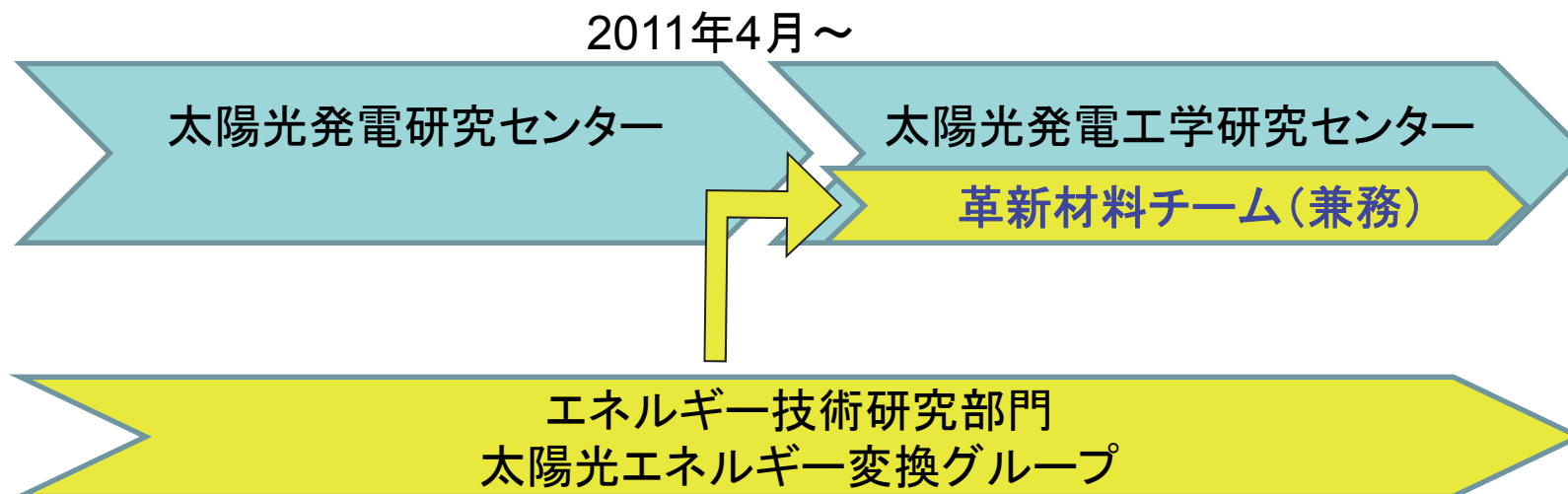


革新材料チームの概要

革新材料チーム
佐山 和弘

研究体制

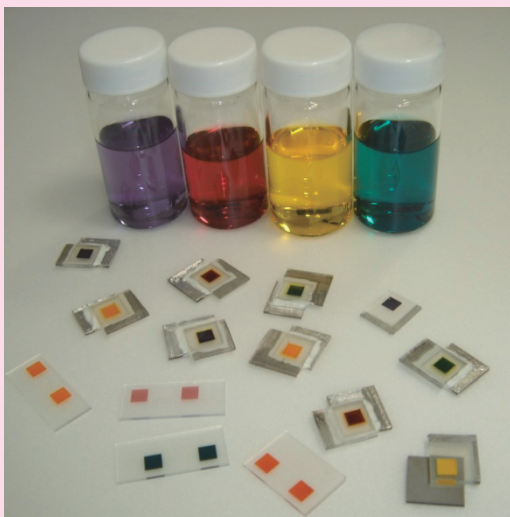


職員:8名
 招聘研究員:1名
 テクニカルスタッフ:4名
 ポスドク:2名
 学生:5名
 その他共同研究員等

研究テーマ:

- ・色素増感太陽電池
- ・人工光合成技術(太陽光水素製造、CO₂固定)
- ・環境浄化用の可視光光触媒

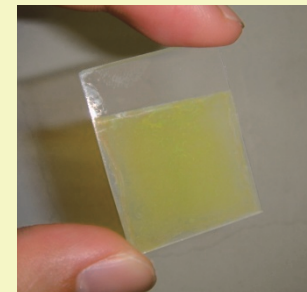
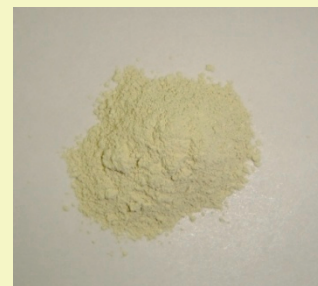
色素増感太陽電池



機能模倣

機能模倣

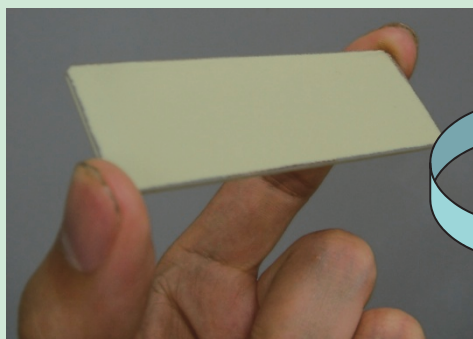
人工光合成技術



半導体光触媒

半導体光電極

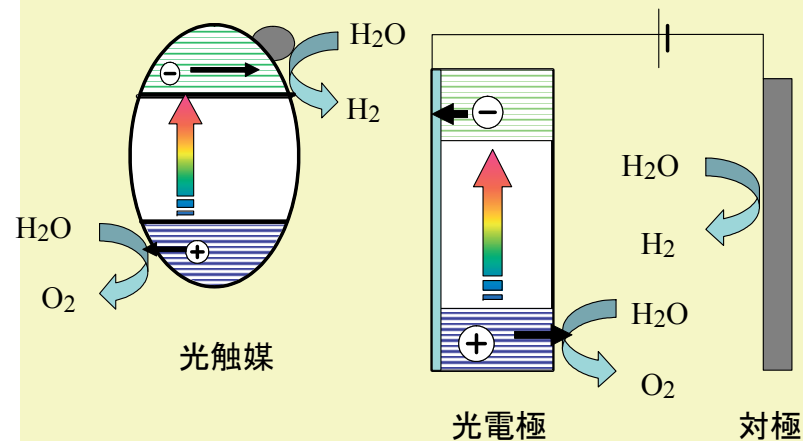
環境浄化用の可視光光触媒
(CuO-WO₃、Pd-WO₃)



