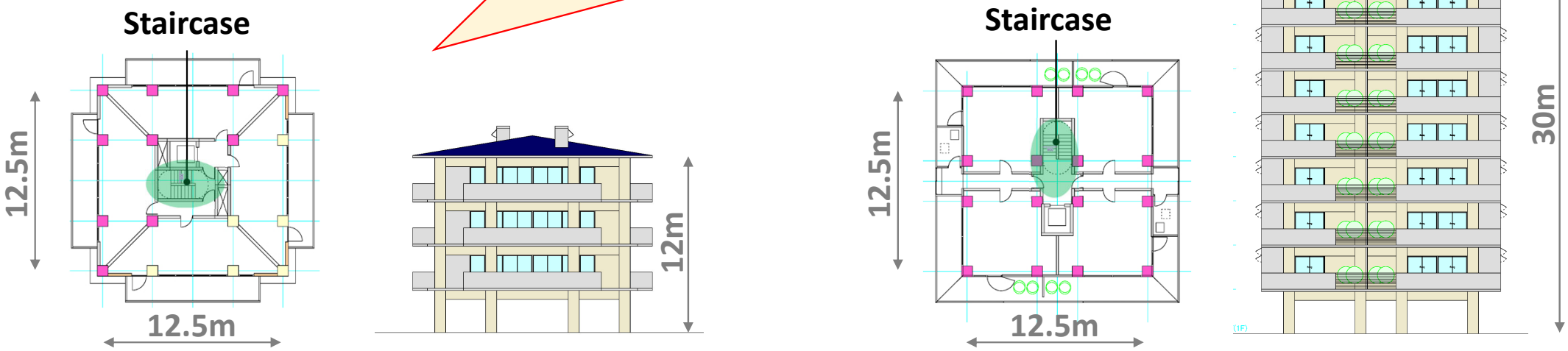
Smoke Control

煙制御

Low Rise-pod

High Rise-pod

2種類の建物を設計
どちらも中央に1階段のみのため
火災の煙から階段を守ることが重要

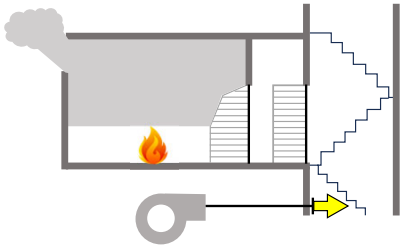


It is very important to protect the staircase from smoke in case of fire.

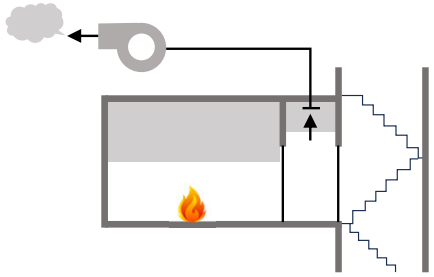
Smoke Control Method: Smoke Ventilation

煙制御の方法

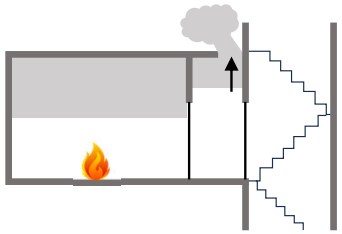
1. Stair Pressurization



2. Mechanical Smoke Extraction



3. Smoke Ventilation



排煙方式は自然排煙を採用
階段加圧や機械排煙は、インフラが整っていない遠隔地には排煙機が簡単に手に入らない、コストやメンテナンスの手間もかかるので不向き。機械や非常用電源が不要な自然排煙が今回の課題に適している。

: Not good for remote locations with a lack of infrastructure. ✕

: Costly and require a lot of maintenance.

: Not require machinery or emergency power. ✓

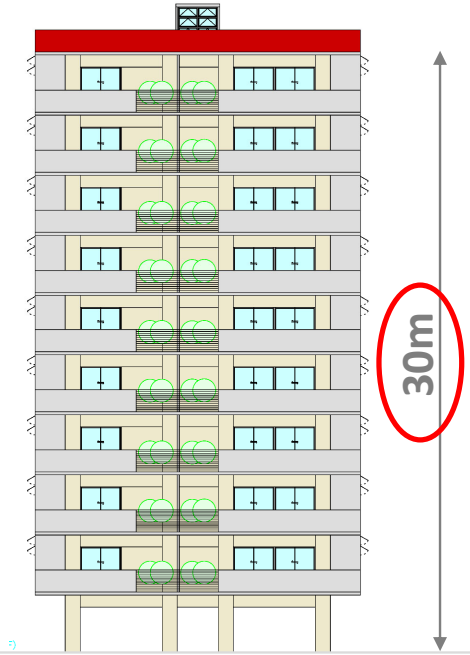
Smoke Control Strategies

煙制御方針

高層pod
建物高さが高いので煙突効果の影響が大きい
階段周りの圧力分布の調整は難しいため排煙付きの
階段前室を設ける

低層pod
建物高さが低いので煙突効果の
影響が小さい
設計の工夫で階段周りの圧力分
布を調整する

High Rise-pod



Low Rise-pod

Building Hight	12m (Low)	30m (High)
Occupancy	12 units(4 units/floor)	36 units (4 units/floor)
Stack Effect	Small	Large
Strategies	Managing Pressure Distribution around the staircase.	Equipped with a vestibule with a smoke vent.

Managing Pressure Distribution

各階のファサードに排煙口を設置するのも一つの方法（デザイン上の制約）低層ということもありスモークシャフトを設置する案を採用

低層pod
圧力分布の調整方法

Winter Strategy

To lower the height of the neutral plane.

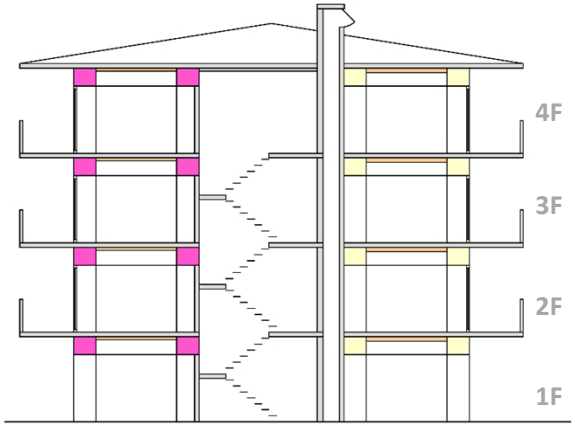
→Open the grand floor staircase door.

Summer Strategy

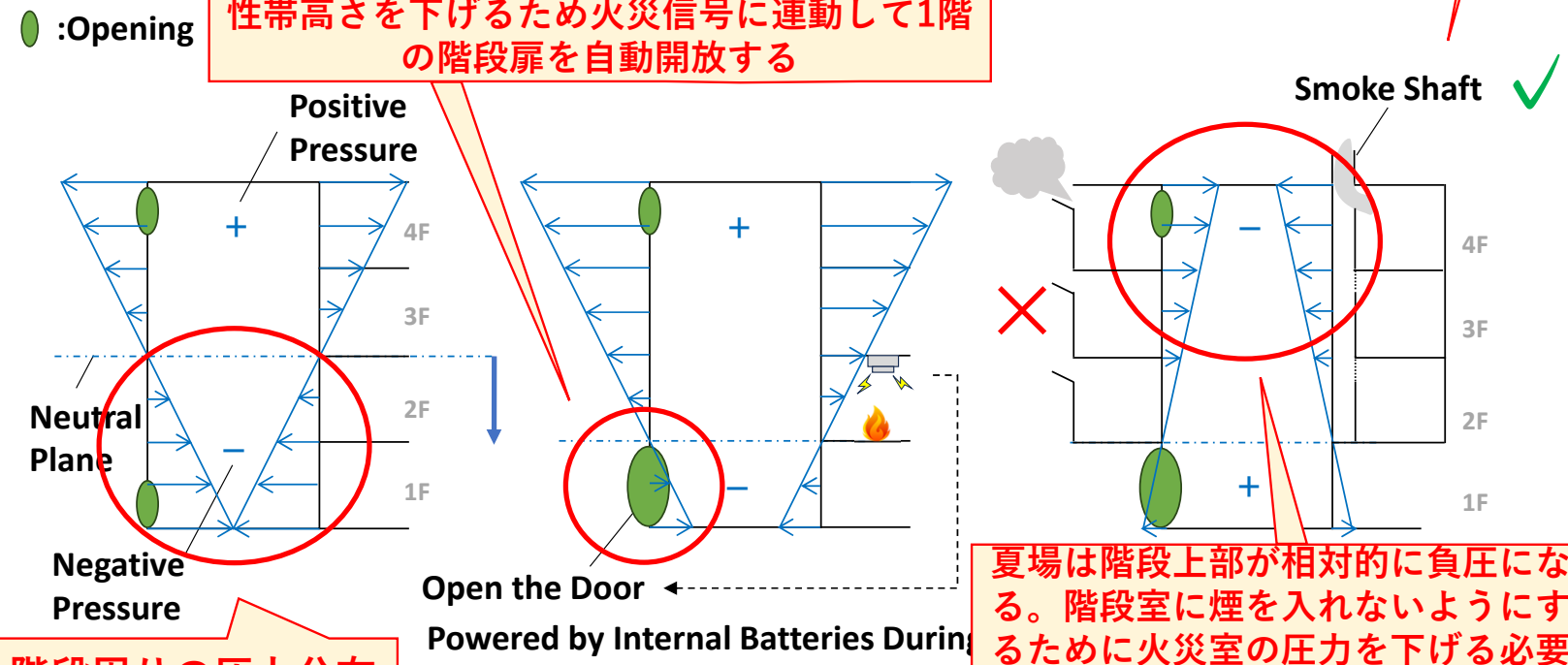
To reduce the pressure in the fire room.

→Install the smoke shaft.

冬場は階段下部は相対的に負圧になるので中性帯高さを下げるため火災信号に連動して1階の階段扉を自動開放する



Low Rise-pod

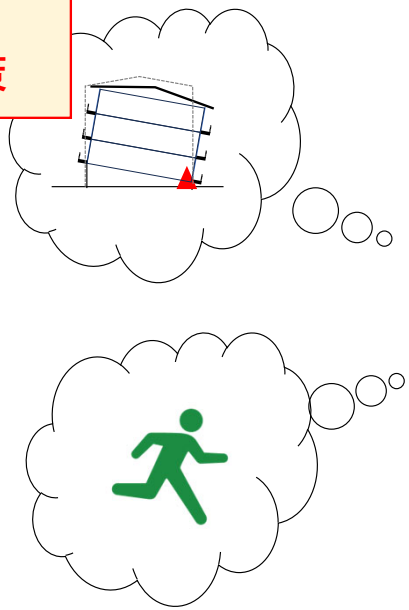


階段周りの圧力分布

夏場は階段上部が相対的に負圧になる。階段室に煙を入れないようにするために火災室の圧力を下げる必要がある。

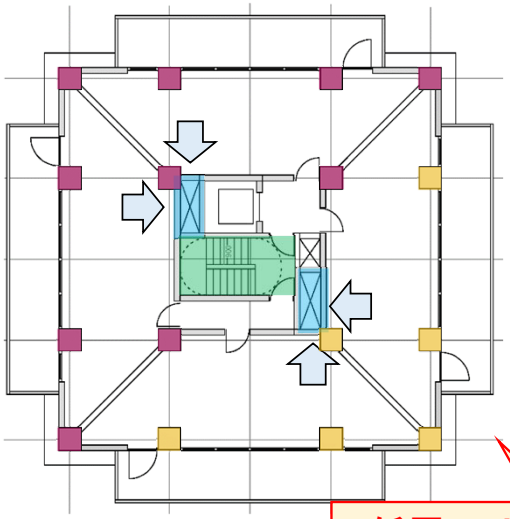
Fire Safety Features

各podの
火災安全対策

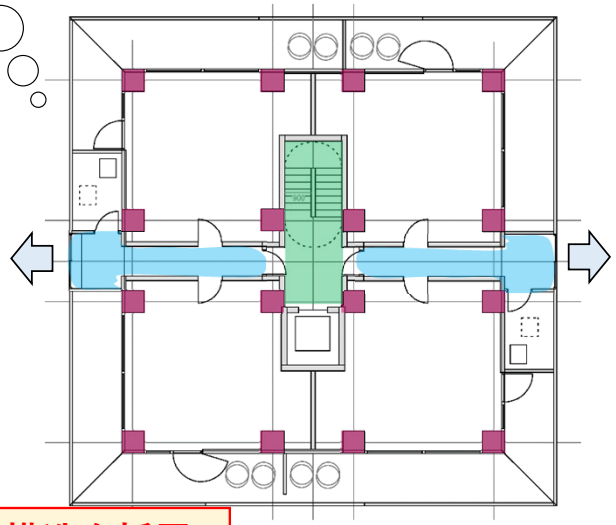


高層podは耐火構造を採用
火災により倒壊しない
最悪の場合でも居住者は建物にとどまることができる

Low Rise-pod



High Rise-pod



低層podは一部準耐火構造を採用
火災により倒壊する可能性あり
在館者は避難しなければならない
煙対策は十分に検討する必要

	Low Rise-pod	High Rise-pod
Central Staircase	✓	✓
Smoke Shaft	✓	-
Vestibule Ventilation	-	✓
Structural Collapse Resistance	✗	✓
	Quasi-Fire-Resistant (QFR) Structure	Fire-Resistant (FR) Structure

Simulate smoke control effectiveness.

今回は低層podにおける煙対策の有効性をシミュレーションした

Simulations

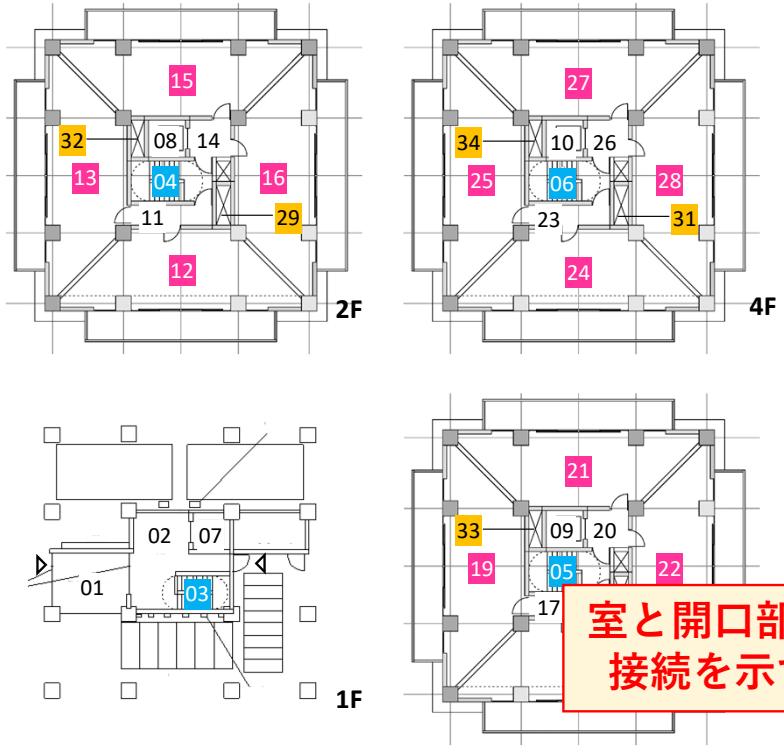
建物内の温度、気流、圧力差を予測する解析ツールとして1層ゾーンモデルを使用

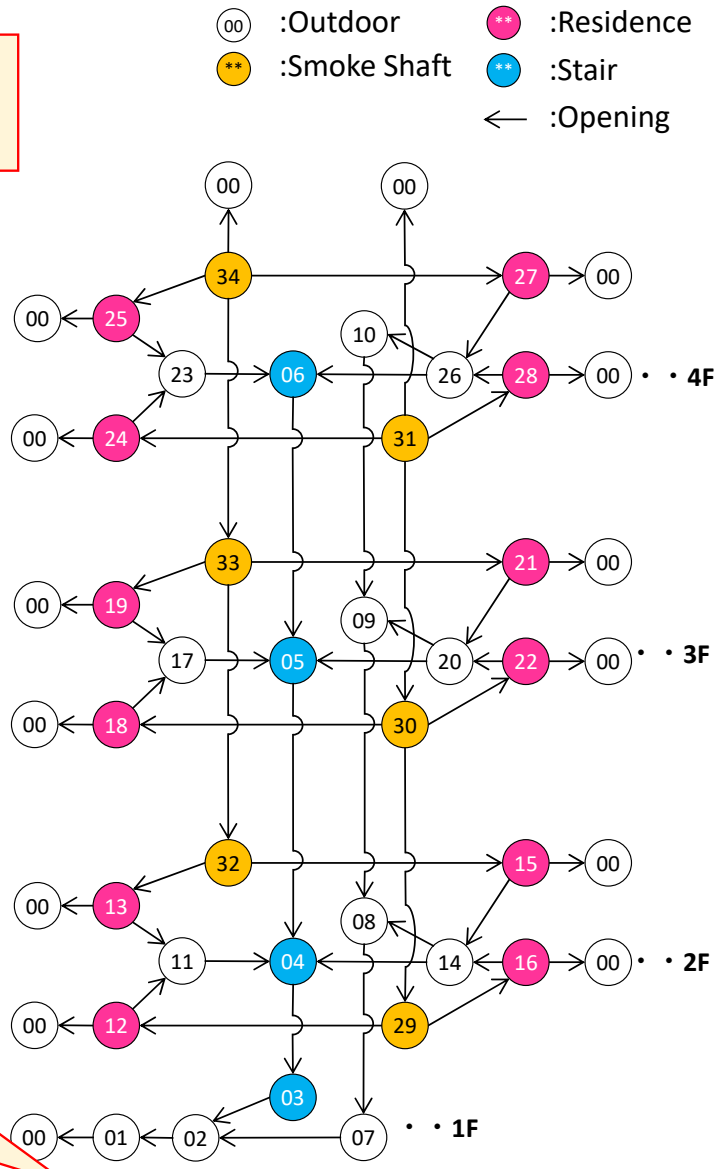
Analysis Tool: Transient Single-Layer Zone Model

→Predicts temperature, airflow, and pressure differences.

