（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

令和　5　年度　海外派遣研究員研究報告書

令和　5 年　9 月　30 日

日本大学理事長　　殿
日 本 大 学 学 長　　殿

所　　属　　理工　学部（理工学研究所）
資格・氏名　　教授　宮里直也
■本報告書の内容を公表することは了承しております。
（公表可の場合，チェック■すること）

令和 5 年度海外派遣研究員（ 短期 B ）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

1　区　　分　　短期 B
2　研 究 課 題

空間構造デザインに関する調査

3　派 遣 期 間　　西暦　2023 年　8 月　11 日　～　2023 年　8 月　25 日
4　派　遣　先　　台湾・シンガポール・中国
5　研 究 目 的

近年、空間構造デザインの分野においては基布を有さない透明なフィルム膜を用いた建物が、海外での膜構造建物において積極的に利用されている現状がある。一方、国内ではその利用に向けた告示等が整備されたにも関わらず、数件程度の事例を除いて未だ普及する兆しが見られないのが現状である。

このため国内での利用、普及が進まない原因について、海外での先行事例の調査を通じて、分析と課題の整理を行う。それらを通じて、国内での空間構造デザインの分野における ETFE フィルム膜の利用、普及に向けて有用な知見を得ることを目的とする。

（ 様式D-２ ）

６　研 究 概 要

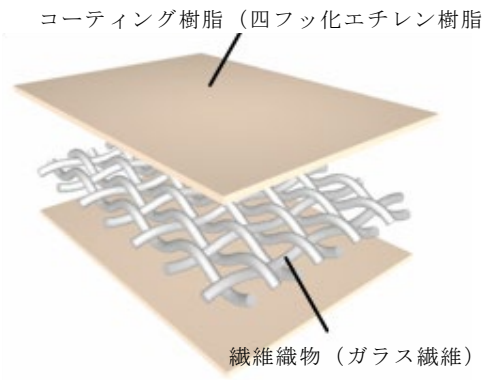


図１　PTEF 膜：四フッ化エチレン樹脂コーティング膜



図２　エデン・プロジェクト（イギリス）



図４　ウォーター・キューブ（中国）

図３　アリアンツ・アレーナ（ドイツ）



<u>はじめに</u>

2000 年代に入り、これまでのガラス繊維の基布の表面をコーティングした膜材（東京ドームの屋根で利用されている PTEF 膜：四フッ化エチレン樹脂コーティング膜（図 1））などと異なり、基布を有さない透明な ETFE フィルム膜（ETFE：Ethylene Tetra Fluoro Ethylen フッ素樹脂の 1 つで、テトラフルオロエチレンとエチレンの共重合）が建築向けに開発、製品化され、建築物への適用が始まった。海外では、それまでの膜構造建物に代わるもの、またはガラスのファサードやガラスで覆う屋根のガラスに代わる新たな選択肢として、積極的に利用されている材料であり、その事例（図 2～4）も多種多様で数多く見られる。一方、国内ではその利用に向けた告示が 2017 年（平成 29 年）6 月に整備され、7 年を経過したところである。しかし、国内では大規模な建設事例としては数件のみ、仮設的な利用が数件、小規模なものが幾つかといった程度であり、未だ海外と比較して、その普及の歩みが遅いのが現状である。

告示が制定される以前から、国内での普及を見越して ETFE フィルムを用いた構造システムの研究をこれまで進めているものの、その検討モデルは基本的なシステムや材料試験に限られている。国内での普及のためには、適用事例が多く、利用方法、構造システムが多岐にわたる海外事例について調査を行い、普及が進まない原因について、分析と対策を行うと共に、研究対象モデルを広げる必要があると考えている。このため、本調査研究においては、近年、海外に建設された透明な ETFE フィルム膜を用いている特徴的な膜構造建物を中心として、従来の PTFE 膜や他の材料で覆われた大空間建築、いわゆる空間構造デザイン建物の調査を行う。

調査にあたっては、特に ETFE フィルムがどのような用途（シーン）で利用されているのかを把握し、また EFTE フィルムの構造システムや、それらを支える支持架構及びディテールについて確認を行う。さらに ETFE フィルムの製作工場の視察を通じて、製作方法を理解すると共に、その課題についても把握を行う。