有害物質
悪臭物質

CO₂

応用展開



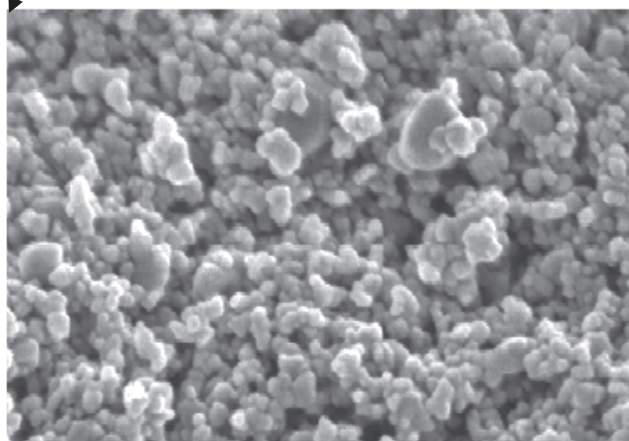
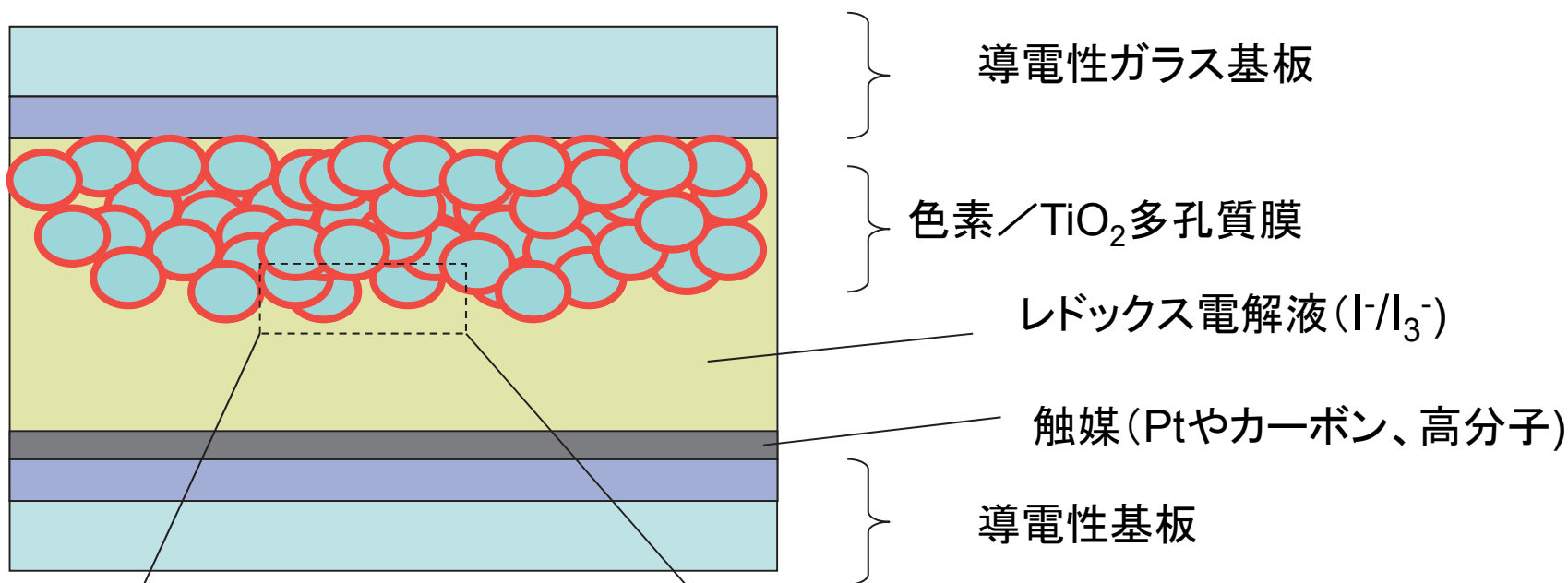
炭酸ガス固定用の錯体触媒
(水素化→ギ酸合成)

色素増感太陽電池の特徴・利点

- ・半導体－色素界面で電荷分離し、レドックス媒体により電子移動。
光合成の機能を模倣した電池。p-n接合型電池と大きく異なる。
- ・簡単な製造設備、少ない製造エネルギー。→製造コスト低い(50円/Wp以下の可能性)
- ・デザイン性:様々な色の色素を用いることで電池を多様な色彩(カラフル太陽電池)。
曲面やフレキシブルな太陽電池。
- ・製造材料の資源的制約が少ない。
- ・性能を落とさない電解液の擬固体化技術もほぼできている。
- ・拡散光の有効利用: 朝夕の斜めからの微弱な太陽光に対して高い光電変換性能
- ・発電素子のオンサイト再生。電極のリサイクル。色素や溶液のバージョンアップ可能。
「3R型太陽電池」(再使用(Reuse・Repair)、リサイクル(Recycle)、改良(Reform))