Simulation Model:

シミュレーションモデル





室と開口部の接続を示す

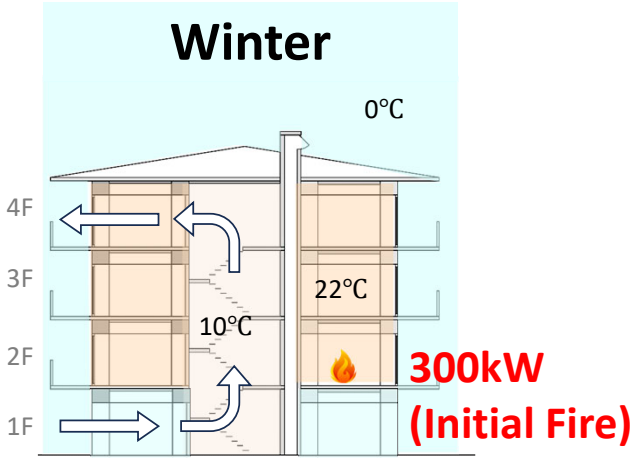
Connection of Openings

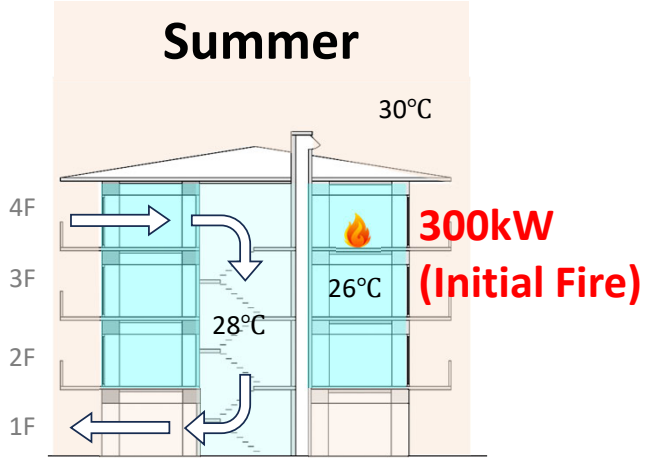
Conditions

シミュレーションの条件

Seasonal Simulations:

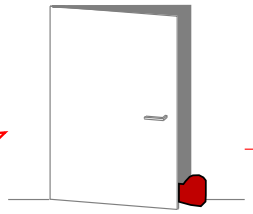
季節は冬と夏
避難を速やかに完了させるものとして火源発熱速度は300kW(初期火災)を想定



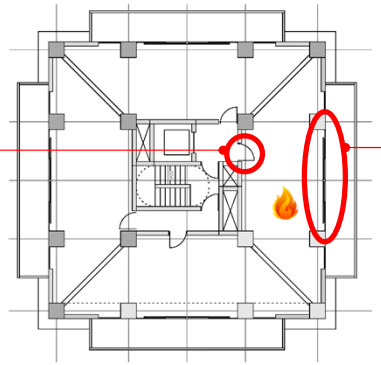


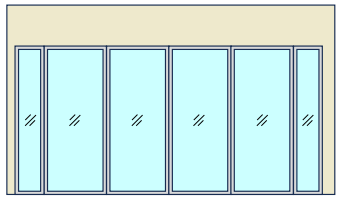
Fire Door and Window States:

火災室の防火扉はわずかに開いている状態

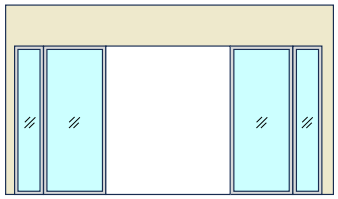


Fire Door
Slightly Open





Closed



Open

住戸の窓は閉まっている場合と開いている場合を考慮

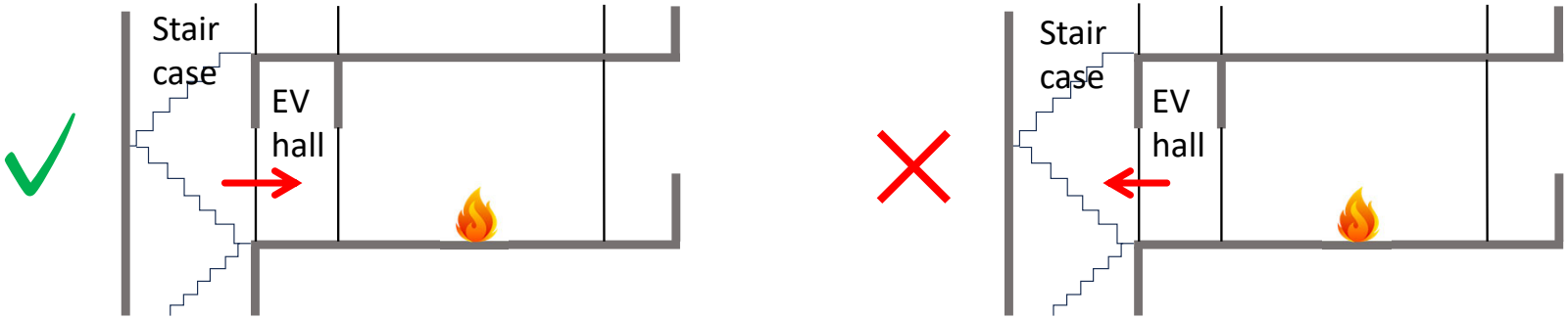
Criteria

評価基準

評価基準1. 空気の流れが階段から住戸側へ向かって流れているか？

Criterion1 The Airflow direction goes from the staircase to the EV hall.

Air Flow Direction →



Yes

No

Criterion2 Keep staircase temperature unchanged during a fire.

Yes

評価基準2. 火災時に階段室の温度が上がっているか？

No

No smoke entry into the staircase. ✓

階段室へ煙が侵入しない→OK

Smoke entry into the staircase. ✕

階段室へ煙が侵入する→NG

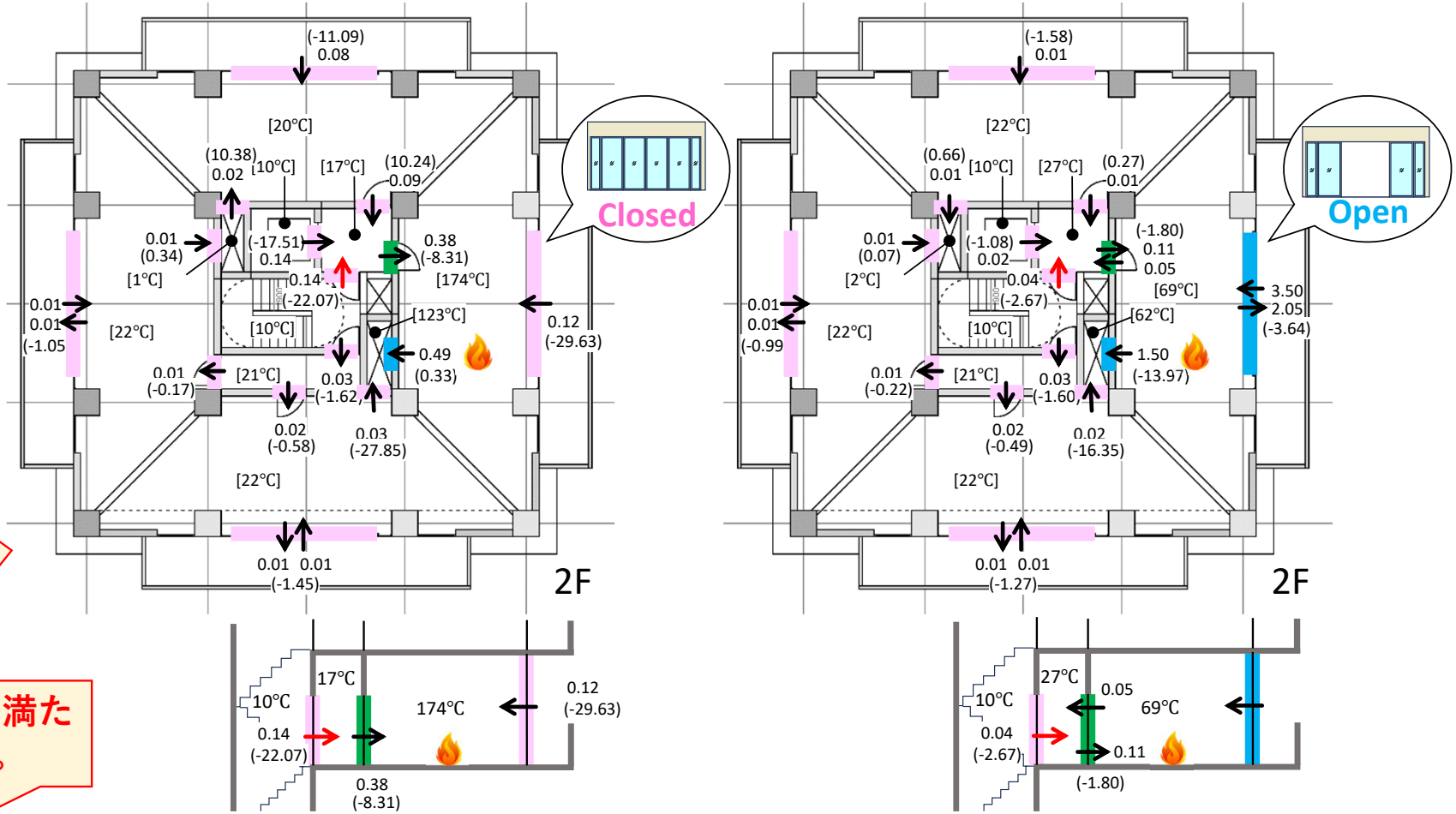
Results(Winter)

冬の結果

:Flow Direction
0.00 :Flow Rate [kg/s]
(0.00) :Floor-Level Pressure Differential [Pa]
Opening :Closed :Slightly Open :Open

矢印の向きは気流の方向を示す
窓が開いている場合、閉まっている場合いずれも空気の流れは階段室から住戸側へ向かう。

評価基準1を満たしている。



Criterion1 The Airflow direction goes from the staircase to the EV hall. ✓

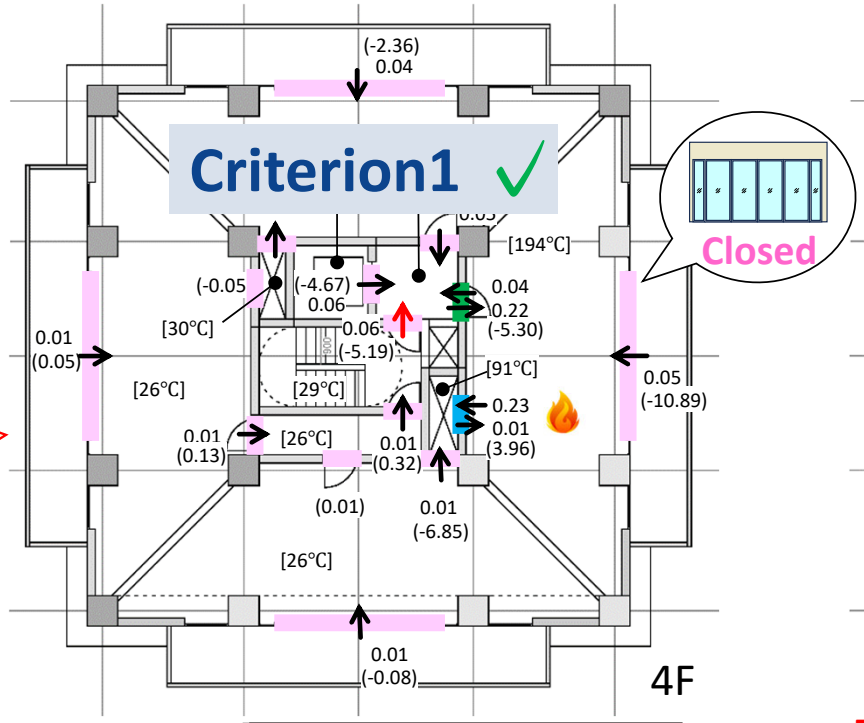
Results(Summer)

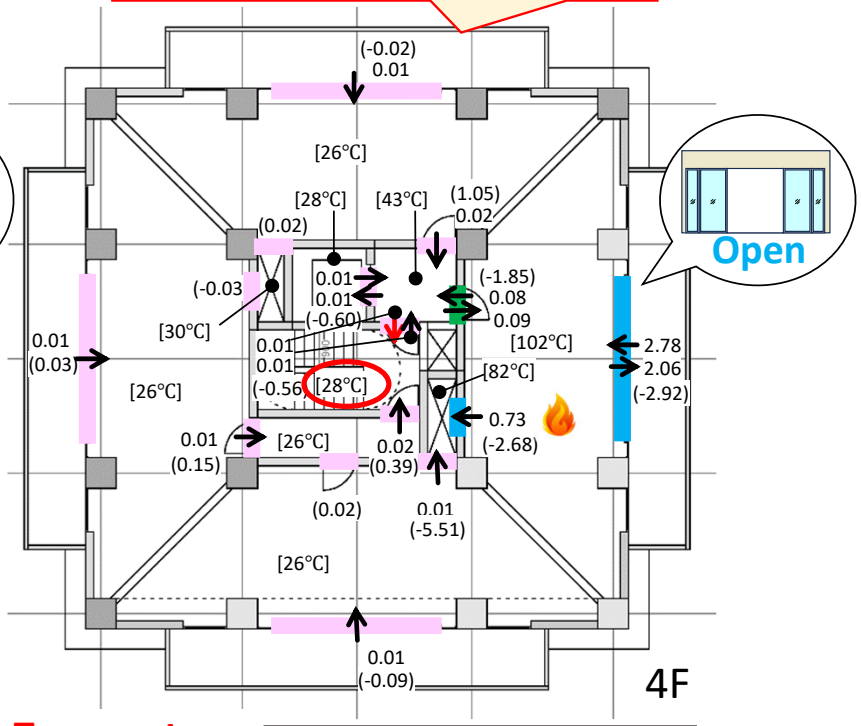
夏の結果

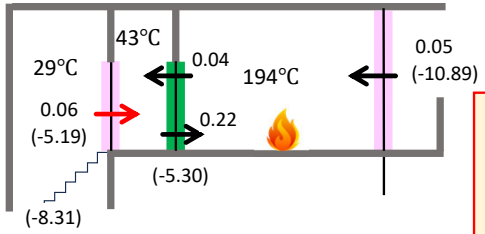
窓が開いている場合は空気の流れは住戸側から階段室側へ向かう

:Flow Direction
0.00 :Flow Rate [kg/s]
(0.00) :Floor-Level Pressure Differential [Pa]
Opening
:Closed
:Slightly Open
:Open

