

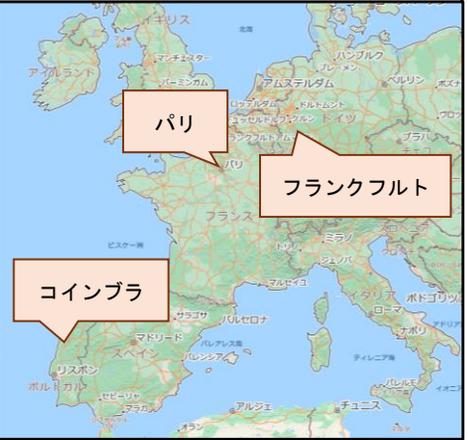
# テーマ名： 脱炭素社会に向けた次世代建築の耐火性能に係る欧州視察

千葉大学：中山征人 齋藤俊輔 堀江萌愛 金田暖可

## 本視察の目的

近年、脱炭素が世界的潮流であり、建築分野においても木材利用が積極的に促進されている。一方で、木材は可燃材料であり、火災安全性の観点から純木質大規模建築の事例は極めて少ない。欧州では、この問題を木材と不燃材料である鉄筋コンクリートを組み合わせた木質ハイブリッド構造で解決する事例が近年多く散見される。我が国でも木質ハイブリッド構造の促進が望まれるが、耐火性能に関する研究事例は未だ乏しく耐火上の課題は未知数である。本視察は、欧州における建築視察を通して木質ハイブリッド構造をはじめとした脱炭素社会に向けた次世代建築に潜在する耐火上の諸課題を発掘し、解決策を思索するに有用な知見を得ることを目的とした。脱炭素社会に向けた建築実例及び火災実例を現地で学び、日本にはない構造耐火や脱炭素に係る技術に触れる経験から、専門とする構造耐火工学分野の今後の研究活動に生かす。

## 旅程

日程	滞在先	視察目的	
6/16-6/18	リスボン	国際学会 (Structure in Fire) への参加	
6/18-6/22	コインブラ		
6/22-6/23	ポルト		
6/23-6/27	パリ (フランス)	木質ハイブリッド建築の視察	
6/27-6/30	フランクフルト (ドイツ)	脱炭素建築の視察	

## 視察建築物 / 視察場所

## Centre Pompidou / Paris in France

### 視察建築物の概要

ポンピドゥーセンターは、1977年に図書館や美術館など多目的商業施設として建設された地上7階の建築物である。建物の外部に露出した配管が機能に応じて配色塗装が異なる特徴的なデザイン(写真1)で、世界でも珍しい水冷式鋼管構造(写真2)を採用した鋼構造建築物である。

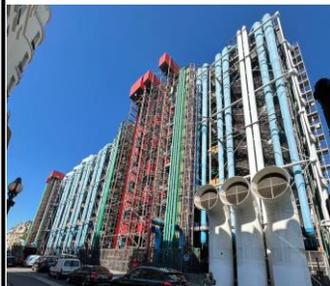


写真 1

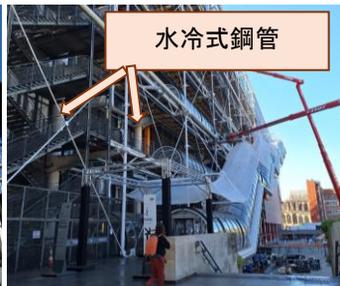


写真 2



## 視察から得た知見・感想

本視察において世界でも珍しい水を鋼管に循環し充填する水冷式鋼管構造の建築物を見学することができた。ポンピドゥーセンターの水冷式鋼管構造は、鋼管の火災時の温度上昇抑制だけでなく、通常時の建物自体の温度を下げる役割も果たしていた。水冷式鋼管構造の耐火に関する研究は日本でも実施されていたが、実証例はほとんどない。日本で水冷式鋼管構造を用いる場合、地震時の鋼管の破損による水漏れなど耐震性能に関する検討が必要となる。水冷式鋼管構造は冷却機能などが必要で導入及び維持費に費用がかかることが問題であり、日本で現状実現するのは難しいこと考える。しかし、水冷式鋼管構造を用いることで耐火性能の向上のみならず、建物自体の温度低下につながるため、脱炭素の観点では有用であると感じた。

# テーマ名： 脱炭素社会に向けた次世代建築の耐火性能に係る欧州視察

千葉大学：中山征人 齋藤俊輔 堀江萌愛 金田暖可

視察建築物 / 視察場所

Notre-Dame of Paris/ Paris in France

## ◆ 建物概要

ノートルダム大聖堂は、1163年からセーヌ川中州にそびえるゴシック様式を代表する建築であり、1991年には、パリのセーヌ河岸として世界遺産にも登録されている。構造の大部分は石造、屋根が木造であり、一種のハイブリッド構造と言える。2019年に大火災が発生し、尖塔など屋根の2/3が焼失し、現在は修復工事(写真1)を行いつつながら、再建過程に係る展示会(写真2)が行われている。