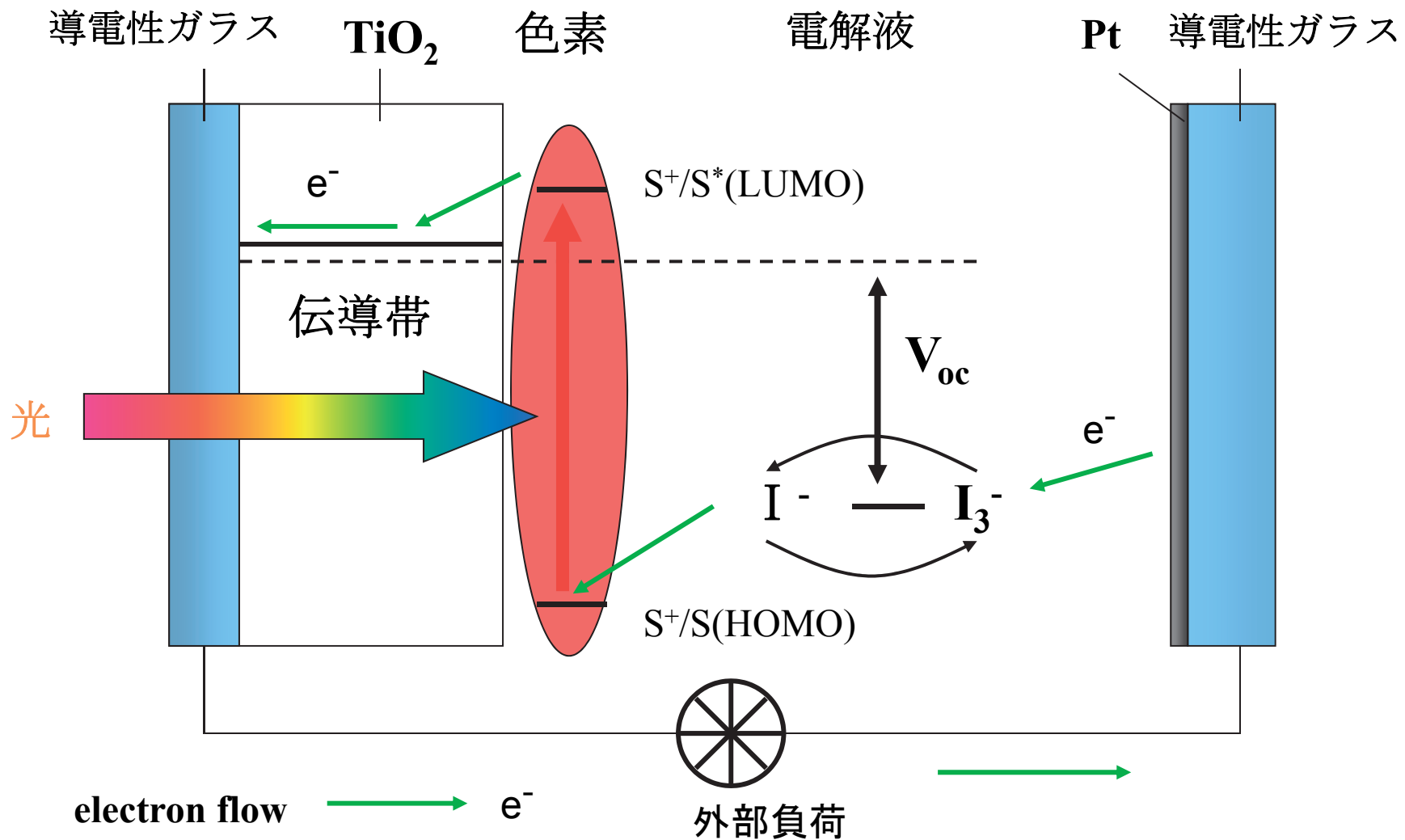
次世代型太陽電池として期待。



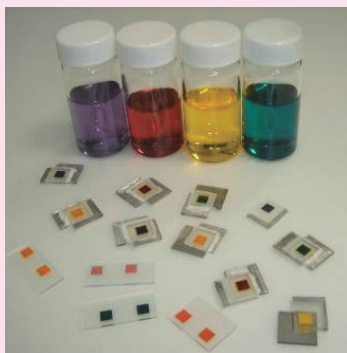
多孔質TiO₂ナノ微粒子電極 100nm

簡単な製造設備と少ない製造エネルギー
 → 製造コストの著しい削減が期待

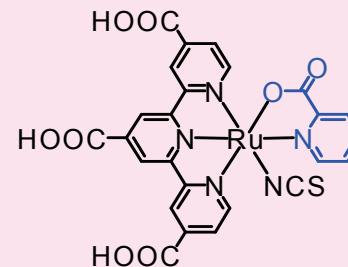
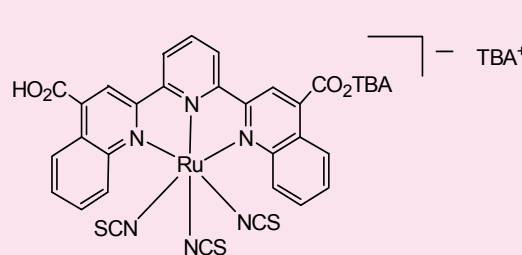
色素増感太陽電池の動作原理



錯体色素開発技術

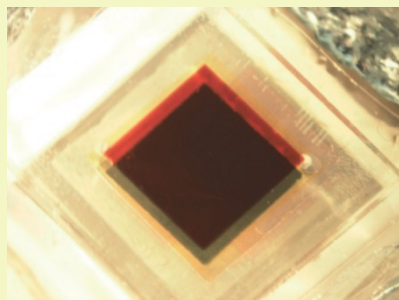


産総研で開発した様々な錯体色素とDSSC



近赤外領域の効率や量子収率で最高レベルの色素を開発

近赤外を利用できる新規Ru錯体色素を重点的に開発



・高効率タンデムセル技術



基盤要素技術

- ・新規半導体や電解液開発
- ・計算科学を用いた効率予測や材料設計
- ・新構造セル
 - ・耐熱フレキシブル透明基板を利用したDSSC
 - ・導電性透明基板を不使用のDSSC

NEDOロードマップ: PV2030+の効率目標

| 個別技術の開発目標 | 太陽電池 ¹⁾ | 現状 | | 75円/W _p 2017年 | | 50円/W _p 2025年 | | 2050年 |
|-----------|--------------------|-----------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | モジュール (%) | セル ⁵⁾ (%) | モジュール (%) | セル ⁵⁾ (%) | モジュール (%) | セル ⁵⁾ (%) | |
| | | | | | | | | |
| | 結晶Si ²⁾ | ~16 | 25 | 20 | 25 | 25 | (30) | 40%の 超高効率 太陽電池 (追加開発) |
| | 薄膜Si | ~11 | 15 | 14 | 18 | 18 | 20 | |
| | CIS系 | ~11 | 20 | 18 | 25 | 25 | 30 | |
| | 化合物系 ³⁾ | ~25 | 41 | 35 | 45 | 40 | 50 | |
| | 色素増感 | — | 11 | 10 | 15 | 15 | 18 | |
| | 有機系 ⁴⁾ | | 5 | 10 | 12 | 15 | 15 | |

9.9% (SONY)

業務用電力並み
14円/kWh(2020年)

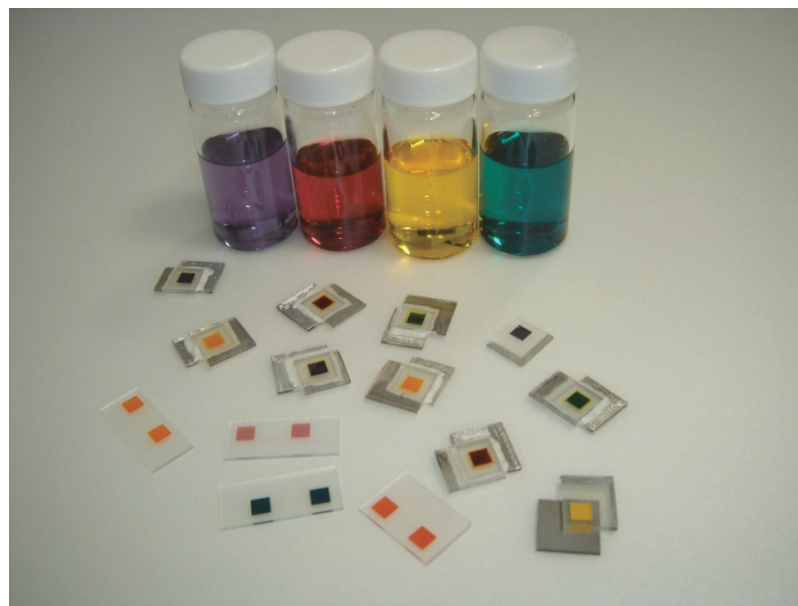
事業用電力並み
7円/kWh(2030年)

2017年にはセルで15%以上が目標
→ 高性能で安定な色素開発が非常に重要。

近赤外を利用できる新規Ru錯体色素を重点的に開発

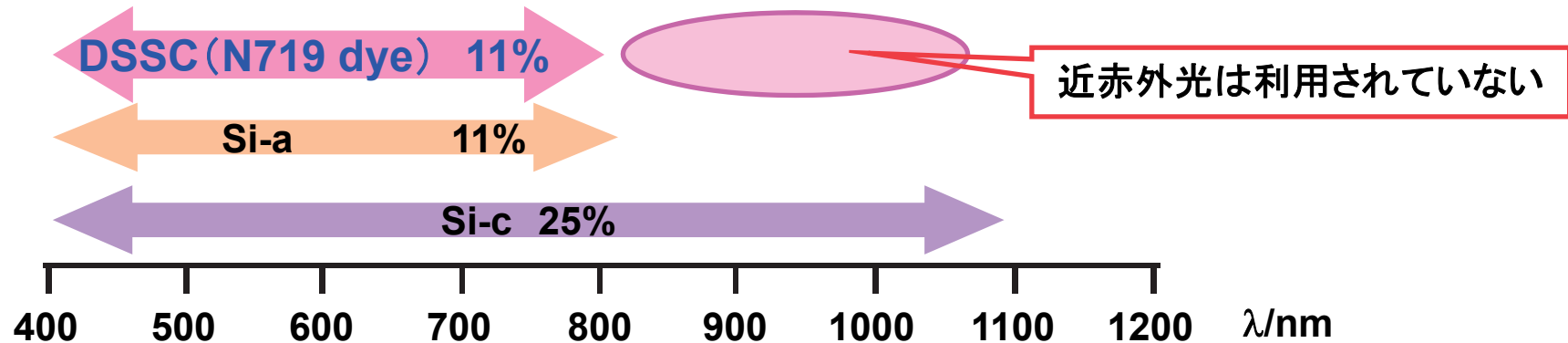
- ・現時点で最も効率が高い。(セル公認値で11.4%。未公認値で12.3%)
- ・安定性が検証されている。(44年分相当)
- ・モジュールコストに占めるRuコストは2%前後。
- ・HOMO-LUMO準位の独立制御、光吸収制御が容易。

