

スマートウインドウ用 エレクトロクロミック材料の高性能化

物質・材料研究機構

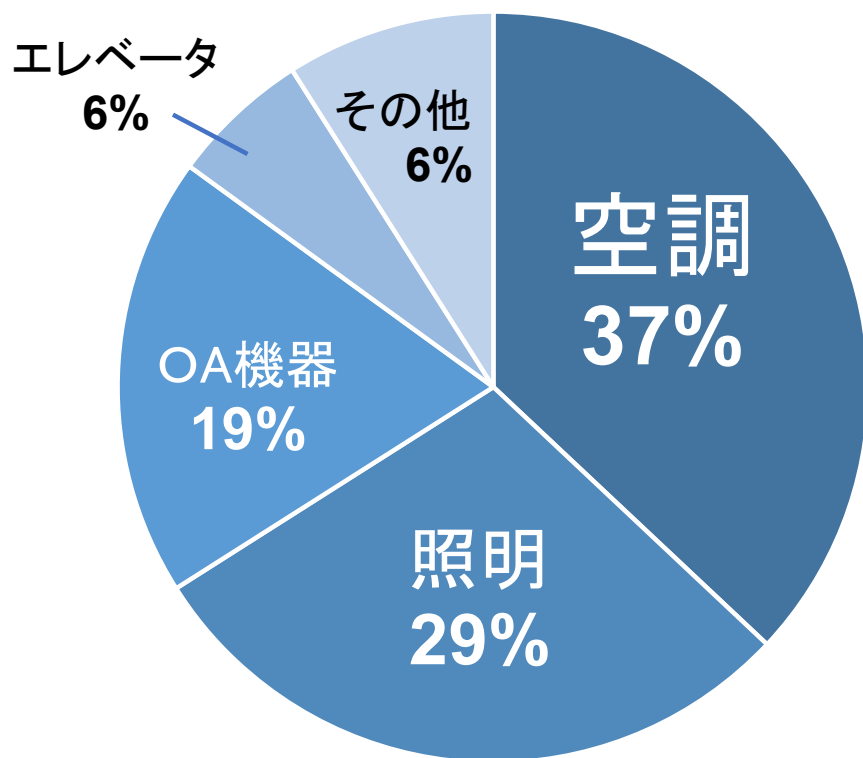
高分子・バイオ材料研究センター グループリーダー

樋口 昌芳

技術背景: 室内空間の熱問題

- 真夏の炎天下の**車内**は、エンジン停止後わずか30分で約45°Cを記録
- オフィスビルの**消費エネルギー**の内、空調・照明・OA機器を合わせて約85%

一般的なオフィスビルにおける用途別
電力消費比率



引用元: 資源エネルギー庁統計

- カーテンでは光(熱)が室内に入ることが防げない
- 空調にかかるエネルギーの削減には、**窓での遮光**が重要

想定される用途: エレクトロクロミック(EC)調光ガラス



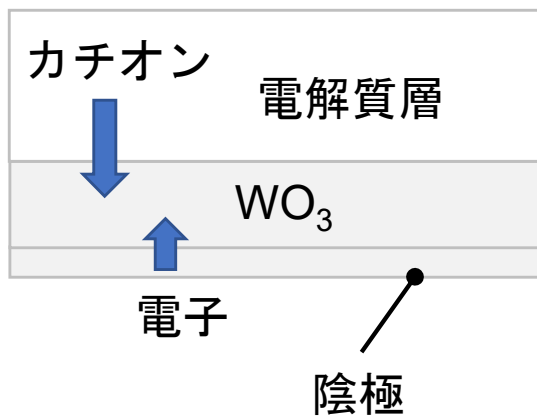
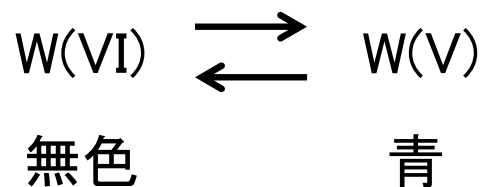
世界市場動向

- スマートビルディングの継続的な開発と、二酸化炭素排出量削減のためのエネルギー効率の高い建築資材の需要増加が、エレクトロクロミックガラスの世界市場を牽引。
- 高品質なインテリアや美しいデザインを好む消費者の増加も、製品需要を喚起。
- 各国の政府機関は、エネルギー消費量を維持するためのグリーンな建設活動を促進するため、有利な政策やインセンティブを導入。

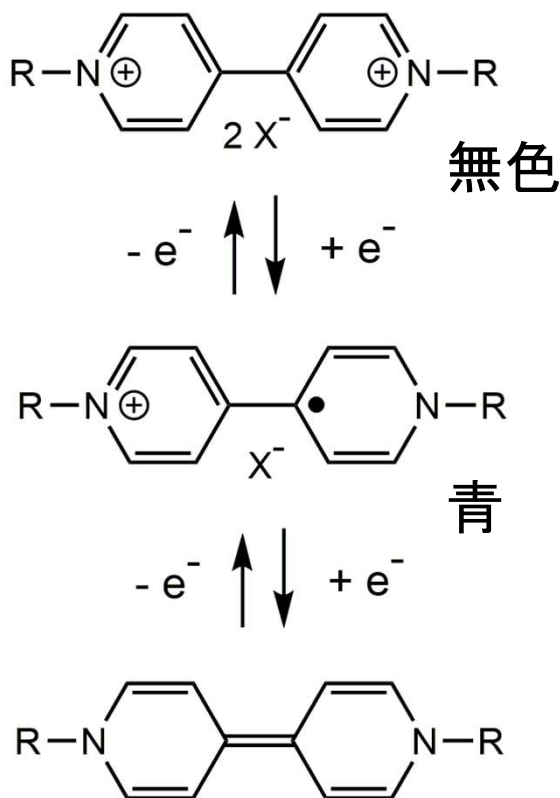
出典: IMARC Services Private Limited

従来技術: 代表的なEC材料

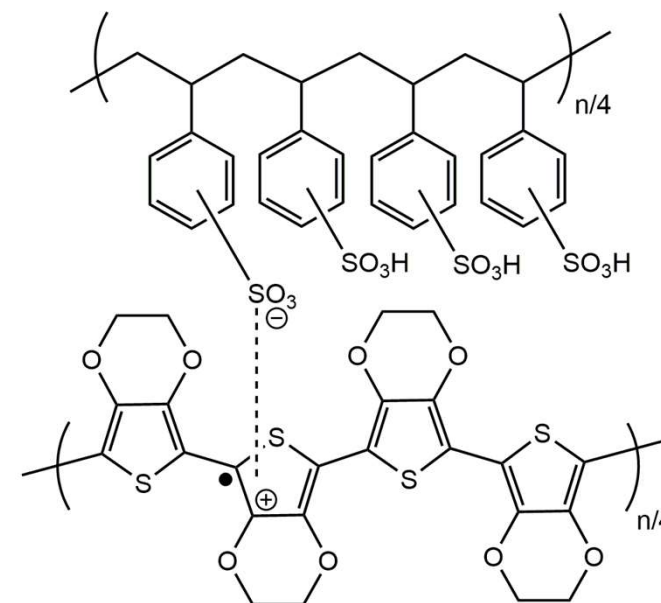
酸化タングステン



ビオロゲン



共役系高分子



耐光性に課題

従来技術(EC材料)の問題点

代表的なEC材料	大型化	フィルム基材	多色性	メモリ性
酸化タングステン (調光ガラス)	△	×	×	△
	<ul style="list-style-type: none"> 真空装置を用いた製膜 製膜時に加熱するため、基板は耐熱性のあるガラスに限定 デバイスの大型化には高額な大型の真空装置が必要 色変化に10分以上必要 			
ビオロゲン (ボーイング787)	×	×	×	×
	<ul style="list-style-type: none"> ボーイング787の窓や、車の防眩ミラーとして実用化 電解液を使用するため液漏れを防ぐ周囲の封止が不可欠 液漏れのリスクが高まるためデバイスの大型化が困難 着色状態を維持するために常時通電が必要(メモリ性を有しない) 			

