

# 放射加熱・冷却を両立する透明な 波長選択性熱放射フィルムの開発

新潟大学 工学部 工学科 機械システム工学プログラム  
准教授 櫻井 篤

2025年9月25日

## 従来技術とその問題点1

熱ふく射制御材料は、主に金属薄膜や誘電体多層膜を用いた不透明構造であることが多い

→ 中赤外域では高放射率だが、可視光を遮断するため建築用窓や車載ガラス用途には適していない

## 従来技術とその問題点2

透明導電膜（FTO, ITOなど）は可視光透過＋通電加熱が可能

→ しかし 熱ふく射スペクトルを積極的に制御する技術は  
ほとんどない

## 従来技術とその問題点3

放射冷却技術も近年注目されている

→ 白色塗料や不透明メタサーフェスが主体で透明性を必要とする窓用途などには適用できない

**「透明性」と「波長選択的熱ふく射制御」の両立が未解決**

# 新技術の特徴・従来技術との比較1

## 新技術の概要

- FTO（フッ素ドープ酸化スズと $\text{SnO}_2$ を積層した透明多層膜
- 光干渉を利用し中赤外域（約 $8\mu\text{m}$ ）で放射率を選択的に増強
- 可視光を透過しながら，熱ふく射を制御できる機能性材料