→15%効率および短期的に実用化を目指すにはRu錯体利用が最も有利。

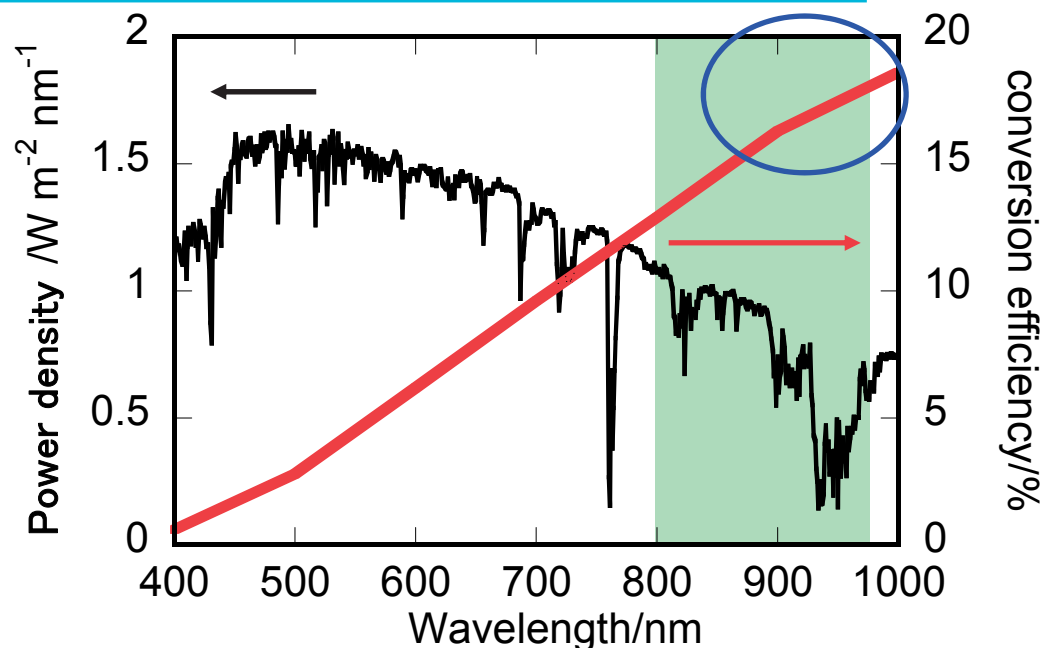


当グループで開発した様々なRu錯体色素

光電変換効率と利用波長領域



利用波長領域と期待される変換効率



報告されている増感色素で波長800 nm以上の光に有効なもの是非常に少ない

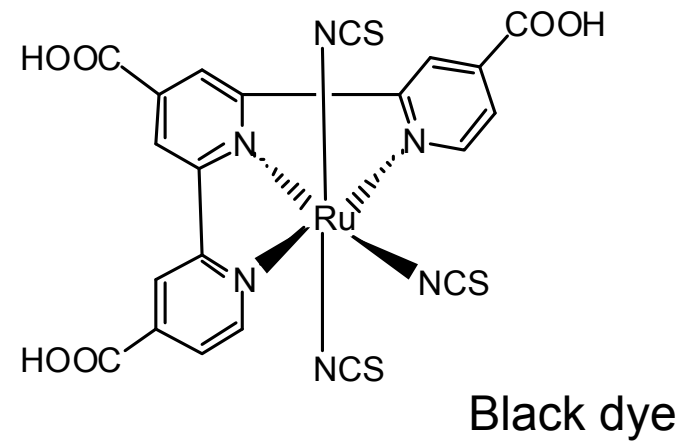
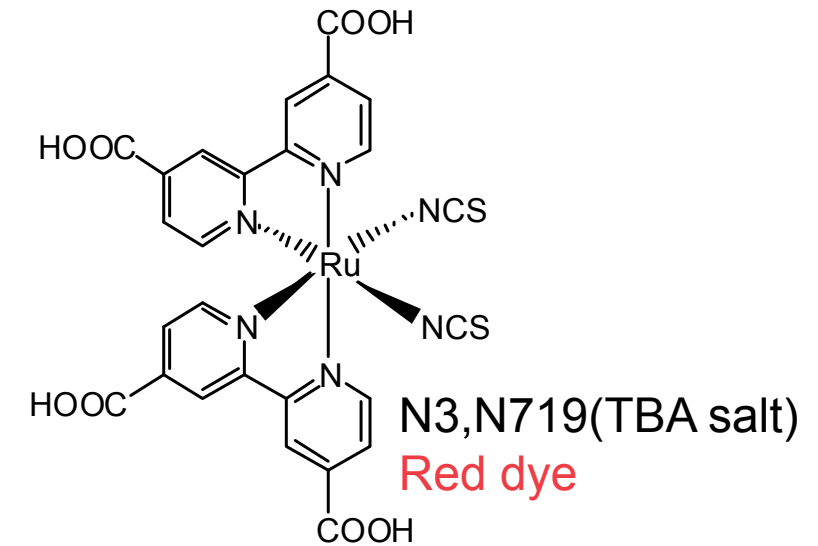
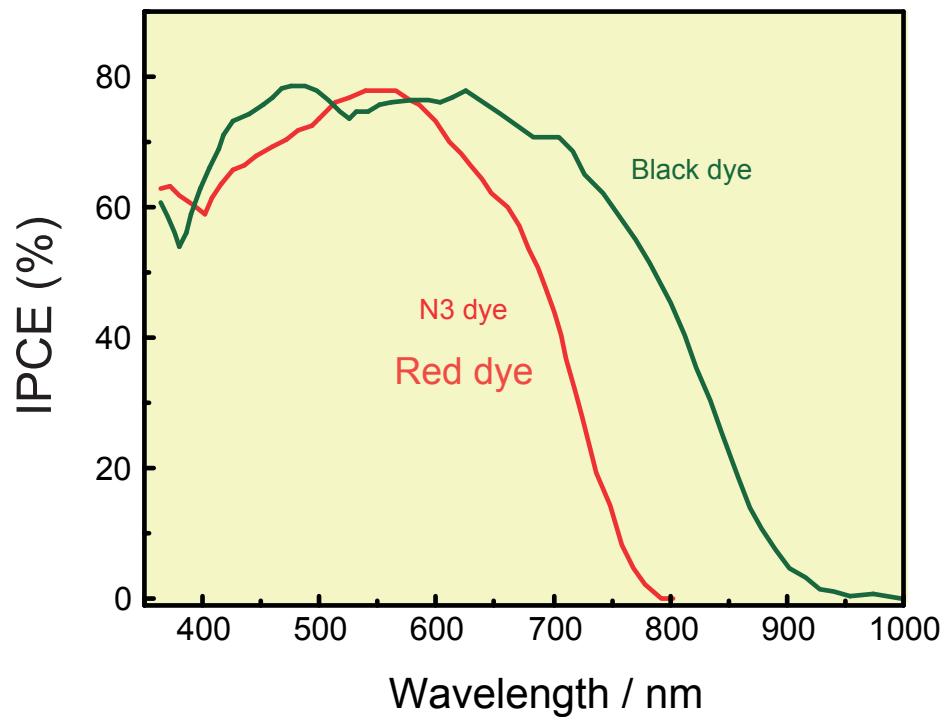


1000 nm までの光を有効利用できれば15% 以上の変換効率は可能である.