新技術(メタロ超分子ポリマー)の特徴・従来技術との比較

代表的なEC材料	大型化	フィルム基材	多色性	メモリ性
酸化タングステン (調光ガラス)	△	×	×	△
<ul style="list-style-type: none"> 真空装置を用いた製膜 製膜時に加熱するため、基板は耐熱性のあるガラスに限定 デバイスの大型化には高額な大型の真空装置が必要 色変化に10分以上必要 				
バイオロゲン (ボーイング787)	×	×	×	×
<ul style="list-style-type: none"> ボーイング787の窓や、車の防眩ミラーとして実用化 電解液を使用するため液漏れを防ぐ周囲の封止が不可欠 液漏れのリスクが高まるためデバイスの大型化が困難 着色状態を維持するために常時通電が必要(メモリ性を有しない) 				
メタロ超分子ポリマー (NIMSで開発)	○	○	○	△
<ul style="list-style-type: none"> 常圧下、塗布で製膜 大型化においても高額な設備が不要 基板としてプラスチックなどのフィルム素材を使用可能 電源を切ってもその表示状態が維持されるメモリ性あり 				

メタロ超分子ポリマー

Metallo-Supramolecular Polymer (MSP)



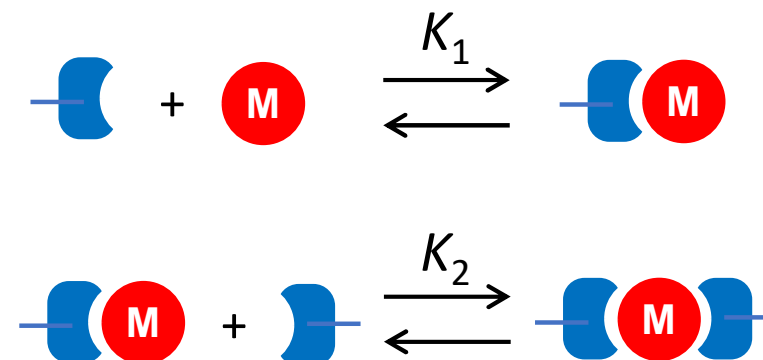
Complexation in solution



Metal ion



Ditopic ligand

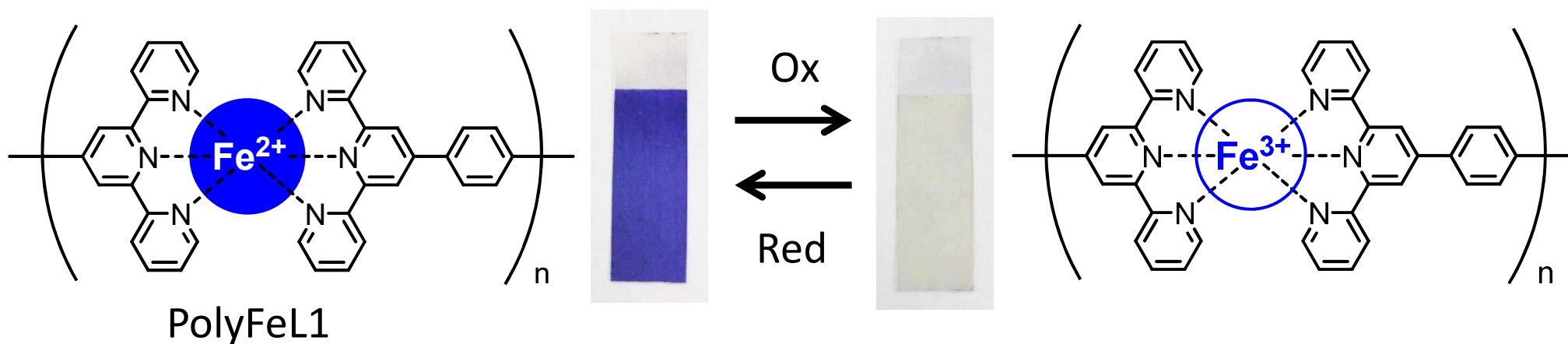


$$K_1 = \frac{[\text{---} \text{M}]}{[\text{---}] [\text{M}]}$$

$$K_2 = \frac{[\text{---} \text{M} \text{---}]}{[\text{---} \text{M}] [\text{---}]}$$

$$K = K_1 K_2$$

エレクトロクロミック(EC)特性の発見

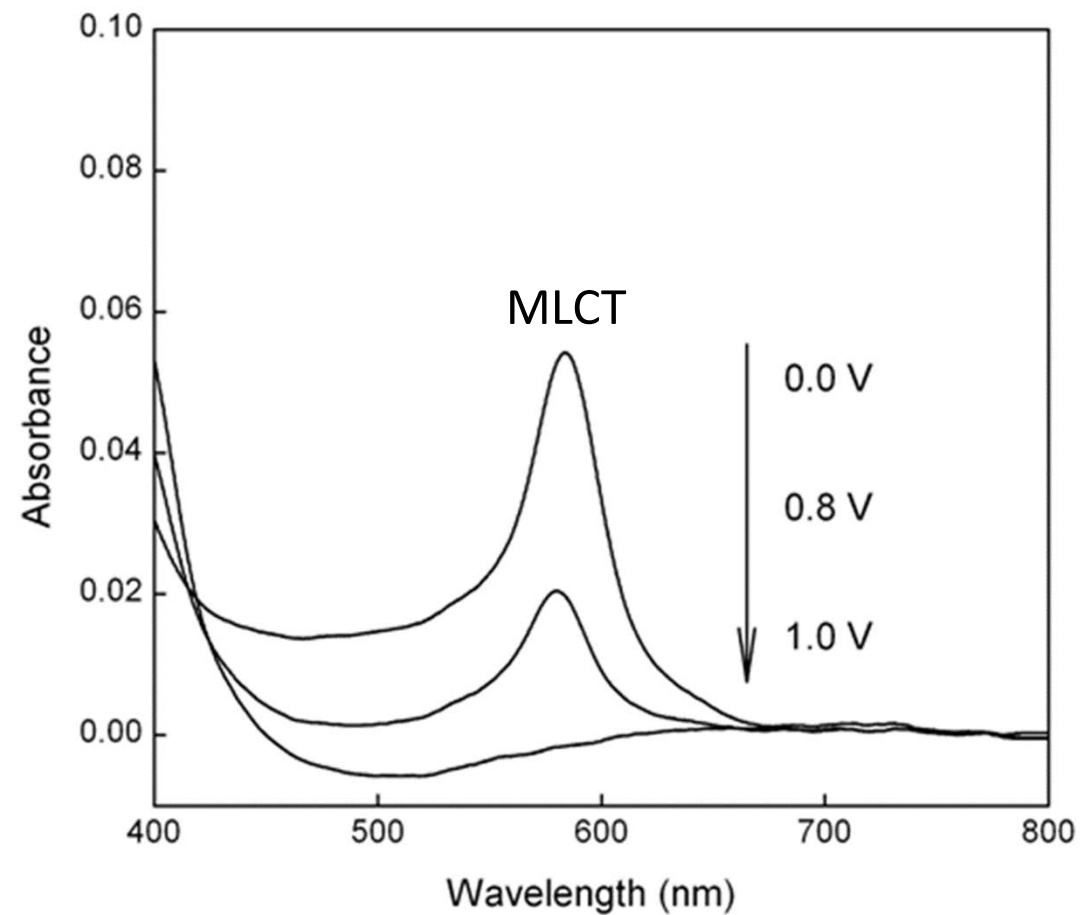
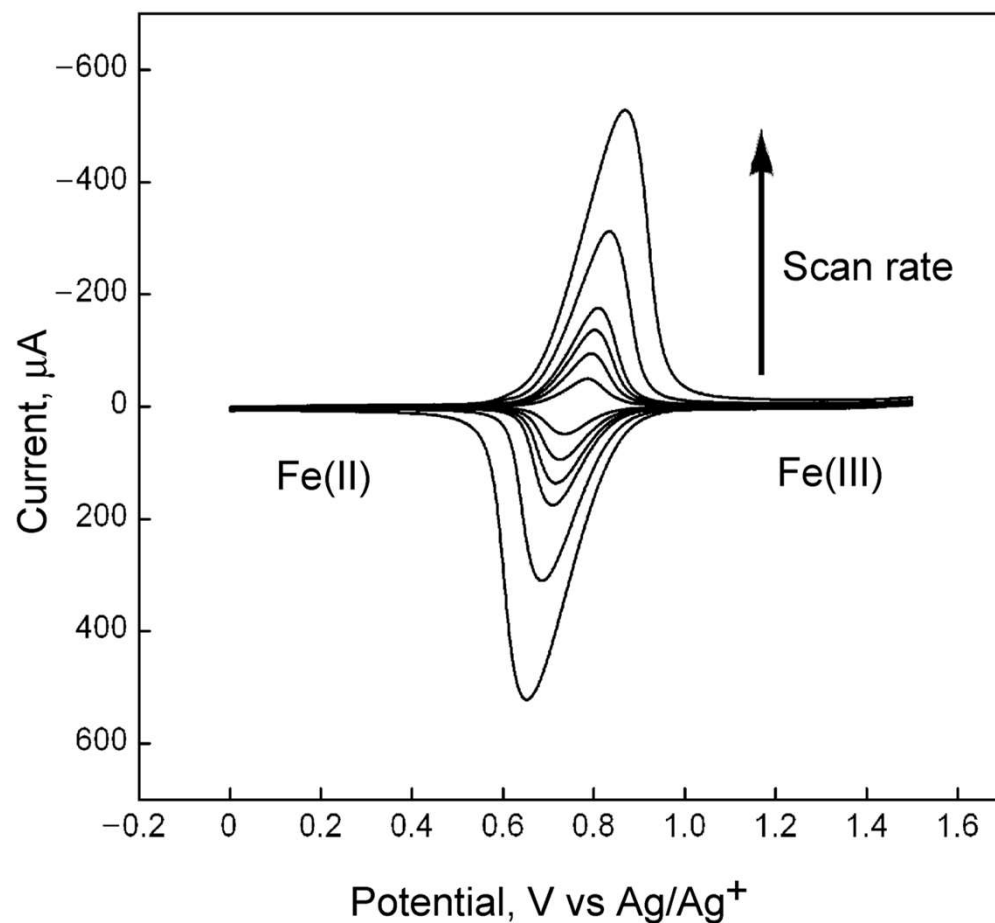


