

研究背景および概要

既存住宅における熱損失が大きい窓の遮光・断熱性を高めることは、冷暖房費負担軽減やCO₂排出量の大幅削減への大きな効果が期待されています。二酸化バナジウム (VO₂) は、温度変化が生じることで、熱的に誘発された相転移により近赤外域の光学特性の急激な変化を起こします。このため、低温透明状態から高温不透明状態へ可逆的に移行して自動的に太陽熱流束を調整することができます。(図1)

本プロジェクトでは、汎用ガラスに金属有機化合物分解法(MOD法)を用い、大気圧下での水素添加窒素ガス雰囲気中の焼成プロセスと新規ドーパント開発により、VO₂薄膜を成膜したサーモクロミックガラスを作製し、①自然光に対する可視スペクトルの高い透明度、②赤外光を安定して調光する能力、③室温付近への転移温度の低温化を実現することにより環境温度へ適合した住環境を改善する省エネ・低コストサーモクロミックガラスの実用化を目指しています。

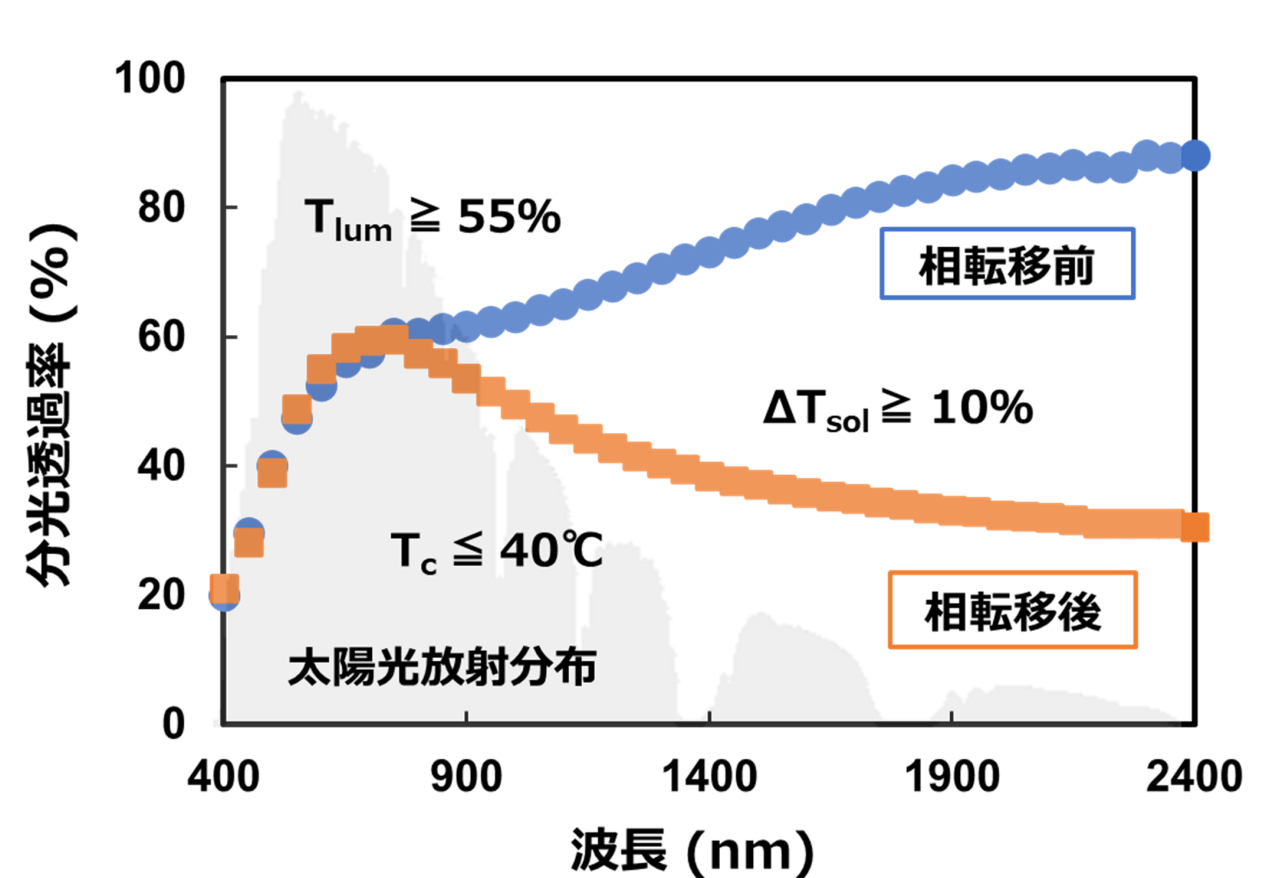


図1 赤外線サーモクロミックガラスの分光透過スペクトル

二酸化バナジウムとは

二酸化バナジウム (VO₂) における金属-半導体相転移現象は、結晶相転移以下で、金属状態の高温相ルチル構造のVO₂格子のV原子がc軸のほぼ垂直方向に8%程度シフトして、半導体状態の変形ルチル格子へ構造転移を起こします。一方、低温相VO₂の特徴は、パイエルズ転移による2量体化により半導体相の禁制帯幅が形成され、半導体相に移行します。また、VO₂は、結晶相転移が70°C付近で起こり、相転移による光学および電気的特性変化が大きい特徴があります。(図2、図3)

