

受賞研究の紹介文

有機ホウ素触媒の精密設計を鍵とする革新的水素貯蔵システムの開発

大阪大学大学院工学研究科 准教授 星本 陽一

水素(H₂)は化学工業や石油精製などに利用される重要な還元剤です。さらに、その顕著に高い重量当たりのエネルギー密度(ガソリンの 3.1 倍となる 142 MJ/kg)や、燃焼時における環境負荷の低さ(副生成物は H₂O のみ)から、H₂は未来の社会活動を支えるクリーンかつグリーンなエネルギーキャリアとして期待されています。H₂を効果的に活用する水素社会を迎えるにあたり、H₂の国内需要は 2050 年には 2000 万トンにも及ぶと見込まれています。^[1] 数千万トン/年を超える量の H₂を経済的かつ安定に供給するためには H₂源の選択が重要であり、とくに炭化水素資源は中～長期的な未来にかけて、主要な H₂源として活用されると考えられています。^[2] このような炭化水素資源としては、褐炭や天然ガスに加え、バイオマスや都市ゴミ、家畜の糞尿も活用できることが実証されつつあり、いわゆる ‘Waste-to-Hydrogen’ というアプローチが注目されています。

炭化水素資源から高純度 H₂を製造するプロセスにおいては、粗水素(H₂、CO、CO₂、CH₄などの混合ガス)が先立って製造され、続いて混在する CO や CO₂が圧力変動吸着法(PSA 法)や膜分離法、深冷分離法により徹底的に除去されます(図 1 の既存プロセス)。^[1,3] これらの H₂精製プロセスは解決すべき課題(エネルギー消費量、副次的に発生する温室効果ガス、H₂損失など)が多く残っているものの、高純度 H₂を製造する上で欠かすことのできない重要なプロセスです。

では、なぜそもそも高純度 H₂が必要となるのでしょうか？1つの理由としては、H₂が還元剤もしくはエネルギーキャリアとして利用される際に用いられる貴金属(触媒)の夾雑物による失活や望まぬ副反応を避けるためであることが挙げられます。ゆえに、H₂精製プロセスをより環境低負荷かつ経済的なプロセスへと改善するための取り組みが世界規模で進められてきました。

このような背景の下、私たちは粗水素に含まれる H₂を直接的に有機ハイドライド(LOHC)へと分離・貯蔵し、その後、高純度 H₂として回収する、既存の H₂精製プロセスに依存しない新たな H₂製造スキームを着想し、その実現に取り組んできました(図 1 の本研究)。^[4,5]



図 1. 既存の H₂ 製造プロセスと本研究コンセプト

粗水素を直接的に活用した不飽和化合物の触媒的水素化反応を実現するために、私たちは有機ホウ素化合物、とくにトリアリールホウ素化合物の反応性に着目しました。そして、構造を精密設計することで、CO や CO₂、そして H₂O に耐性の高い新しいトリアリールホウ素化合物を開発しました(図 2)。当該のトリアリールホウ素は、H₂:CO:CO₂ が 1:1:1 または 1:5:1、1:1:5 のモル比で混ざった粗水素を用いても、2-メチルキノリンなど複素環化合物の水素化を触媒します。さらに、同じトリアリールホウ素は、先の水素化反応の生成物であるテトラヒドロキノリンからの脱水素化反応も触媒することが分かりました。つまり、1 つの分子触媒が①粗水素条件下における触媒的水素化反応と②脱水素化反応の 2 つのプロセスを連続的に進行させ、①→②の 1 サイクルにより H₂ 純度が 33.3%→99.999%以上に向上させられることを実証しました。これらの成果により、既存の H₂ 精製プロセスに依存しない革新的な有機ハイドライドシステムの構築が原理的に可能となりました。

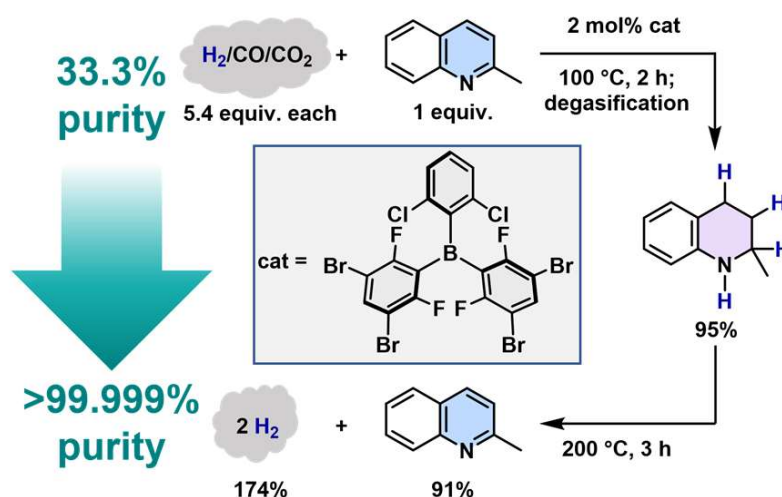


図 2. 本研究成果:分子触媒を用いた水素精製の実証

- [1] 資源エネルギー庁: 水素基本戦略の個別論点と水素産業戦略について (2023).
- [2] NEDO 水素エネルギー白書 (2015).
- [3] 資源エネルギー庁: 燃料電池推進室, 水素の製造、輸送・貯蔵について (2014).
- [4] T. Hashimoto, T. Asada, S. Ogoshi, Y. Hoshimoto, *Science Advances*, **2022**, *8*, eade0189.
- [5] 橋本 大樹, 星本 陽一, 「水素の製造とその輸送, 貯蔵, 利用技術」, 第3章9節, 技術情報協会.

【実用化が期待される分野】

- ・水素の精製・貯蔵・運搬技術
- ・バイオマスやゴミからの水素製造技術