M. Higuchi, D. G. Kurth, *Chem. Rec.*, **2007**, 7, 203.

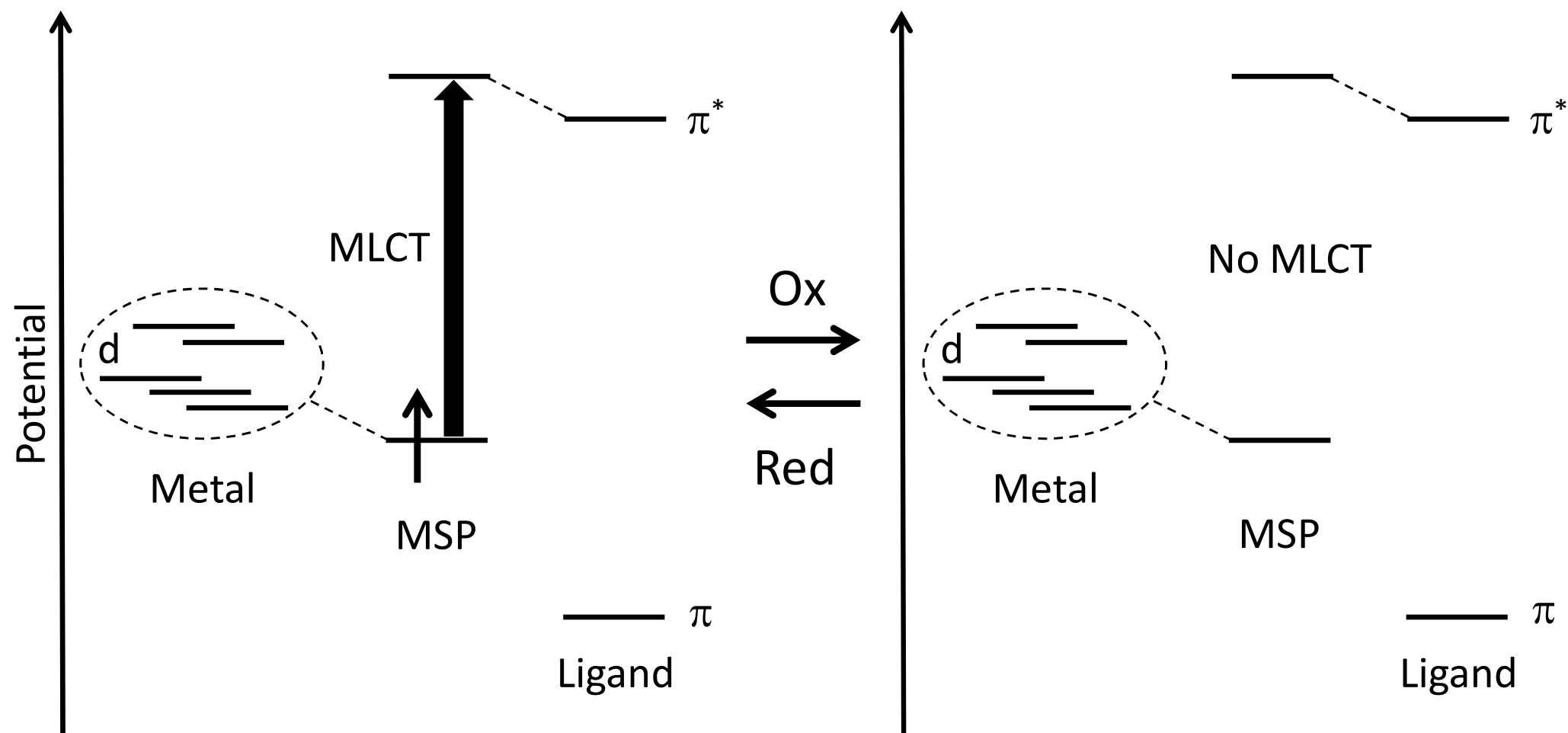
The first patents of NIMS: JP 5062712B2; US 7,923,530



