

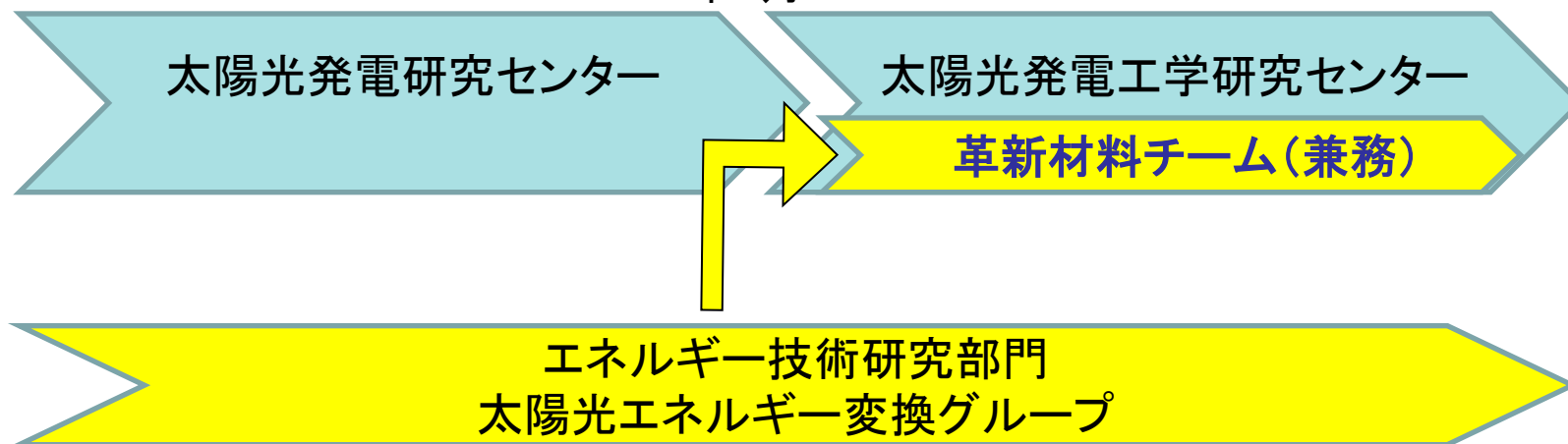
色素増感太陽電池の研究開発

革新材料チーム チーム長
佐山 和弘

(一部は先端産業プロセス・低コスト化チームの成果)

革新材料チームの研究体制

2011年4月～



職員: 9名
 招聘研究員: 1名
 テクニカルスタッフ: 5名
 ポスドク: 3名
 学生: 3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(太阳光水素製造、CO₂固定)
- ・環境浄化用の可視光光触媒

発表内容

◎色素増感太陽電池の特徴や研究背景

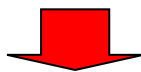
◎色素増感太陽電池分野全体の最近の動向

◎色素増感太陽電池の高効率化と実用化の研究を
どのように進めるべきか

→15%達成のためにはヨウ素レドックスで可能か？

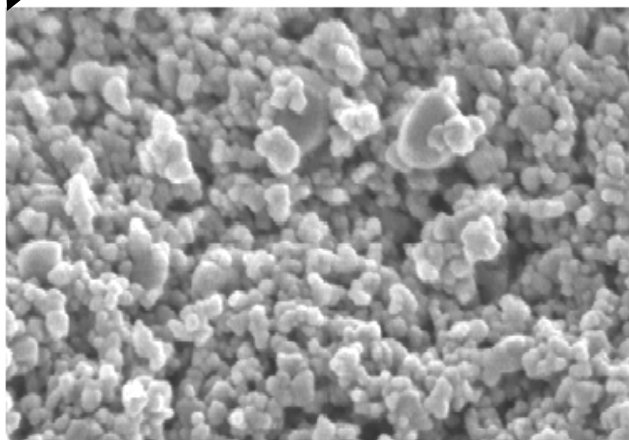
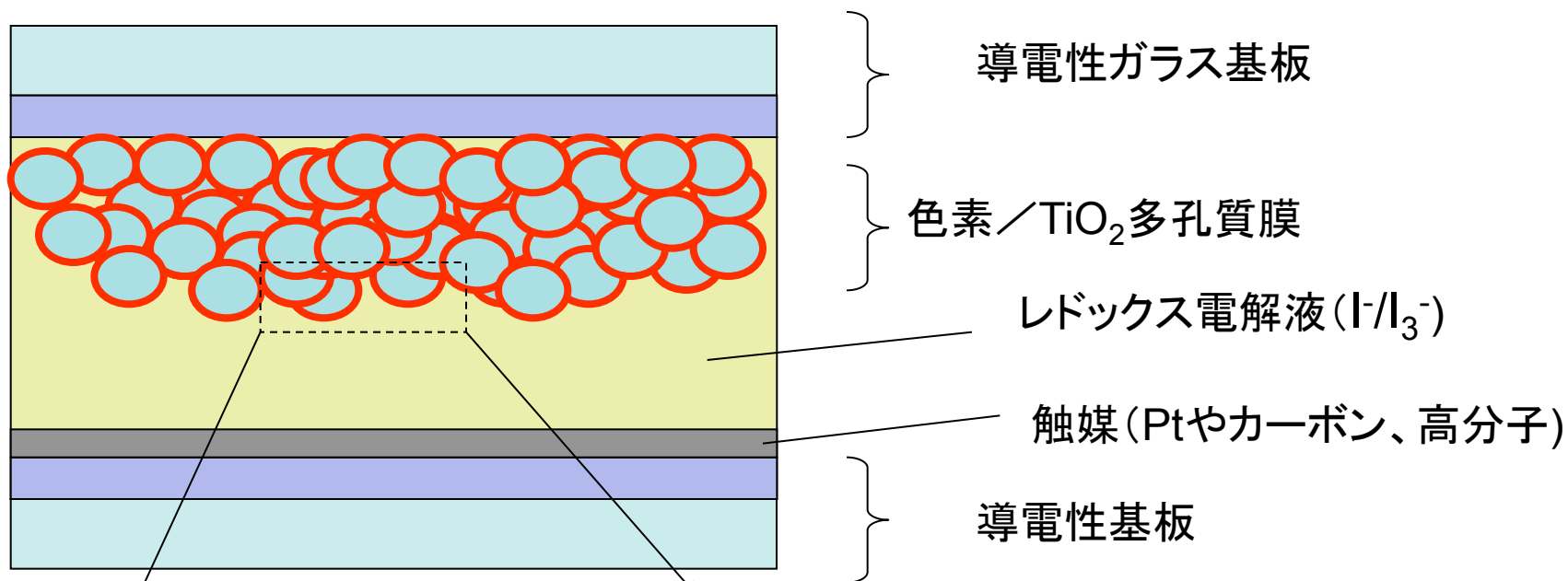
色素増感太陽電池の特徴・利点

- ・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する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多様な色彩の電池(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変換性能低下しにくい
- ・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。