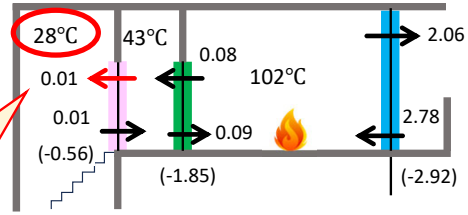
窓が閉まっている場合は評価基準1を満たす







Temperature Unchanged

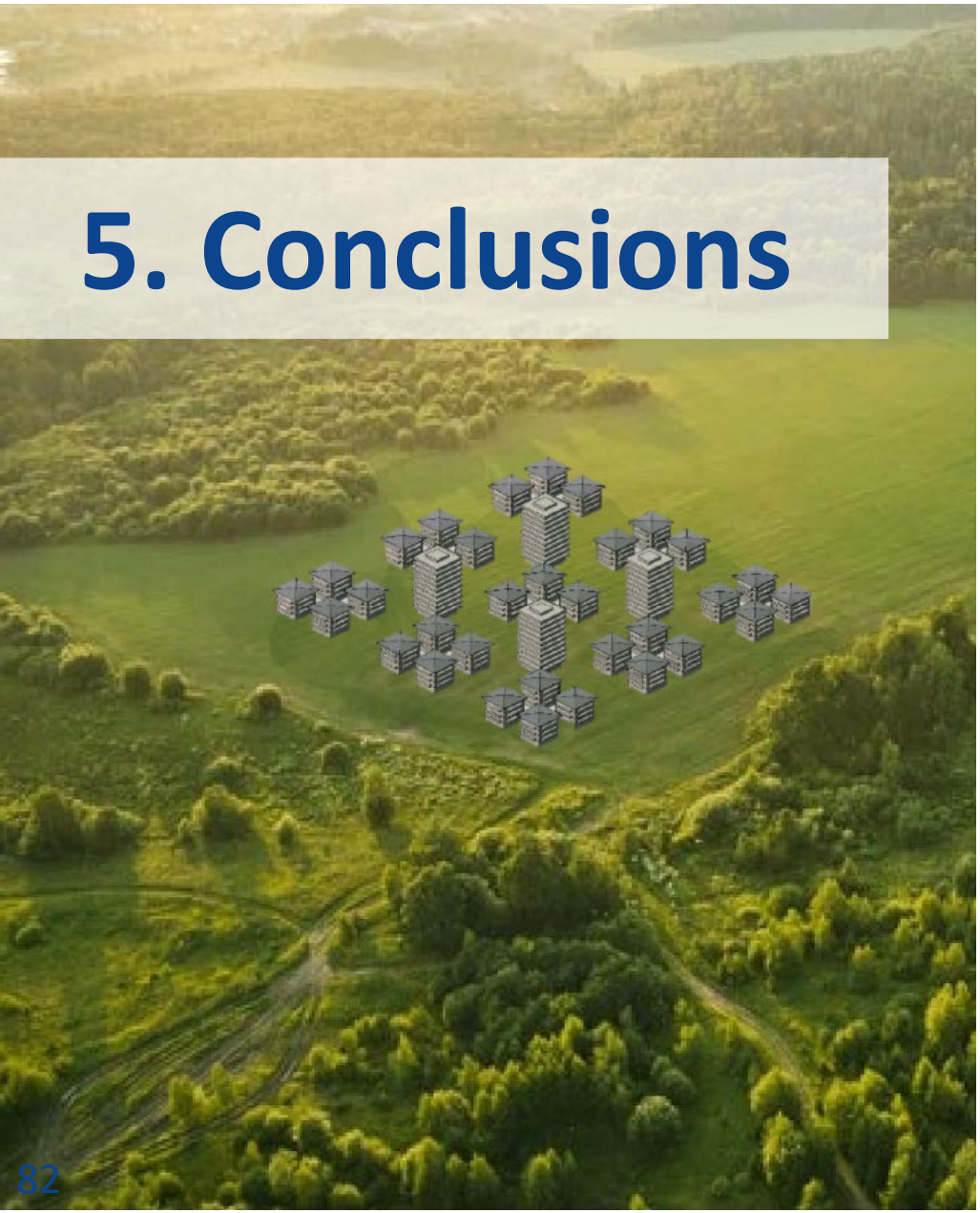


低層podにおける煙対策の有効性をシミュレーションで確認できた

階段室の温度は上昇していないので評価基準2を満たす

Criterion2 Keep staircase temperature unchanged during a fire. ✓

5. Conclusions



Results of verifications

1) 火災継続時間・保有耐火時間

開口幅を大きくする必要がある。

2) 上階延焼の防止

開口幅: 1 m以下

Depth of the balcony: no less than 1.8 m

Conflict

3) 隣棟への延焼防止

開口幅が大きいほど、隣棟との間隔を大きくする必要がある。

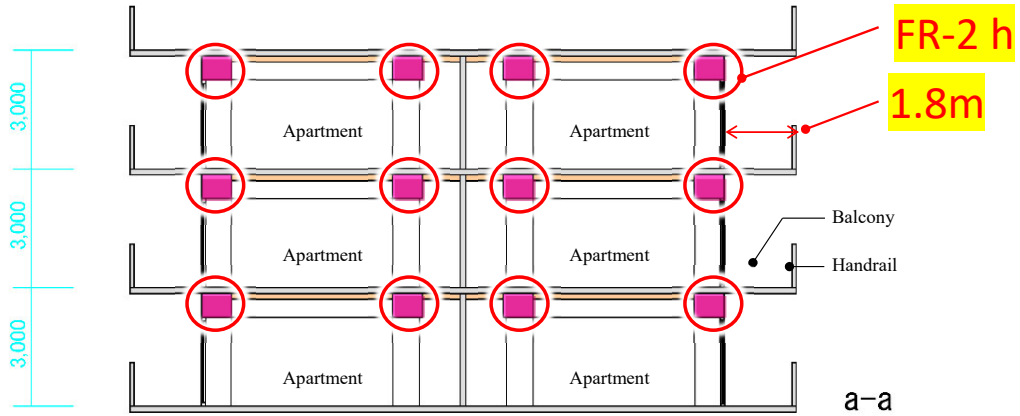
4) 階段への煙進入防止

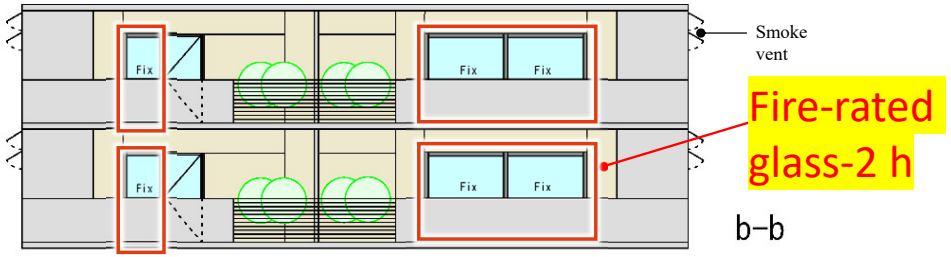
Solution

- **開口に防火設備を設ける**

  コスト、デザイン、機能の制約を考えると現実的ではない

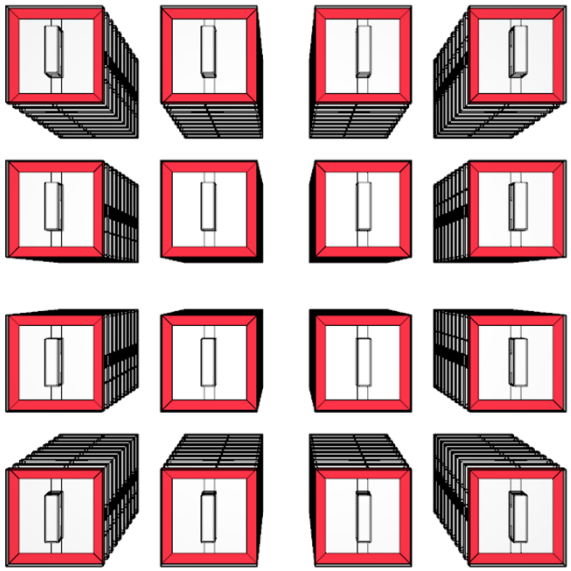
- **保有耐火時間を長くする**

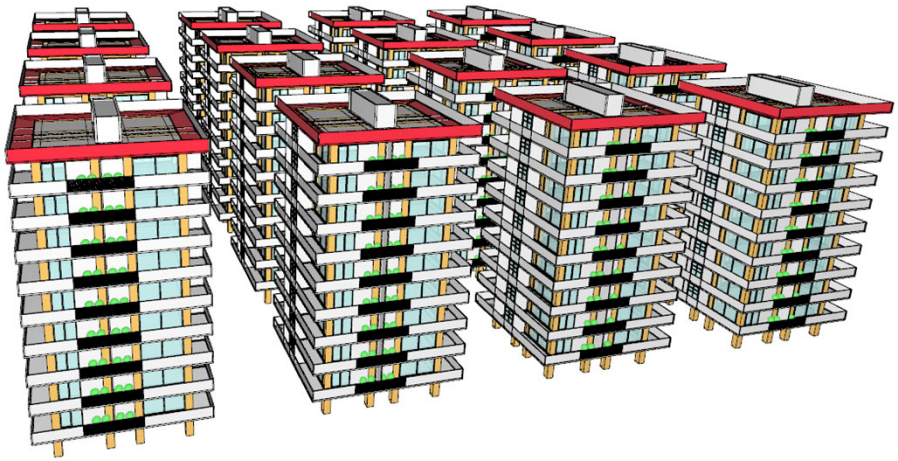




実質的に、
低層棟も耐火構造になる。

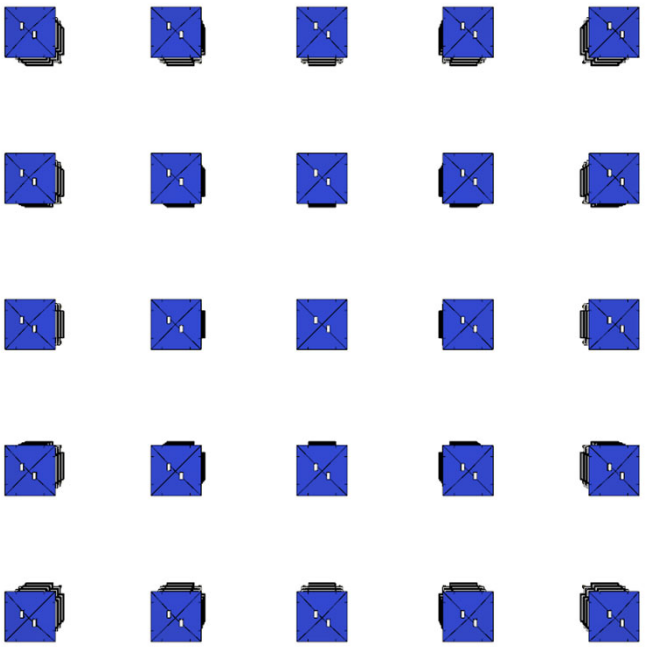
Solution ???

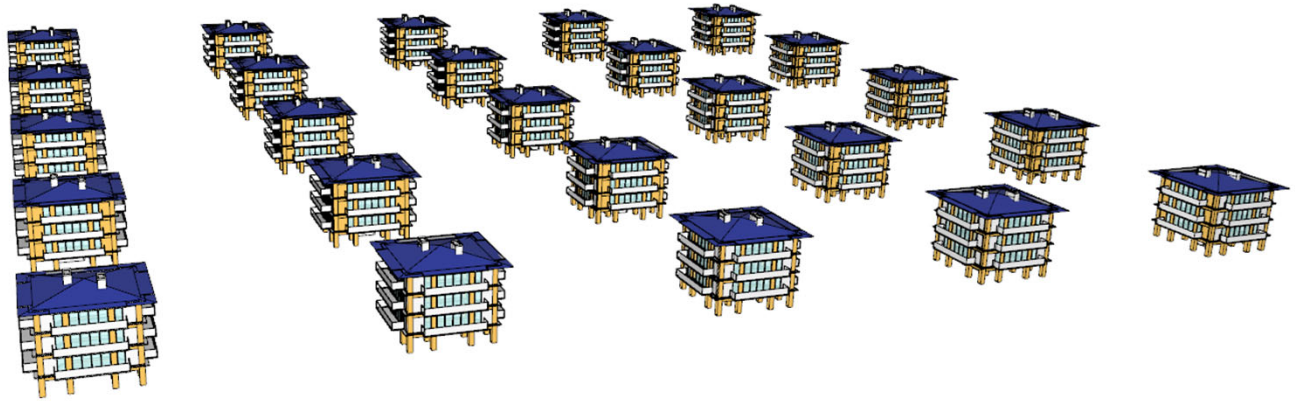




- コスト相当高い。
- ほとんどの開口部がハメ殺しの防火設備。
- スマートな設計ではない。。。

Solution ???





1 × 1 layout

このように困難になるのは、与条件に起因する

遠隔地であること

we assumed public firefighters are difficult to access quickly.

- If the buildings are located in urban areas in Japan, firefighters can access the fire site approximately 8–15 min after fire perception.
- Preventing vertical fire spread of approximately 20–30 min will effectively support the firefighters' activity.

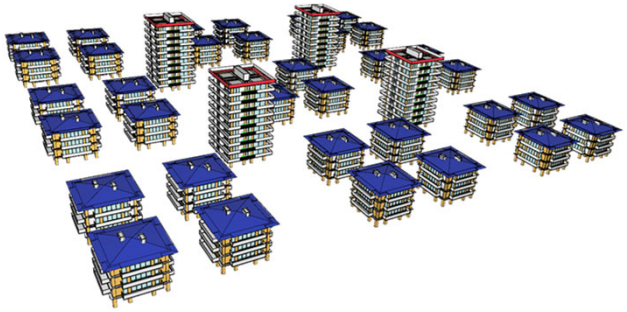
Podを密集させて配置すること

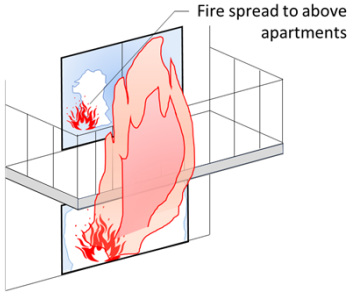
If a pod collapses but does not lean to the adjacent pods or ignite them by radiation, the approach to allow the collapse is feasible if only the occupants’ safety is secured.

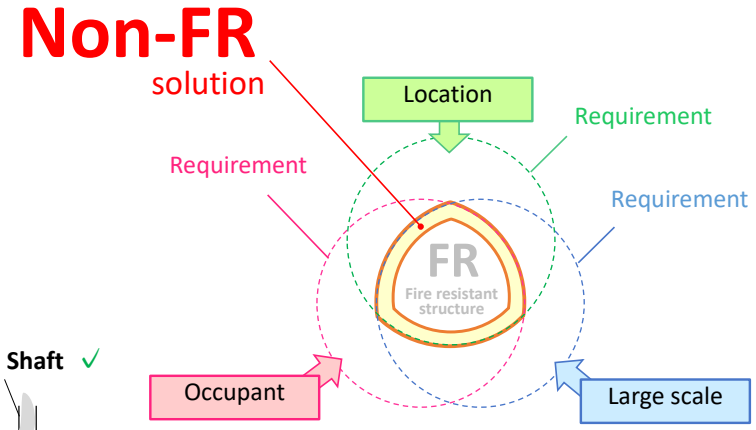
更なる エンジニアリング & デザインの知見が必要

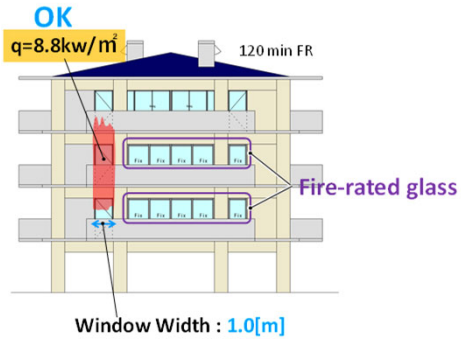
ということで、

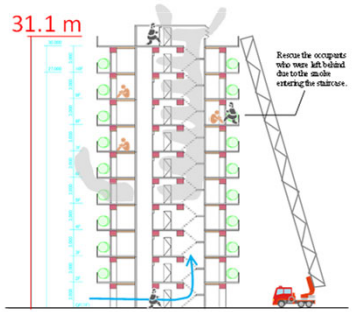
次回は、皆様のご参加を期待しています☺

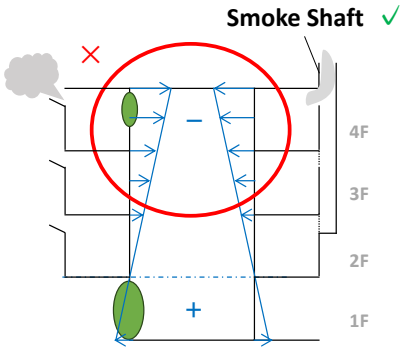












Thank you!