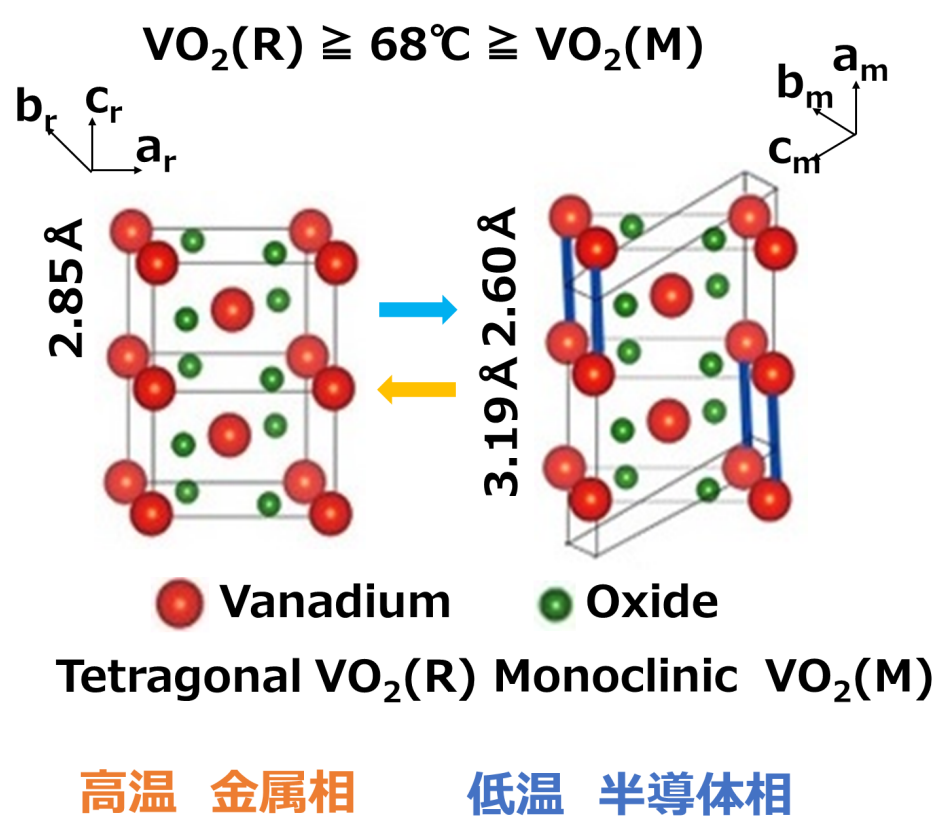


図2 VO₂の相転移による結晶構造変化

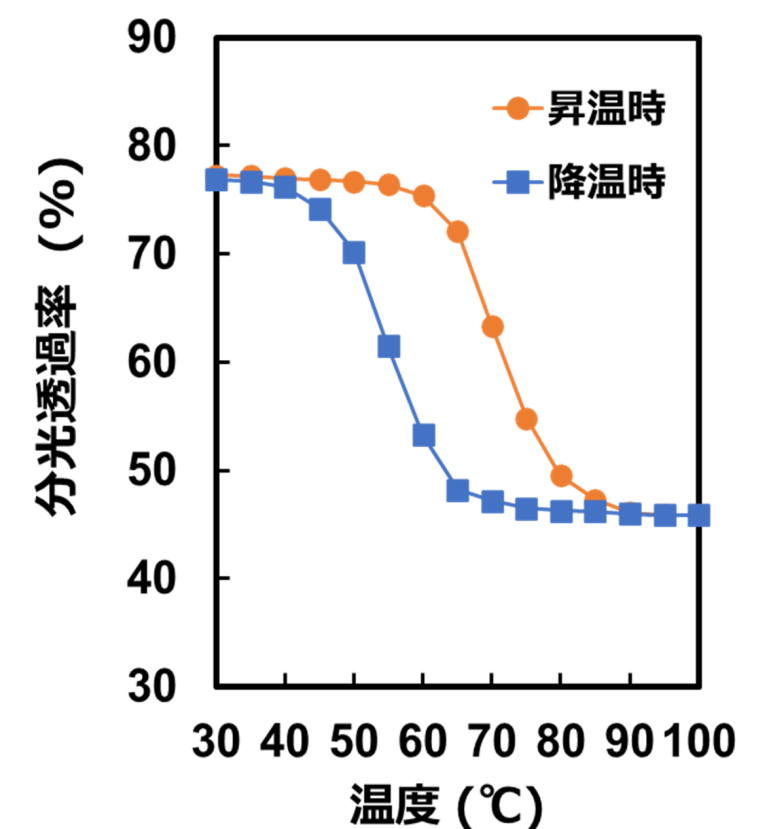


図3 相転移による近赤外域での透過率変化

応用用途

建築構造物の窓材

既存建築物の単層板ガラスの遮熱性を付加することにより、軽量かつ低コストで施工が可能となります。

E V車両用窓材