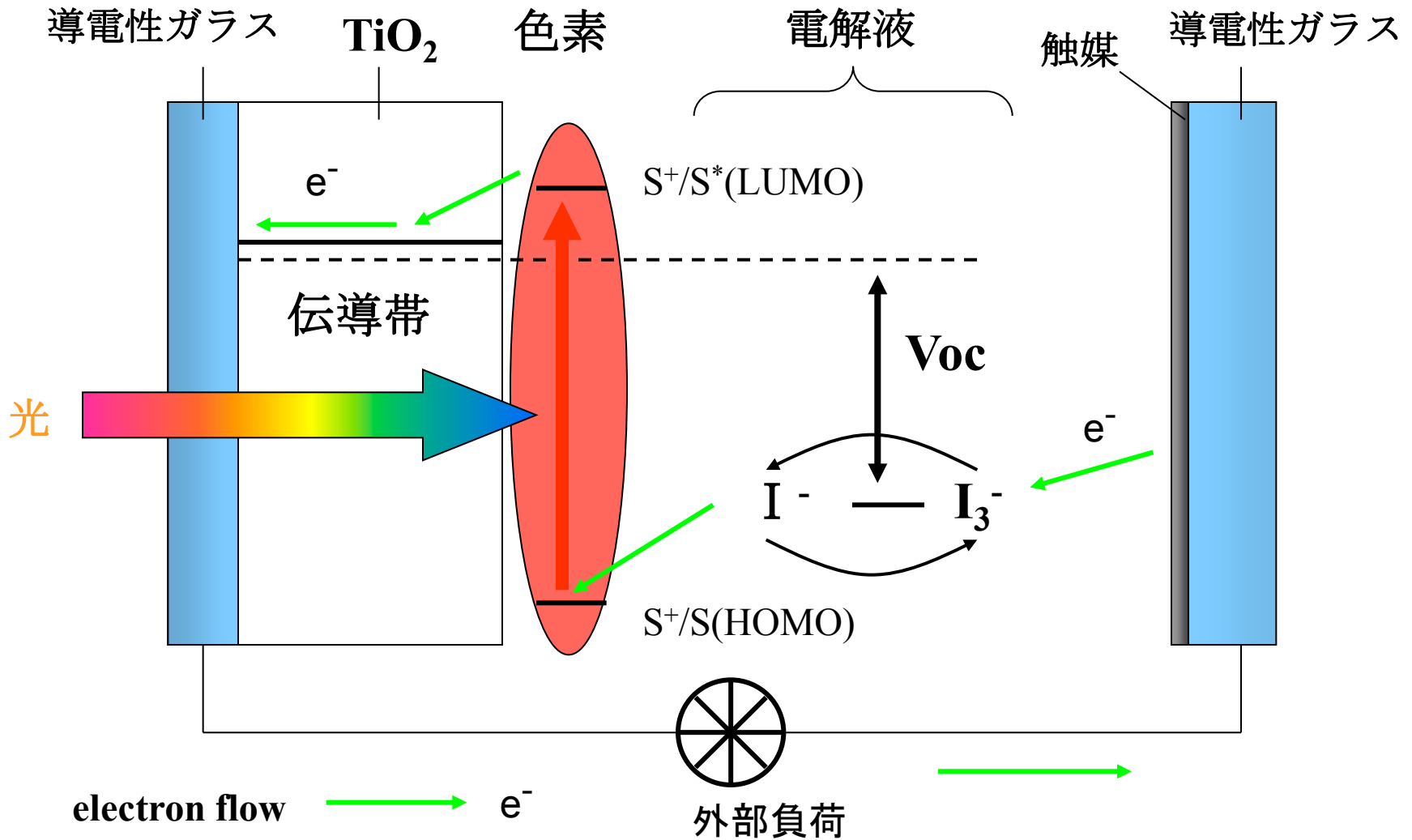
色素増感型太陽電池の一般的な構造



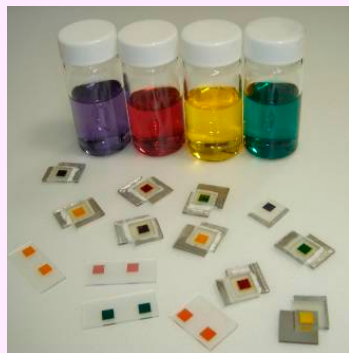
簡単な製造設備と少ない製造エネルギー
→製造コストの著しい削減が期待

多孔質TiO₂ナノ微粒子電極 100nm

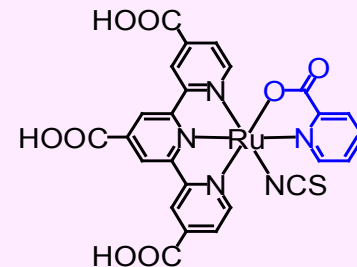
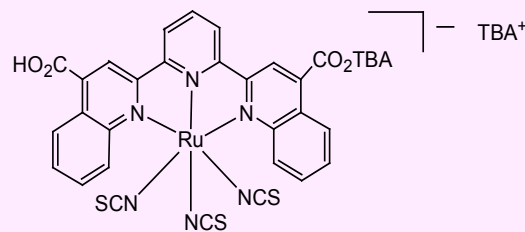
色素増感太陽電池の動作原理



錯体色素開発技術

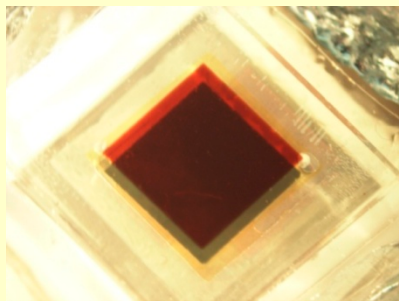


産総研で開発した様々な錯体色素とDSSC



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.
 - ・導電性透明基板を不使用.

NEDOロードマップ: PV2030+の効率目標

75円/W_p

50円/W_p

個別技術の開発目標	太陽電池 ¹⁾	現状		2017年		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⁾ (%)	モジュール (%)
	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)

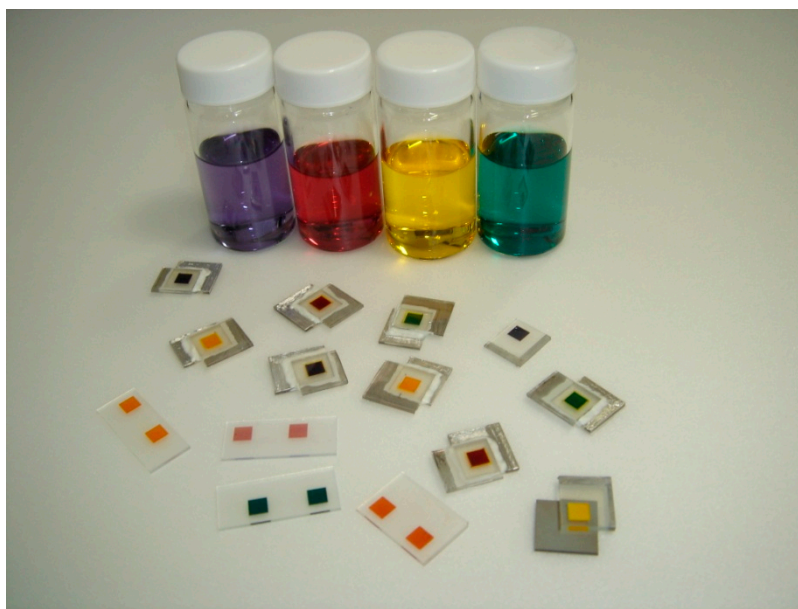
事業用電力並み
7円/kWh(2030年)

2017年にはセルで15%以上が目標
→ 高性能で安定な新規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する理由