SFPE Japan Chapter Team

Y. Minegishi, Y. Koike, K. Takayama, M. Fujimoto, M. Seike,
A. Jo, M. Enomoto, S. Tsuchiya

#SFPEPBD24

SFPE Fire Safety Conference & Expo on
PERFORMANCE-BASED DESIGN
17-19 APRIL 2024 | COPENHAGEN, DENMARK

ニュージーランドチームの ケーススタディの紹介

ニュージーランドチーム

●メンバー

防火コンサルタント等による5名

発表者は2名

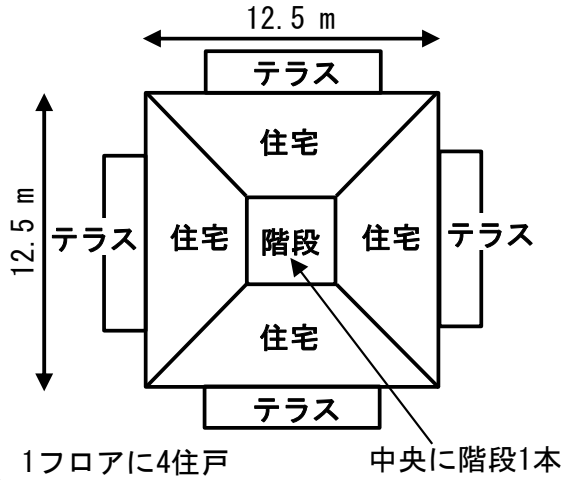
Martin Feeney
Principal and Senior Fire Engineer
Holmes ANZ

Sherry Wang
Senior Fire Engineer
Origin Fire Consultants Ltd

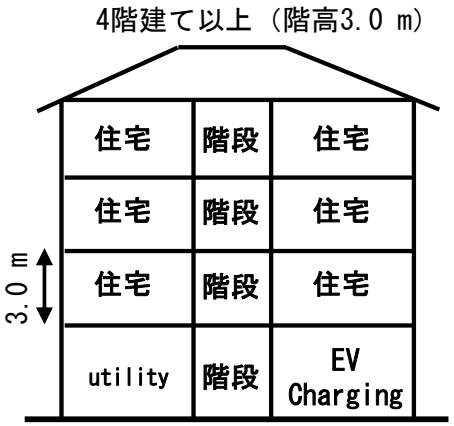
画像出展：2024 SFPE Performance Based Design Conference & Expo Engagefullyより