# 新技術の特徴・従来技術との比較2

## 製造方法の特徴

- スプレー熱分解法（SPD法）による成膜
- 真空装置を必要とせず大気圧下で低コストかつ短時間で製造が可能である
- 大面積化や量産にも適する

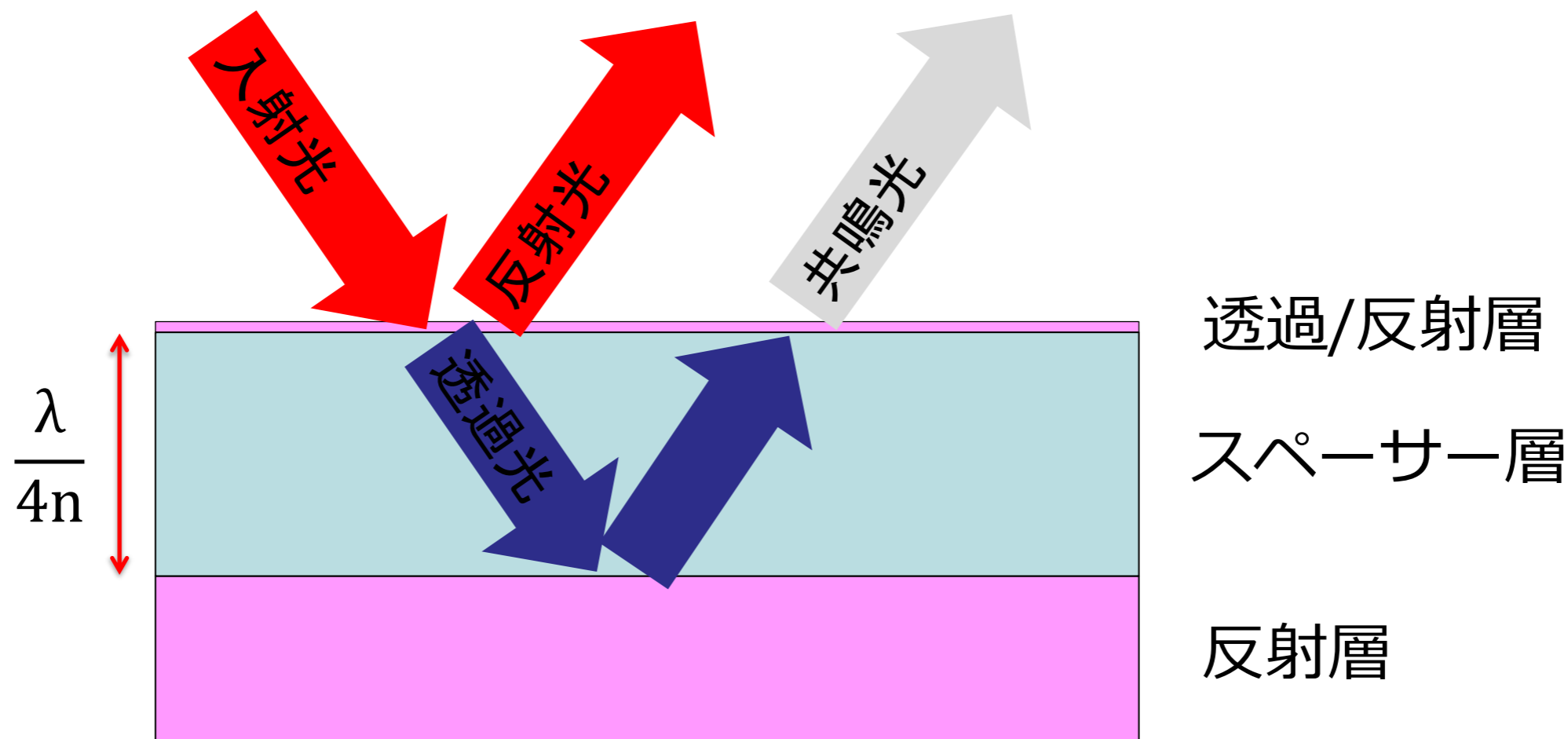
# 新技術の特徴・従来技術との比較3

## 従来技術との違い