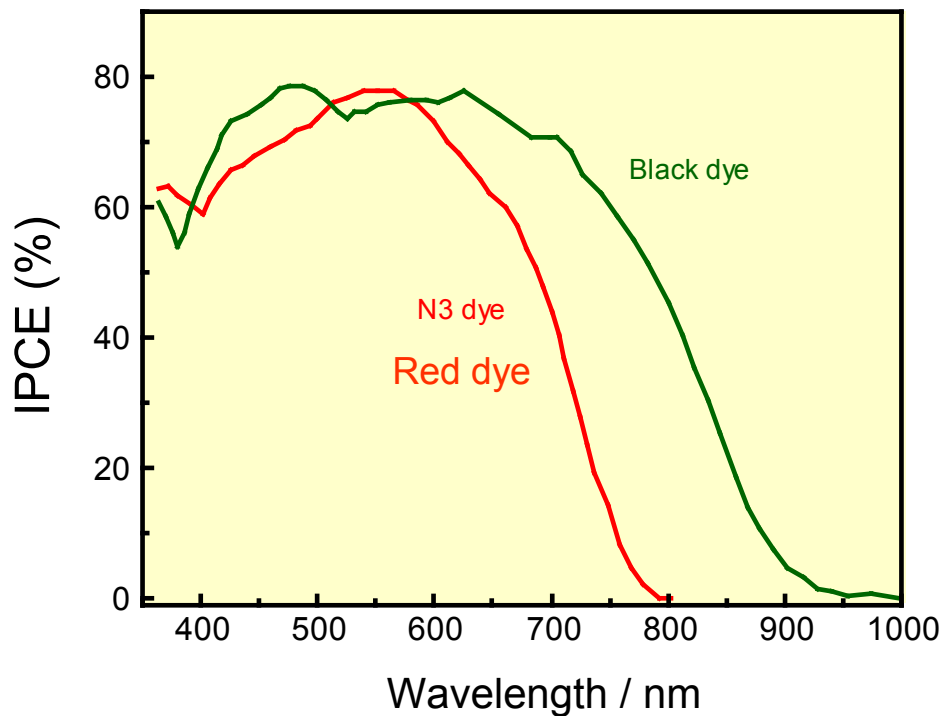
- ・現時点で最も公認値効率が高い。(小型セル11.4%。未公認値で12.2%)
- ・安定性が検証されている。(加速試験で44年分相当)
- ・モジュールコストに占めるRuコストは2%前後。
- ・HOMO-LUMO準位の独立制御、光吸収制御が容易。

→15%効率および短期的に実用化を目指すには近赤外Ru錯体利用が最も有利。

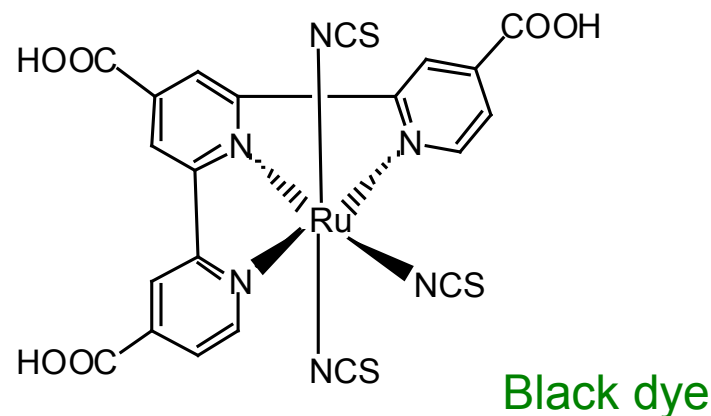
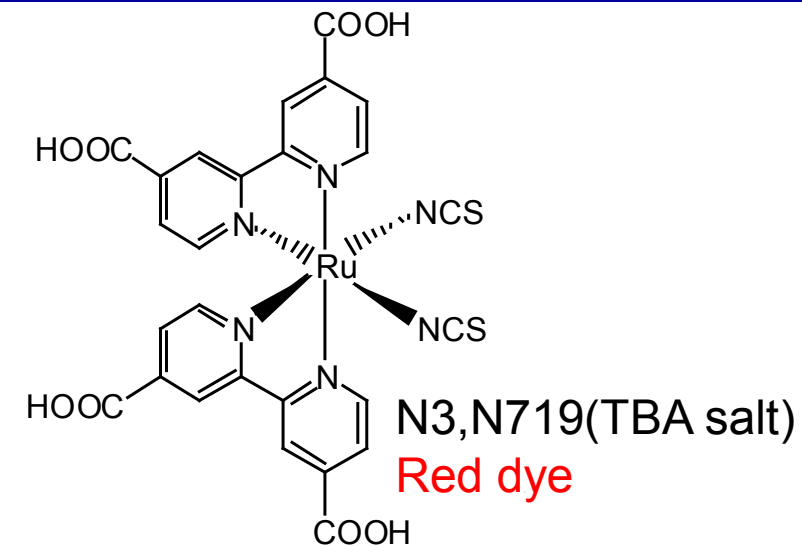


当チームで開発した様々なRu錯体色素

IPCE(見かけの量子収率)スペクトル



Max. efficiency = 11.2(~11.4)%



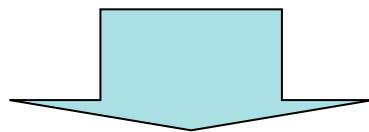
当チームのマイルストーン目標:

近赤外を使い最高効率を示すブラックダイを超える新規Ru錯体を開発する。

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。

色素増感太陽電池分野の最近の動向

- ・一般消費者向けのソーラーキーボードが市販開始(ロジクール)
- ・PV Efficiency Table 公認値の改訂
シャープ: Ru錯体とヨウ素レドックスのDSSCで11.0→11.9%へ
- ・化合物(PbI_x 、ペロブスカイト)増感太陽電池
- ・開放電圧の向上:
 - ・Co錯体レドックスの利用(電圧高く、光遮蔽少ない)→12.3%
- ・短絡電流の向上: 近赤外色素の開発

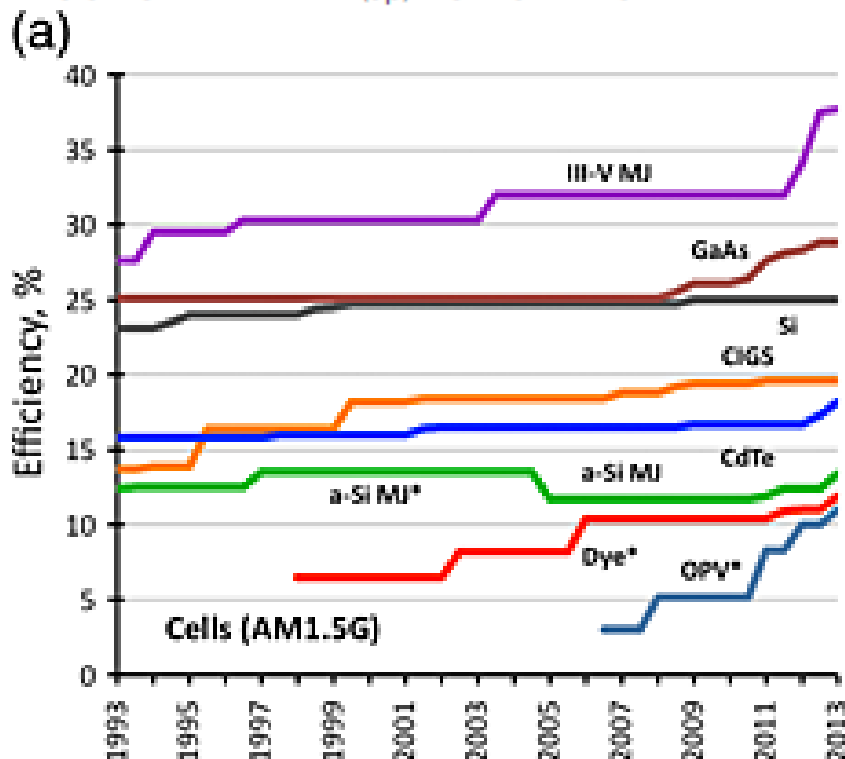


Jsc, Vocのどちらもトレードオフと過電圧(ΔG)の問題に帰結

Solar cell efficiency tables (version 41)

