

大型人工光合成セル(1m²)によるCO₂と水からのギ酸合成—太陽光変換効率 10.5%の実証—

(豊田中研¹⁾ ○加藤直彦¹・竹田康彦¹・河合泰明¹・野尻菜摘¹・塩澤真人¹・水野真太郎¹・山中健一¹・森川健志¹・濱口豪¹

Formate production from CO₂ and water using a 1m²-sized artificial photosynthetic cell with a solar-to-chemical conversion efficiency of 10.5% (¹Toyota Central R&D Labs., Inc.)

○Naohiko Kato, Yasuhiko Takeda, Yasuaki Kawai, Natsumi Nojiri, Masahito Shiozawa, Shintaro Mizuno, Ken-ichi Yamanaka, Takeshi Morikawa, and Tsuyoshi Hamaguchi.

Artificial photosynthetic cells have been extensively studied for carbon neutrality, yet in lab-scale. We constructed large-sized cells consisting of electrochemical (EC) reactors and c-Si photovoltaic (PV) modules. Our reactors use a Ru complex polymer catalyst realizing a low overpotential for CO₂ reduction, and an IrO_x catalyst with a high catalytic activity for water oxidation.¹ The 1000 cm²-sized cell achieved a solar-to-chemical energy conversion efficiency (η_{STC}) of 7.2%,² and a further scaled-up 1 m²-cell demonstrated a higher η_{STC} of 10.5%, yielding a large formate production rate of 1.2 mol/h.³ The advantageous features are a low operating voltage of 1.65 V (overpotential of 0.22 V) at a large current of 65 A, and low cost owing to the use of single-compartment reactors without expensive ion-exchange membranes and no use of high-cost PV modules consisting of III–V group semiconductors (GaAs etc.). We overcame the tasks unique to scale-up of the cell: lowering electric resistance of the electrode catalysts, homogenous supply of CO₂, and suppressing crossover reaction.

Keywords : *Solar fuels; Artificial photosynthesis; Electrochemical reactors; Solar-driven CO₂ reduction; Formate*

カーボンニュートラルを実現するため人工光合成の研究が精力的に行われている。我々は、低過電圧である Ru 錯体ポリマー還元触媒と高活性な IrO_x酸化触媒¹⁾を用いて、電気化学リアクターと結晶 Si 太陽電池を組み合わせた大型の人工光合成セルを構築した。面積 1000 cm² のセルでは太陽光変換効率 η_{STC} 7.2%を²⁾、更に大型の 1 m² セルでは η_{STC} 10.5 %とギ酸生成速度 1.2 mol/h を達成した³⁾。このセルの特長は、1.65 V の低電圧（過電圧 0.22 V）で 65 A の大電流動作が可能である点と、高価なイオン交換膜を使わない 1 室型リアクターの採用と、やはり高価な III–V 族化合物 (GaAs 等) 太陽電池を使用しないことから低コスト化が可能となる点である。大型化に特有の課題である、①電極触媒の低抵抗化、②電解液の流れ制御による均一な CO₂ 供給、③クロスオーバー反応の抑制、を克服したことにより、大型化と高効率化が両立した。

1) T. Arai, S. Sato, T. Morikawa, *Energy Environ. Sci.*, **2015**, 8, 1998.

2) N. Kato, S. Mizuno, M. Shiozawa, N. Nojiri, Y. Kawai, K. Fukumoto, T. Morikawa, Y. Takeda, *Joule*, **2021**, 5, 687.

3) N. Kato, Y. Takeda, Y. Kawai, N. Nojiri, M. Shiozawa, S. Mizuno, K. Yamanaka, T. Morikawa, T. Hamaguchi, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, **2021**, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c06390>.