７　研究結果・成果

海外の ETFE フィルムを用いた建築の状況

日本に気候環境が比較的近い地域として、台湾・台北の状況を図 5 に示す。湿度が高く、雨量も多い地域であるためか、PTFE 膜、透明フィルムも含めて、その事例はそれほど多くない状況であった。また、室内外の温度差の影響で結露が発生しやすく、維持管理が難しいことも原因と推察される。ただし、日除けを目的とした、いわゆるオーニング膜としての事例が幾つか見られ、メッシュ膜が利用されていることは注目される点である。メッシュについては、近年、ドバイ万博のメインドームや FIFA ワールドカップ 2022 カタールで建設されたサッカースタジアムでも利用され、海外では ETFE に代わる新しい材料として、今、最も注目されている材料である。このメッシュ材料については、後述する中国・上海の膜製作工場でも大規模な案件を加工、製作中であった。しかし、ETFE フィルムが国内で利用できるようになるための告示の制定までの長期の時間を考えると、このメッシュ膜の国内普及が、また海外に大きく遅れをとることが危惧される。



図 5　台湾・台北の膜構造の事例（左から仮設テント、PTFE 膜パビリオン、メッシュ膜のオーニング）

次にシンガポールの状況を図 6 に示す。シンガポールは、ほぼ赤道直下のため日差しが強く、四季のない熱帯性モンスーン気候で、スコールも多く、高温多湿な地域である。突然のスコール対策のためか、ETFE フィルムが用いられた事例として、建物と建物の間の半屋外空間を覆う屋根やキャノピーなどが多数存在した。ETFE フィルムの形式は、クッションタイプ（フィルムを複数枚重ねて、その間に空気を送りクッション状に膨らませた二重空気膜構造）が多く、一枚のシングルタイプ（フィルム膜面に張力を入れて、ケーブル等で補強しながら荷重に抵抗する形式）での利用は少なかった。また日差しが強い地域で遮光を目的としたフィルムへのプリントが多いことも特徴的であり、その柄も通常のドット・プリントのみならず、葉模様のプリント事例もみられるなど、多様なプリントが可能な装飾性、デザイン性も ETFE フィルム建築の魅力の一つであると考える。なお、外壁 3 面をすべて FTFE フィルム（クッションタイプ）で覆ったベンデ

〔７　研究結果・成果（つづき）〕

ィングマシーンと呼ばれる建物は、「透明建築＝ガラスファサード」という概念を打ち破る好事例で、ガラスに比べると圧倒的に軽量な ETFE フィルムを利用することで、建物の軽量化も含めて非常にメリットもあり、特に地震大国の日本では、軽量化はメリットが大きいため、国内での普及にも期待したい。なお、ETFE フィルムはプロジェクションが可能なスクリーンとしてもそのまま機能する材料であるため、夜間の演出なども踏まえて、同様な事例が今後も普及するのではないかと考える。



図 6　シンガポールの膜構造の事例

（左上：葉模様がプリントされた ETFE フィルム。

左下：外装材に ETFE フィルム膜を用いたベンディングマシーン。その他：キャノピーなどの事例）

中国・香港において、建設中のカイタック・スポーツパーク、香港・ジョッキークラブを視察して、可動建築に関する事例調査を行った。可動屋根部分の重量やレールの角度、開閉させる機構の関係を踏まえると、軽量な膜構造での適用性、有用性が高いことが把握された。また、開閉機構を有することは、太陽光を取り込むことでの天然芝の育成に加え、雨天時も含めたイベントの開催や多用途での利用で、稼働率、収益性を高められる可動建築の利点についても把握することができた。

中国・上海において、PTFE 膜、ETFE フィルム膜の製作工場の視察・調査を行った。現在進行中のプロジェクトの ETFE フィルム膜の製作工程を、実際に確認することができた。ETFE フィルムの材料受入、保管、裁断、溶着、付属品加工、梱包、出荷、など一連の工程及びその品質管理体制を確認できた。国内での普及に向けては、これらの実際の製作に関する技術力の向上も、今後の課題の一つであることが認識できた。

おわりに

本研究では、実際に建設された事例調査及び工場視察等を通じて、ETFE フィルム膜を用いた構造システムについて、様々な特徴を理解し、その課題を整理することができ、国内での普及に向けて貴重な、有用な、知見を得ることができた。

以　　上