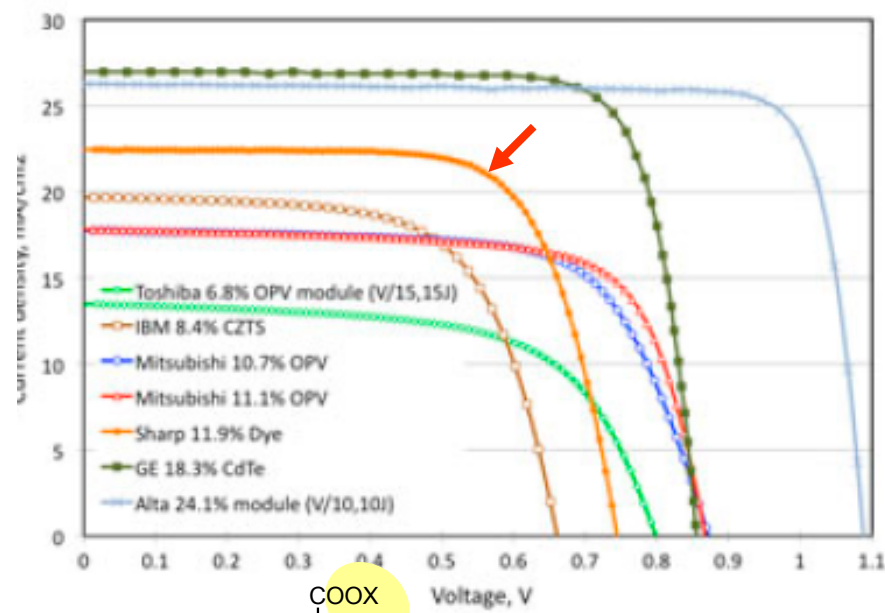
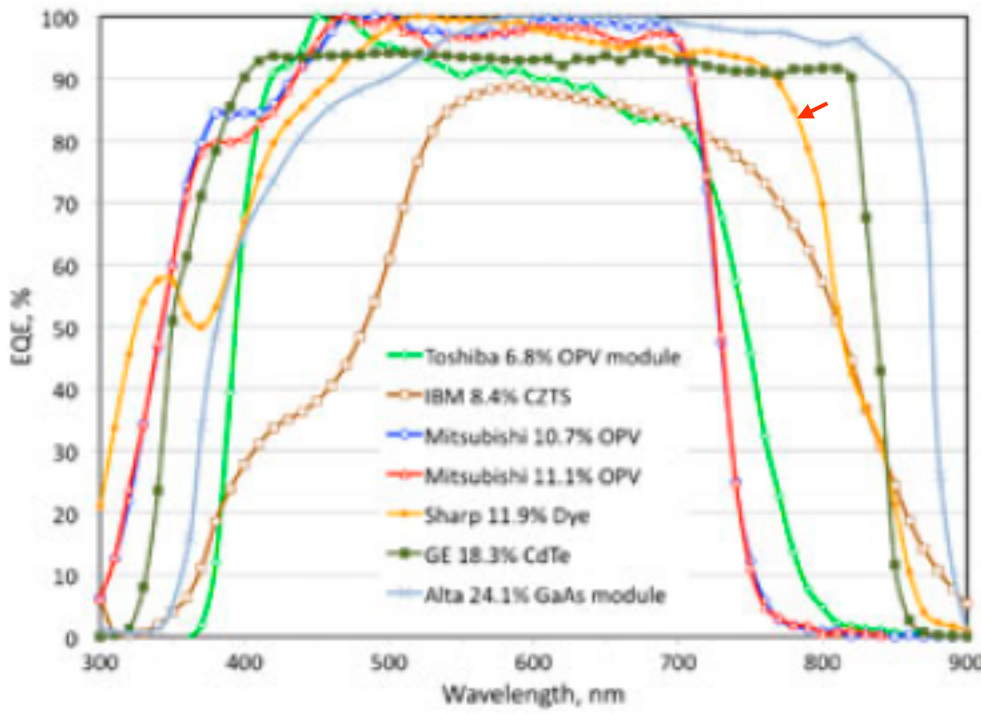
Table I. Confirmed terrestrial cell and submodule efficiencies measured under the global AM1.5 spectrum (1000W/m²) at 25 °C (IEC 60904-3: 2008, ASTM G-173-03 global).

Classification ^a	Effic. ^b (%)	Area ^c (cm ²)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF ^d (%)	Test centre ^e (and date)	Description
Photochemical							
Dye sensitised	<u>11.9 ± 0.4°</u>	1.005 (da)	0.744	22.47 ^h	71.2	<u>AIST (9/12)</u>	Sharp [6]
Dye sensitised (submodule)	<u>9.9 ± 0.4°</u>	17.11 (ap)	0.719 ⁱ	19.4 ⁱ	71.4	<u>AIST (8/10)</u>	Sony, 8 parallel cells [28]

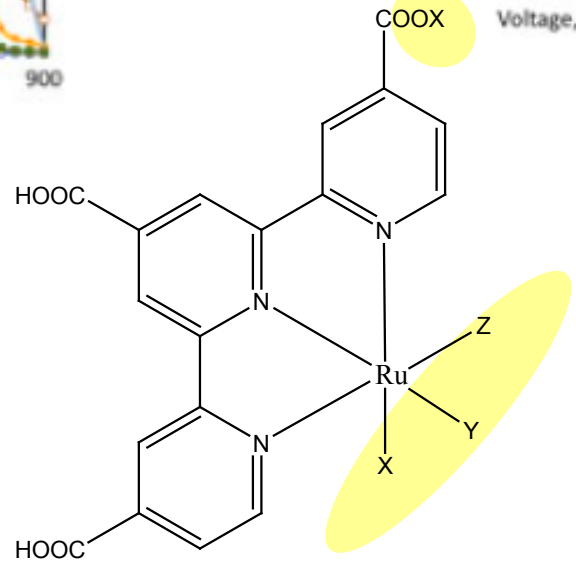


* セル効率11.0→11.9%へ。公認値は日本勢が健闘

Solar cell efficiency tables (version 41)