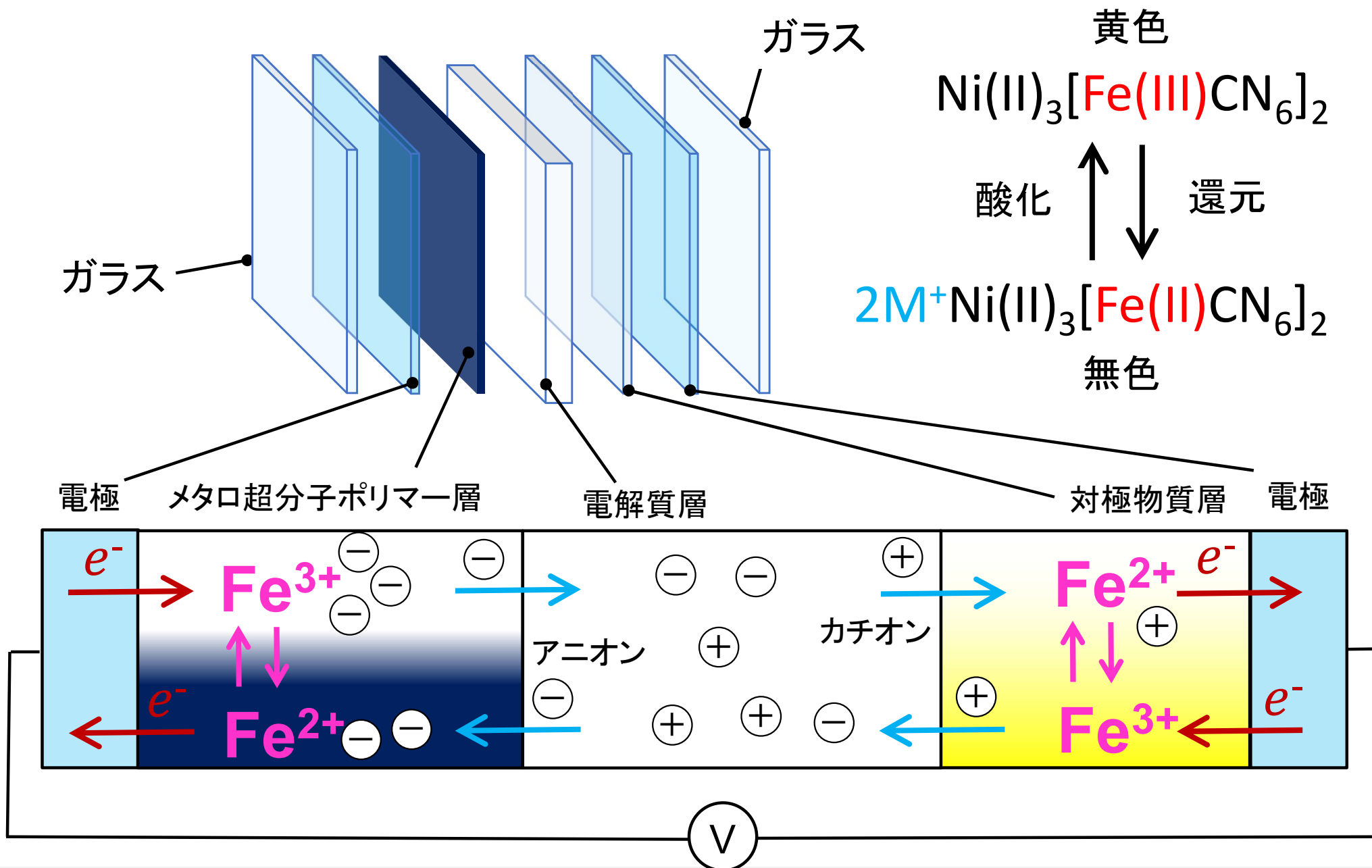
サイクリックボルタモグラム、電解同時吸収スペクトル



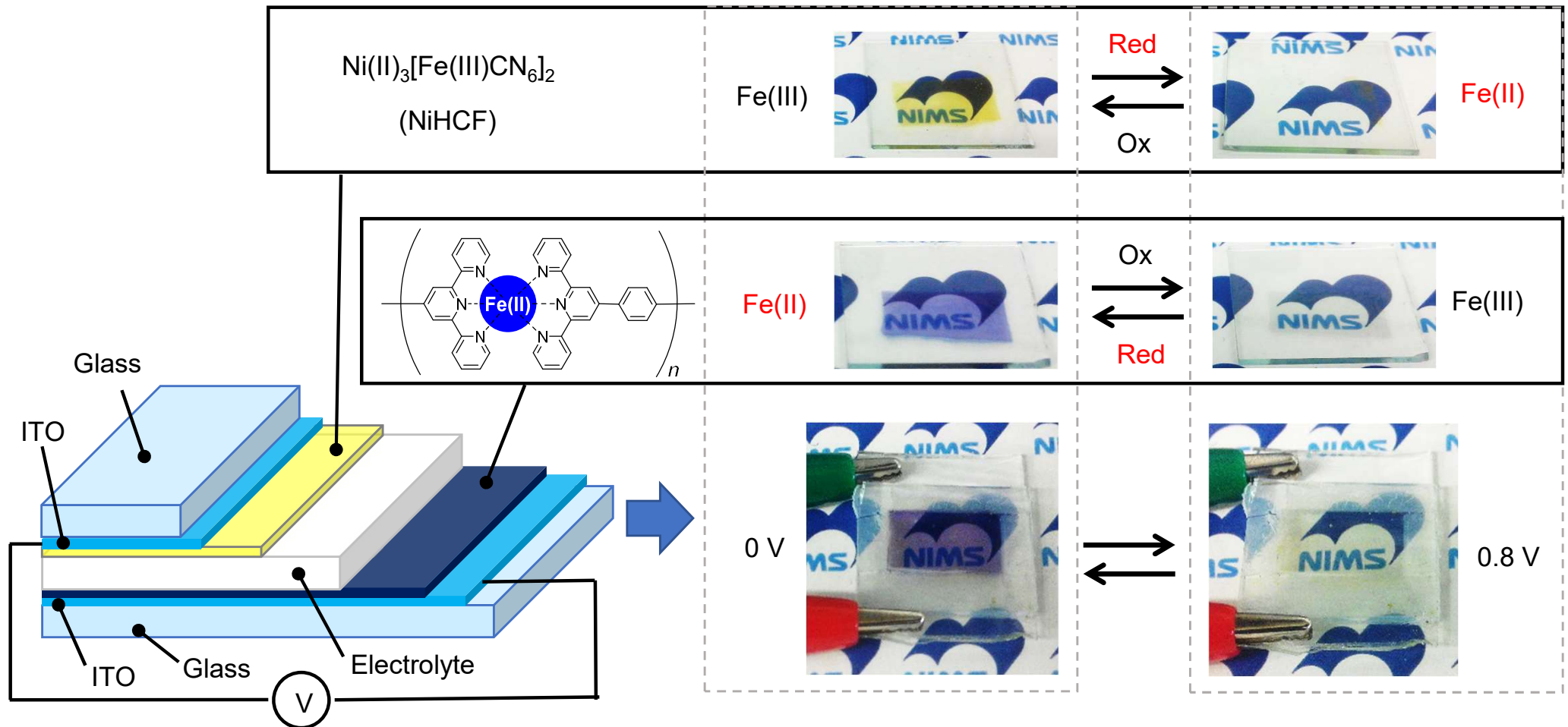
EC変化のメカニズム



ECデバイス内の電子とイオンの流れ



低電圧駆動の実現



H.-C. Lu, K.-C. Ho, M. Higuchi *et al.*, *ACS Appl. Electron. Mater.*, **2021**, 3, 2123.

