

住宅・建築関連先導技術開発助成事業費補助金技術開発報告書

「環境に貢献する膜構造の技術開発」

技術開発期間：平成 19 年度 ～ 平成 21 年度

平成 23 年 2 月

社団法人日本膜構造協会（会長 石井一夫）

明治大学（理工学部建築学科・教授 酒井孝司）

横浜国立大学（大学院工学研究院・准教授 河端昌也）

5章	膜材料の熱物性値の明確化	145
5.1	物性値調査	147
5.2	各種膜材料の日射遮蔽性能	149
5.3	膜材料の熱性能特性の検討	153
5.4	まとめ	163
6章	膜構造の環境クライテリア	165
6.1	CASBEE 評価との対応	167
6.2	膜構造の環境クライテリアの検討	173
6.3	膜構造の環境クライテリアの提案	179
6.4	まとめ	184
7章	結論	185
7.1	平成 19 年度の技術開発・研究成果	187
7.2	平成 20 年度の技術開発・研究成果	191
7.3	平成 21 年度の技術開発・研究成果	195
7.4	技術開発成果の実用化・市場化の見通し	199
	参考文献	201

第 1 章 緒言

1. 緒言

1.1 技術開発・研究の背景

都市の人工被覆(建物・舗装面等)は、日射を吸収・蓄熱して高温となり、夜間に大気へ顕熱を放出することが確認されている¹⁾²⁾。人工被覆が集約的に存在する都市部では、この現象が顕著となり、人工排熱の増加も伴ってヒートアイランド現象が顕著となっている³⁾。図 1-1-1 は、東京における熱帯夜および冬日日数の推移である⁴⁾。第二次大戦後頃を境に、熱帯夜は増加しつづけている。このような状況は持続不可能であり、早急に対策を講じる必要があるだろう。

人工被覆の高温化緩和手法として、表面の緑化や、保水性、日射反射性の向上が考えられ、建物・駐車場の緑化や、保水性舗装、高日射反射塗料に関する研究が多くなされている^{5)~8)}。ドーム等の屋根に用いられる白色の膜材料も、高反射率塗料と同等の日射反射性能を有しており、ヒートアイランド現象の緩和に貢献可能と期待されている⁹⁾。

屋根や外壁に膜材料を用いた膜構造建築物は、博覧会のパビリオンやテント等の仮設建築から、東京ドームに代表される恒久的建築まで、多くの建設例¹²⁾がある(図 1-1-2)。膜構造の特徴として、膜が薄く軽い材料であるため大架構化が可能であること、光を透過するため昼光利用が可能であること等が挙げられる。ドーム等の大空間では大スパンの確保や昼光利用を目的に、多目的娯楽施設や駅等の半屋外空間では解放的空間の演出や雨除け・照明負荷削減を目的に膜構造が採用される場合が多い¹³⁾。これらの膜構造で採用されている膜材料の多くは、汚れの付着を防ぐ目的で膜表面にフッ素樹脂や酸化チタン光触媒がコーティングされている¹⁴⁾。コーティングの防汚性が高いことから、恒久的建築においても白色に近い膜材の使用が増加している。上述のように、膜材料への要求性能は、雨除けや透光性が主であるが、白色膜材料の日射反射率は70~80%程度¹⁵⁾であるため、高日射反射材料(クールルーフ)の一つとも考えることができるだろう(図 1-1-3)。

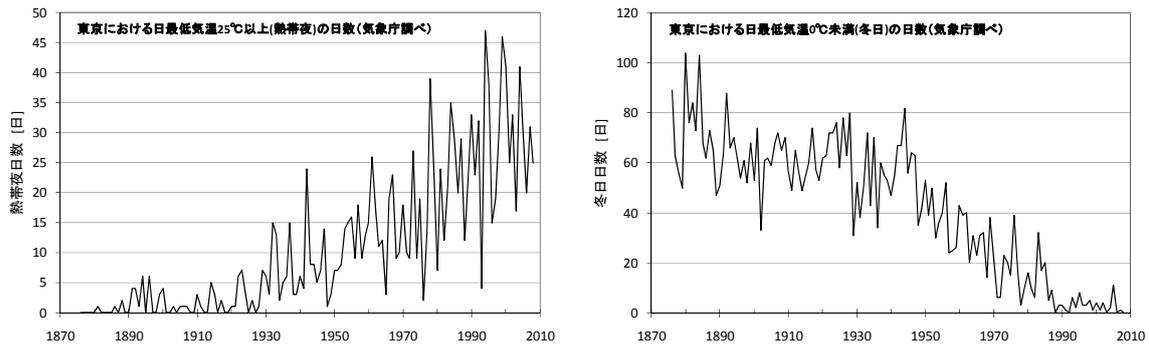


図 1-1-1 東京における熱帯夜・冬日日数の推移⁴⁾



図 1-1-2 膜構造建築の例(二重空気膜を採用した運動場)¹³⁾

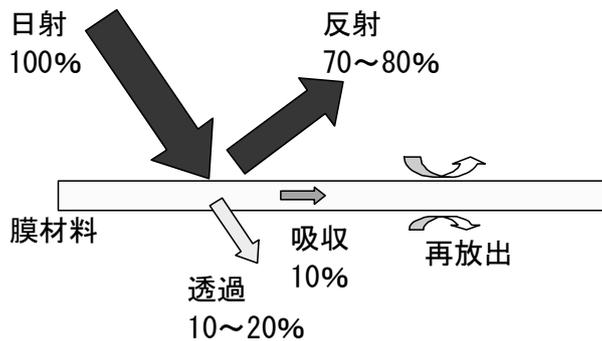


図 1-1-3 膜材料の日射反射特性の模式図⁹⁾



図 1-1-4 膜材料を用いた日射遮蔽の例(オランダ)