450nm付近のε向上でJsc向上、
逆電子移動をブロックしてVoc維持



色素構造は
NEDO報告会より

* セル効率11.0→11.9%へ。公認値は日本勢が健闘

発表内容

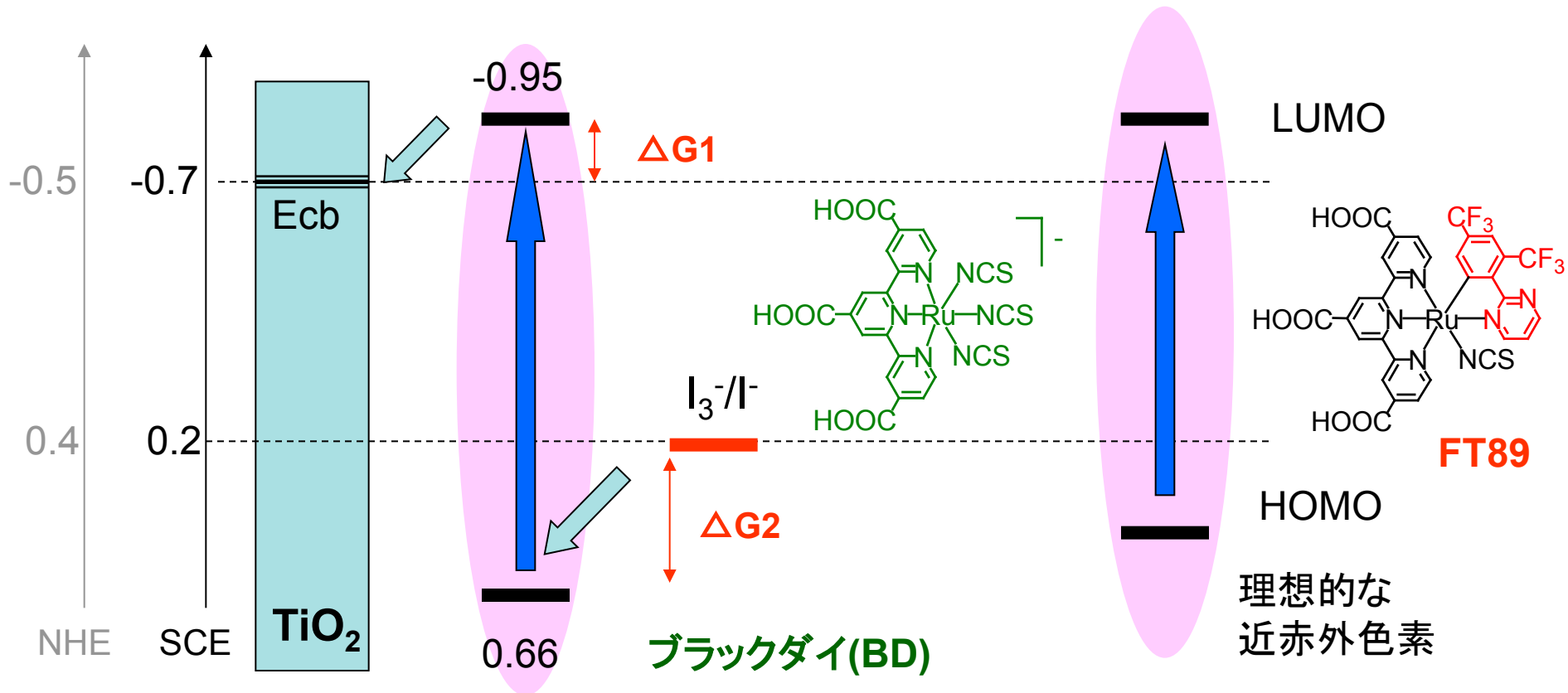
◎色素増感太陽電池の特徴や研究背景

◎色素増感太陽電池分野全体の最近の動向

◎色素増感太陽電池の高効率化と実用化の研究を
どのように進めるべきか

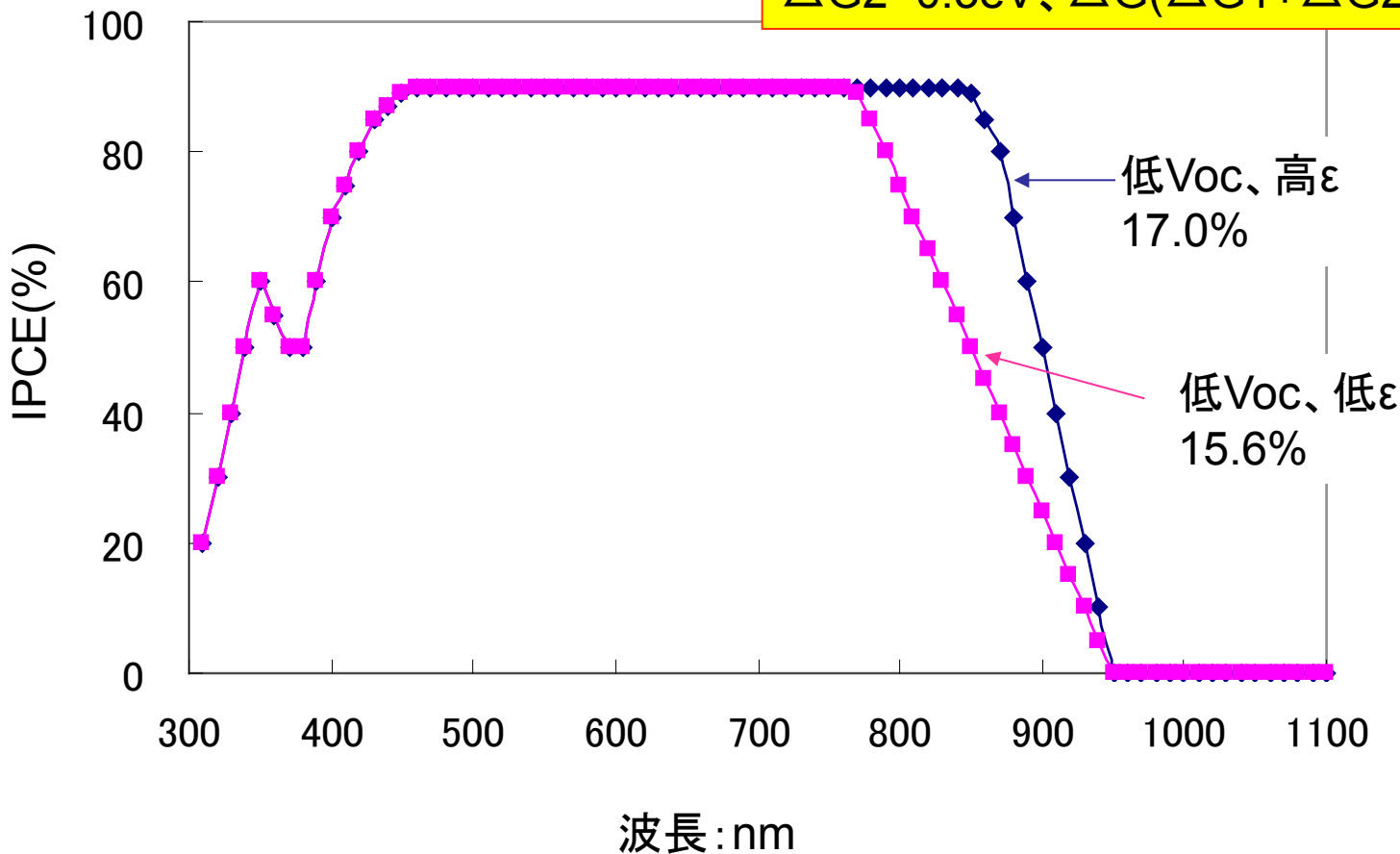
→15%達成のためにはヨウ素レドックスで可能か？

近赤外を利用できる安定な色素に関して、最低限の ΔG を正確に見積もる
 →色素設計と将来効率予測に有用



I_3^-/I^- 経由の反応なら $\Delta G2$ は0.3eV程度で良い？

$\Delta G_2=0.3\text{eV}$ 、 $\Delta G(\Delta G_1+\Delta G_2)=0.5\text{eV}$ の場合

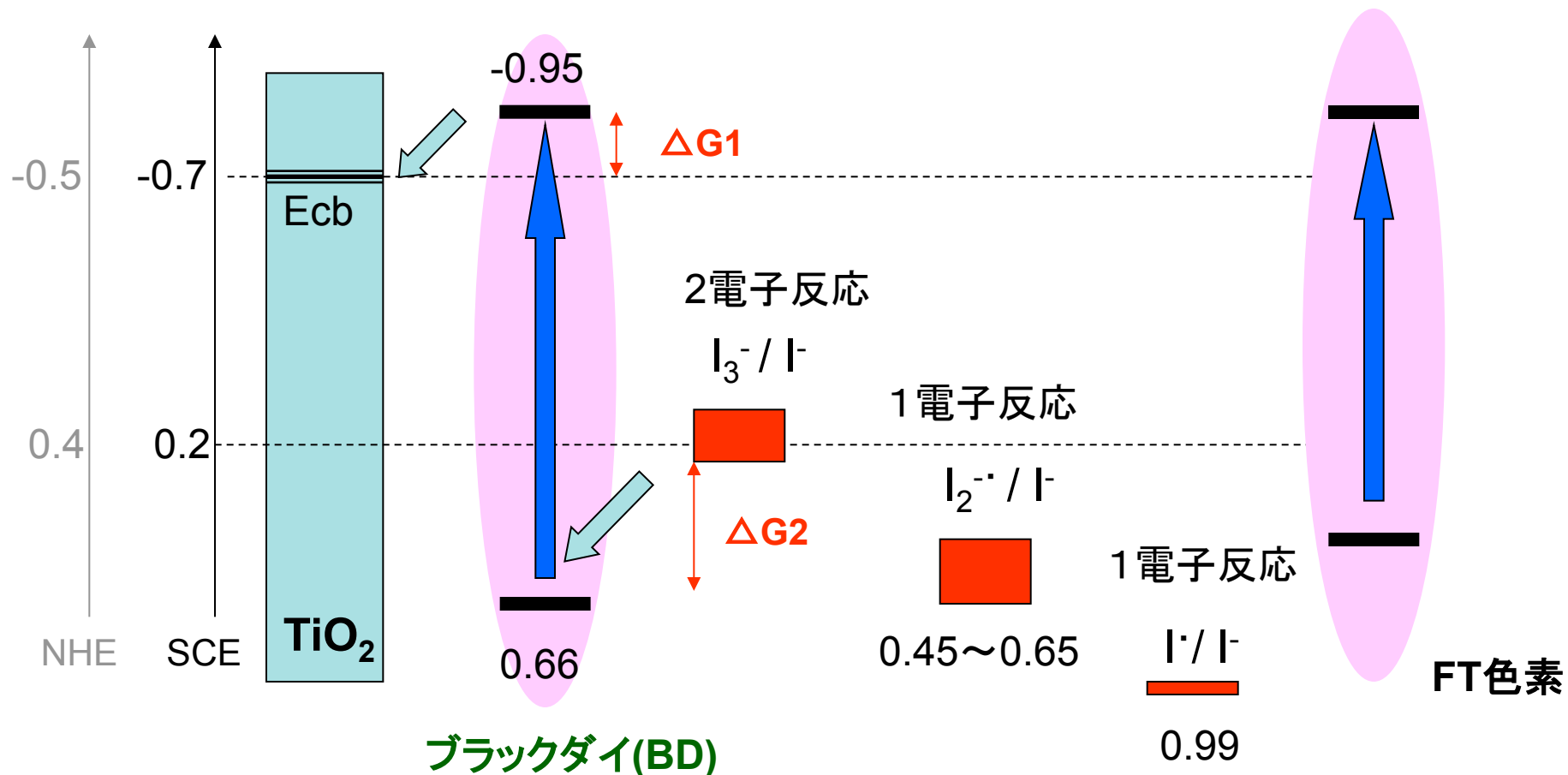


- ・FFは0.75で統一。
- ・色素のモル吸光係数 (ϵ): 高 ϵ は 10^5 、低 ϵ は 10^4 オーダーを想定。

→15%以上の効率達成には ΔG_2 で0.3eV、 ΔG で0.5eV程度でもよい。