10万回を超える繰り返し耐久性の実現

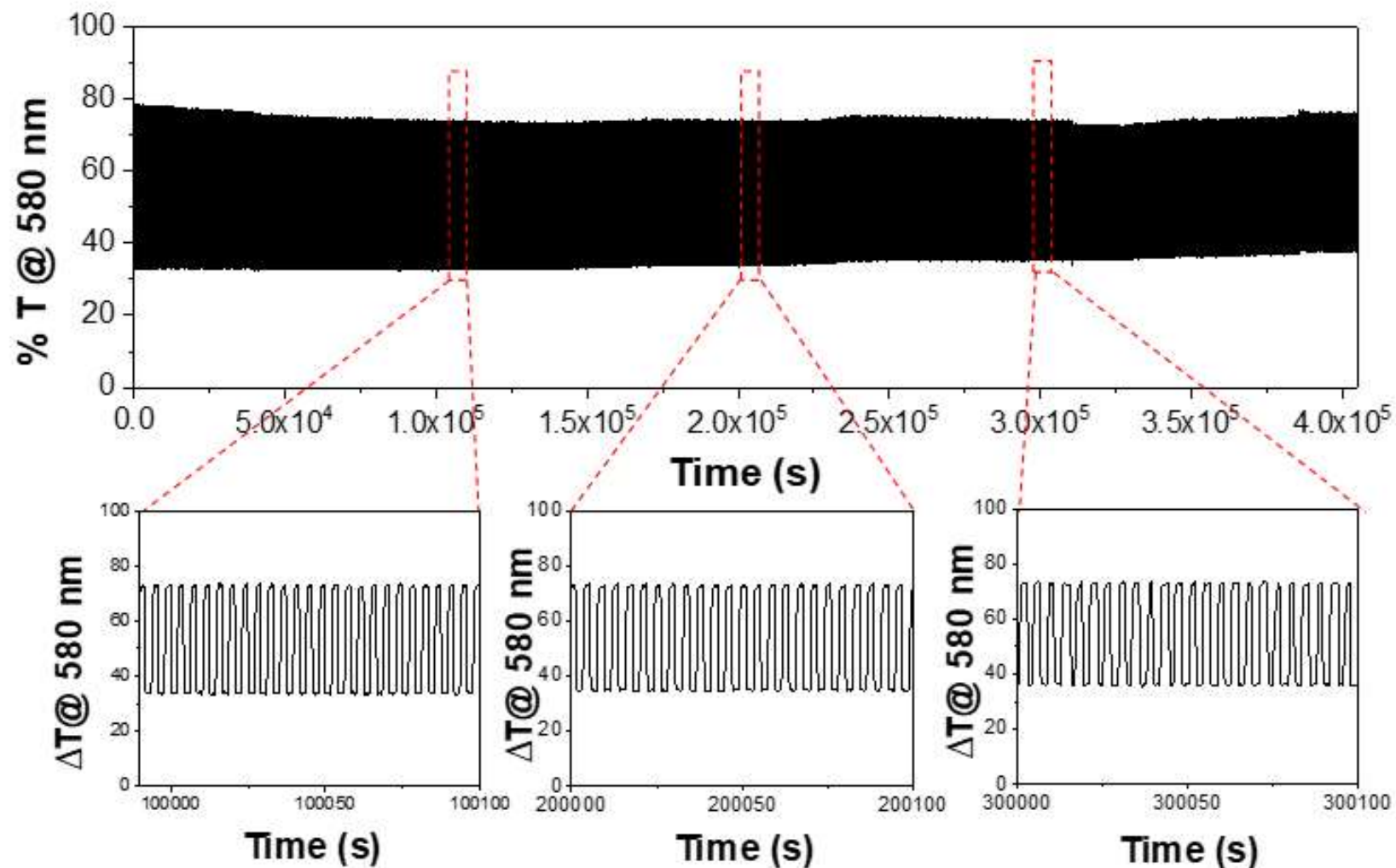
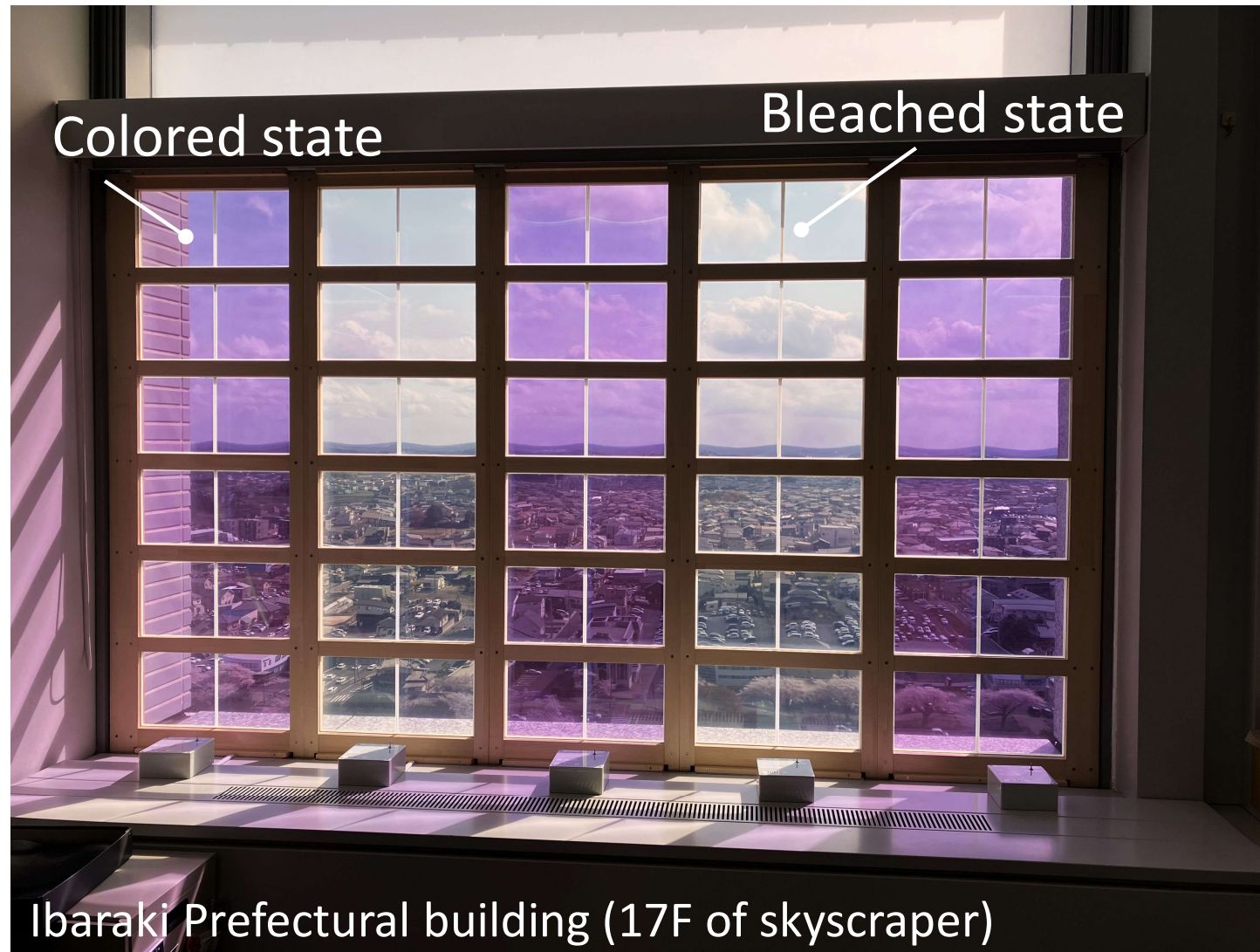


Figure. 100,000 times EC switching by applying +1.0/+0.2 V operational voltages and 2s holding times, monitoring at 580 nm.