●労働者用住宅（Worker Housing）

課題建物



［平面図］



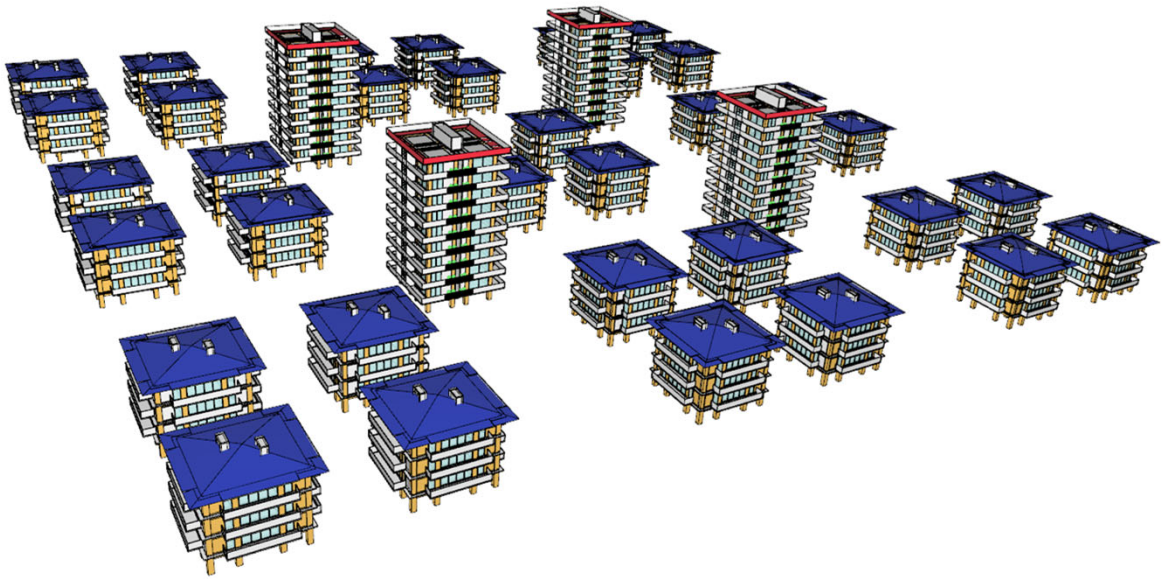
［断面図］

問題点

- 基準法なし
- 階段1本で避難
- 木材利用
- 就寝施設
- 低予算
- 消防は見込めない
- 延焼拡大

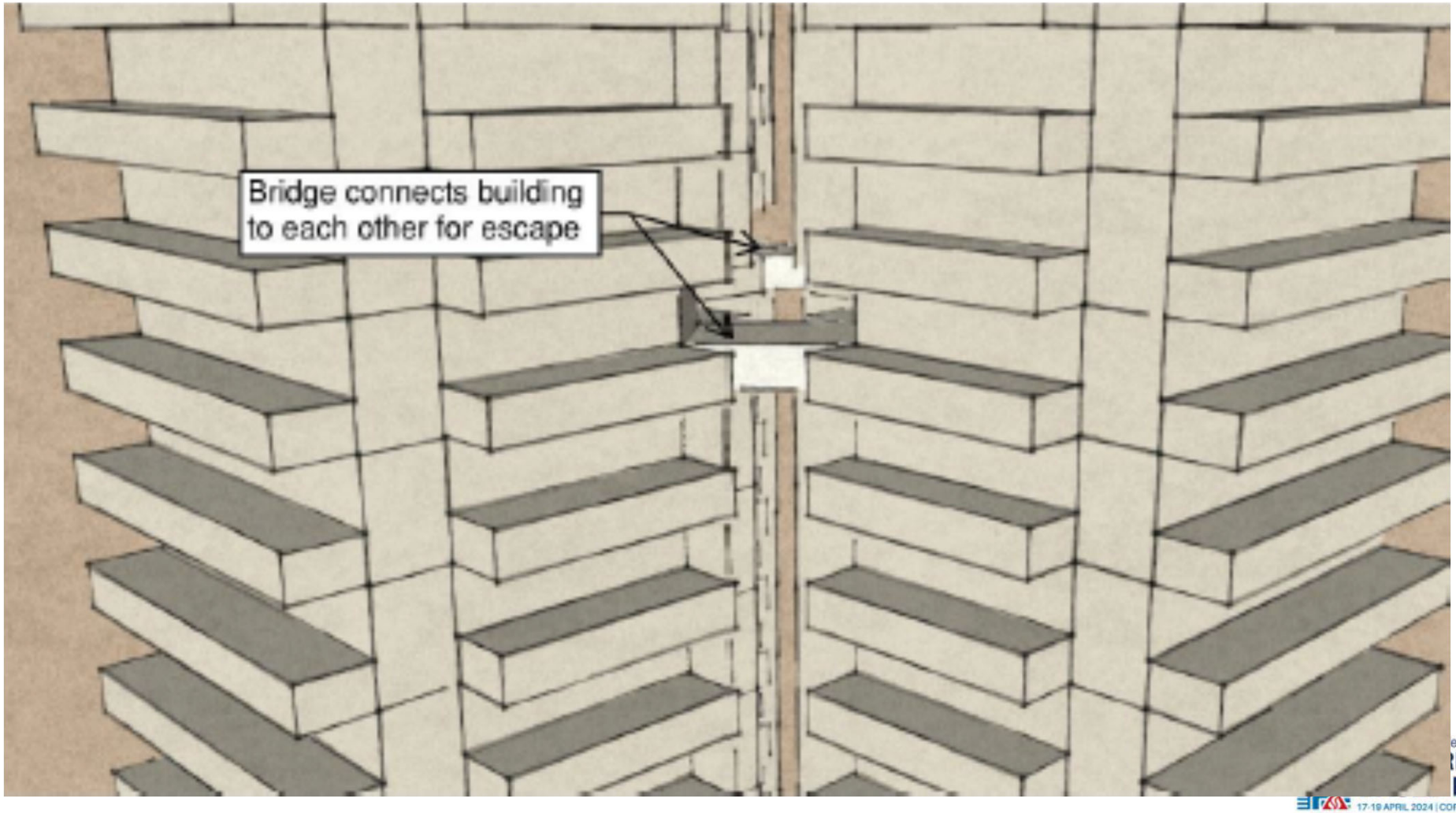
●案の比較

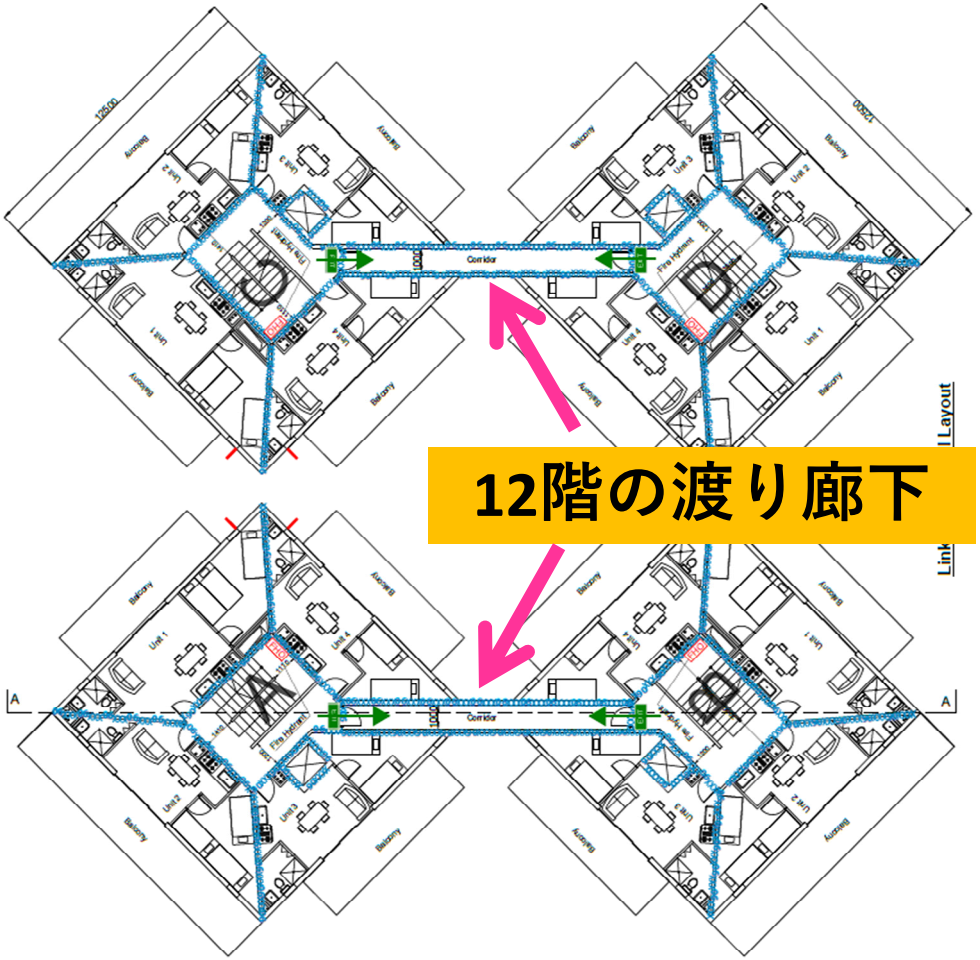
日本チーム



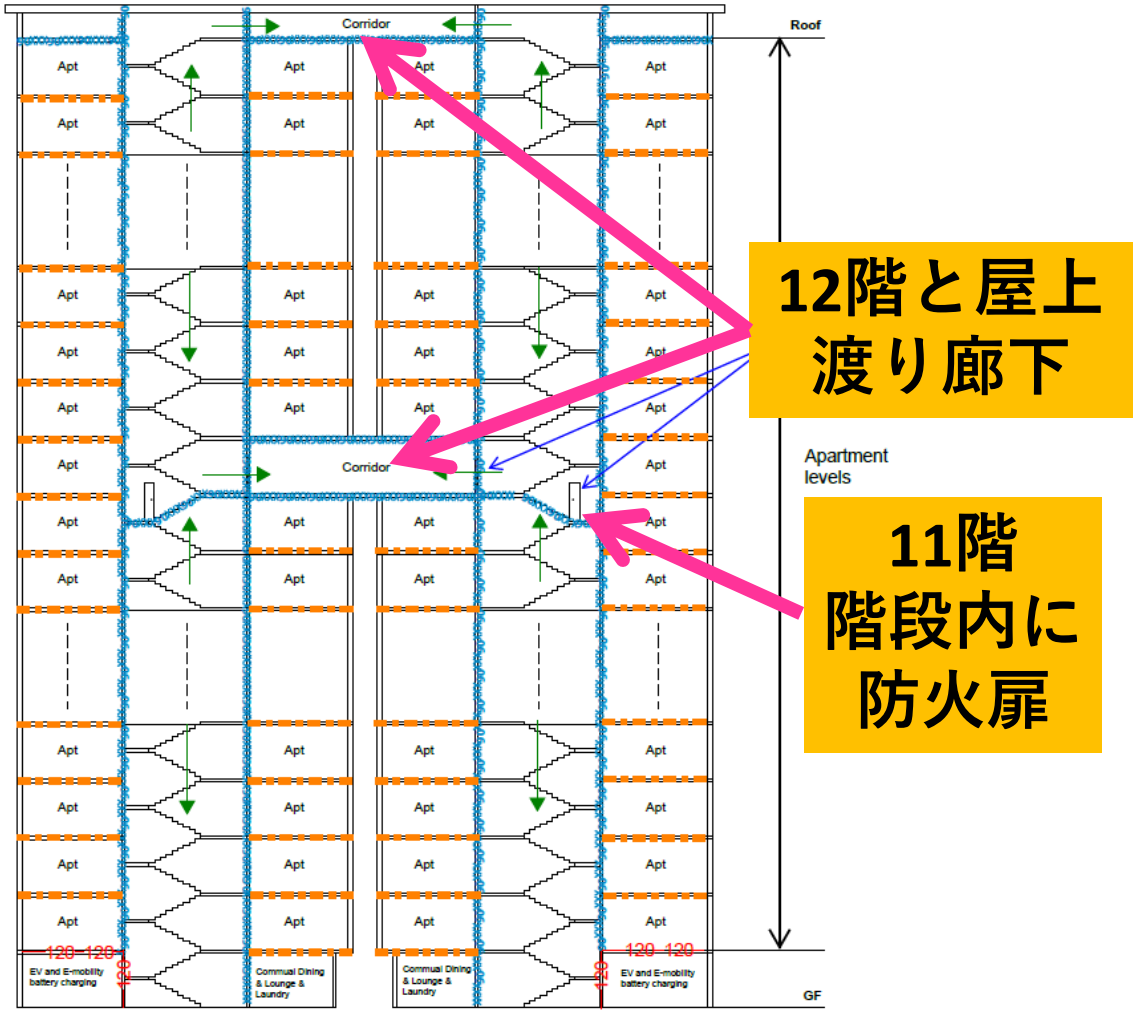
ニュージーランドチーム

渡り廊下による隣棟へ避難



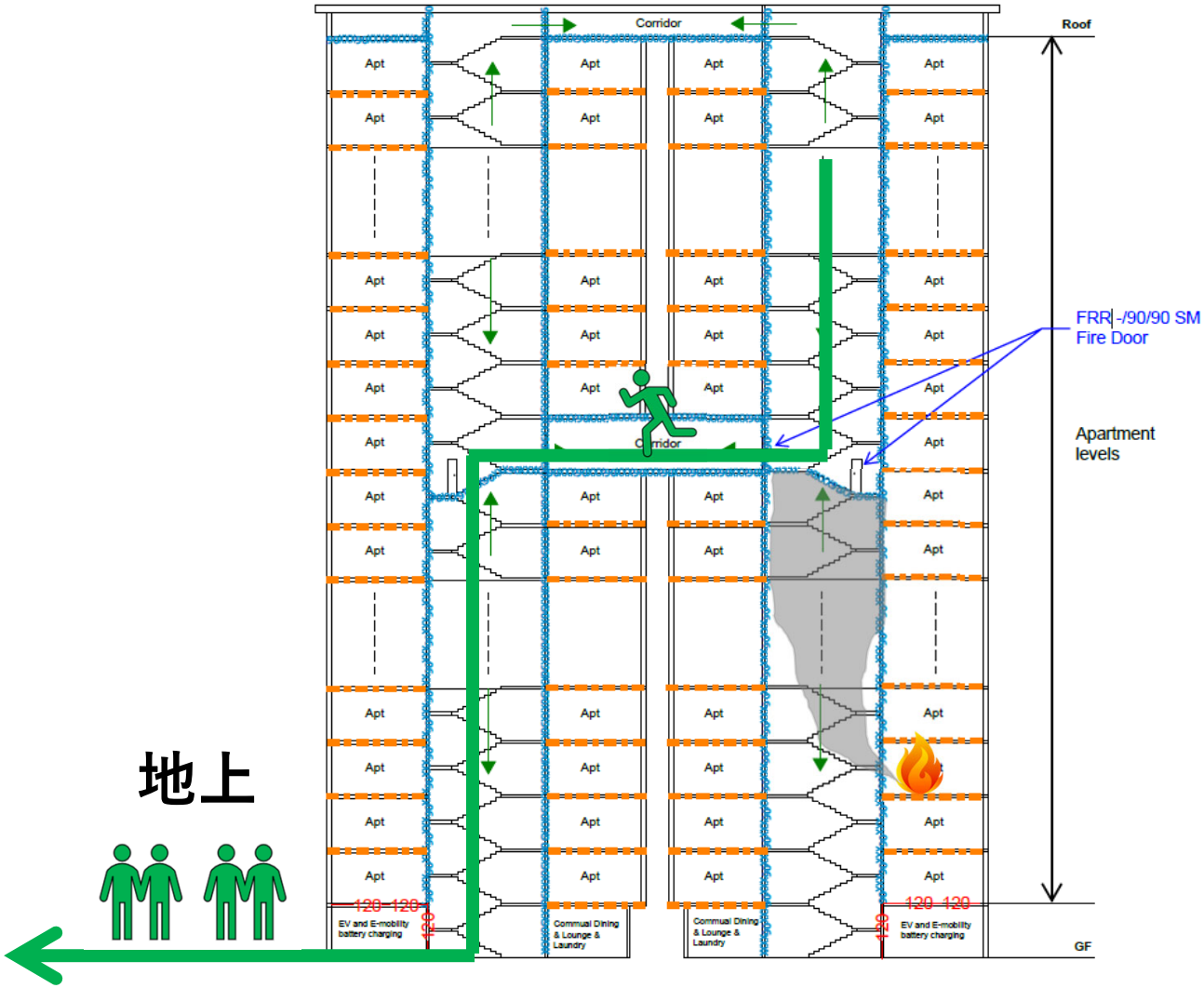


［平面図　12階］



［断面図］

●渡り廊下の避難のイメージ

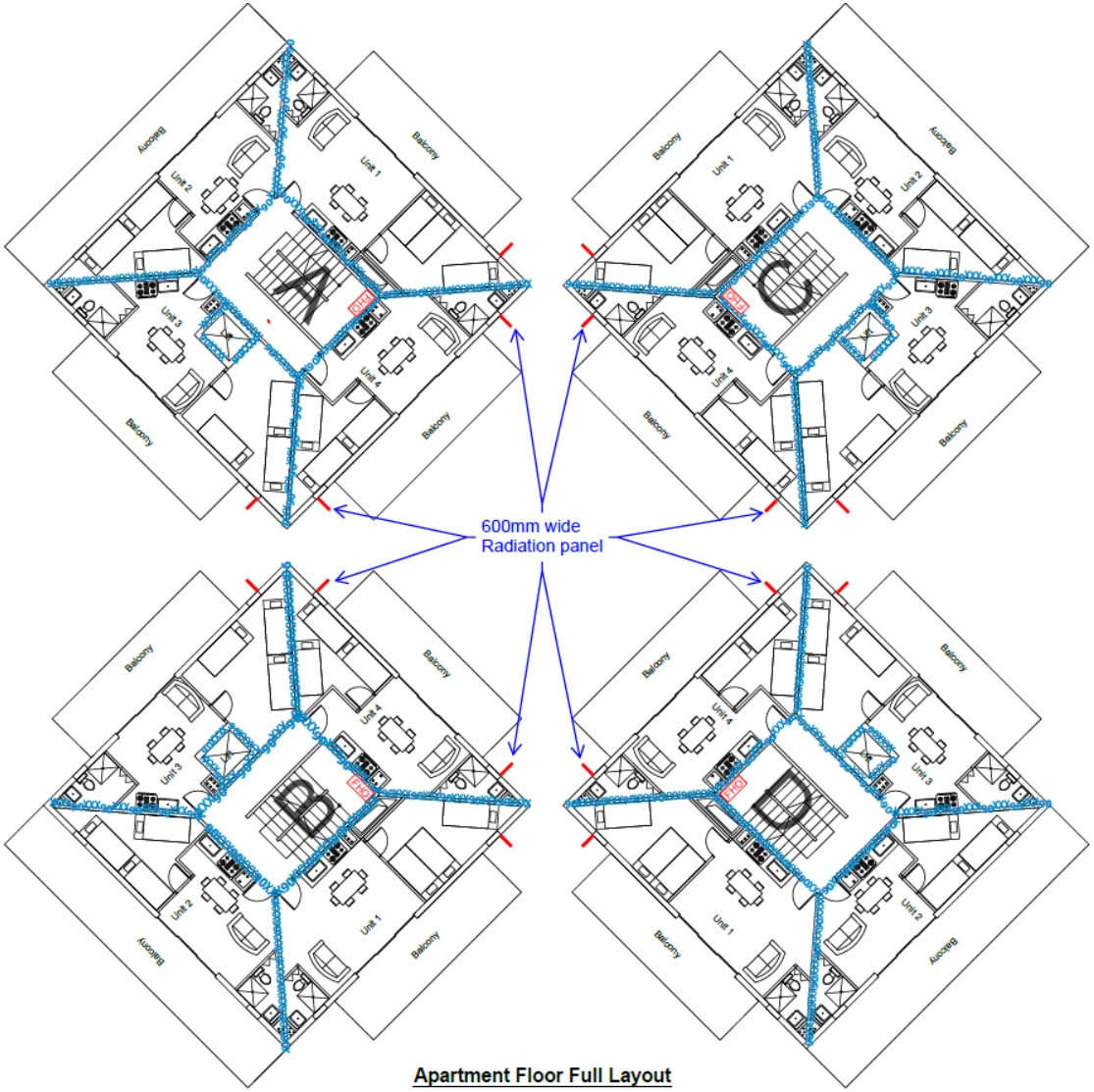


［断面図］

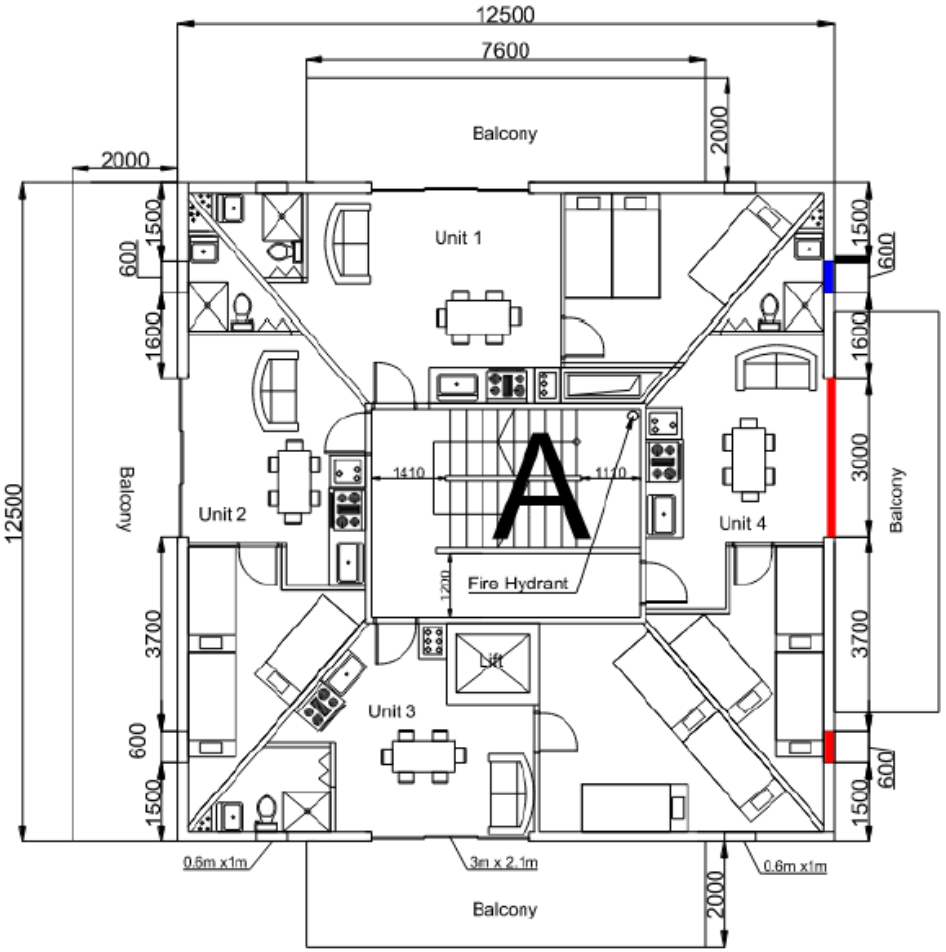
●延焼について

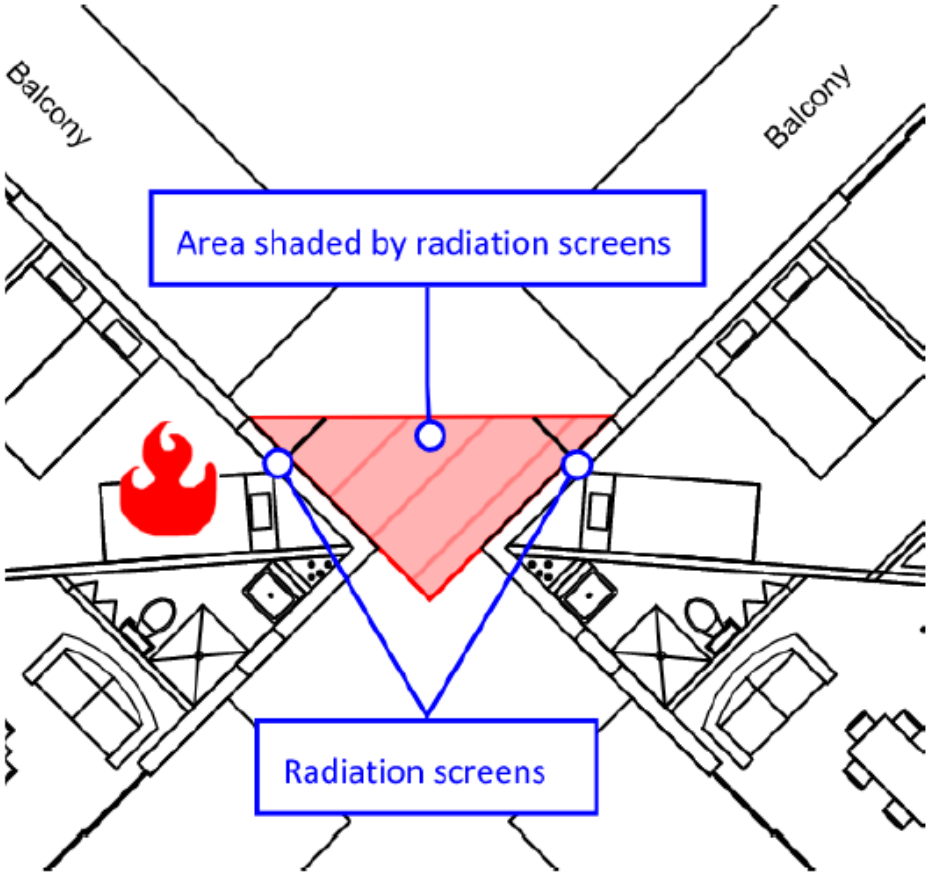
- **建物配置計画**により
  隣棟間の離隔距離を確保

- **射熱の計算**により
  開口部の大きさを制限



●隣棟間が近接している箇所は、輻射熱を防ぐために壁を設置





●避難時間について

手計算により、11層分（264人）の避難時間を算定

避難開始時間

スプリンクラーが60秒以内に作動しその30秒後に警報が鳴り、就寝中のアパートの住居者が気づくまでに300秒かかるとし、**合計390秒**としいた。

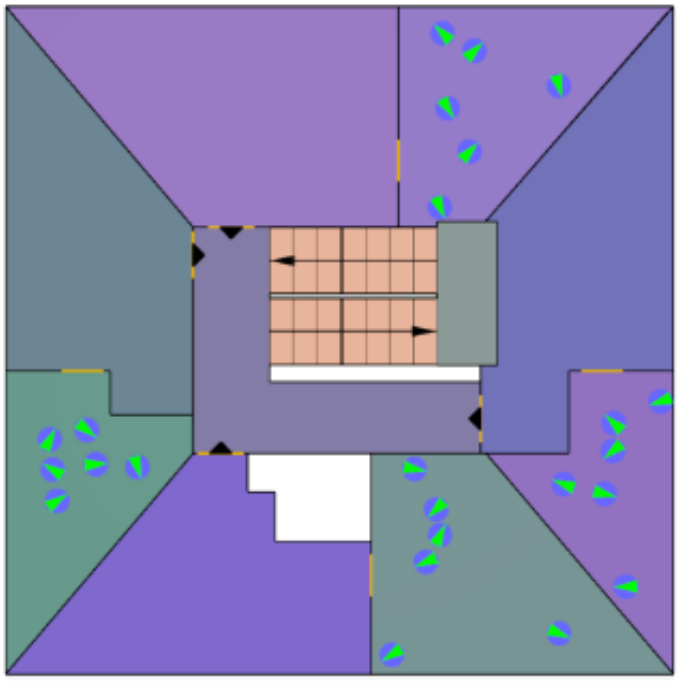
避難行動時間

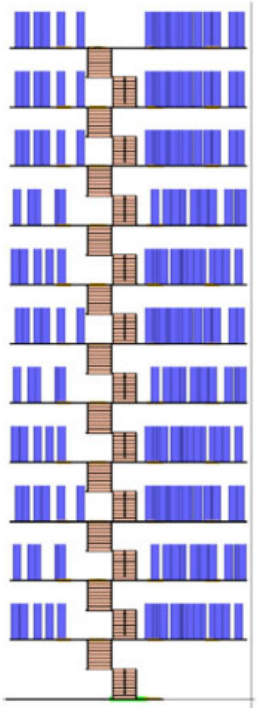
1フロアおりるまでの時間を算定し、11階から1階に降りる10層分をかけて時間を算定していた。