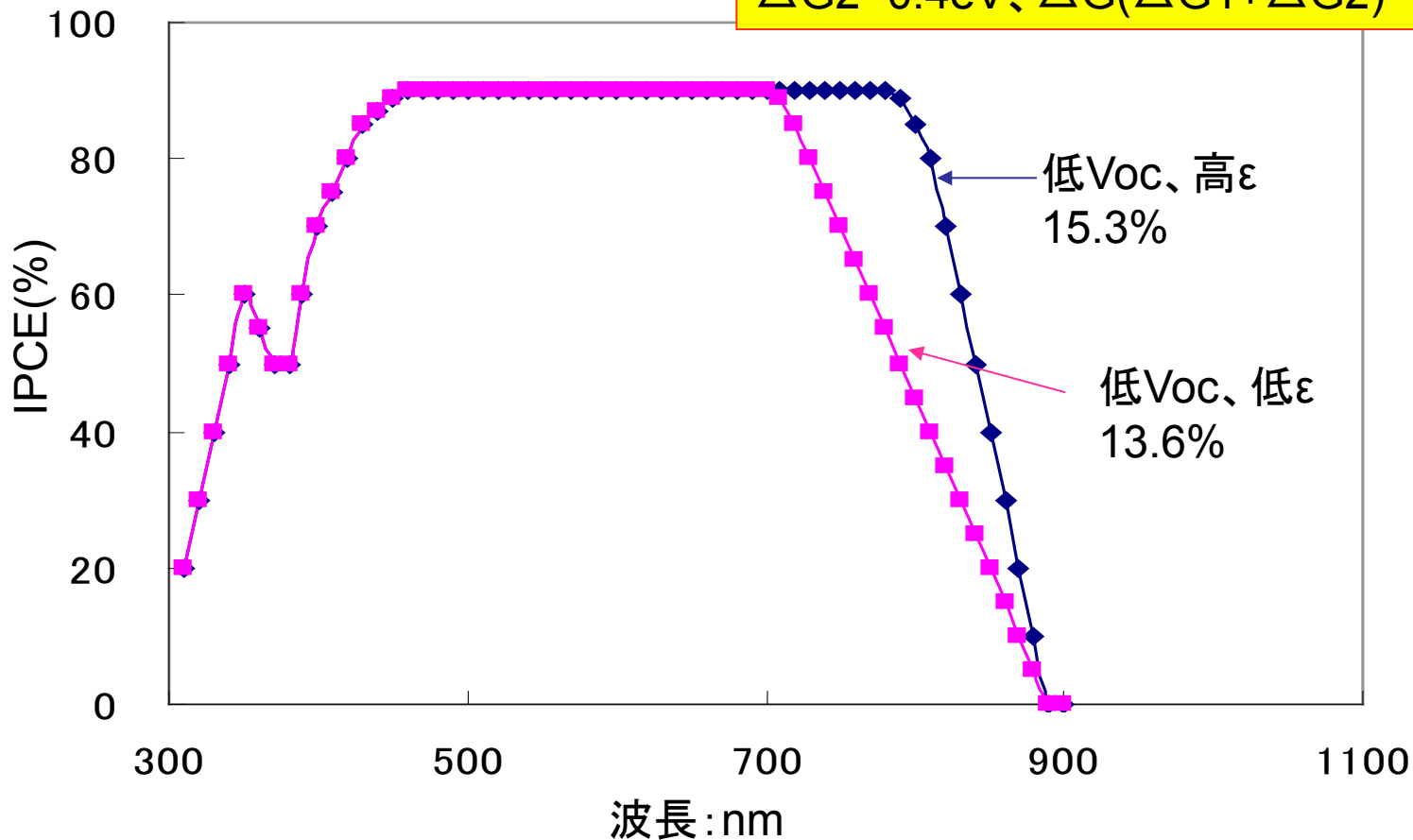
色素の再還元は I_3^-/I^- ではなく1電子還元 $I_2^{\cdot-}/I^-$ 経路の反応の可能性

FTO電極上で測定 (Hagfeldtら、*J.Phys.Chem.Lett.*, 2011 等)



理論限界効率の推定には素反応の解明が必要

$\Delta G_2=0.4\text{eV}$ 、 $\Delta G(\Delta G_1+\Delta G_2)=0.6\text{eV}$ の場合



- ・FFは0.75で統一。
- ・色素のモル吸光係数 (ϵ): 高 ϵ は 10^5 、低 ϵ は 10^4 オーダーを想定。

→15%以上の効率達成には、単純な I_2^- ・ラジカル経由の反応機構では厳しい。
色素のモル吸光係数の向上が必要。

大規模電力用途での色素増感太陽電池の高効率化と実用化の研究をどのように進めるべきか

2013年

2018年

2025年

2030年

コスト試算の精密化で本当に必要な効率目標を設定。

- ・Voc向上要因の解明
- ・劣化機構解明とその防止法開発

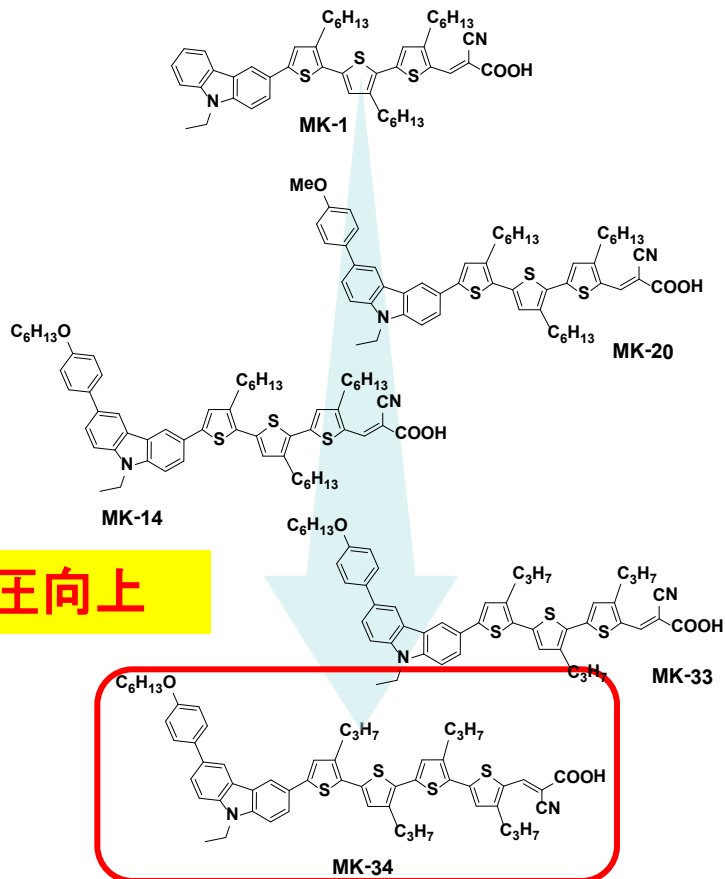
実績のあるヨウ素レドックスとRu錯体：
 ・レドックス反応の素反応を明確にする。
 (多電子・多ヨウ素反応ならば15%可能)