S. Mondal, S. Roy, Y. Fujii, M. Higuchi, *ACS Appl. Electron. Mater.*, **2023**, 5, 6677.

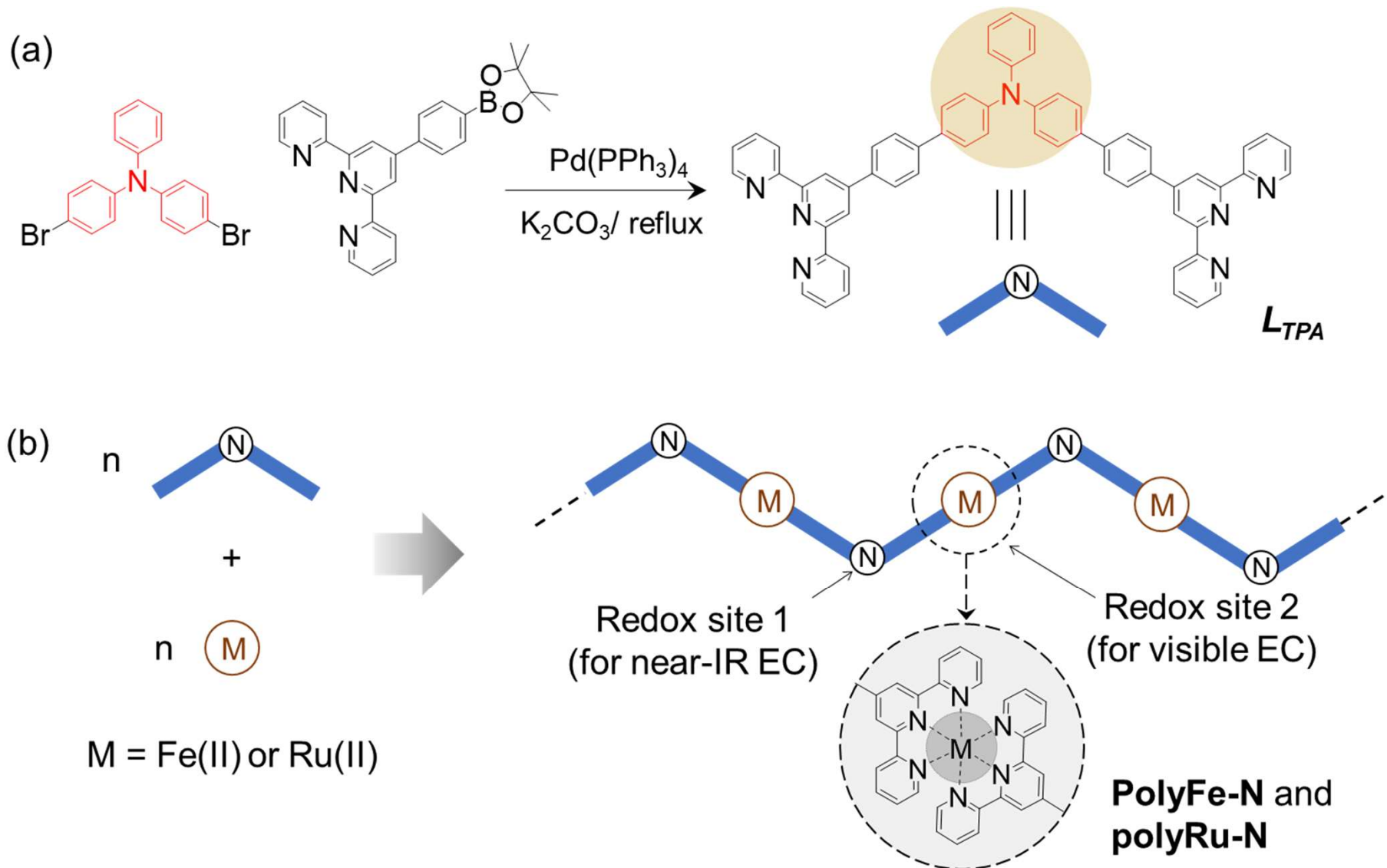
EC調光ガラスデバイスの製造と県庁への設置



太陽光のスペクトル

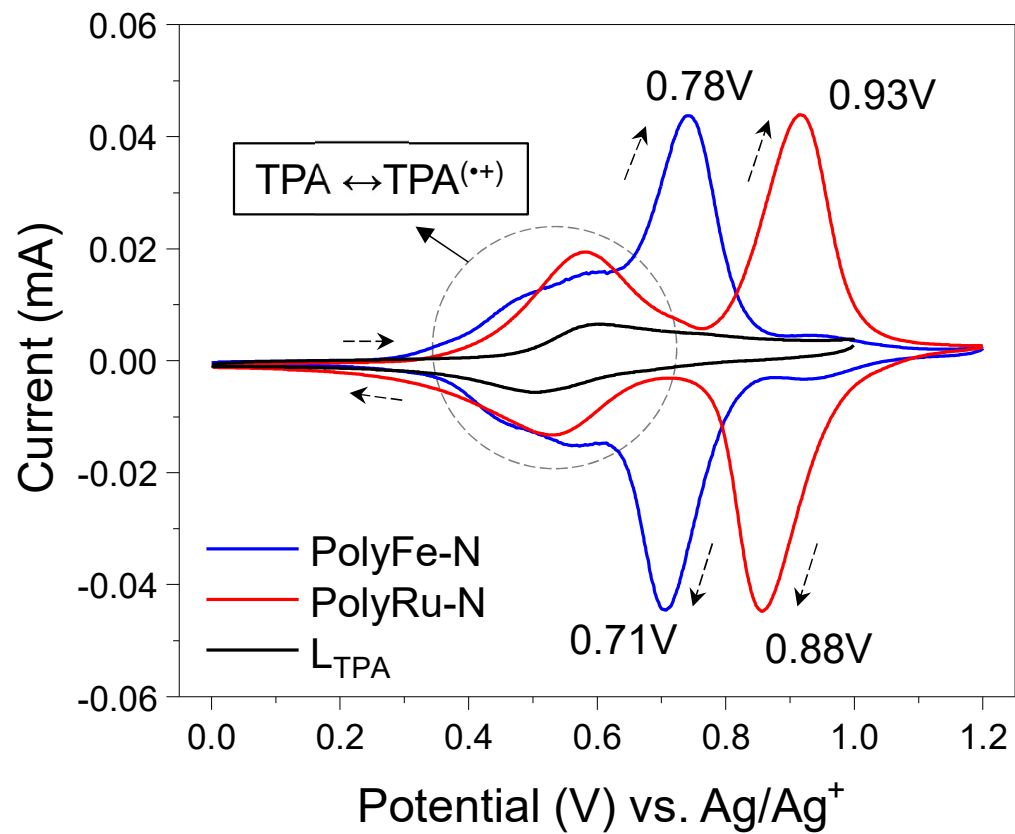
- 太陽光の輻射エネルギーは可視領域(50%)と赤外領域(44%)の両方
- これまでのEC材料は可視領域を対象としており、遮熱の制御は不十分

近赤外ECポリマーの合成①

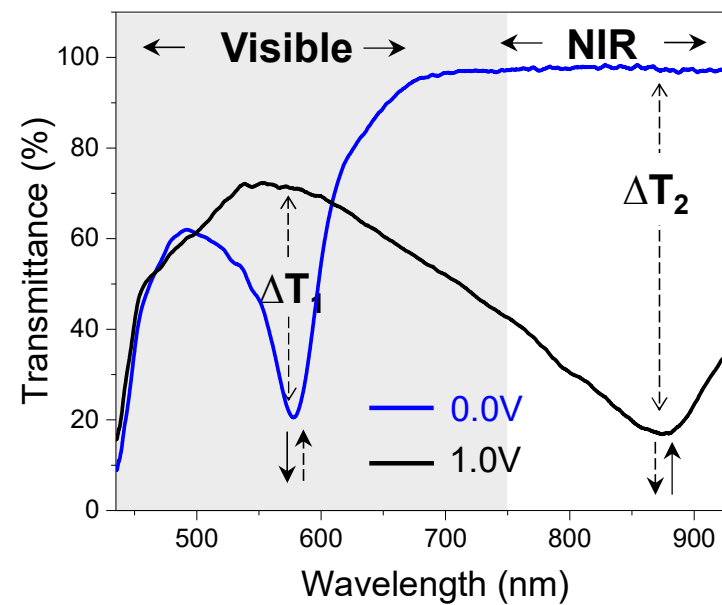
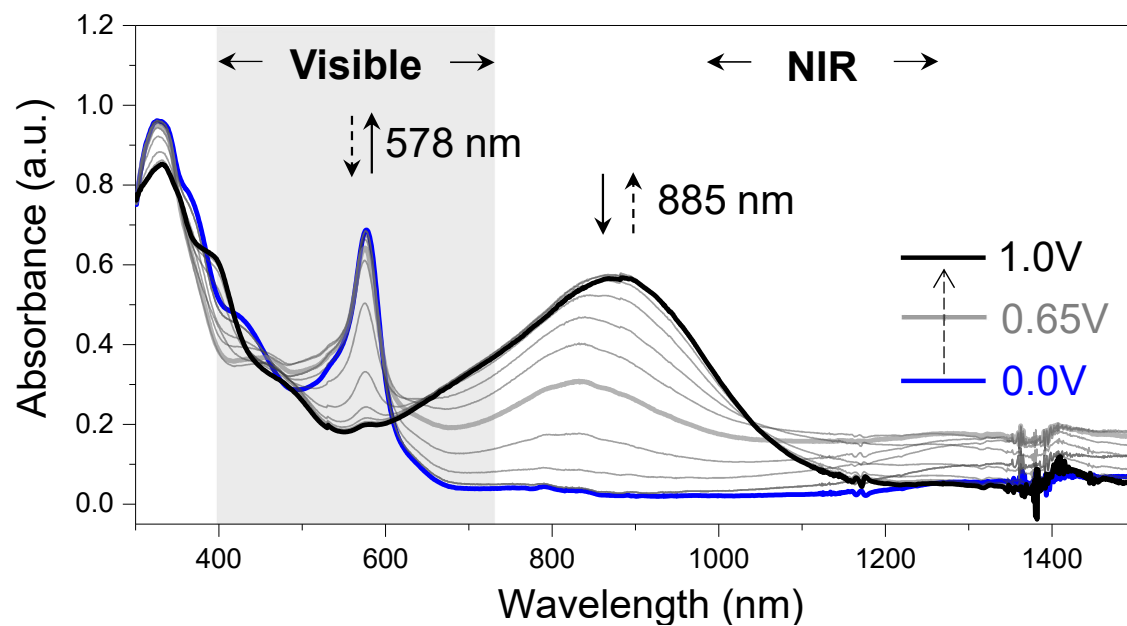
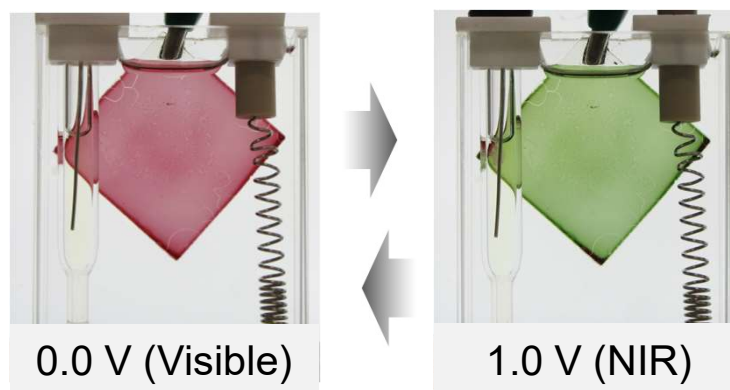