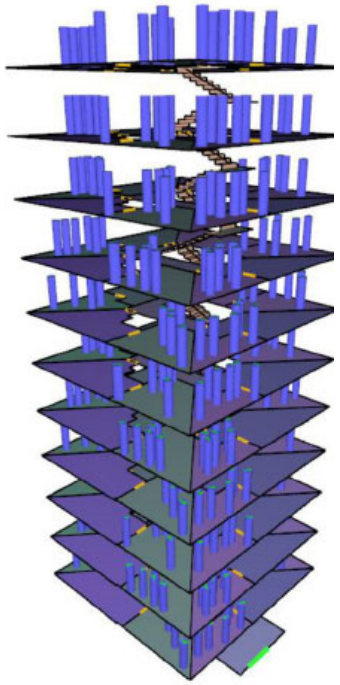
避難開始時間390秒＋避難行動時間397秒=　**避難時間787秒**

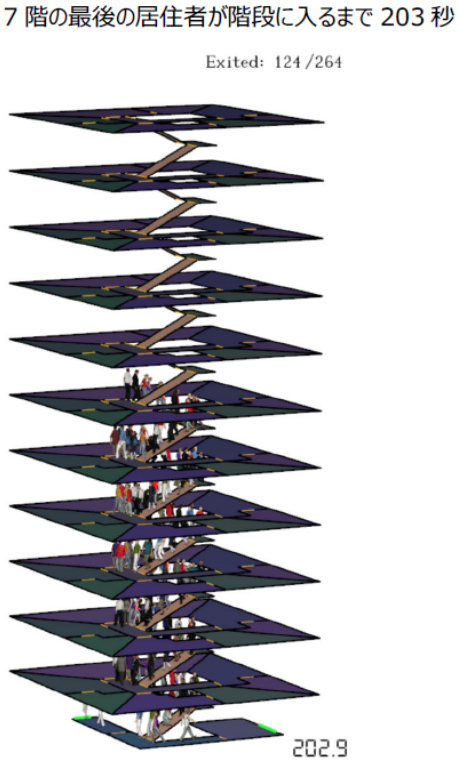
計算結果の妥当性を確認

・実際に階段を歩いて、１フロアの当たりの歩行時間を測定
・パスファインダー（Pathfinder）によるシミュレーション









●他にも

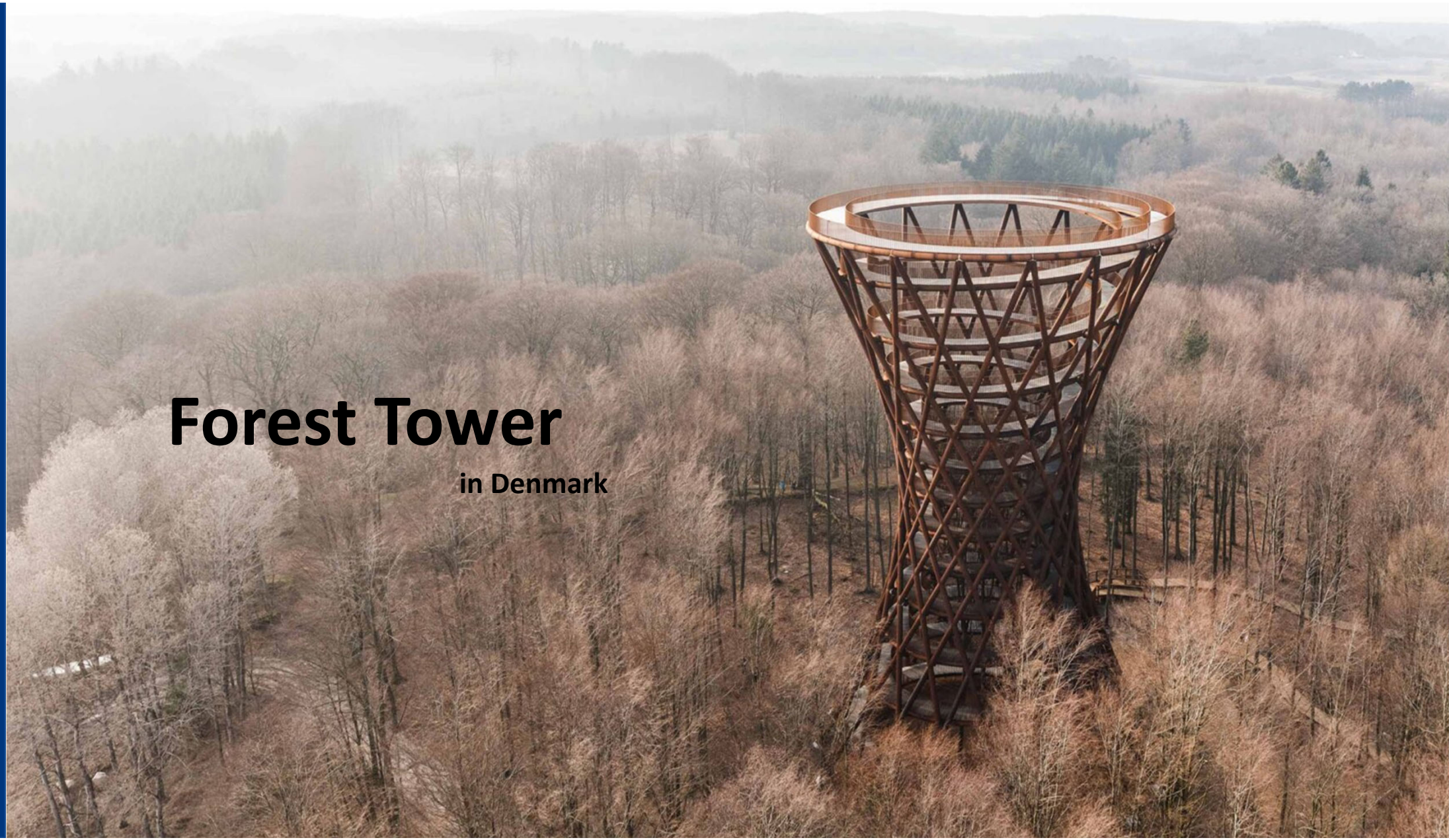
・木材利用としてCLT壁を利用

・スプリンクラー設置

・階段内自然排煙や階段加圧

他チームのケーススタディ

- スイス
- UK
- IMFSE Student



Forest Tower

in Denmark

● 課題内容

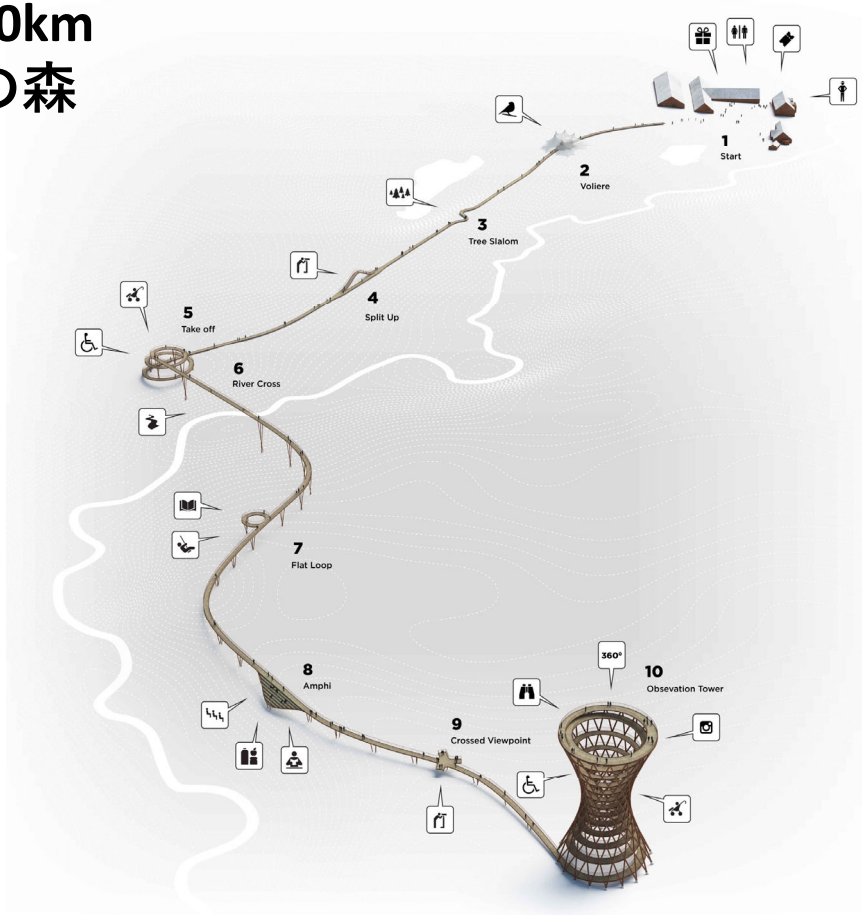
フォレストタワーは、コペンハーゲンから南に70km程度に位置するギッセルフェルト・クロスターの森に実在する高さ45 mの展望台

- 屋上にガラス壁に囲まれたレストランやイベントスペースを設置し、周囲の展望を活かしたエンターテインメント性の高い施設にする

- レストラン出火や森林火災など、複数の火災シナリオを想定し，双曲線状の構造の崩壊リスクを考慮した火災安全性能設計を行う

- 安全な場所に到達するまで、火災による負傷から居住者を保護すること

  屋上レストラン等は、利用可能な最大在館者数、移動距離、および避難経路を検討すること



他チームのケーススタディ ー　Switzerland

防火コンサルタントと学生らによるチーム

Gianluca De San
Risk and Fire Safety
Basler & Hofmann A

Patrick Suter
Student
BFH - Bern Universi
Applied Sciences

Elie Deniau
Student
Basler & Hofmann

Victor Paganini
Student
Basler & Hofmann

Lucie Favre-Bulle
Student
Basler & Hofmann

Jakob Studhalter
Fire Engineering Exper
Basler & Hofmann AG

Abdulhameed Morsy
Mechanical Engineer
Basler & Hofmann AG

Christoph Renfer
Prof. BFH, Fire Protection of
Timber Structures
Berner Fachhochschule BFH

発表内容

- 国内の火災安全基準
- リスクアセスメントによる火災安全対策の提案
- 性能設計案

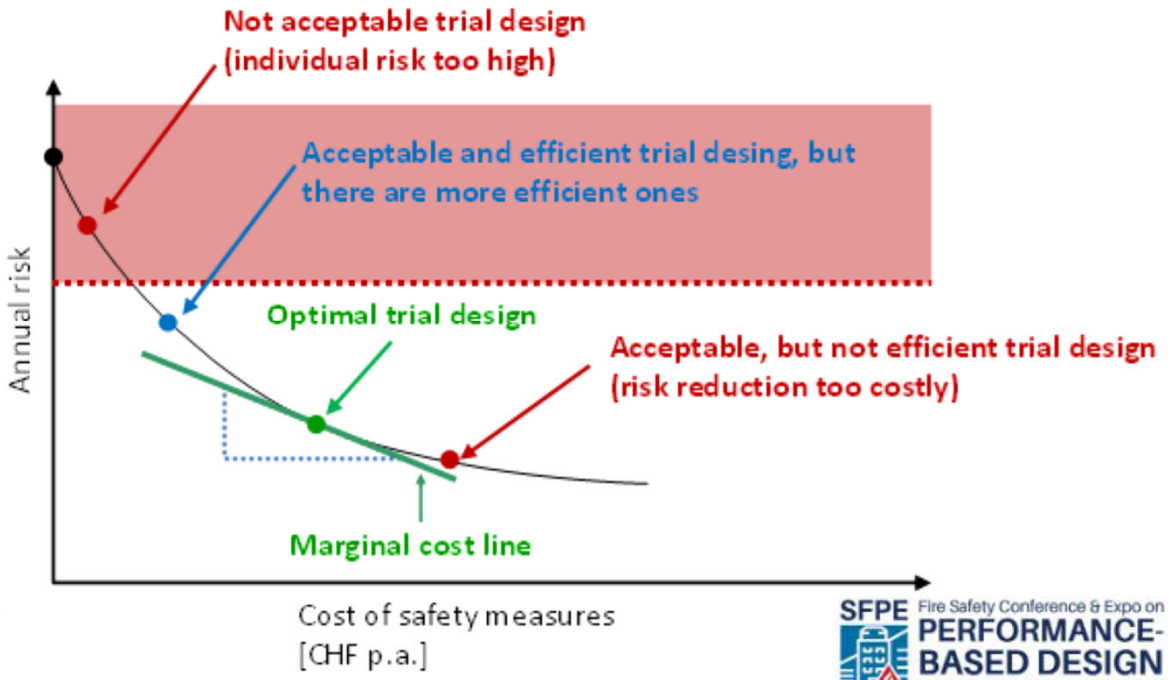
国内の火災安全基準について

- 建築物の火災安全基準について、人命の安全に重点を置いた2つのリスク許容基準を定めている。

①利用者一人当たりの死亡確率が$5*10^{-5}$/年 以下であること

②利用者リスクは、効率的な対策が見いだせず、実施できない場合にのみ許容

火災安全対策に関連する費用が、
700万スイスフランを超えない場合
（1,170,249,500円）



図：コストあたりのリスク曲線

リスクアセスメント

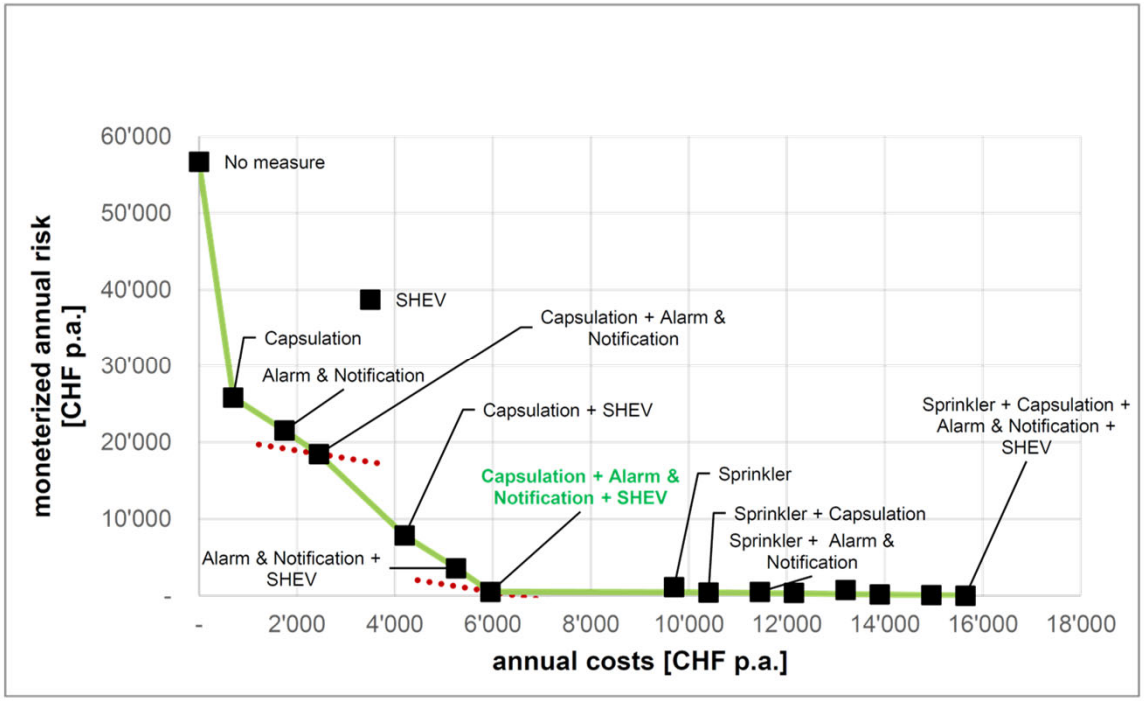
確率論的アプローチによるリスク評価と，防火設備等のコスト評価から最適解を模索する

①リスク評価

- 屋上レストランの出火確率
- 防火設備等の火災安全対策の作動信頼率
- 避難シミュレーションを用いた
  シナリオ別予想死亡者数

②コスト評価

- 建設、設置コスト
- メンテナンス費用
- 予想耐用年数



図：各対策におけるコスト/リスク曲線

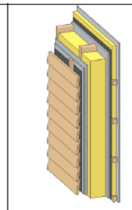
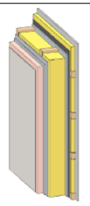
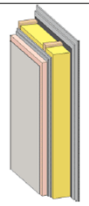
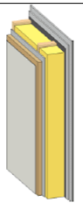
性能設計案

・レストランの構造部材には耐火性能を考慮したものを使用

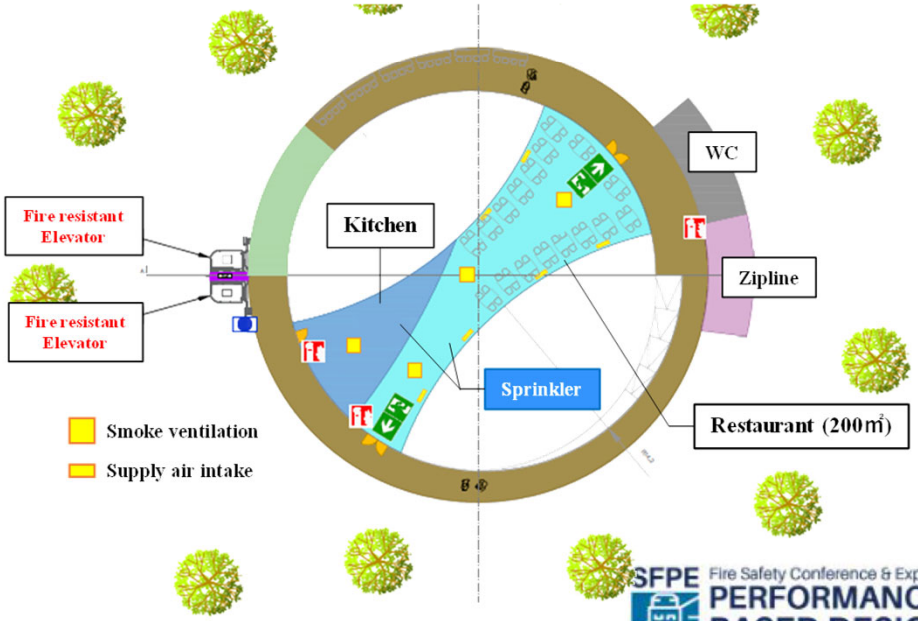
・リスクアセスメントにより費用対効果が最も高い火災安全対策案により設計
　ー 防火区画,警報装置,排煙設備

・スプリンクラーを使用した設計案も推奨

Timber frame.