※ $V_{oc} = 0.75 \text{ V}$, $FF = 0.75$ として計算

一般的なRu錯体色素

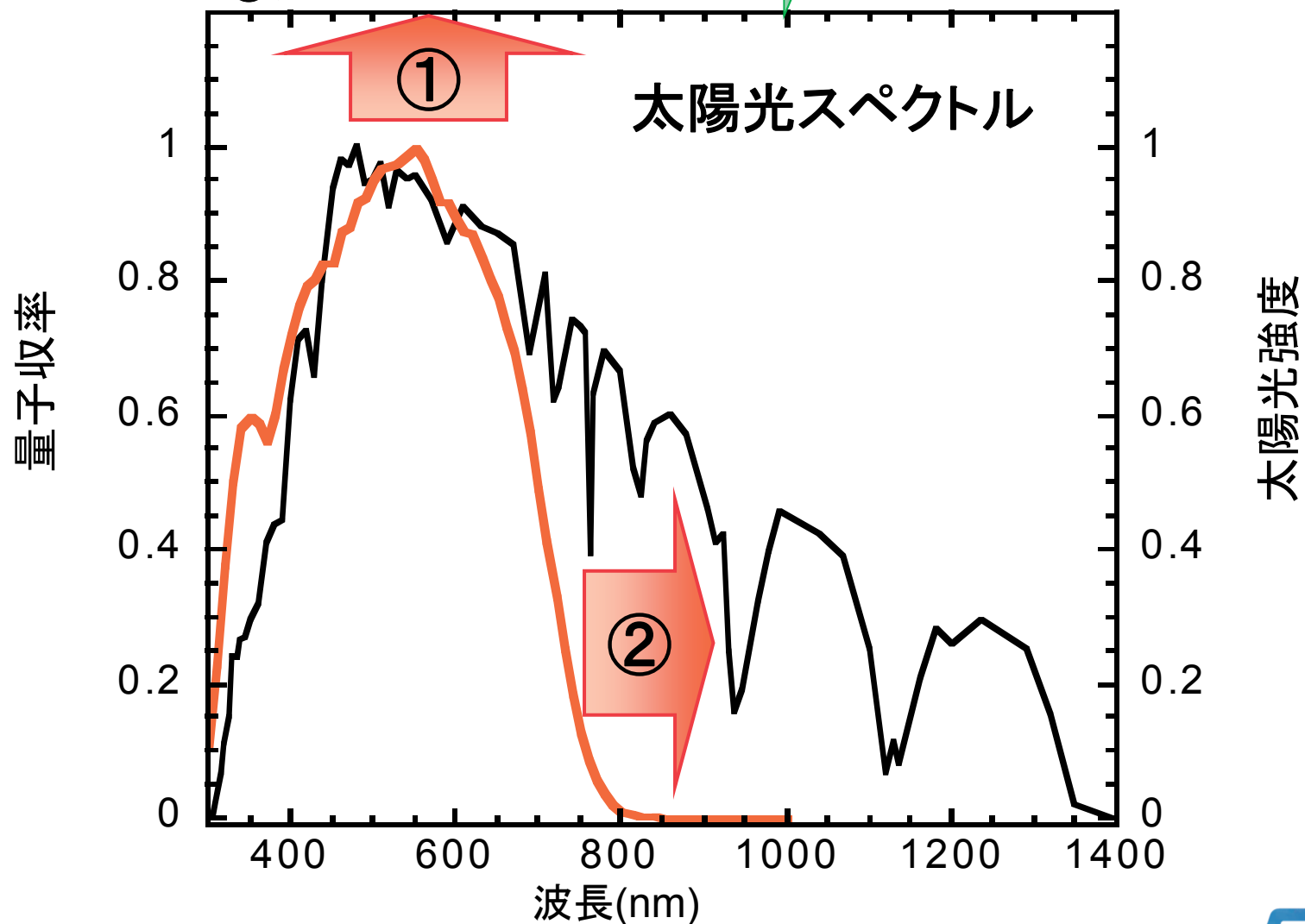
IPCE(見かけの量子収率)スペクトル



注:本発表ではレッドダイが利用できない800nm以上を近赤外として定義します。

- ①大きな吸光係数の獲得
- ②光吸収領域の拡張
- ③タンデム化

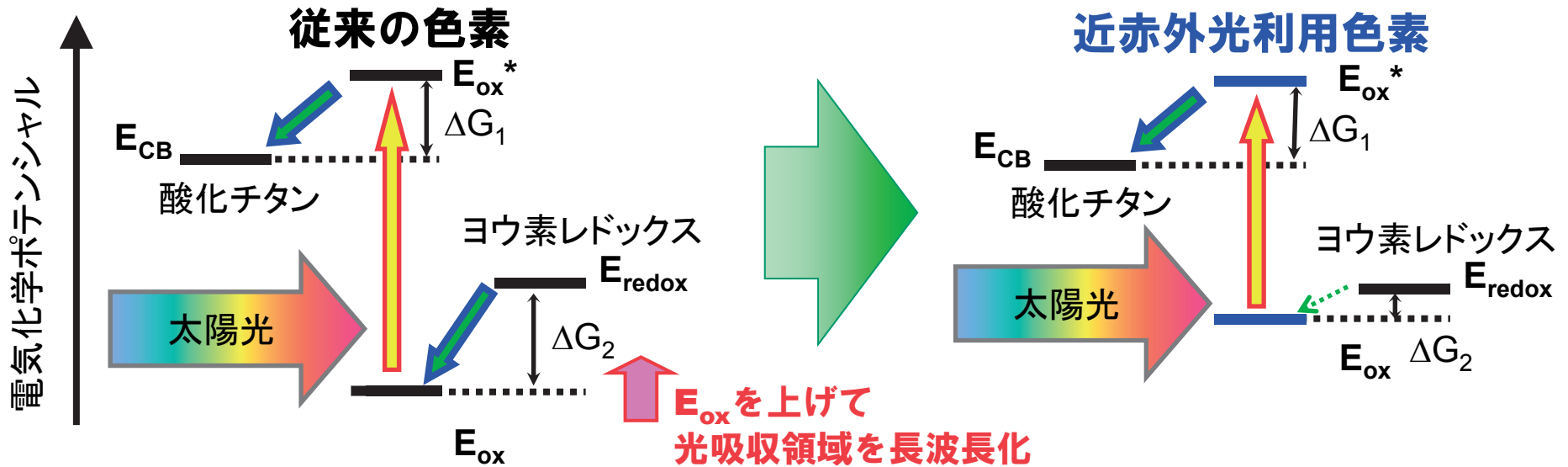
光電流の増大と
高効率化



革新材料チームの個別テーマの紹介

近赤外Ru色素のエネルギー準位のチューニングによる高効率化

船木敬、杉原秀樹ら



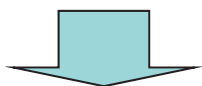
ΔG が小さすぎると電子移動効率が低下

色素のエネルギー準位(E_{ox} , E_{ox}^*)のファインチューニングが必要

電池性能

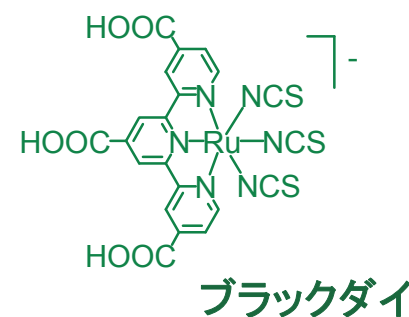