S. Mondal, M. Higuchi *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2020**, 12, 58277.

サイクリックボルタモグラム

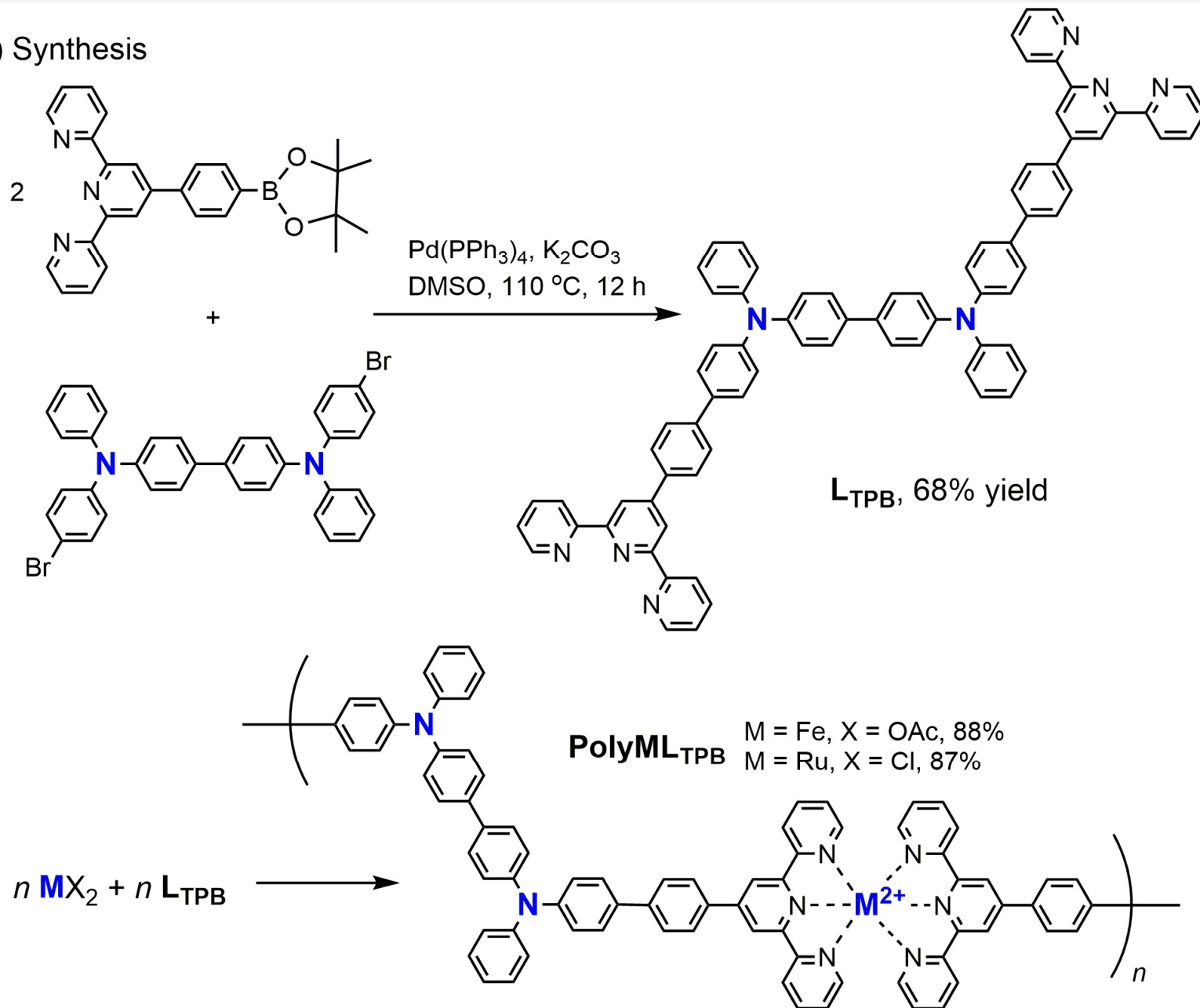


近赤外EC特性



近赤外ECポリマーの合成②

(a) Synthesis



サイクリックボルタモグラム

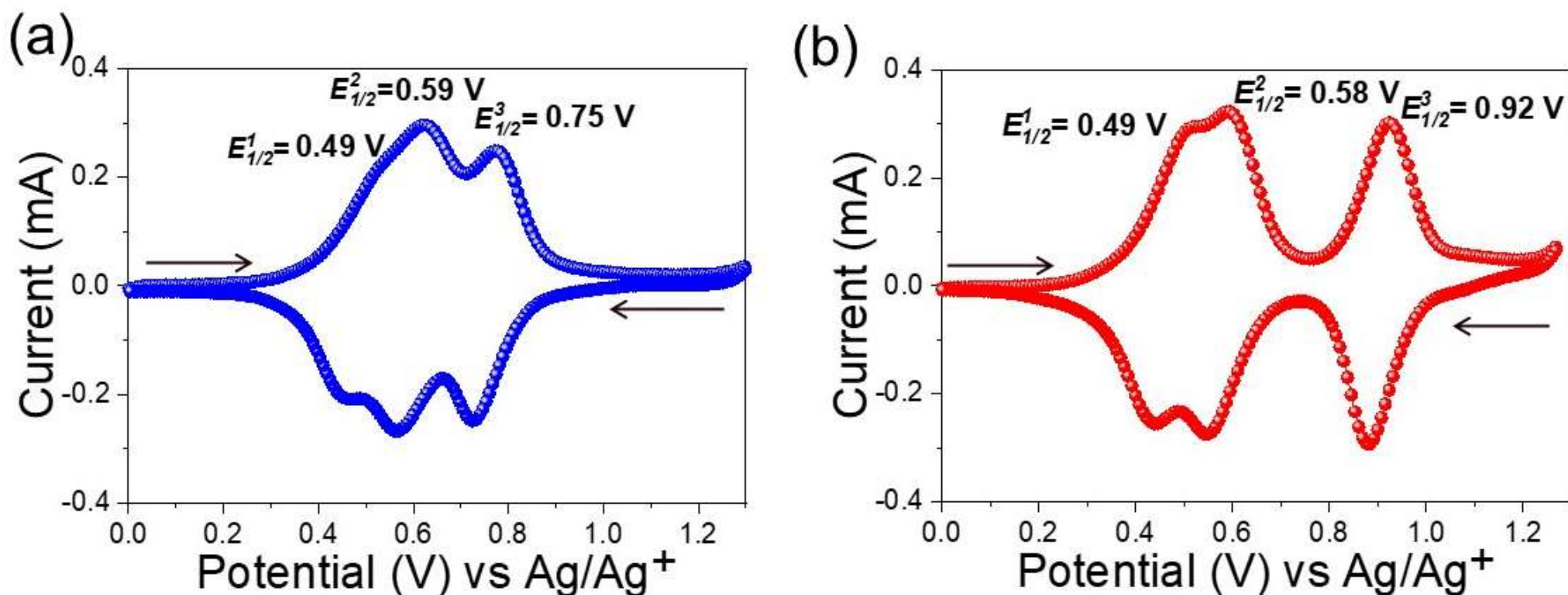
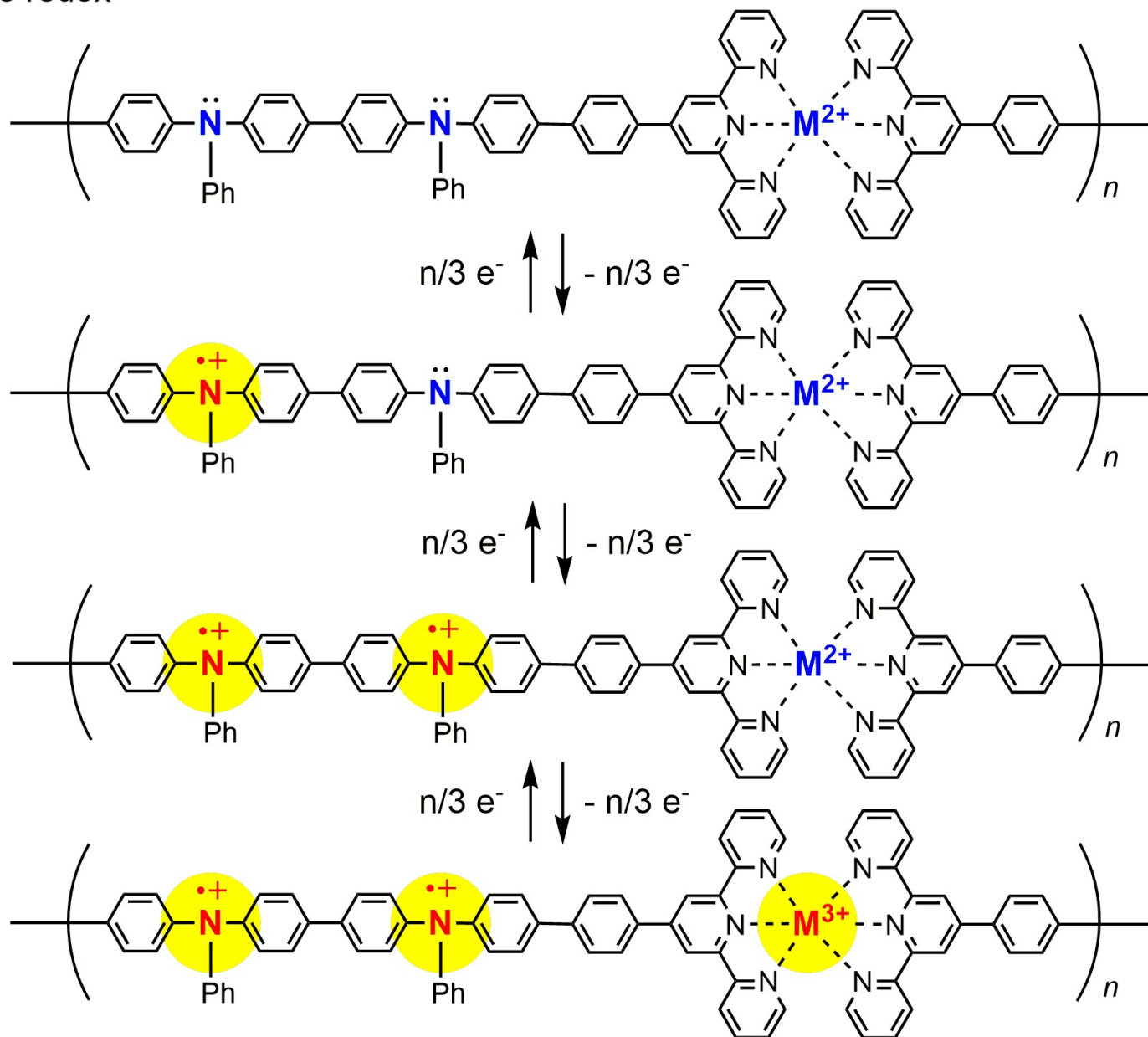


