

カーボンニュートラルに貢献する新材料の開発

近藤 剛弘

筑波大学数理物質系物質工学域およびエネルギー物質科学研究センター

カーボンニュートラルを 2050 年度までに達成するためには、(1)二酸化炭素をメタノールなどの価値ある物質に変換する技術の高度化・高効率化や、(2)水素などの脱炭素燃料の高効率な利用技術の開発が重要であり、触媒など材料の開発が果たす役割が極めて大きい。

我々はこれまでの研究において、(1)については、銅触媒表面上での二酸化炭素からのメタノール合成における最初の重要な水素化反応が熱非平衡的な反応であり、二酸化炭素の振動モードの励起が活性化エネルギーを決定していることを世界で初めて明らかにした^{1,2)}、その後の水素化反応における触媒表面上での中間体の観測に成功してきた³⁾。現在これらの知見を活かし高効率な触媒反応システムの構築を検討している。

一方、(2)については図 1 に示す通り、水素を「作る」、「ためる」、「使う」という 3 つの用途それぞれにおいて材料開発がカギを握っている。このうち「使う」技術の要となる燃料電池の心臓部は電極触媒であり、現在、高価で希少な白金触媒の代替材料の開発競争が世界中で展開されている。我々はこのうち有力な候補材料である窒素ドーパド炭素触媒の触媒活性点について精密な研究を行い、ドーパント窒素近傍での原子レベルでの局所電子状態解析⁴⁾を皮切りに、モデル触媒と実触媒を用いた解析によって触媒活性点がピリジン型窒素と呼ばれる窒素によって形成されていることを特定した⁵⁾。現在この論文は 2955 回の被引用回数 (2022 年 7 月 21 日現在, Google scholar) を得ており、世界中での研究開発の促進に貢献している。水素を「ためる」技術については、ホウ化水素シートと呼ばれるホウ素と水素が 1 : 1 の原子数比で構成される新しい二次元物質の合成に成功し⁶⁾、紫外線照射で簡単に水素を放出させることができる機能⁷⁾や水に対して安定である (禁水ではない) こと⁸⁾、高感度センサーとして機能すること⁹⁾、特異な還元剤として機能すること¹⁰⁾、優れた固体酸触媒として機能すること^{11, 12)}、などをはじめとした様々な特異な性能等¹³⁻²¹⁾を見出しており、現在ホウ化水素シートを基軸に高密度水素貯蔵材料の開発研究を実施している。水素を「作る」技術については、菱面体硫化ホウ素²²⁾というホウ素と硫黄が 1 : 1 の原子数比で構成される層状物質が非金属でありながら、グラフェンと混合することで市販の RuO₂ 触媒を上回る世界最高活性レベルと高い耐久性を保持した電極触

媒(アルカリ水電解における酸素生成反応を担う触媒)であることをごく最近見出しており²³⁾、更なる研究開発を進めている。

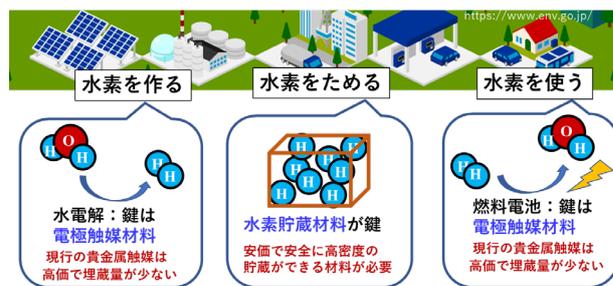


図 1 カーボンニュートラルに求められる新材料の開発

References (*: corresponding author(s))

- 1) J. Quan, T. Kondo, G. Wang, J. Nakamura*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 56 (2017) 3496.
- 2) J. Quan, F. Muttaqien, T. Kondo, T. Kozarashi, T. Mogi, et al., *Nat. Chem.* 11 (2019) 722.
- 3) K. Takeyasu, et al., *J. Am. Chem. Soc.* 144 (2022) 12158.
- 4) T. Kondo, et al., *Phys. Rev. B* 86 (2012) 035436.
- 5) D. Guo, R. Shibuya, C. Akiba, S. Saji, T. Kondo*, J. Nakamura*, *Science* 351 (2016) 361.
- 6) H. Nishino, T. Kondo*, et al., *J. Am. Chem. Soc.* 139 (2017) 13761.
- 7) R. Kawamura, T. Kondo*, M. Miyauchi*, et al., *Nat. Commun.* 10 (2019) 4880.
- 8) K. I. M. Rojas, T. Kondo*, I. Hamada*, et al., *Commun Mater.* 2 (2021) 81.
- 9) S. Tominaka, T. Kondo*, et al., *Chem* 6, 406 (2020).
- 10) S. Ito, M. Miyauchi*, T. Kondo*, et al., *Chem. Lett.* 49 (2020) 789.
- 11) A. Fujino, T. Kondo*, et al., *ACS Omega* 4 (2019) 14100.
- 12) A. Fujino, T. Kondo*, et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* 23, (2021) 7724.
- 13) T. Kondo, *Sci. Technol. Adv. Mater.* 18 (2017) 780.
- 14) T. Kondo, I. Matsuda: "2D Boron: Boraphene, Borophene, Boronene", Springer, Cham, (2021) 89.
- 15) I. Tateishi, T. Kondo, et al., *Phys. Rev. Mater.* 3 (2019) 024004.
- 16) J. O-Enrich, T. Kondo, et al., *ChemPhysChem* 21 (2020). 2460.
- 17) R. Kawamura, T. Kondo*, M. Miyauchi*, et al., *Chem. Lett.* 49 (2020) 1194.
- 18) N. T. Cuong, T. Kondo, et al., *Phys. Rev. B* 101 (2020) 195412.
- 19) T. Hirabayashi, T. Kondo*, M. Miyauchi*, et al., *Molecules* 26 (2021) 6212.
- 20) M. Niibe, T. Kondo, et al., *Phys. Rev. Mater.* 5 (2021) 084007.
- 21) X Zhang, T. Kondo, et al., *J. Phys. Chem. C* (2022) in press.
- 22) H. Kusaka, T. Kondo*, et al., *J. Mater. Chem. A* 9 (2021) 24631.
- 23) L. Li, M. Otani, T. Kondo*, et al., submitted.