Picture				
Outside composition	External Cladding + Vertical Battens *Aussenwandverkleidung + Lattung versetzt*	Plaster + Polystyrene *Putzsystem + Polystyrol*	Plaster + Polystyrene *Putzsystem + Polystyrol*	Plaster + wood fibre insulation board *Putzsystem + Holzfaserdämmplatte*
Thickness[mm]	256,5 to 416,5	259,0 to 419,0	214,0 to 364,0	262,0 to 342,0
REI inside[min]	60 to 90	60 to 90	60 to 90	60 to 90
outside[min]	60 to 90	60 to 90	60 to 90	60 to 90
Reference	awrhhi01b	awropi02b	awropo01b	awropo17b

Data from dataholz.eu



上図：木質材料の耐火性の検討
下図：スイスチームによる推奨設計案

他チームのケーススタディ ー　UK

防火コンサルタント3名によるチーム

Dr. Georgina Williams

Principal Engineer | Hydrock

Hydrock

Dr. Simón Santamaria

Technical Development Director| Hydrock

Hydrock

Frances Maria Peacock

Fire Engineer | Façade Fire Consultants

FRC an RSK company

発表内容

想定される火災シナリオ別に検討，提案を行っていた。

・ハザード分析による、複数の火災シナリオの想定

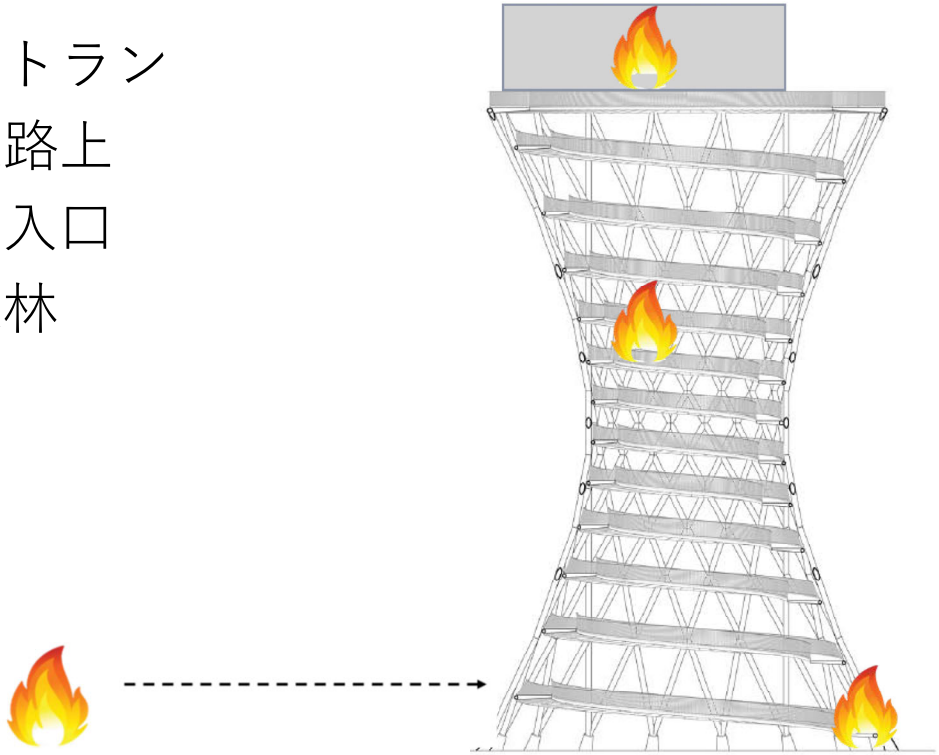
・各火災シナリオに対する性能目標の評価
　ー 屋上レストランからの避難検証
　ー 構造崩壊リスクの検討

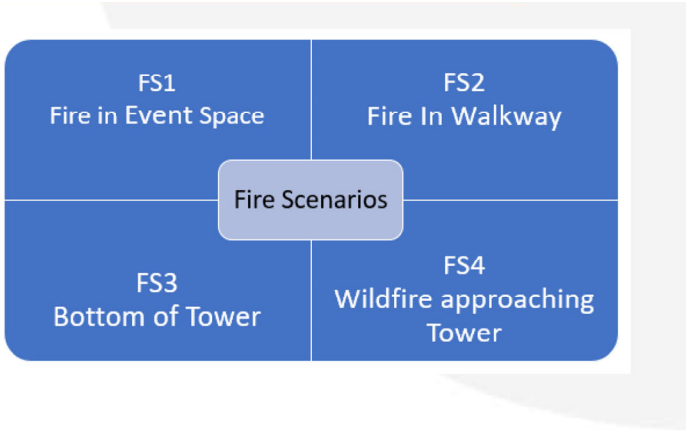
・各火災シナリオに対する予防策の提案

ハザード分析

4つの火災シナリオを想定

①屋上レストラン
②タワー通路上
③タワー出入口
④周囲の森林





図：火災シナリオの検討

シナリオ別の性能目標と予防策

①屋上レストラン出火

避難のシナリオ

・一斉避難しスタッフが避難をサポート

性能目標

在館者が安全に避難可能・消防隊が活動可能であることを実証する

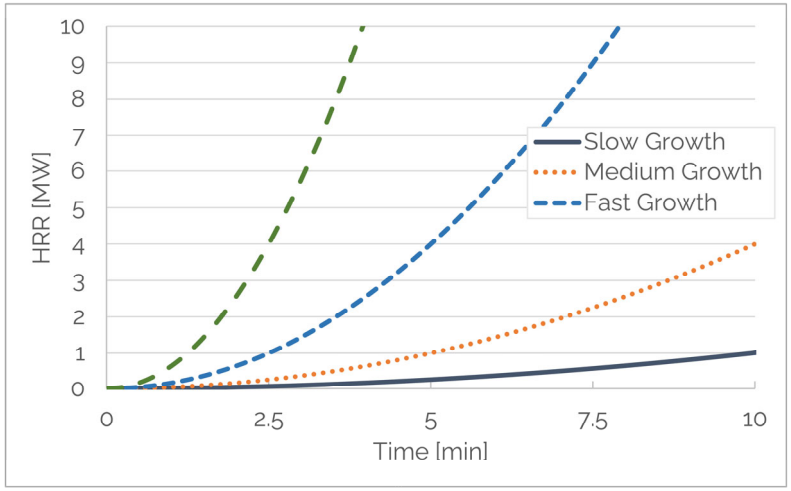
・煙層高さが2.1m以上

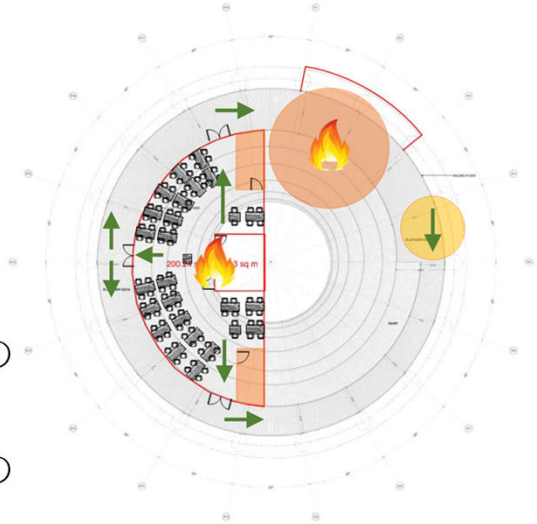
・煙層温度が530k以下

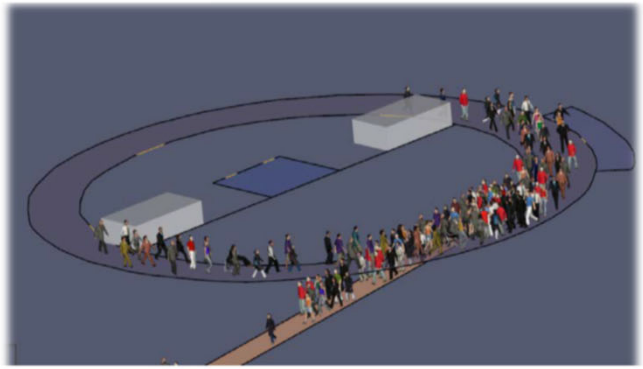
予防策

・在館者が持ち込む可燃物の管理を含む火災のリスク管理

・厨房での出火を減らす為に、安全作業方針の周知の徹底







図：レストラン出火時の避難シミュレーション

シナリオ別の性能目標と予防策

②タワー通路上出火

避難のシナリオ

・一斉避難し、火源より上階は屋上避難、下階は外部に避難

・屋上レストラン内の避難者は消防隊による救助まで待機

性能目標

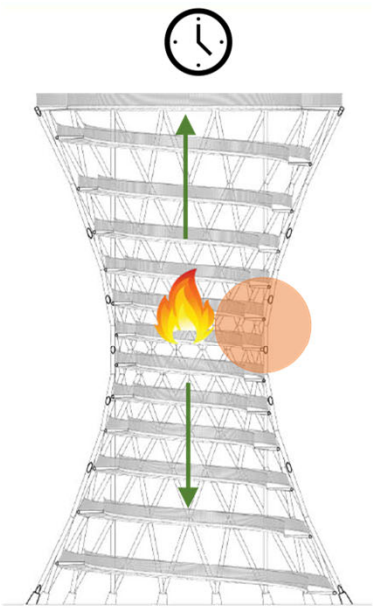
構造体が燃え尽きるまで安定性が維持されることを実証する

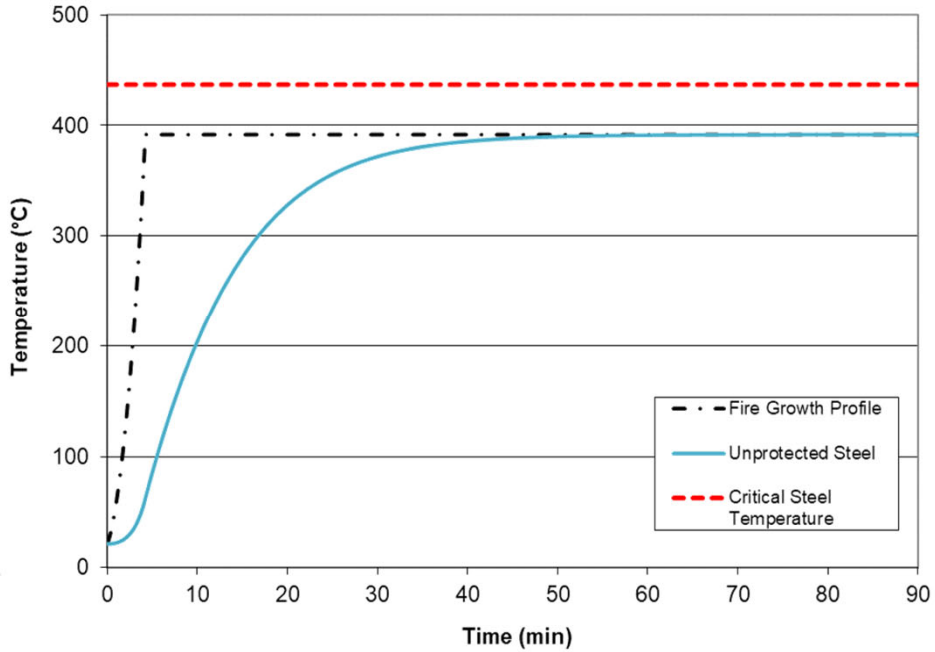
・鋼材温度 < 710K

予防策

・物品やごみの輸送は、一般の人がタワーにいない時間帯に限る

・危険性の高い物品は耐火性のある容器に入れる。





図：通路出火時の煙層温度シミュレーション

シナリオ別の性能目標と予防策

③タワー出入口出火

避難のシナリオ

・一斉避難し、可能であれば外部に避難

・屋上レストラン内の避難者は消防隊による救助まで待機

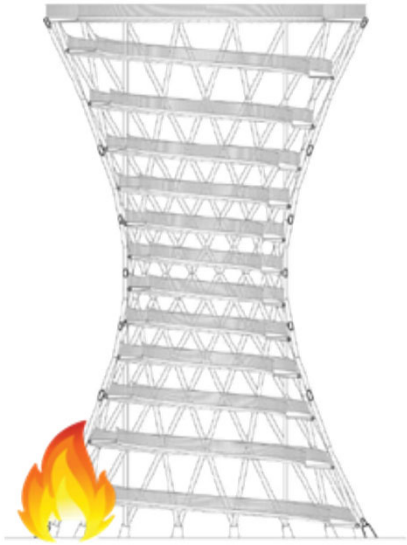
・スタッフによる避難誘導及び消火活動

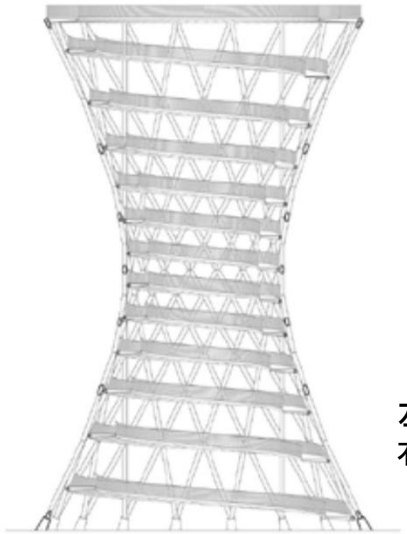
④森林出火

避難のシナリオ

・山火事の早期発見

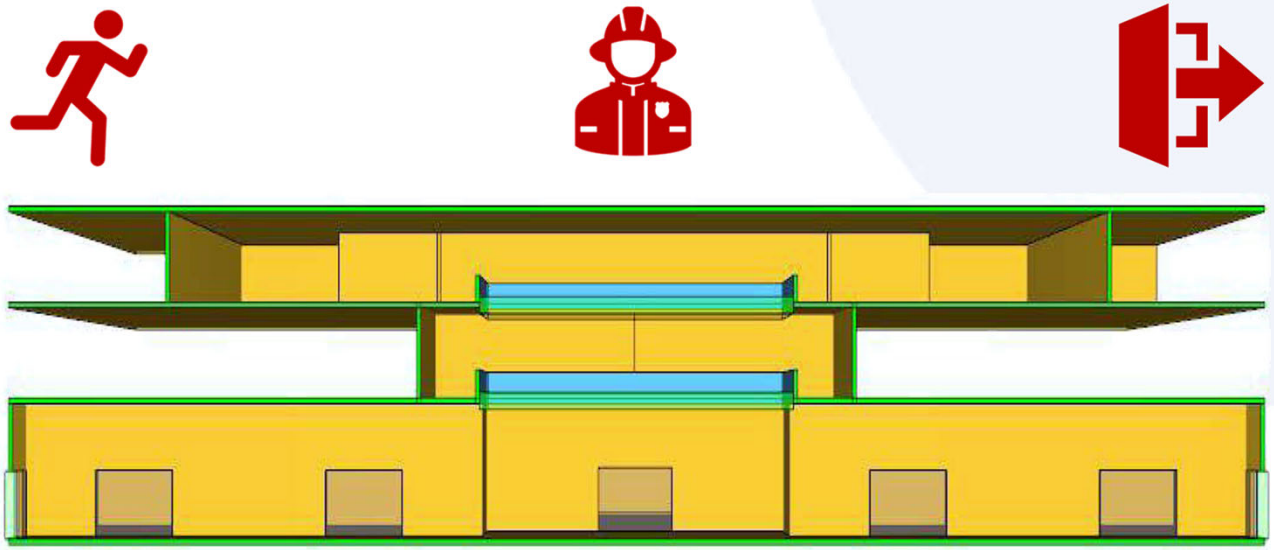
・森林から切り離された安全区画への避難





左図：出入り口付近で出火
右図：建物周囲の森林で出火

Co-living / Co-working Facility



Three-level building

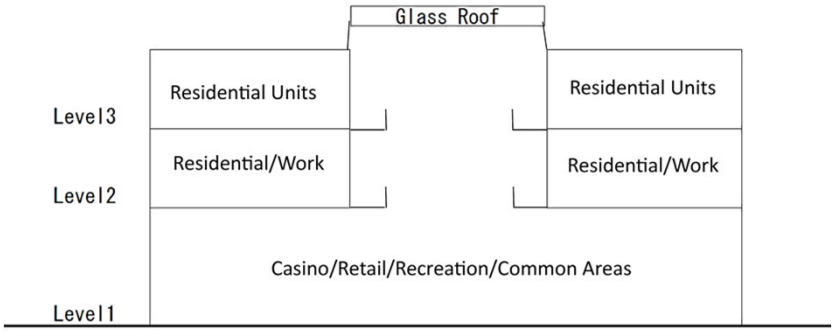
Atrium: **20 x 20 m**

Floor space:
6400m²

● 課題内容

Co-living / Co-working Facilityは、大規模な遠隔地開発プロジェクトの一環として，オフィス・居住施設・カジノを有する物販エリアを含む多目的施設