金属膜や誘電体多層膜は不透明で可視光を遮断してしまう

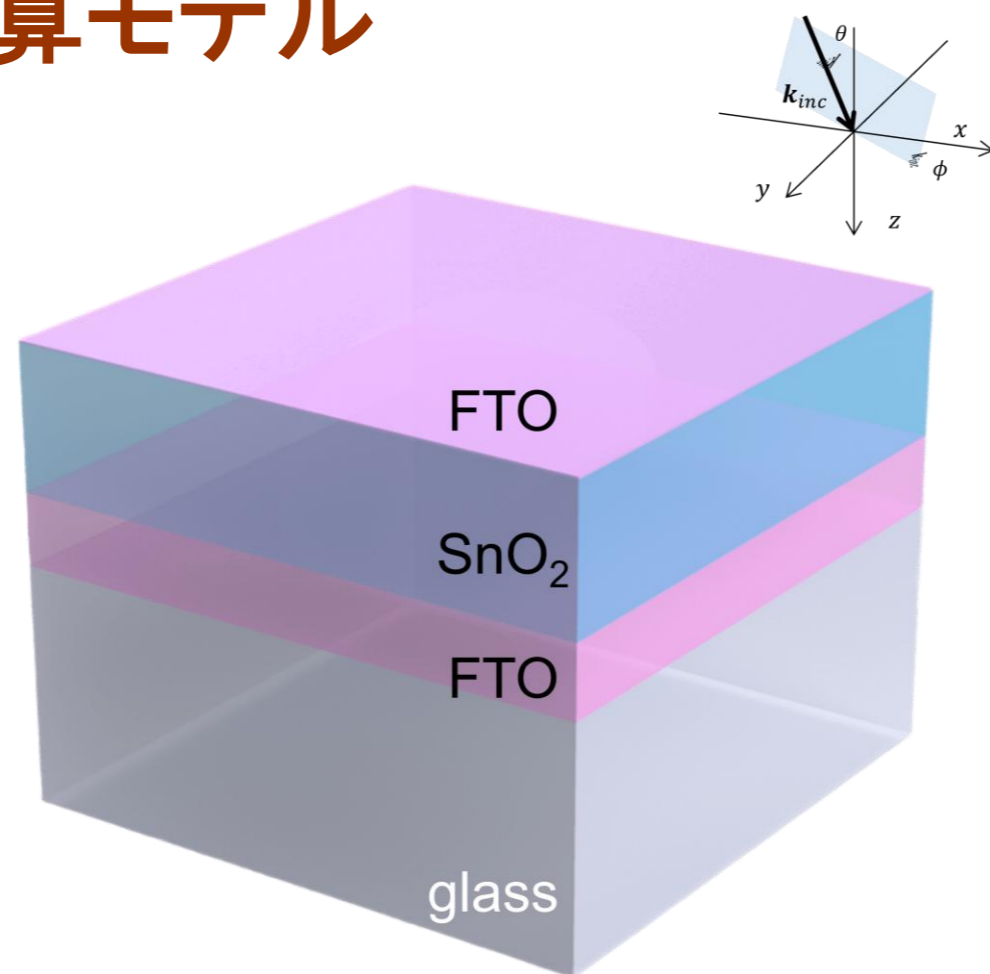
→ 本技術は透明性を保ちながら放射特性を設計可能である

## 多層構造による赤外光の吸収原理



スペーサー層の厚さを制御することで、波長選択性熱ふく射が可能