自律的に日射赤外線光による熱線だけを調光することで視認性を確保しつつ、冷房負荷と暖房負荷を軽減し航続距離を大幅に改善できます。

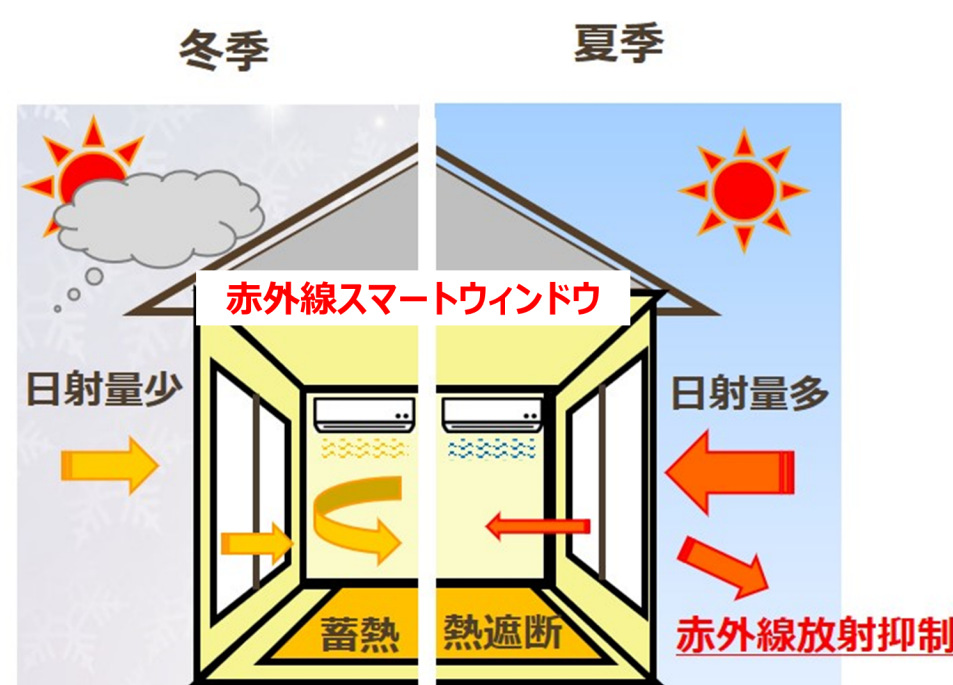


図4 環境にやさしい省エネエコ住宅

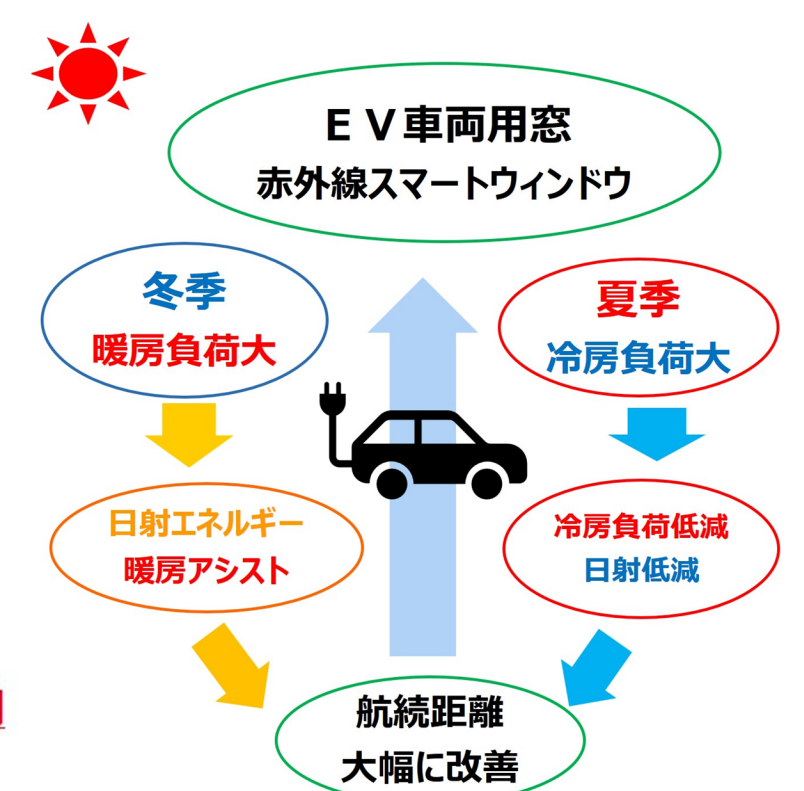


図5 次世代E V車両への応用

ナノスケールモスアイ構造

MOD法により急速加熱冷却下で焼成したVO₂薄膜は、ナノスケールモスアイ構造を有し、表面が不規則的に約200~250nm周期の不均一な突起配列を表しています。この構造における反射率は、突起構造利用や結晶粒密度制御によって、平均屈折率変化を小さくすることで低減できますが、その効果は厚さ方向の空気占有率や突起配列構造とその周期に依存します。(図6) レーザ顕微鏡観察から立体的に凹凸が観察されると同時に結晶粒間に空隙が見られ、先端が半球状の粗密なナノ結晶粒子が連結している様子がわかります。(図7)