写真 1



写真 2

## ◆ 今後の対策

修復工事の一環として、火災の発生および拡大を防ぐための防火設備を導入することを展示会で示していた(写真3)。以下に、新たに導入する設備をいくつか示す。

### 1. 防火トラス

尖塔の西側・東側に2つの防火トラスを設置し、木造部分を3つのセクションに分割する。これにより、火災が発生した際に火の広がりを制限することができる。

### 2. ミストシステム

火災発生時に煙感知器により作動し、霧を噴射して初期消火を行うことができる。

### 3. 防火管制室

24時間体制の防火管理室が設置する。これにより、建物を常時監視し、火災発生時の即座対応が可能になる。

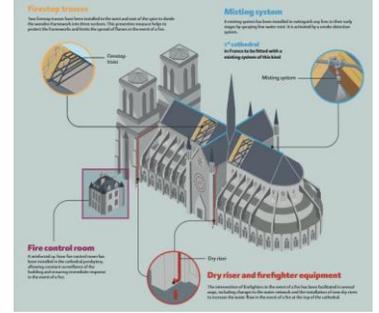


写真 3

視察建築物 / 視察場所

Grand Palais Éphémère/ Paris in France

## ◆ 建物概要

グラン・パレ・エフェメールは、1900年に開催されたパリ万博のために建てられたグラン・パレが改修中に代わりにイベントを開催するために2021年に建てられた木質ハイブリッド構造の建物である(写真4)。面積1万m<sup>2</sup>の建物内には柱がなく、空間を柔軟に利用できる。2024年夏に開催されたパリ五輪では、柔道とレスリングの会場として利用された。エフェメールとは、フランス語で「束の間の」や「儚い」という意味でグランパレの仮設で建てられた。そのため、パリ五輪終了後に解体される予定である(現在、2025年4月以降に解体は延長されている)。



写真 4

## ◆ 持続可能な建築

この建物は、建設して4年で解体されることを前提に建てられている。そのため、木造の骨組み(写真5・6)は全てモジュール化されており、解体後も再利用できるように設計がされている。約2,000m<sup>3</sup>の集成材を使用しており、二酸化炭素排出量が削減されている。アーチ部分の木材は、圧縮加工をしており、使用する木材の質を最小限に抑えられている。

さらに、骨組みは部分ごとに事前に工場で加工・組み立てられているため、現場での組み立て時間は少なく、騒音問題などにも考慮されている。



写真 5



写真 6

## ◆ 視察から得られた知見・感想

◇ノートルダム大聖堂：歴史的な建築物の火災は、日本国内でもいくつか例があり、近年では首里城が例に挙げられる。ノートルダム大聖堂も首里城も明確な出火原因は分かっていないが、共通点として、火災発生時の初期消火が不十分であったことである。ノートルダム大聖堂でも新たに採用するミストシステムなど初期消火が可能な設備を国内の歴史的な建築物には設置する必要があると視察を通して感じた。また、火災拡大を防止する防火トラスは今まで見たことのない対策であった。

◇グラン・パレ・エフェメール：パリ市内にそびえたつ大規模な木質ハイブリッド構造の建築物の見学を行うことができた。数年での解体を前提に設計することは珍しく、そのために解体後の再利用など脱炭素社会に向けた取り組みはとても興味深かった。

また、視察ではパリ五輪に向けた工事がなされており、建物内は見学することができなかつたため耐火性能の把握は厳しかった。

# テーマ名： 脱炭素社会に向けた次世代建築の耐火性能に係る欧州視察

千葉大学：中山征人 齋藤俊輔 堀江萌愛 金田暖可

## コメルツ銀行タワー

### <概要>

建物断面が正三角形の、欧州連合で2番目に高い超高層オフィスビル。三角形の頂点の位置にあるコアが構造を支え、内部に巨大なアトリウム空間を有する。アトリウムには3種類の庭園を備え、オフィスにリラックス空間を提供している。

### <環境への配慮>

コメルツ銀行タワーは自然照明と換気システムが特徴の建築である。建物中央に高さ160mの大きなアトリウム空間が存在し、すべてのオフィスに自然光が取り入れられるよう設計されている。このアトリウムは採光上の利点のみならず自然換気を行うための煙突のような役割を果たしており（図2）、アトリウムを通じて各階の空気が換気されている。このオフィスビルでは年間約85%の換気がこの自然換気により行われており、更にはエネルギー消費量が従来のオフィスビルの半分程度まで抑えられている。