# 構造の詳細と計算モデル

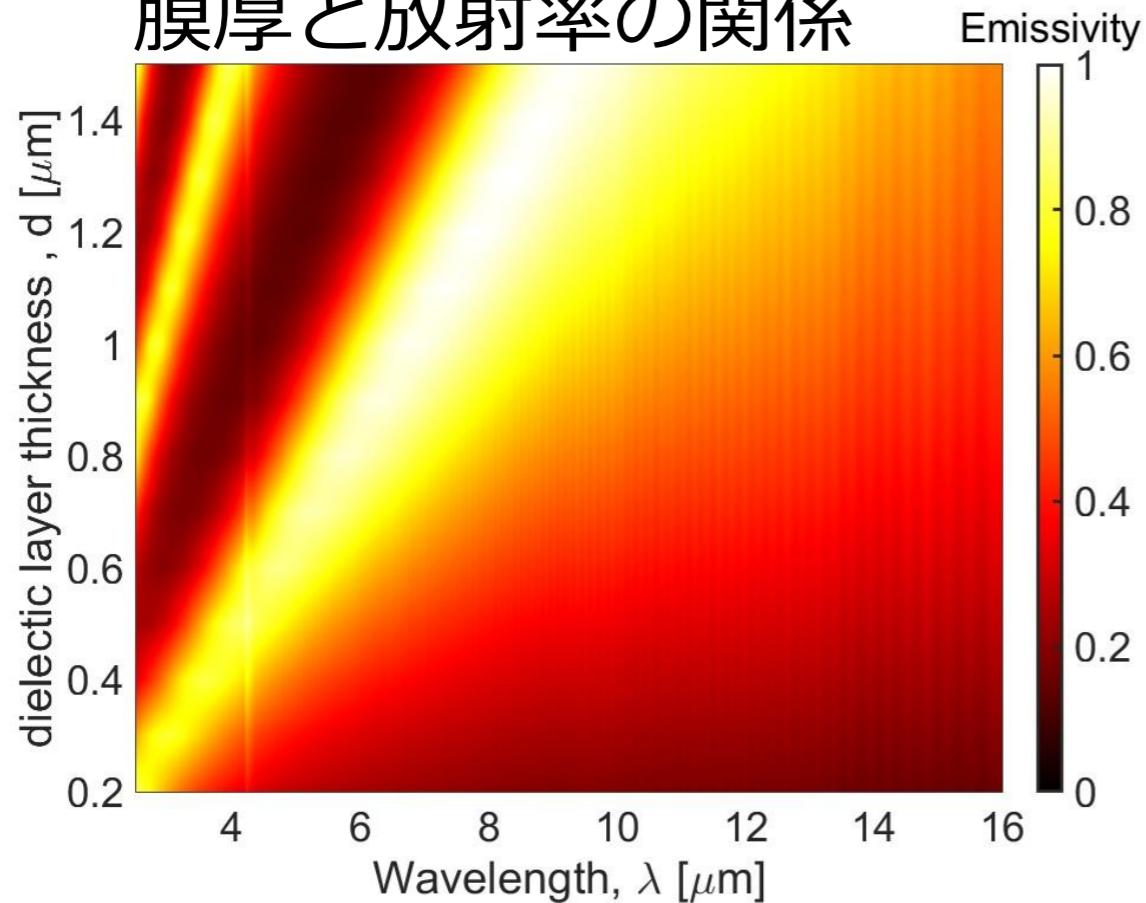


透過/反射層：FTO  
スパーサー層：SnO<sub>2</sub>  
反射層：FTO

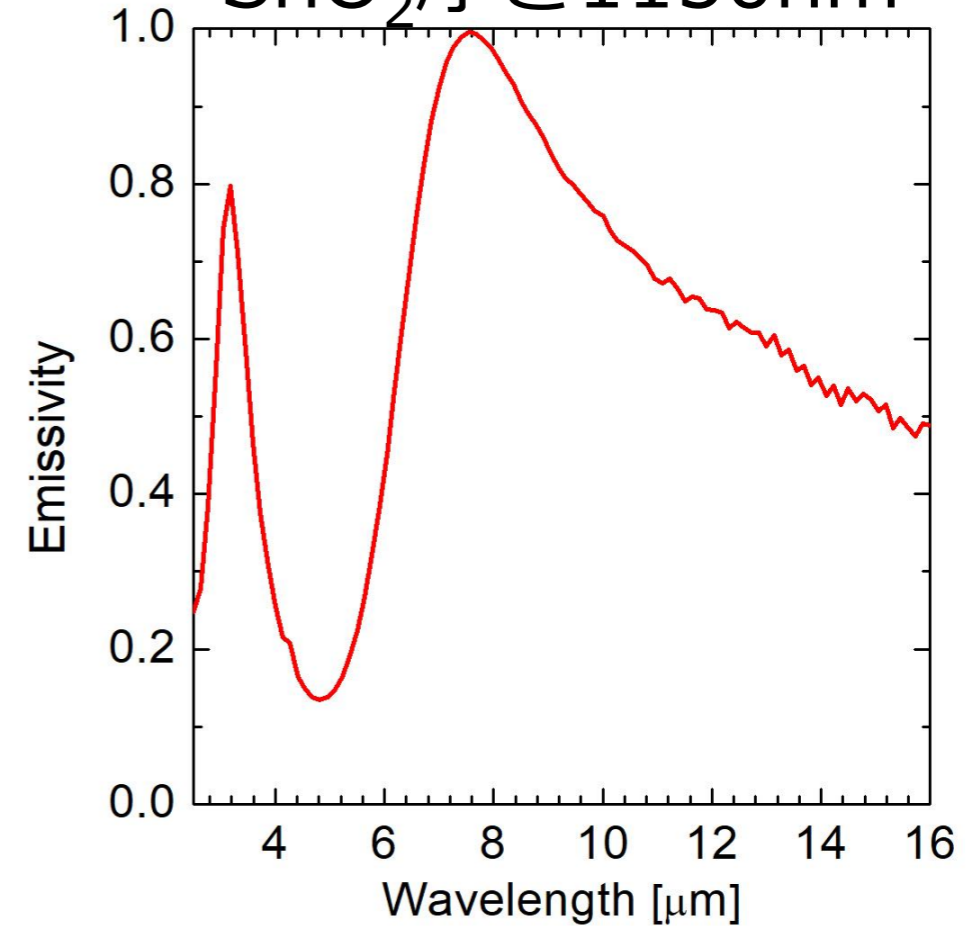
スパーサー層（誘電体層）をFTOでサンドイッチした構造を、  
電磁気学シミュレーションによって設計した