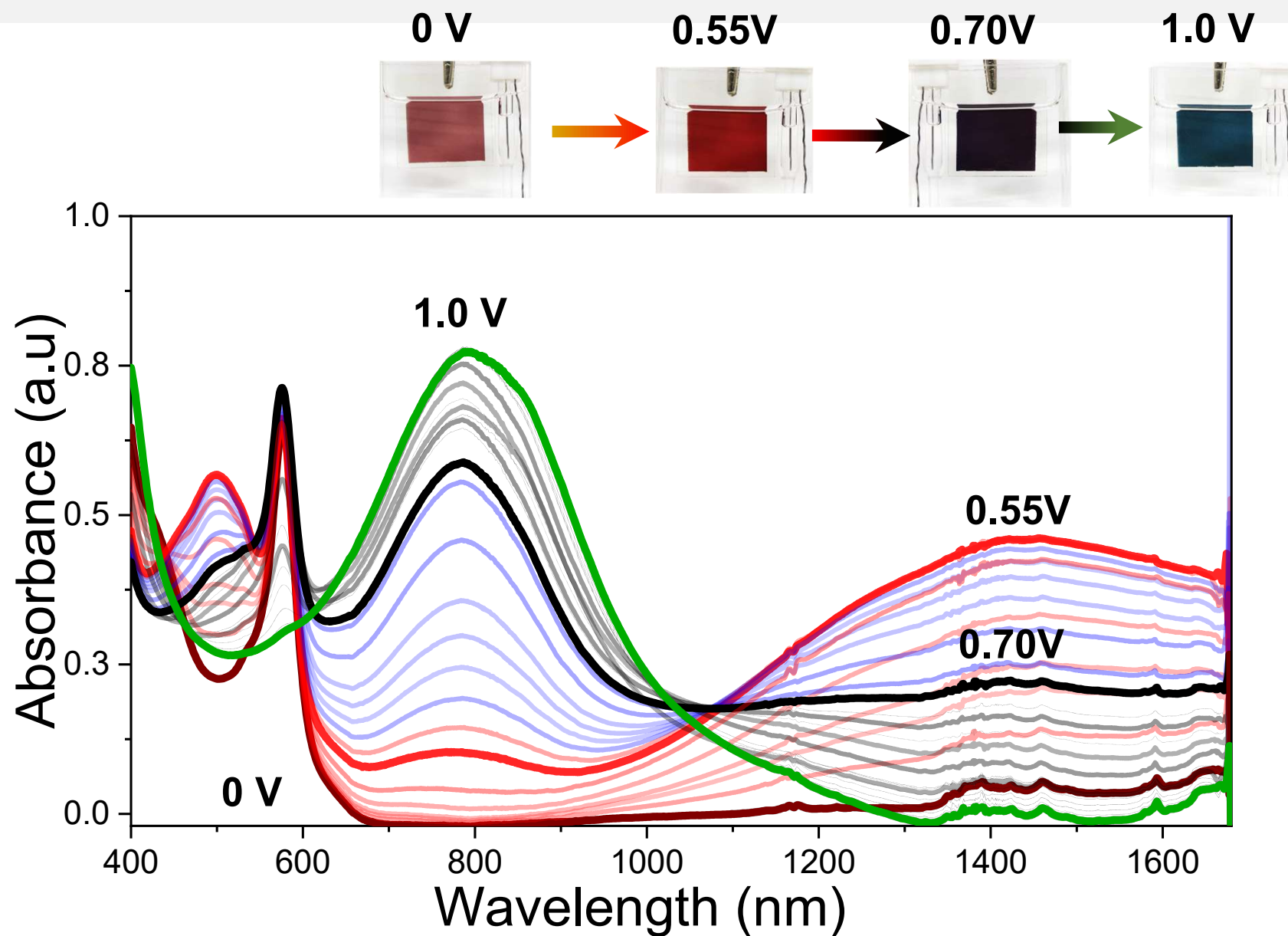
Figure. Cyclic voltammogram of (a) **polyFeL_{TPB}** and (b) **polyRuL_{TPB}** in an acetonitrile solution containing 0.1 M LiClO₄ at a scan rate of 50 mV/s.

酸化還元挙動

(b) Triple redox



近赤外EC特性



D. C. Santra, S. Mondal, B. Prusti, M. Higuchi *et al.*, *ACS Appl. Opt. Mater.*, **2024**, 2, 1117.

想定される用途・実用化に向けた課題

想定される用途

- 調光ガラス(ビルの窓)
- 調光フィルム(ビルの窓、車の窓)
- デジタルサイネージ(不揮発性ディスプレイ)

実用化に向けた課題: 各段階での量産プロセスの構築

- ① 材料の量産(化学メーカー)
- ② 透明電極基板(ガラス/フィルム)の供給(素材メーカー)
- ③ 材料の製膜(印刷メーカー)
- ④ デバイスの組み立て(組立メーカー)
- ⑤ 駆動装置の開発と量産(電子部品メーカー)

想定される用途・企業への期待

想定される用途

- 調光ガラス(ビルの窓)
- 調光フィルム(ビルの窓、車の窓)
- デジタルサイネージ(不揮発性ディスプレイ)

実用化に向けて以下の企業／研究者と連携を希望

- ① 建設会社
- ② 車メーカー
- ③ ガラスメーカー
- ④ 省エネ関連の研究者
- ⑤ 環境関連の研究者

企業への貢献、PRポイント

企業への貢献

- Well-beingにおける新しい価値を有する新製品の創出への貢献
- 効率的な遮光・遮熱による空調の省エネ化を推進する製品の創出への貢献

PRポイント

- ① 国内で開発した新材料
- ② 塗布による安価な製膜
- ③ 従来材料に比べ極めて優れたEC特性(着色効率、応答性、繰り返し耐久性)
- ④ 可視から近赤外までの幅広い吸収波長制御

本技術に関する知的財産権

特許第5062712号

高分子材料、その製造方法およびエレクトロクロミック素子

発明者: 樋口昌芳、林灯、クルス ディルクジー

出願人: 物質・材料研究機構

特許第5757615号

配位数4の金属及びビスフェナントロリン誘導体を含む有機／金属ハイブリッドポリマー、その配位子、及びその製造方法

発明者: 樋口昌芳、ホサイン エムディデルワー

出願人: 物質・材料研究機構

特許第7249601号

金属錯体系エレクトロクロミックデバイス

発明者: 樋口昌芳、ル シンチェ、何國川

出願人: 物質・材料研究機構、国立台湾大学

物質・材料研究機構 企業連携室

TEL: 029-859-2000 (代表)

FAX: 029-859-2029

Mail: technology-transfer@nims.go.jp