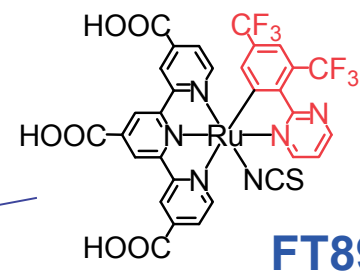
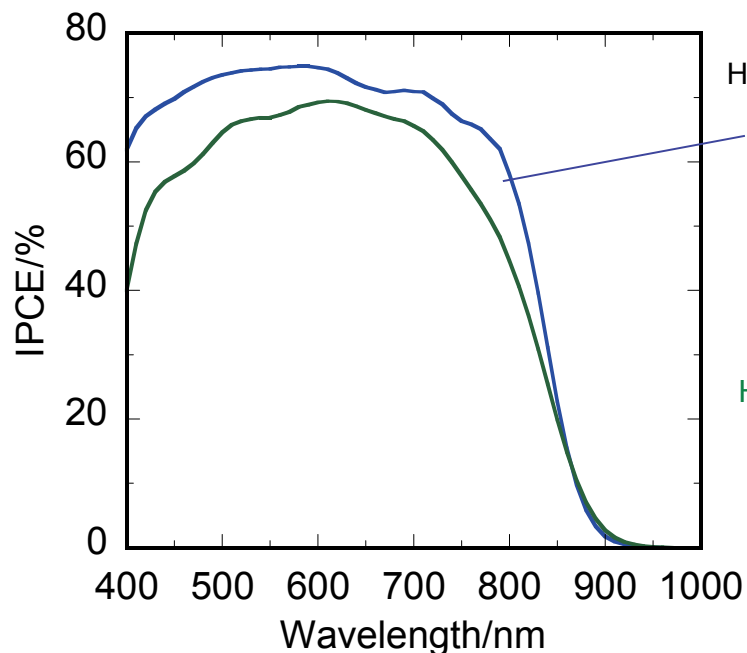
| Dye | η /% | J_{sc} /mA cm ⁻² | V_{oc} /V | ff | IPCE _{max} /% | IPCE _{max} /nm |
|--------|-----------|-------------------------------|-------------|------|------------------------|-------------------------|
| FT89 | 10.4 | 21.3 | 0.70 | 0.70 | 75 | 590 |
| ブラックダイ | 9.9 | 18.9 | 0.71 | 0.74 | 70 | 610 |

初期実験段階で
FT89はブラックダイ
よりも充分に大きい
効率を示した

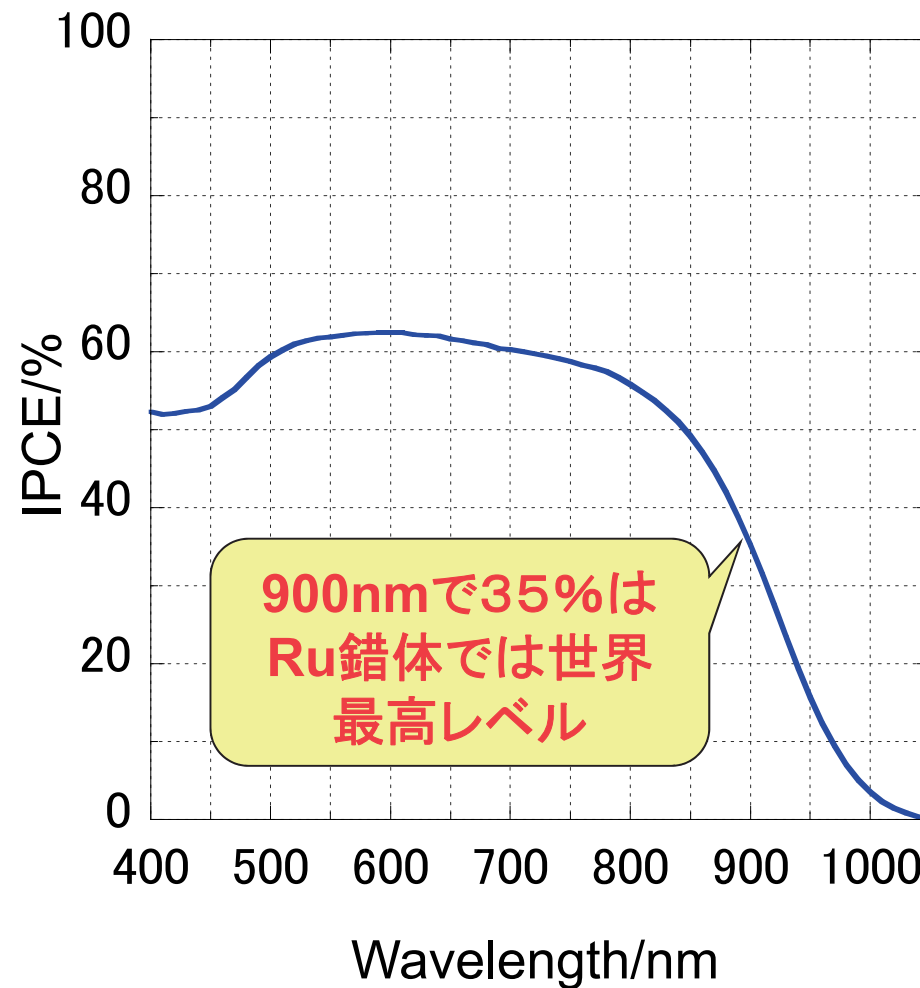
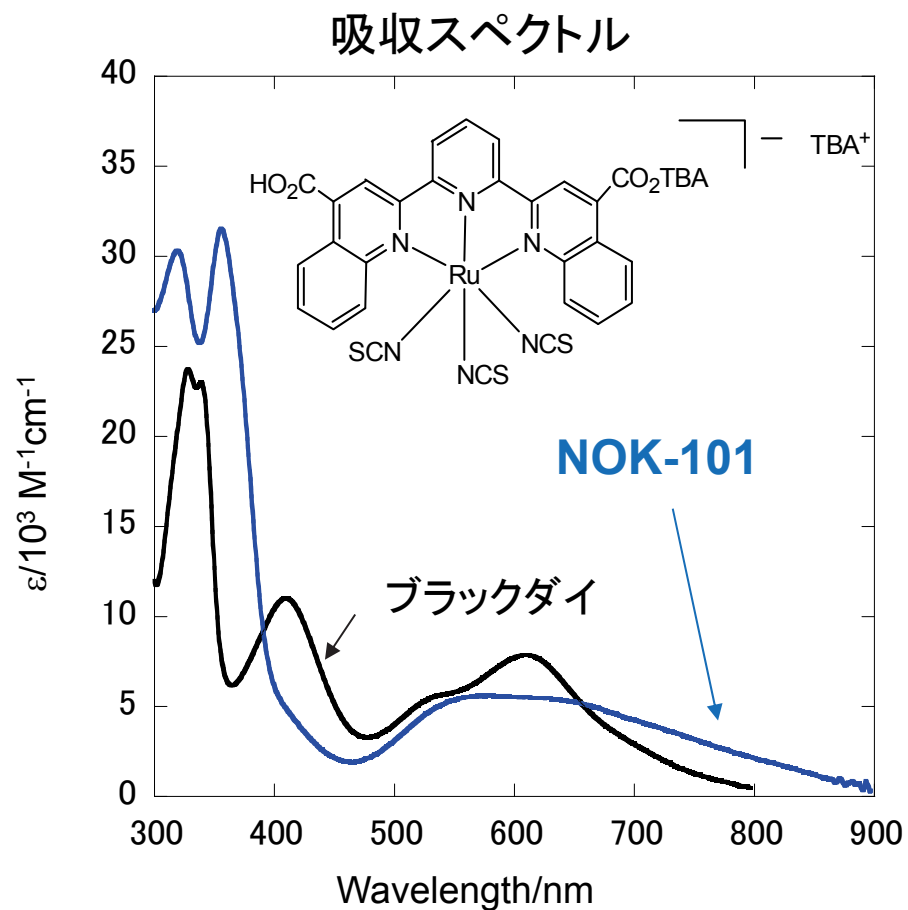