# 計算結果

膜厚と放射率の関係



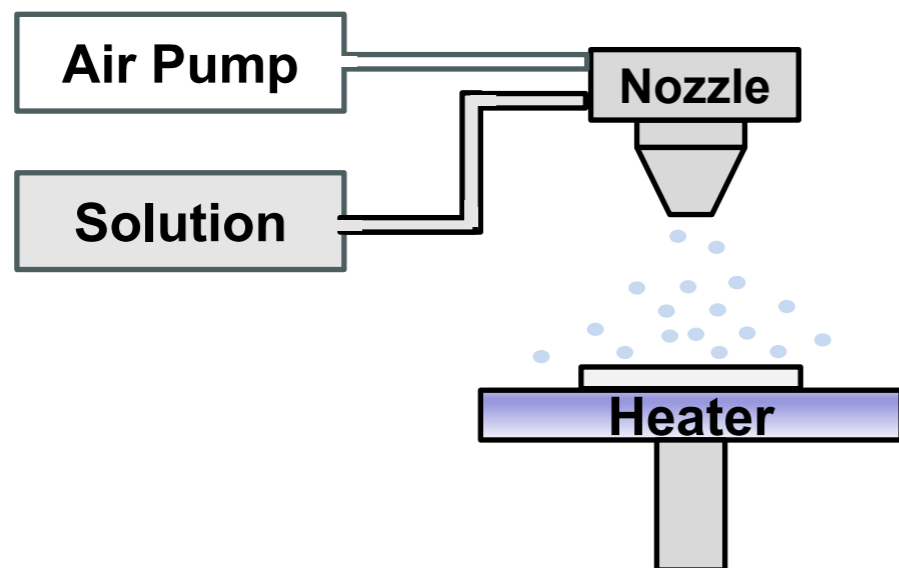
SnO<sub>2</sub>厚さ1150nm



- ✓ SnO<sub>2</sub>の厚さを1150nmにすることで目的波長を達成した