### <火災への対策>

内部のアトリウムは同時に、火災時には煙や炎の通り道となりうる。この縦穴区画の火災時の隔離は非常に重要である。コメルツ銀行タワーのアトリウムは、いくつかの階層ごとにガラスによって区切られていた。日本の建築基準法を参考とすると、水平方向の大きさが非常に大きいことから、排煙設備等の条件を整えることで延焼の危険性を押さえることができていると推測される。天井にはスプリンクラーや火災報知器のようなものが設置されている様子も見られた（写真2）。



写真2. コメルツ銀行タワー  
（エントランス、天井付近）



写真3. コメルツ銀行タワー  
（レストラン）

## マインタワー

### <概要>

ヨーロッパで初めて全面ガラスのファサードを採用した高層ビル。2021年LEEDゴールド認証認定。

### <環境への配慮>

高性能な冷暖房設備を備え、それらを一定の区画ごとに個別で制御し、従来から消費をおよそ30%削減した。

また全面ガラスのファサードは採光としての機能のほか、一つ一つの窓が個別に開く仕様となっており、換気をサポートしている。さらにこの窓は自動制御により風速70km/hを超えるか気温が5度以下となると自動で閉まる。

コメルツ銀行タワーがアトリウムを中心とした大胆な空間配置によるエネルギー削減を行ったのに対し、マインタワーは高性能な設備を利用したエネルギーの削減を行っている。



写真1. マインタワー  
（外観）

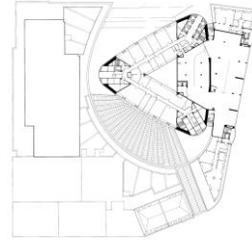
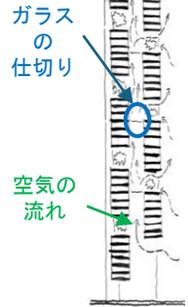


図1. コメルツ銀行タワー  
（平面図）



写真1. コメルツ銀行タワー  
（アトリウム、真下から）



ガラスの仕切り  
空気の流れ

図2. アトリウムを中心とした空気の流れ

## 視察で見られた環境対策の日本への適用

ドイツで行われている環境対策を日本にそのまま適用することは難しい。その理由は主に二つある。

一つ目の理由は要求される耐震性能の違いである。ドイツでは地震が殆ど発生しないため、耐震性能に設計や技術的リソースを割く必要が殆どない。一方日本ではまずもって耐震性能が重要となる。コメルツ銀行タワーでの大規模なアトリウム空間（すなわち中空状態）を高層建築で実現するにはそれを支えるための構造支柱が必要となるが、そのために必要な柱の断面サイズが日本とドイツでは大きく異なる。またアトリウムを仕切る中間層のガラスの仕切りもまた地震時の変形により破損しないよう設計する必要があり、ドイツにおける設計よりも実現のハードルが高い。

二つ目の理由は日本とドイツの気候の違いである。気象庁が公開しているフランクフルトと東京の月平均気温と降水量のデータによれば、特に暑い7月から9月にかけて東京の平均気温はフランクフルトよりも5度以上高い。また降水量が多く多湿で、自然換気を行うと家内環境が悪化する恐れがある。実際6月に行った視察では東京に比べ空気が乾燥し気温が低かった（そのため服装には十分注意する必要があった）。特に夕方から朝にかけては大変涼しく、日本の気候とは全く異なるものであった。

このように日本とドイツ（欧州）では建築に求められる性能に大きな差があり、日本において適用するには十分な検証と注意が必要であると感じられた。

一方で日本でも、マインタワーのような設備的なアプローチは十分適用可能であると推測された。

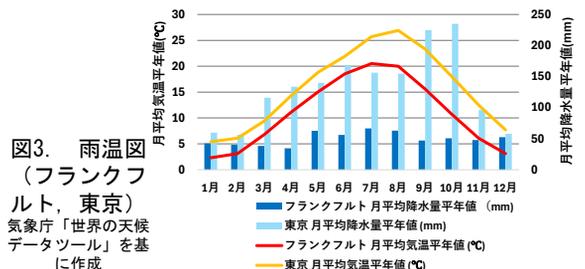


図3. 雨温図  
（フランクフルト、東京）  
気象庁「世界の天候データツール」を基に作成

# テーマ名： 脱炭素社会に向けた次世代建築の耐火性能に係る欧州視察

千葉大学：中山征人 齋藤俊輔 堀江萌愛 金田暖可

## Structure in Fire

2024年6月19日～6月21日にコインブラで開催されたSIF2024 (13 th International Conference on Structures in Fire) の学術大会に参加し、口頭発表を行った。