最適化で世界最高
効率を狙える！

アクションスペクトル



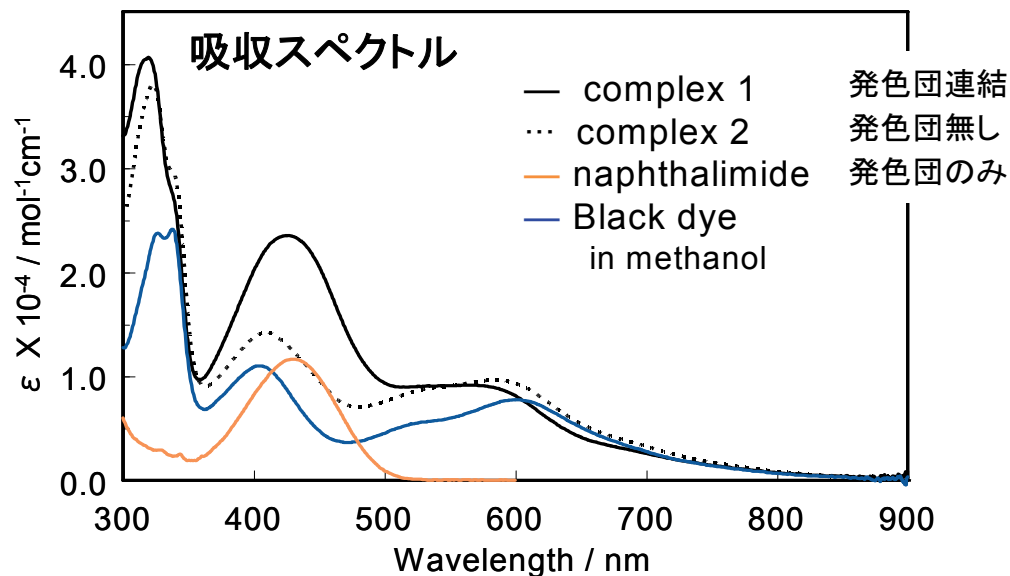
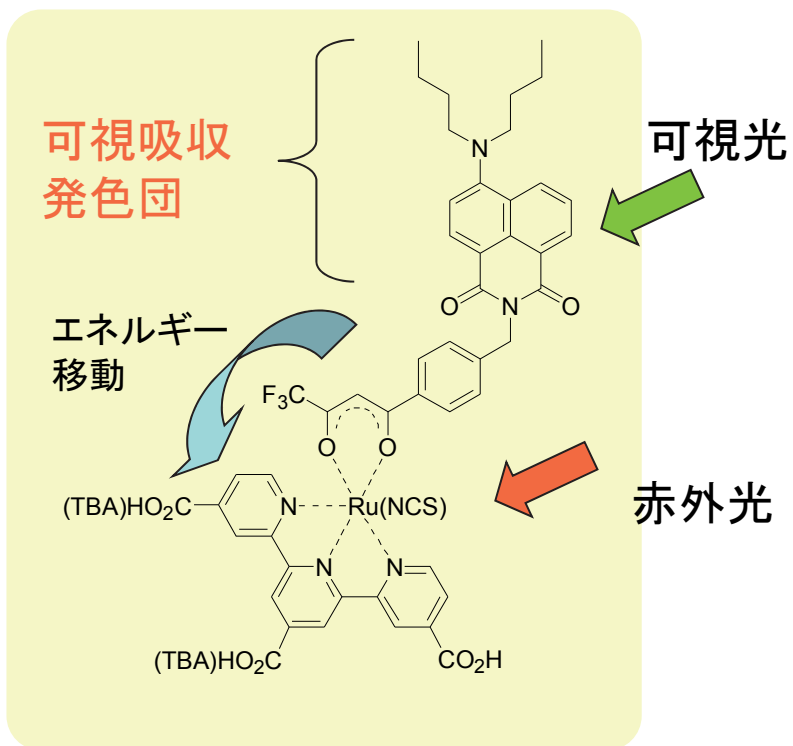
小野澤伸子ら



ポスターでは置換基効果や効率向上の検討結果について報告

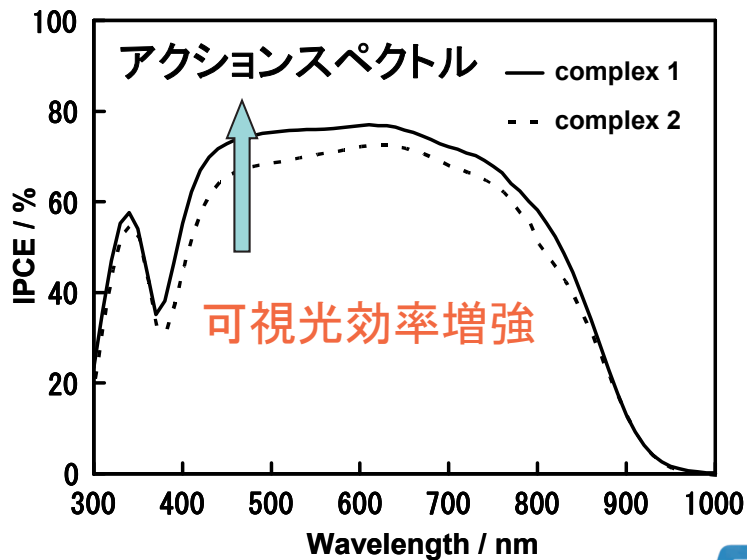
春日和行ら

錯体1

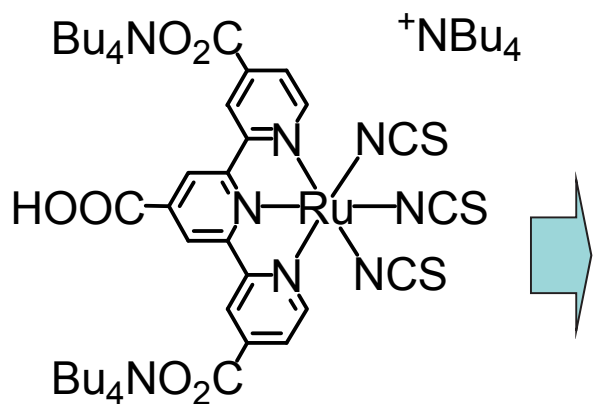


発色団連結
発色団無し
発色団のみ

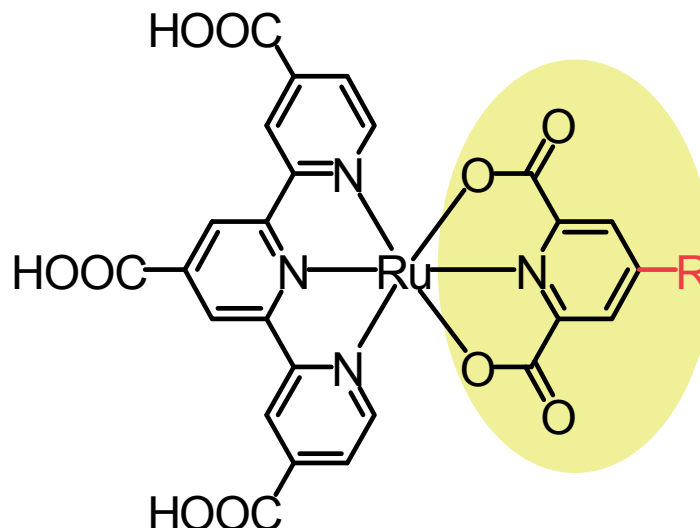
可視光発色団を外部配位子に導入し、可視光と近赤外の両方の効率的な利用を実現できることを実証。