- ✓ ファブリペロー共振による共振を確認した

# スプレー熱分解法(SPD法)

## SPD法の概略図

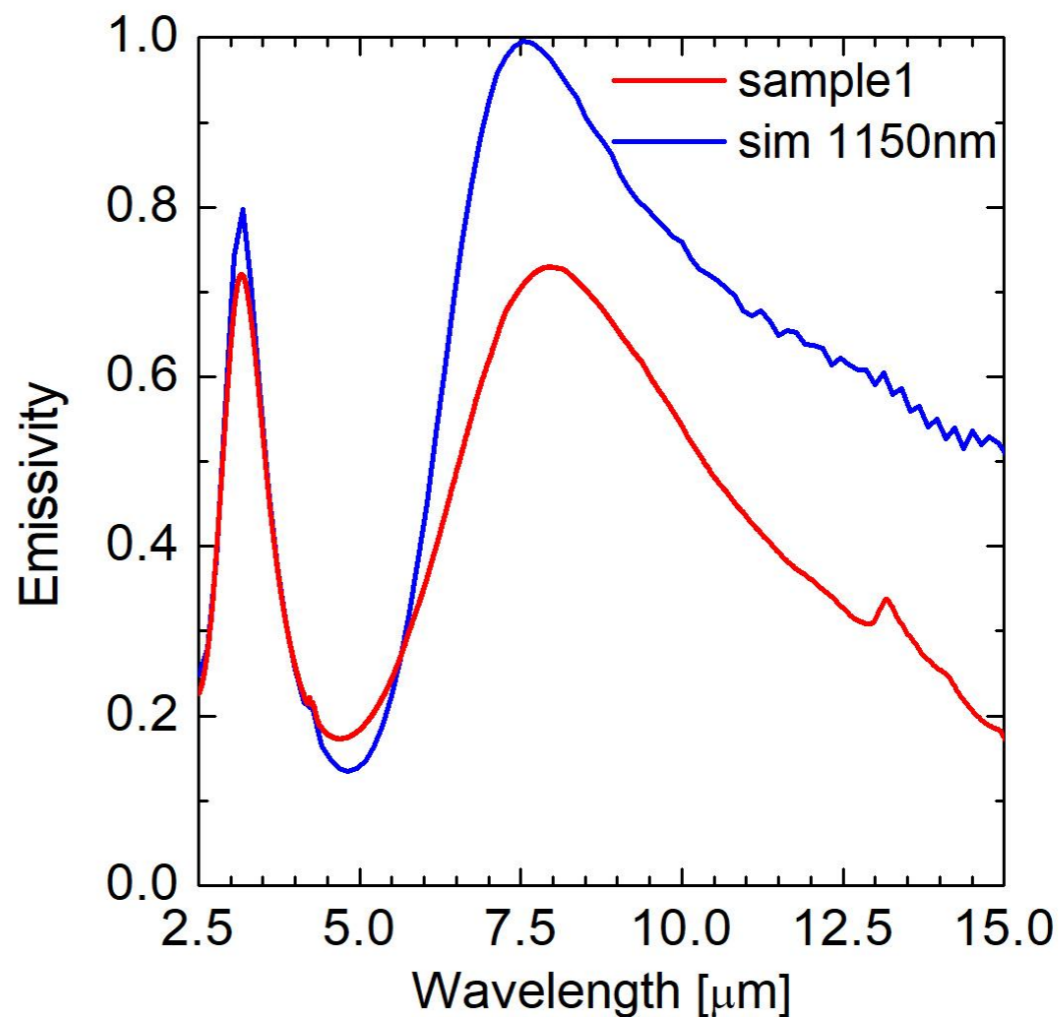
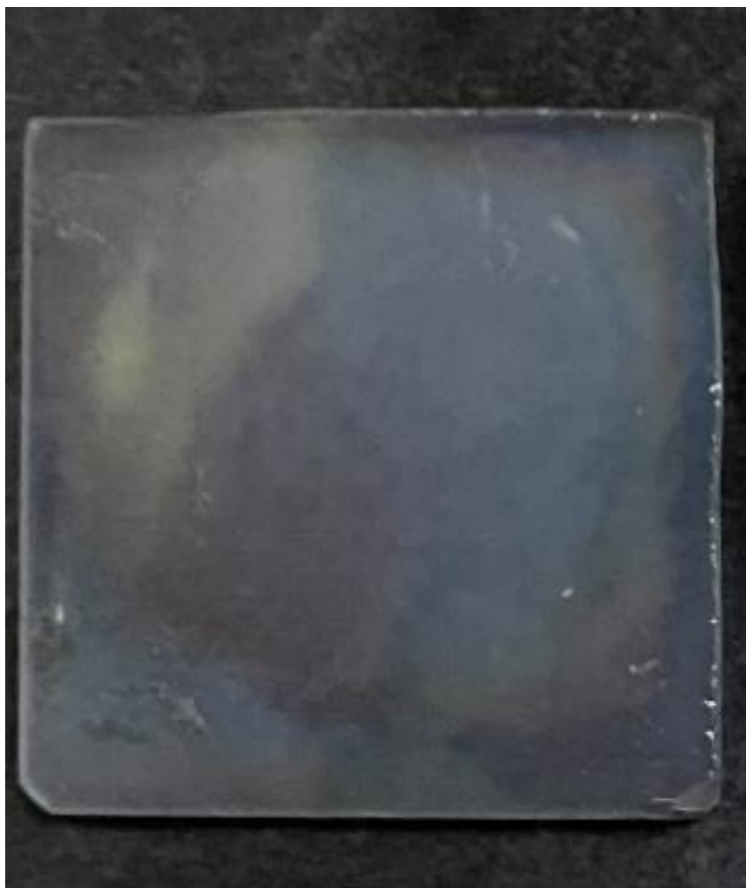