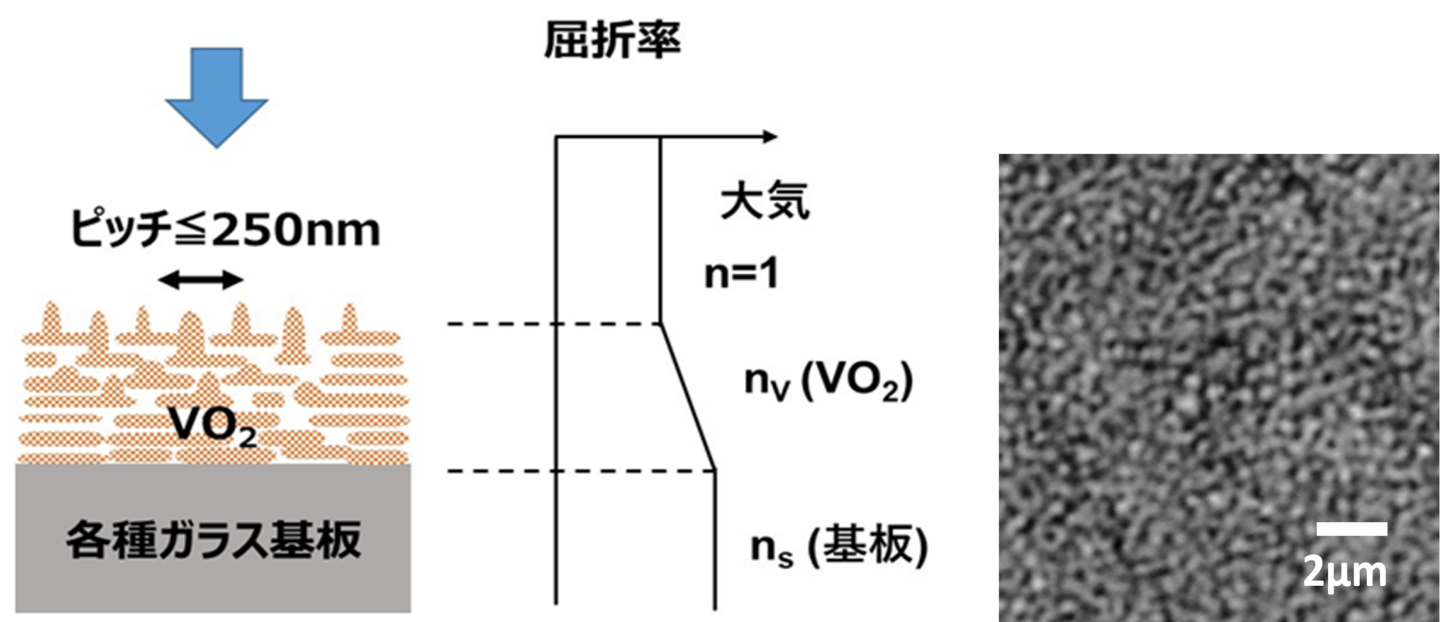


図6 サーモクロミックガラス断面構造

図7 VO₂薄膜のレーザ顕微鏡写真

熱放射抑制特性シミュレーション

サーモクロミックガラスの構造設計および熱放射抑制効果の算出では、定量的解析手法が課題となっています。本プロジェクトでは、FDTD (有限差分時間領域) 法を用いた熱放射抑制特性シミュレーションを開発し、サーモクロミックガラスに適用した熱放射抑制効果の解析を実施しています。図8は、MOD法によってガラス基板にHZO(Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂)層を形成したVO₂ナノ粒子層状薄膜のシミュレーションモデルです。シミュレーションの一例として、2次元平面において1.3μmの平面波が入射した際の電界相対強度から相転移前後の反射率と透過率を算出しました。その結果、分光光度計の計測結果と解析結果が概ね一致することがわかりました。(図9)