建築の窓面からの日射熱取得は、冷房負荷に対して大きな割合を占めており、窓面での日射遮蔽は最も有効なパッシブクーリング、省エネルギー手法の一つといえよう。窓面における日射遮蔽手法としては、窓面の外側に遮蔽物を設置する方法が効果的であることが知られており¹⁶⁾、膜材料を設置するオーニングが代表例として挙げられる(図 1.4)。近年のガラスを多用した事務所ビルのパリメータでは、冬季日中でも日射侵入による冷房負荷が発生することが知られており、年間を通した日射遮蔽対策を講じることが重要となっている¹⁷⁾。窓面以外の外壁面に入射した日射は、外壁表面で蓄熱され、冷房負荷のみならず、外気を暖めることになる。従って、外壁面についても日射遮蔽を行えば、省エネルギーやヒートアイランド現象の緩和が可能と考えられる。

夏期日中の屋外、例えば、歩道やグラウンド、駅のホーム等では、人体が高温下で日射に暴露される。建物や舗装等の人工被覆と同様に、人体も日射を吸収して高温となり、熱中症等を引き起こす原因の一つとなっている¹⁸⁾。現在進行している高齢化問題と相まって、屋外歩行空間に対する日射遮蔽も今後の重要な課題と考えられる。膜材料を用いた日射遮蔽として、古くは古代ローマのコロッセウムの観客席に天幕が用いられた例があり、古典的な熱環境改善手法の一つといえよう¹⁹⁾。

1.2 技術開発・研究の目的

膜構造は、教育施設、スポーツ施設、交通施設等で多用されているが、昼間は照明が不要であり、暖房もほとんど必要としない点、また夏期も、換気等の設計を工夫することにより冷房せずに使用している例があること等を考慮すると、決ずしもエネルギー多消費型の構造方法ではないことが分かる。

膜材料は、厚さわずか1ミリ前後であることから、熱貫流抵抗が小さく、省エネ的でないとい断されてきたが、熱線反射塗料が実用化されており、膜材料についても熱線反射性能の高いコーティング材の開発が望まれている。或いは、透光性を保ちながら熱貫流抵抗の大きい膜材料も、開発する価値のあるものである。更に、これらの「スーパー膜材料」の特徴を生かす建築物の計画・設計手法の開発も並行的に進める必要がある。

また、これらの技術開発を正しく評価するためには、その省エネ効果を実用に即した形で定量的に把握する必要がある。そこで、社団法人日本膜構造協会を中心として、明治大学、横浜国立大学と膜関連企業の参画のもと、環境貢献膜研究会を発足した。また、国土交通省の住宅・建築関連先導技術開発助成事業費補助金に申請し、平成19~21年度に助成を受けて、技術開発・研究を遂行した。

環境貢献膜研究会では、上述した膜の特性と膜材料の諸性能を基に、スーパー膜材料と呼ぶに値する性能を抽出し、以下の目標設定を行っている。

スローガン：明るく涼しい膜構造で地球温暖化の抑制を

目 標：環境負荷低減可能なスーパー膜材料の開発

- ・ ヒートアイランド現象の緩和効果を有する膜材料
- ・ 暖房負荷を低減可能な高断熱膜（熱貫流抵抗が現状の2倍の膜材料）
- ・ 透光性を持ち照明負荷を削減可能な二重膜構造
- ・ 都市・建物への日射を遮蔽する外皮膜構造

1.3 技術開発・研究の方法

環境貢献膜研究会では、前節の目標を達成するため、環境に貢献する膜構造の開発を目的に、膜構造の環境性能の把握、環境クライテリアの明確化、建築物のエネルギー負荷を削減できる断熱性能の高い膜材料の検討、建築物外皮として利用した際の日射遮蔽効果・ヒートアイランド抑制効果の把握について順次検討を行った。検討項目を以下に示す。

1)平成 19 年度の技術開発・研究項目

- 膜の熱性能評価方法の検討
- 膜材料の熱性能把握
- 小型モデルによる温熱環境改善効果の検証

2)平成 20 年度の技術開発・研究項目

- 建物外皮膜の日射遮蔽効果の検証
- 膜構造の多重膜化による断熱性能向上効果の検証
- 熱負荷解析による膜構造建物の年間冷暖房負荷の試算
- 膜構造の環境性能の明確化に関する検討

3)平成 21 年度に行う技術開発

- 膜構造の多重膜化による断熱性能向上効果の検証
- 膜構造の照明負荷削減効果の検証
- 外皮膜を設置した仮設建物における冷房消費エネルギー削減効果の実測
- 外皮膜を設置した建物の年間冷暖房負荷および CO₂ 削減効果の予測
- 膜構造の環境性能の明確化に関する検討
- 日射制御膜の材料および構法に関する検討
- ETFE フィルムによる日射制御膜の遮蔽効果の検討
- 環境貢献膜構造の普及展開方策の検討

本報告書では、国土交通省の住宅・建築関連先導技術開発助成事業費補助金の助成を受けて行った技術開発・研究の成果を、項目毎にまとめて報告する。