- 共用エリアをオープンスペースとして利用し、建築材料に可能な限り木材を使用する
- 太陽光発電壁面緑化等のサスティナブル建築化
- 上記の条件を性能設計により達成し、建物利用者数の最大化を図ること
- 安全な場所に到達するまで、火災による負傷から居住者を保護すること
  また、複数の在館者特性を考慮すること



図：課題建物 断面図

他チームのケーススタディ ー　IMFSE Student

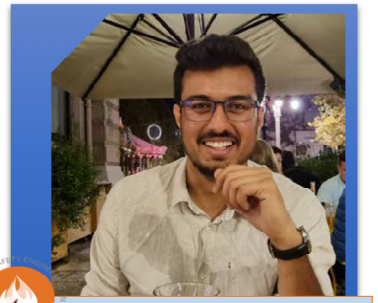
防火の研究・教育を行っている欧州を中心とした8つの大学の学生により構成されているチーム (International Master of Science in Fire Safety Engineering)

Deonisius Aprisa, Cohort 2021 Indonesia

Gizelle Jamero, Cohort 2021 Philippines

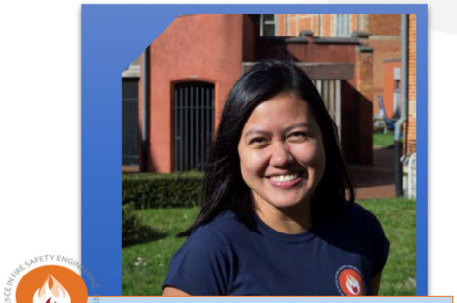
Farith Hinojosa Coca, Cohort 2022 Bolivia

Annachiara Nardone, Cohort 2021 Italy



Ashwant Singh, Cohort 2022 Australia

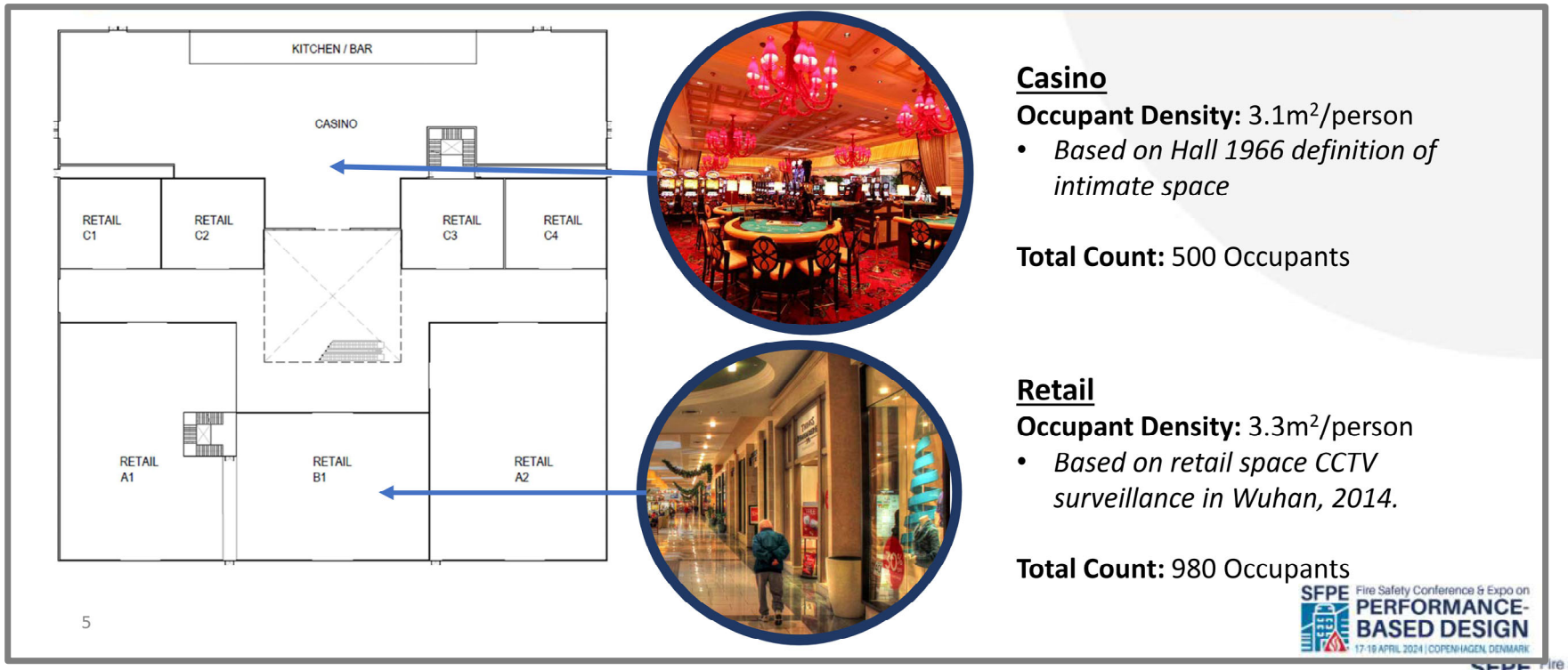
Joshua Teh, Cohort 2021 Malaysia



Vanessa Valdeabella, Cohort 2022 Philippines

発表内容

・課題内容を整理し、大まかな平面計画や性能設計時の設計根拠となる計算、考え方を説明



▲IMFSEの発表スライドの一部

SFPE Fire Safety Conference & Expo on PERFORMANCE-BASED DESIGN
17-19 APRIL 2024 | COPENHAGEN, DENMARK

性能設計の目標

①避難安全性

・煙への暴露を最小限に留め、建物からの避難安全性を確保する

・フラッシュオーバー発生前の火災進展を防ぐための能動的および受動的対策を講じる

②環境対策

・環境負荷低減等を考慮した持続可能な設計案にする

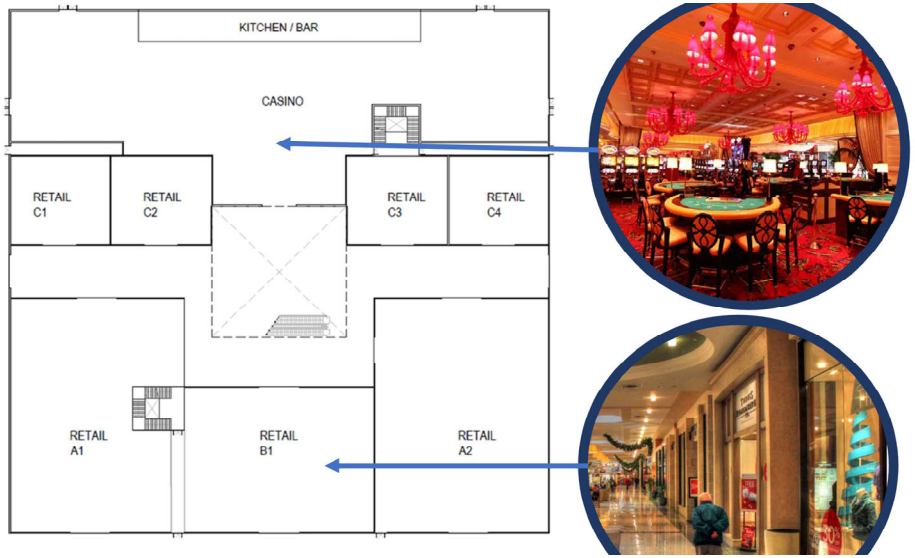
Goals	Stakeholder Objectives	Design Objectives
Life Safety	Maximize tenability condition for occupants	Allow occupants to safely evacuate from the building and minimize their exposure to untenable smoke levels
	Prevent loss of life in the compartment of fire source or any point within the building	Provide active and passive protection to prevent fire development before flashover
Environmental Protection	Maximize utilization of recycled and/or carbon sequestering materials, e.g. mass timber	Incorporate sustainable products in the design
	Prevent loss of material during fire incidents	Provide active and passive protection to prevent fire development before flashover

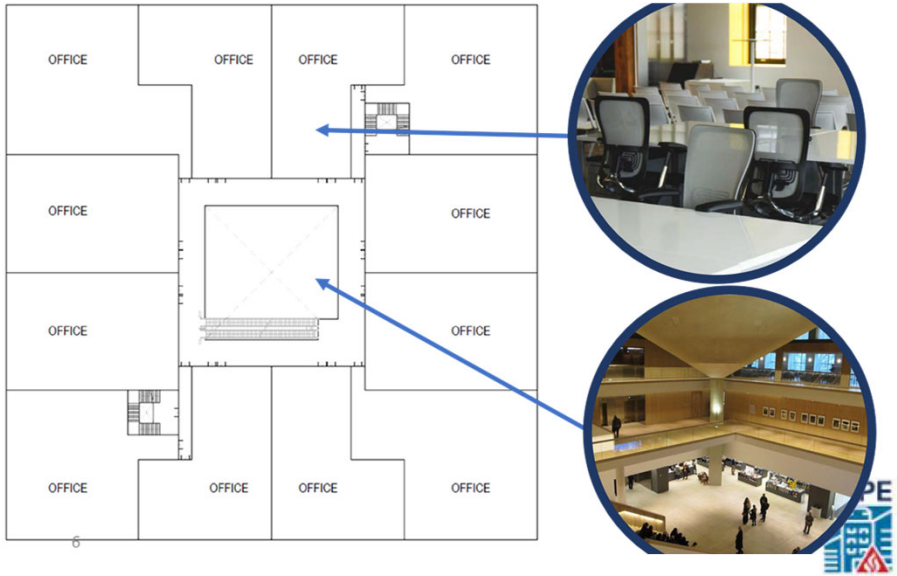
火災シナリオの想定

・カジノ，オフィスなどの火災リスクを検討

・カジノ/キッチン/物販/アトリウムでの出火を想定

No	Location	Fire event	Cause	Probability	Consequence	Risk
1	Casino	Wooden kiosk	Electrical failure or fault	Occasional	Minor	Acceptable risk
2	Casino	Upholstered furniture fire	Nearby electrical failure or arson	Rare	Minor	Acceptable risk
3	Casino	Gambling table fire	Electrical fault or arson	Rare	Minor	Acceptable risk
4	Casino	Slot machines fire	Electrical fault	Rare	Major	Unacceptable risk
5	Office	Notebook computer fire	Thermal runaway	Unlikely	Moderate	Acceptable risk
6	Casino	Bar fire	Electrical failure or fault	Rare	Minor	Acceptable risk
7	Hostel	Kitchen fire	Human error or electrical failure	Occasional	Moderate	Unacceptable risk
8	Retail	Cooking appliance fire	Human error or electrical failure	Occasional	Moderate	Unacceptable risk
9	Atrium	Christmas Tree	Human error or electrical	Rare	Moderate	Unacceptable risk





歩行者属性の検討

Occupant Type	Average	Min	Max	St.Dev	Source
General Population					
Adult	-	1.09	1.35	-	Bangkok CBD pedestrian Observations conducted by Tanaborinoon and Guyano.
Children	-	1.12	1.34	-	
Elderly	-	0.69	0.95	-	
Occupants with Disability					
General Disability	0.81	0.26	1.35	0.38	Five-day centres across the UK, with no aid required from others. Boyce et al.
Wheelchair	0.69	0.13	1.35	0.35	Same day centre dataset, but with focus only on wheelchair users.

性能設計案

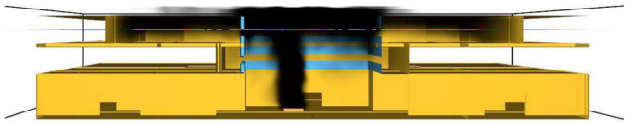
・限界煙層高さを1.8m，避難者の許容熱流束は2 kW/㎡，可視限界距離は10 mが性能設計の条件

・Pathfinderを用いた各居室における避難シミュレーションから避難時間を計算。

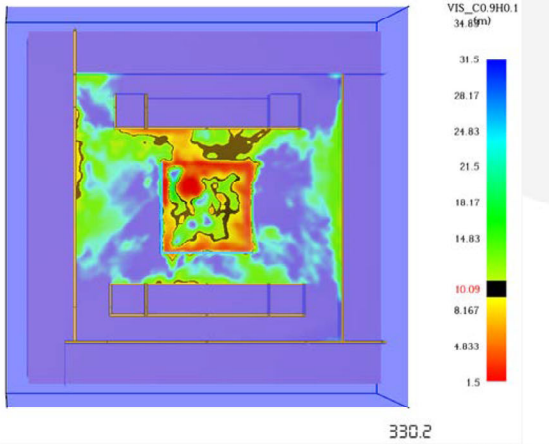
FDSによって把握した火災性状のとの比較を行っていた。

・吹き抜けに対しては、スモークカーテンを設置し区画することで煙の拡散防止を行うなどを推奨していた。

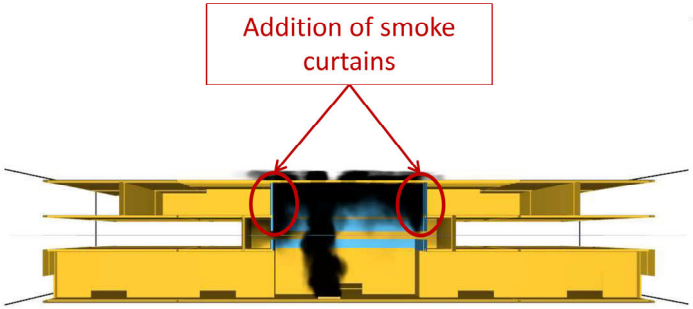
• Atrium fire – Trial 0 (Natural ventilation & down stands)



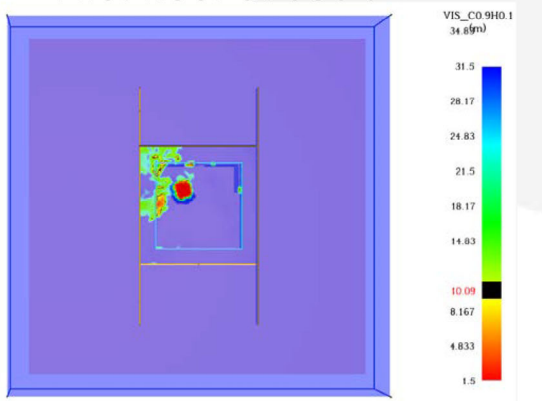
Second floor at 330 s



• Atrium fire – Trial 1



First floor at 380 s



他チームのケーススタディーの総括

■ Forest Tower

本課題で考慮すべき点として、以下のものが考えられる

① 建物周囲で森林火災が発生した場合または、建物での火災が森林に延焼した場合の対応

② 火災による構造崩壊のリスク

③ 既存の避難経路が一つのみ

スイス・UKチームは共に、②崩壊リスク、③避難経路に対する検討は出来ていたが、①森林火災への検討は不十分であった。

■ Co-living / Co- working Facility

本課題で考慮すべき点として、以下のものが考えられる

① 複数の室用途に応じた避難検証

② 中央の吹抜を介した煙被害への対策

③ 壁面緑化といったサスティナブル建築化による火災への影響

IMFSEチームは、①、②に対する検討は出来ていたが、③への検討は不十分であった。