田村光裕、船木敬ら



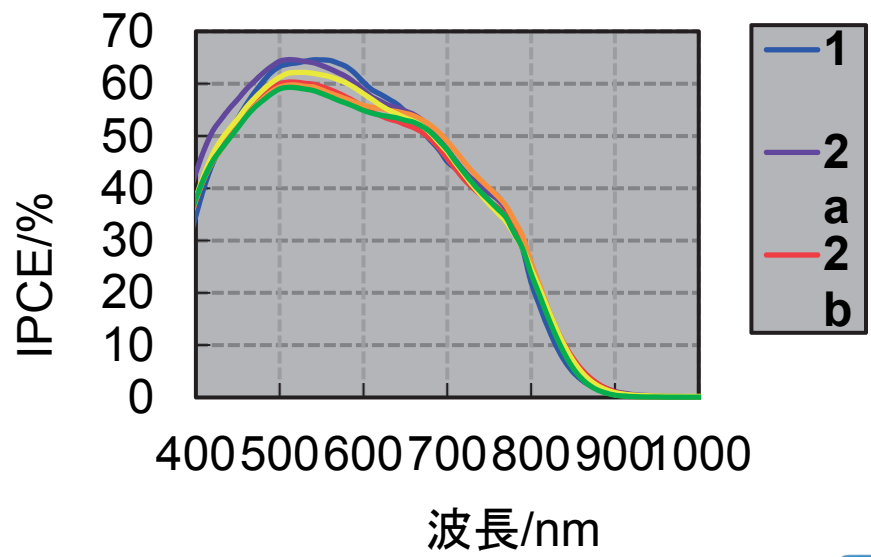
ブラックダイ



2,6-ピリジンジカルボキシラト配位子をもつルテニウム錯体

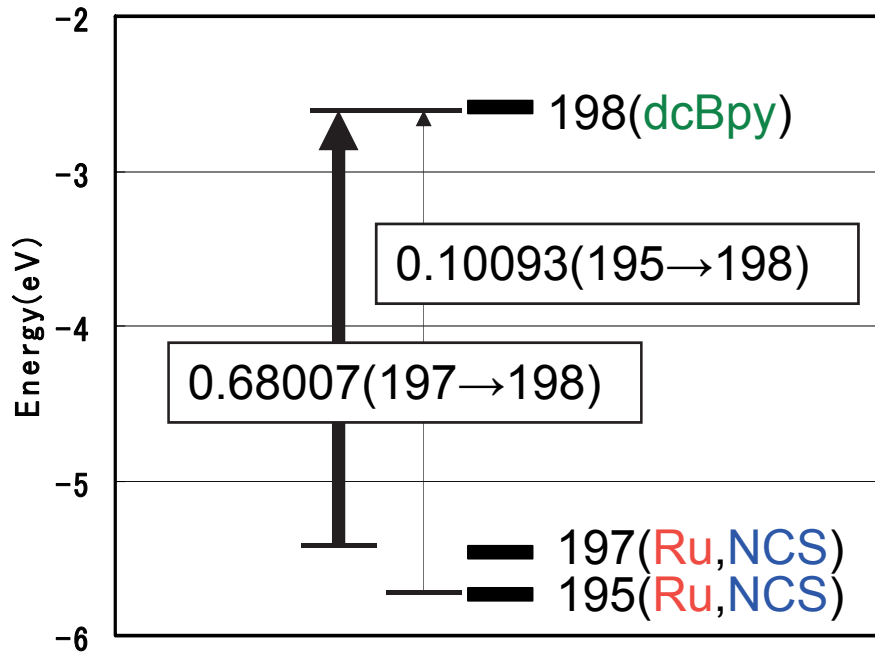
- 1: R = H
- 2a: R = OC₄H₉
- 2b: R = OC₆H₁₃
- 2c: R = OC₈H₁₇
- 2d: R = OC₁₀H₂₁
- 2e: R = OC₁₂H₂₅

・色素安定性の向上や長鎖アルキル基効果による性能向上が期待

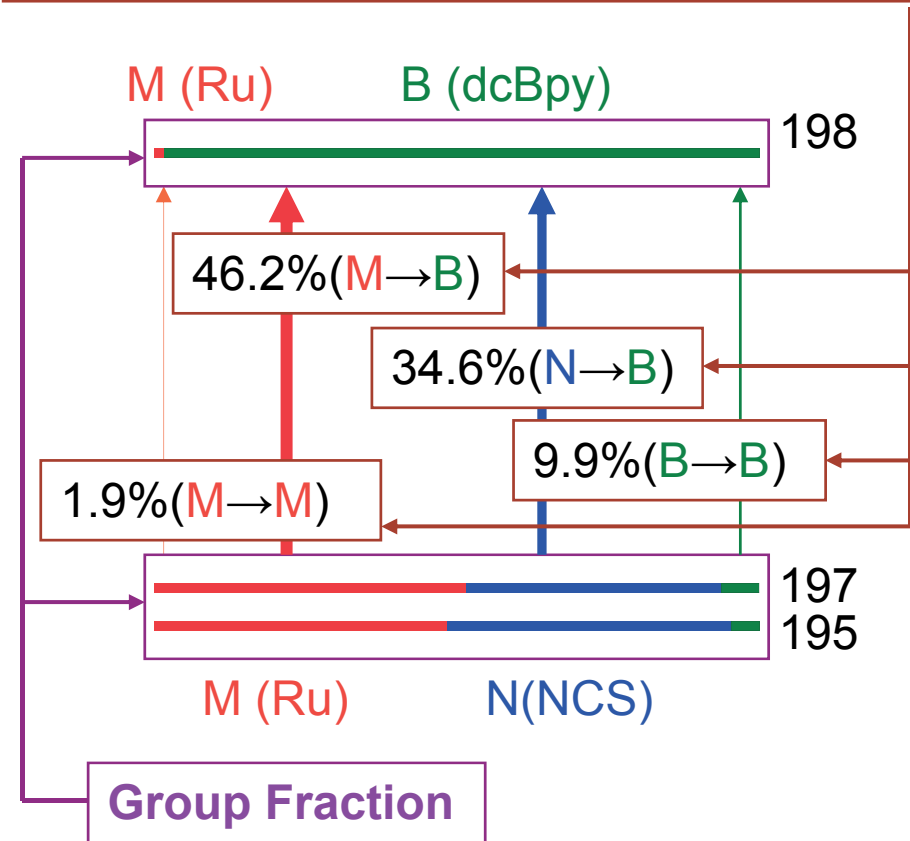


北尾修ら

Group Weight and Group Component



一般的な解析法
Standard Analysis



Group Fraction

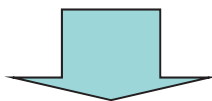
遷移成分解析法 (TCA、Transition Component Analysis)

草間 仁ら

| 添加物 | J_{sc} (mA·cm ⁻²) | V_{oc} (V) | ff | η (%) |
|--------|---------------------------------|--------------|------|------------|
| なし | 16.5 | 0.62 | 0.63 | 6.5 |
| ピラゾール | 15.6 | 0.67 | 0.67 | 7.0 |
| イミダゾール | 9.9 | 0.85 | 0.77 | 6.5 |
| ピリジン | 14.7 | 0.73 | 0.72 | 7.7 |
| ピリミジン | 15.2 | 0.67 | 0.69 | 7.0 |
| ピラジン | 15.4 | 0.67 | 0.66 | 6.9 |
| TBP | 14.2 | 0.77 | 0.72 | 7.9 |

色素: Ru(II)錯体 (N3)

いずれの含窒素複素環式化合物添加でも V_{oc} は増大するが、 J_{sc} は低下した。



本発表では、含窒素複素環式化合物とRu色素との相互作用を理論的に研究し、 J_{sc} 低下の理由を解明する。

含窒素複素環式化合物はヨウ素レドックスによる酸化型色素の再還元反応を抑制し、 J_{sc} を低下させることが示唆された。