- ・高電圧の1電子反応レドックス (Co錯体など) の開発
- ・色素のモル吸光係数の向上。色素カクテル。
- ・全固体化

インドア用途

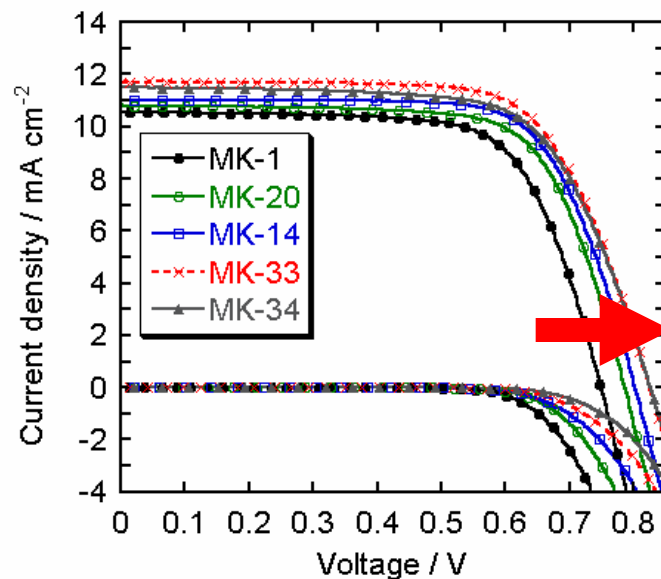
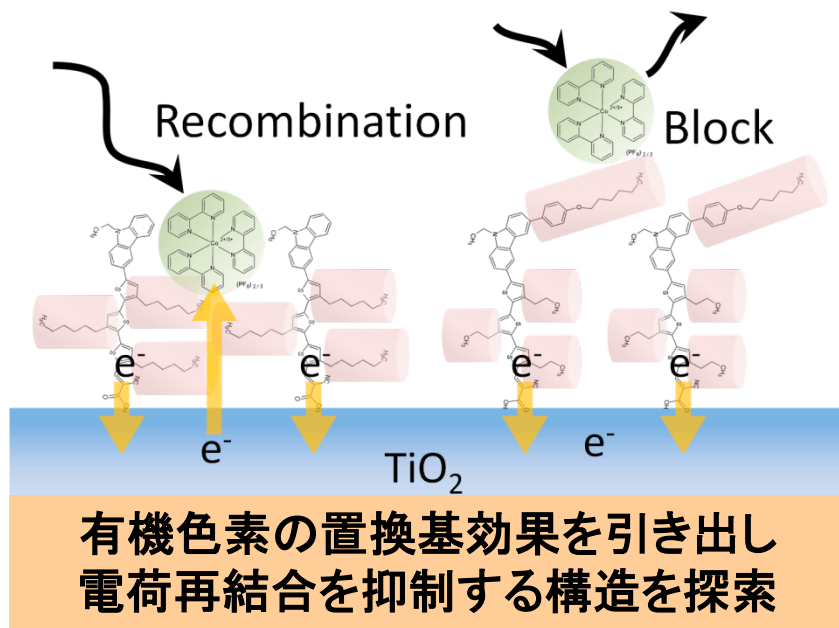
15%以上、
 且つ
 20年安定