KV-25(株式会社SPD研究所)



- ・ 大気圧下、短時間での製膜が可能
- ・ 省資源、低コスト
- ・ 大面積化が容易

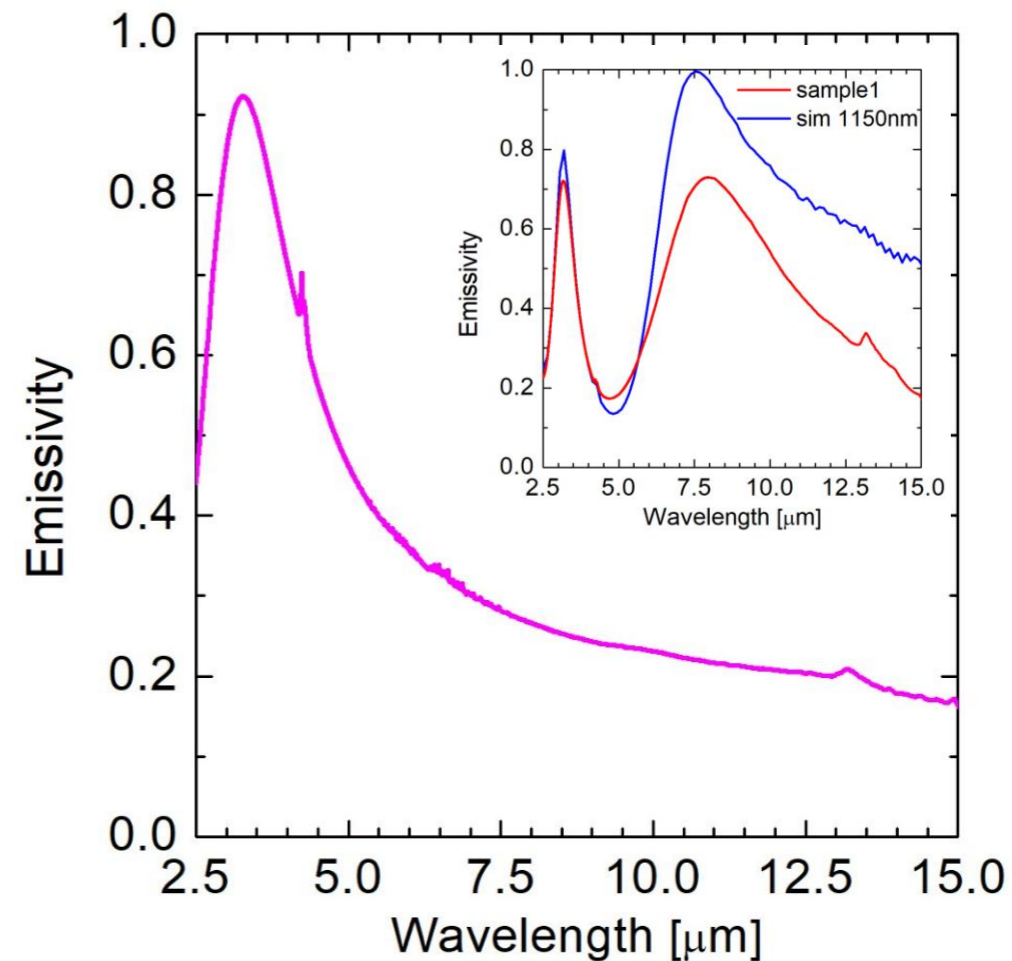
## 作製結果



可視光透明性を維持しながら，赤外領域で波長選択性を  
持たせることに成功した

## 波長変調性

SnO<sub>2</sub>膜(350nm)