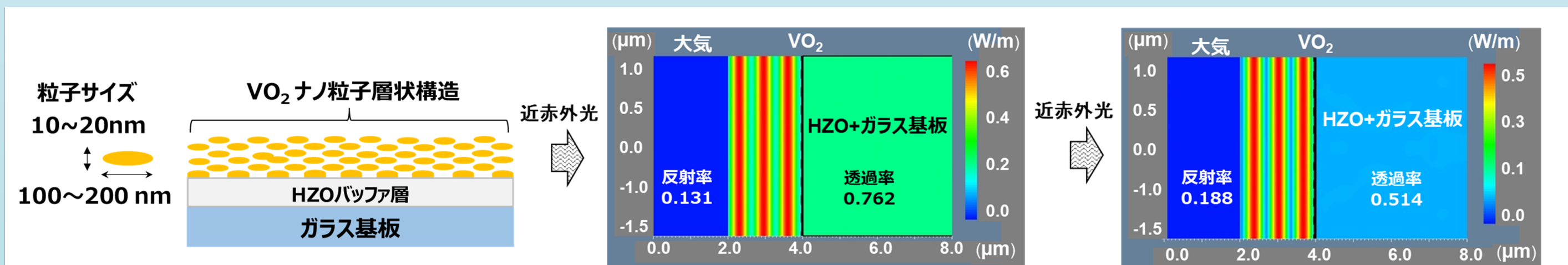


図8 VO₂ナノ粒子層状薄膜構造モデル

(a) 相転移前

(b) 相転移後

図9 サーモクロミックガラスに対する2次元 Opti FDTD解析

サーモクロミック特性

図10にガラス基板にHZO層を形成して作製したNb添加VO₂薄膜における濃度毎の可視光透過率 (測定温度 80°Cでの400~800 nm間の平均透過率) と波長1600 nmにおける近赤外調光率および相転移温度を示します。測定結果から可視光透過率は48.2~57.3%、近赤外調光率は28.0~34.8%、相転移温度は43~83°Cであることがわかりました。

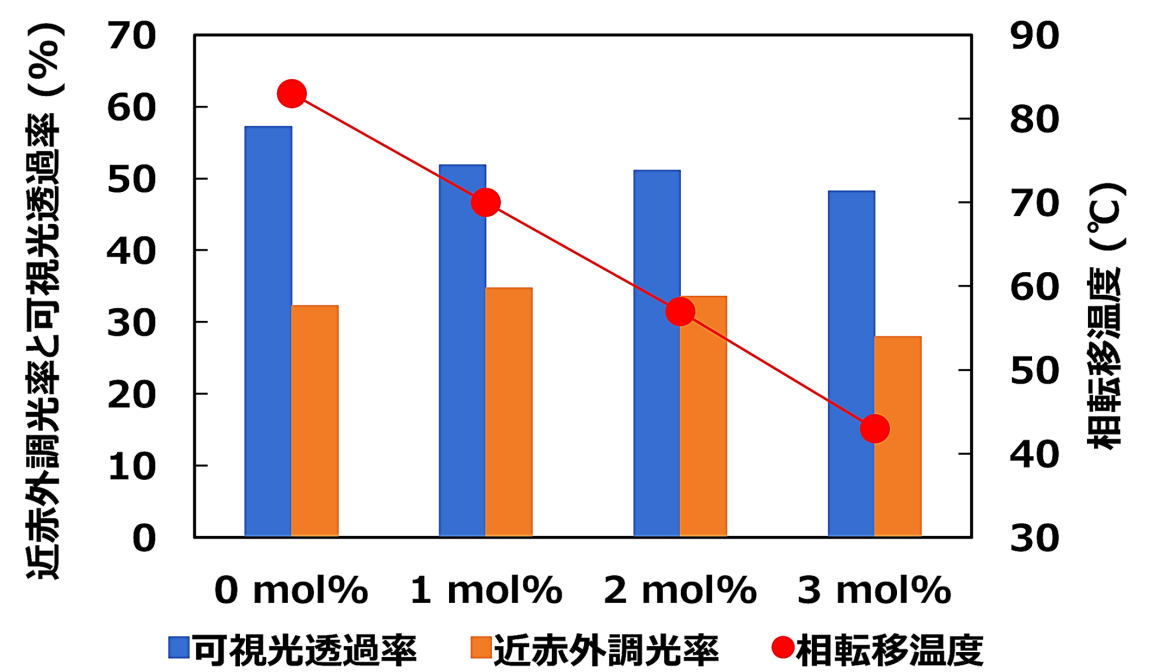


図10 近赤外調光率と可視透過率および相転移温度

研究成果等

- 電気学会誌 論文誌 A 142 (5) pp221~228 (2022)
- 日本赤外線学会誌 32 (1) pp52~59 (2022)
- 電気学会誌 論文誌 A 143 (2) pp46~53 (2023)
- 日本赤外線学会誌 32 (2) pp35~44 (2023)

知的財産権

- 特開 2023-018549「調光ガラス及びその製造方法、並びに、前記調光ガラスを構成する多孔質モスアイ構造の二酸化バナジウム薄膜」
- 特願 2022-165164「二酸化バナジウム薄膜の製造方法及び二酸化バナジウム薄膜形成用原料溶液」