ドリフトピン接合部を有する実大木質フレームの耐火性能に係る数値解析  
中山 征人

今回のSIFの木質構造セッションでは、区画火災・火災伝播に代表される火災科学に関する話題や基礎研究が発表の多くを占め、むしろ実務の観点に基づいた実大構造に関する自身の研究成果は、国際的にもポテンシャルは高いと想像された。木質構造の大規模化がグローバルな潮流になりつつある中、実大実験を安全かつ精確に実施し得る施設とノウハウが為す我が国の研究成果は対外的に一層アピールされるべきであるし、研究を志す者としてその一翼を担っていく所存である。他方、小生にとっては自身の研究内容とその重要性を100%英語で表現するにはまだ場数が不足していることを痛感した。今回が自身にとって四度目の国際会議であり、これまでの辛苦を以て、現在一念発起してオーストラリアに留学中である。自身が専門としてきた耐火構造とは打って変わって、火災力学と数値解析とそれから高速で繰り出される英語にもまれる日々を過ごしている。海外の研究動向を知り、自身の研究の方向性と可能性に気づけた点で、大変有意義な国際学会であった。

構造用集成材ドリフトピン接合部の高温時支圧強度  
齋藤 俊輔

国際学会に初めて参加し、海外の研究者たちと交流することで、自分自身の研究者としての意識が向上したと感じる。現在、建築物への木材利用の需要は世界的に高くなっている。そのため、木材部門は様々な研究が報告されており、とても興味深かった。そのほかにも、火災に関する様々なテーマの研究が発表されており、車を燃やしている実験などもあり、とても面白かった。自分自身の発表に関しては、初めて英語で発表することもあり、とても難しく感じた。今後、私は民間企業でも研究職につき、研究を行っていくため、さらなる努力をし、国際会議に積極的に参加したいと思っている。



デッキ合成スラブのメンブレン作用に関する検討  
堀江 萌愛

今回初めて国際学会に参加し、様々な材料における耐火性能に関する研究を聞いた。現在私が検討対象としているコンクリート材料における研究では、コンクリートの付着に関する研究が多い印象を受けた。日本では耐火に関して、脱炭素のコンクリートや高強度のコンクリートの研究を聞く機会はありますが、付着はほとんど聞いたことがなかったため、必要とされる研究に関して国による違いを知ることができた。発表者の方と交流する機会も多く、日本との博士後期への進学率の違いも感じた。

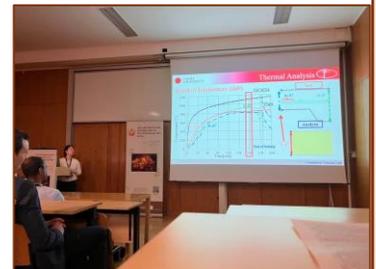
発表では、関連する分野の方と交流する機会があり意見交換から知見を深めることができたが、英語での内容発表は難しく今後も更なる努力が必要であると感じた。



デッキ合成スラブのメンブレン作用に関する解析的検討  
金田 暖可

初めて国際学会参加し、多くの火災に関する研究を聞いた。日本では殆ど耳にしないうような分野の研究も多く、自身の研究に対する視野も広げることができた。私の研究対象は解析ソフトSAFIRを使用したコンクリートスラブの解析だが、今回聞いた研究の中には同じくSAFIRを使用した空港火災に関する研究があり、大変興味深かった。また、解析におけるデータの入力やモデリングの手法が日本とは異なるものが多く、今後の研究への参考となるものが多くあった。

発表においては、発表準備を普段よりも入念に行ったが不足も多く、思うように自身の研究を伝えられなかった点が悔やまれる。専門性の高い内容を含んだ英語力の向上が今後の課題である。



## 今回の研究を通して

脱炭素社会に対する次世代建築の調査から耐火性の諸課題を検討した。日本と比較して環境意識の違いを把握することができた。脱炭素に向けた建築として欧州の建物は先進的であり、欧州では建物全体として、脱炭素を実現するために計画段階から取り組まれている印象であった。欧州はパッシブデザインであるのに対し、日本はアクティブデザインである違いが顕著にみられた。日本においてこのパッシブデザインを取り入れていくことで、更なる脱炭素建築に繋がると考えた。本視察では、火災が発生した歴史的建築物や木質ハイブリッド建築物の視察を行った。そこから、様々な火災に対する施策の知見を得た。日本においても、歴史ある木材建築物が残っており、対策として取り組む必要があると感じた。調査を通して、気づいた意識の違いを研究者として今後の研究に取り入れていきたい。