スペーサー層の膜厚を変えることで波長変調が可能である

# 想定される用途1

## 建築用の窓に組み込み

- 視界を妨げずに室内を効率的に暖める透明ヒーター
- 夏季は大気の窓域を利用した放射冷却により室内温度上昇を抑制できる

## 想定される用途2

### 車載用ガラスに応用

- 冬季の霜取りや結露防止に有効である
- 空調負荷を軽減し省エネルギー化に寄与できる

## 想定される用途3

### その他の応用可能性

- ディ스플레이カバーやIoTデバイス向けの透明熱制御材料
- 農業用ハウスや温室に導入し温度管理効率を向上させる

# 実用化に向けた課題1

## 成膜プロセスの最適化

- スプレー熱分解法（SPD法）の精度向上
- 均一膜厚と再現性の確保

# 実用化に向けた課題2

## 材料・構造の最適化

- $\text{SnO}_2$ 層の厚さや光学特性の制御
- 長期安定性と耐久性評価

# 実用化に向けた課題3

## 実使用環境での検証

- 建築窓・車載ガラスとしての耐候性試験
- 繰り返し加熱冷却による信頼性評価

# 社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・試作と基礎評価を完了	
現在	・構造設計の有効性を実験的に確認済み	
1-2年後	・構造最適化・耐久性評価を実施 ・SnO <sub>2</sub> 膜厚制御による放射特性の再現性向上	デモンストレーション実施 JSTのASTEP事業等へ応募し研究資金獲得
3年後	・主要特性の評価(性能・安定性試験) ・実使用条件での最適化	評価基礎データの提供 企業への試作サンプル提供
5年後	・実用環境における性能向上(耐熱性・耐候性・耐腐食性の試験)	製品化に向けた試験サービスの実現 共同研究から技術移転へ

# 企業への期待1

## 量産化技術の確立と信頼性評価

- 大面積成膜や製造ライン適用に関する知見
- 実使用環境での耐熱性・耐候性・耐腐食性試験
- 長期安定性の検証

## 企業への期待2

### 市場展開に向けた応用開発と技術移転

- 建材メーカーとの連携による断熱窓や省エネ建材への応用
- 自動車メーカーやサプライヤーとの連携による車載ガラスへの展開
- 技術を活用した新製品創出のための共同研究
- 技術指導・試作品提供による実証支援

# 企業への貢献、PRポイント1

## 本技術の強み

- 可視光透過性と中赤外域での選択的熱ふく射制御を両立
- SPD法による成膜 → 真空装置不要で低コスト・大面積化

## 企業への貢献、PRポイント2

### 企業への直接的な貢献

- 既存のガラス製品に機能を付加 → 高付加価値化
- 建築用断熱窓や車載ガラスに導入し，省エネ性能を向上
- 空調負荷低減によるエネルギーコスト削減

## 企業への貢献、PRポイント3

### 新市場開拓の可能性

- 省エネ建材市場（断熱窓、低放射ガラス）
- 車載分野（霜取り・結露防止・快適性向上）
- IoTデバイス・農業用温室などへの展開

# 企業への貢献、PRポイント4

## 研究室からのサポート

- 耐久性・信頼性評価の追加実験を実施し科学的裏付けを提供
- 試作品提供とフィードバックを通じた共同開発支援
- 技術指導により導入を円滑化

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 熱輻射制御型透明多層膜及び熱輻射制御型透明多層膜の製造方法
- 出願番号 : 特願2025-152926
- 出願人 : 国立大学法人新潟大学
- 発明者 : 櫻井 篤, 菊地 恒佑, 帆刈 太洋

## 産学連携の経歴

- 2016年-2017年 京セラ株式会社と共同研究
- 2019年-2020年 日本碍子株式会社と共同研究
- 2019年-2021年 株式会社村田製作所と共同研究
- 2019年-2023年 JSTさきがけ事業

# お問い合わせ先

新潟大学 社会連携推進機構

T E L 025－262－7554

e-mail [onestop@adm.niigata-u.ac.jp](mailto:onestop@adm.niigata-u.ac.jp)