高い開放電圧が得られる
コバルト錯体電解液に特化した色素開発

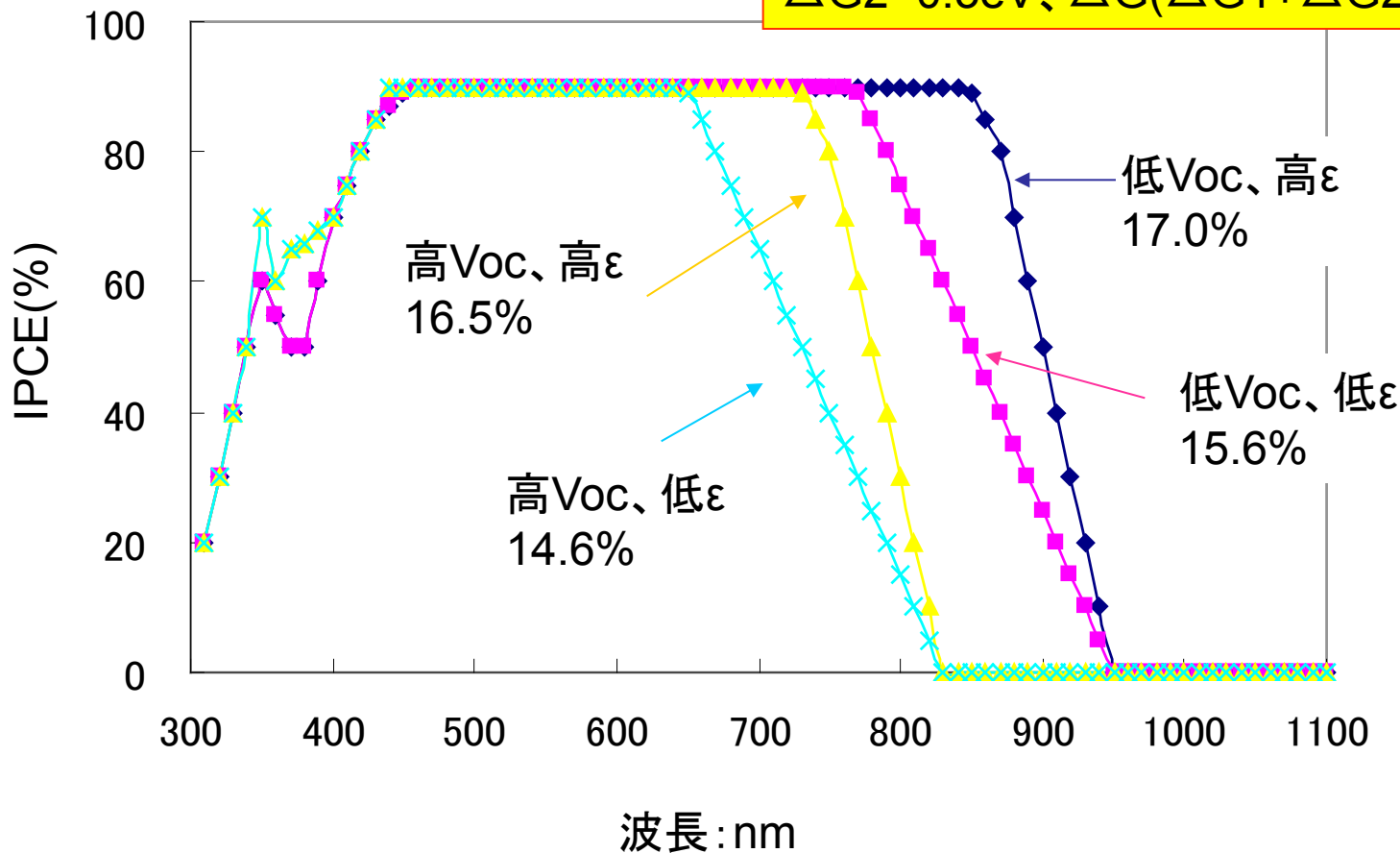


電圧向上

光電変換効率9.3%(0.84 V)を達成

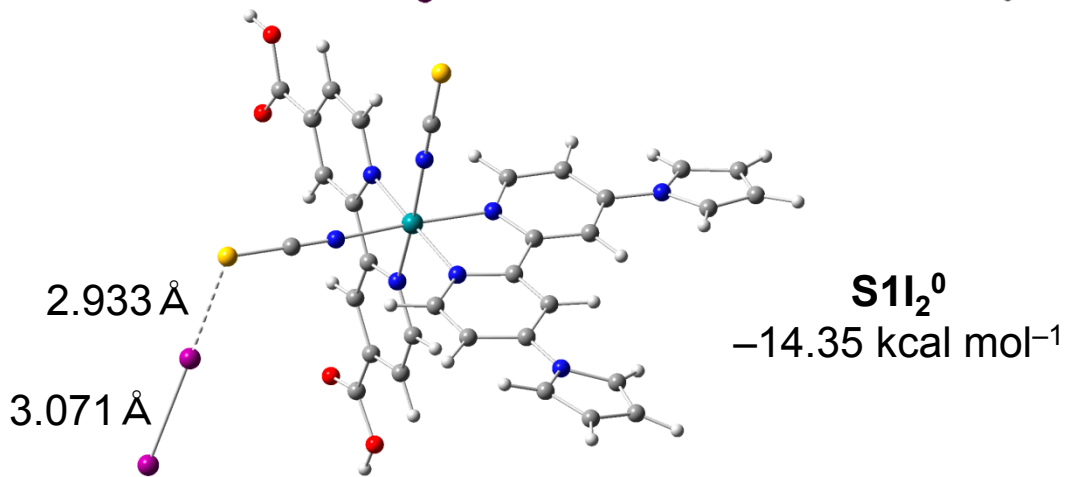
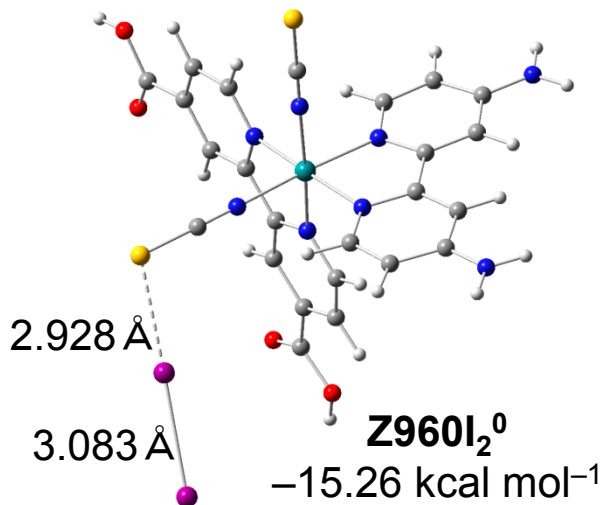
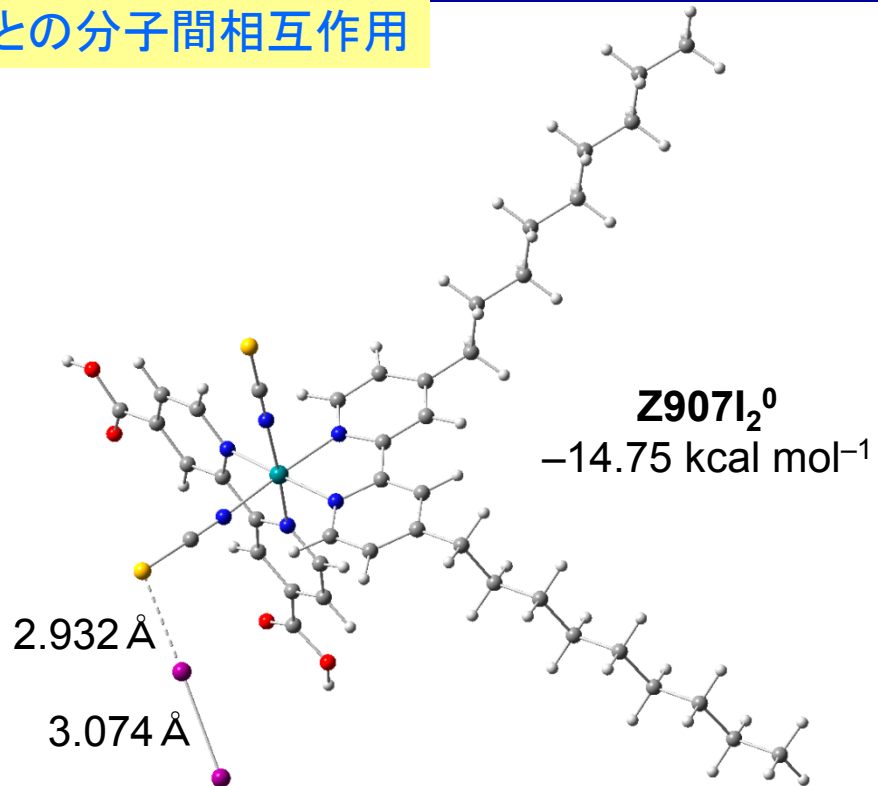
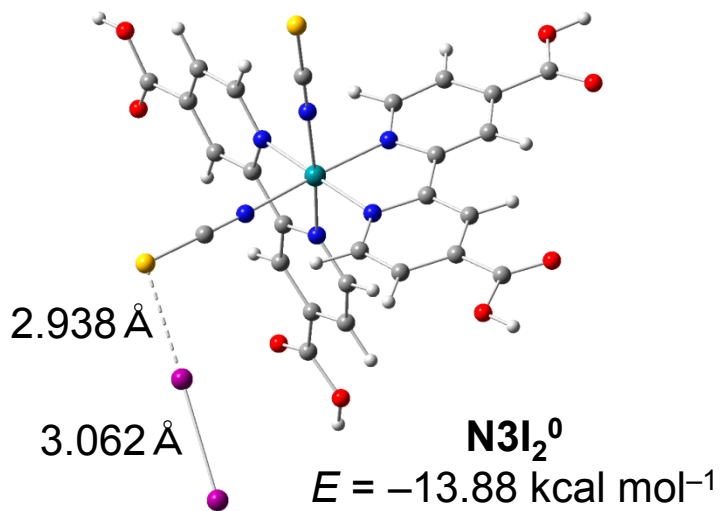


$\Delta G_2=0.3\text{eV}$ 、 $\Delta G(\Delta G_1+\Delta G_2)=0.5\text{eV}$ の場合



- ・FFは0.75で統一。
- ・色素のモル吸光係数 (ϵ): 高 ϵ は 10^5 、低 ϵ は 10^4 オーダーを想定。

→15%以上の効率達成には ΔG で0.5eV程度またはそれ以下が必要。



★色素のデータベースを構築中

- ・色素構造、
- ・分子量、
- ・慣用名、略号、
- ・MSやNMRなど同定情報、
- ・異性体
- ・溶液中の吸収スペクトル自体、
- ・吸光係数、
- ・吸収末端波長、
- ・各吸収max波長、
- ・酸化還元電位、(HOMO、LUMO)

<電池特性> ・ J_{sc} , V_{oc} , ff , η_{sun}

- ・IPCEスペクトル図、IPCE最高値、
- ・LHE、
- ・測定条件



データマイニング手法を用いれば、色素の基本骨格の設計指針が得られる。
 ΔG 要因だけではトレードオフは解決できない。ばらつきから別要因を解明。



15%効率のための高性能な色素を効率良く短期間で開発できる