

「車が走るたび、水素が生まれる」—その未来を支える室温・低電力の水分解技術*

Hydrogen Born with Every Turn of the Wheel: A Room-Temperature, Low-Power Water Splitting Technology

齋藤 健一¹⁾
Ken-ichi Saitow

We report a novel reaction discovered by chance, where metals react with water at room temperature to generate hydrogen without producing oxygen. Through mechanistic analysis and experimental validation, we reveal how localized hotspots drive a thermochemical cycle. This article outlines the discovery and its potential applications, focusing on the vision of hydrogen production onboard vehicles during driving.

KEY WORDS

Environment・Energy・Resources, Recyclable Energy/Renewable Energy, Fuel/Alternative Fuel, Recycling, Energy Manufacturing / Hydrogen Production, Zero Emission [D2](#)

1 はじめに：容器が吹き飛んだ！——偶然から始まったブレークスルー

筆者らの研究グループは、金属ナノ粒子の合成中に予期せぬ現象に遭遇した。具体的には、遊星型ボールミル^(注1)を用いて水中で金属を粉砕してナノ粒子を作る過程で、容器の蓋が天井まで吹き飛ぶほどの激しい反応が発生し、内部に高純度(99%以上)の水素ガスが大量に生成されていたのである⁽¹⁾。加熱も加圧も行っていない、室温下での出来事だった。

この現象の正体を突き止めるべく、私たちは安全性に配慮しながら、26種類ほどの実験と理論解析を実施した。その結果、ボールミルによる衝撃やせん断力といった力学的エネルギーによって、金属が水と直接反応する新たな反応場が創出されることが明らかになった。ここでは、金属粉末が“メカノ触媒”^(注2)として水を分解し、さらに容器内壁や粉砕ボールも“助触媒”^(注3)としても機能していたのである。反応温度は30~38℃と低温であるにもかかわらず、理論収率の最大16倍(1,600%)という高い水素生成量が観測され、従来の熱化学反応では説明できない反応経路の存在が示唆された(図1)。

とりわけ注目すべきは、反応中に形成される微小な「ホットスポット」において、水が一時的に超臨界状態^(注4)(374℃・218気圧)に達していた点である。このような局所的な高温・高圧環境が、“室温での熱化学サイクル”——すなわち酸化と還元連続反応——を可能にし、常温での水素生成反応を最大300倍に加速させる駆動力となっていた。この局所的なホットスポットによる熱化学サイクルは、従来の方法とは大きく異なる。従来の熱化学水素製造では、サイクルを成立させるために太陽炉^(注5)や原子力発電所の排熱を利用して600~2,000℃もの高温を必要としていたのである⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。

一方、本手法は30~38℃の低温で進行し、また水道水・海水・雨水など、実用的なあらゆる水源に適用可能である。さらに副生成物として酸素やCO₂が発生しないため、煩雑な分離・精製工程が不要である。また、0.26kWという低消費電力で駆動可能な小型かつ堅牢な装置により、オンサイトかつオンデマンドでの水素供給も実現できる。これらの特長により、本技術は次世代型の水素供給法として、高い実用性と応用可能性を兼ね備えている。

以上の成果は、英国王立化学会が発行する学術誌に掲載され⁽¹⁾、13ページにわたる論文と50点以上の関連データを通じて包括的に検証されている。本稿では、特に自動車産業との接点に焦点を当てながら、本技術の応用展望や社会的意義について、わかりやすく紹介する。なかでも「車が走

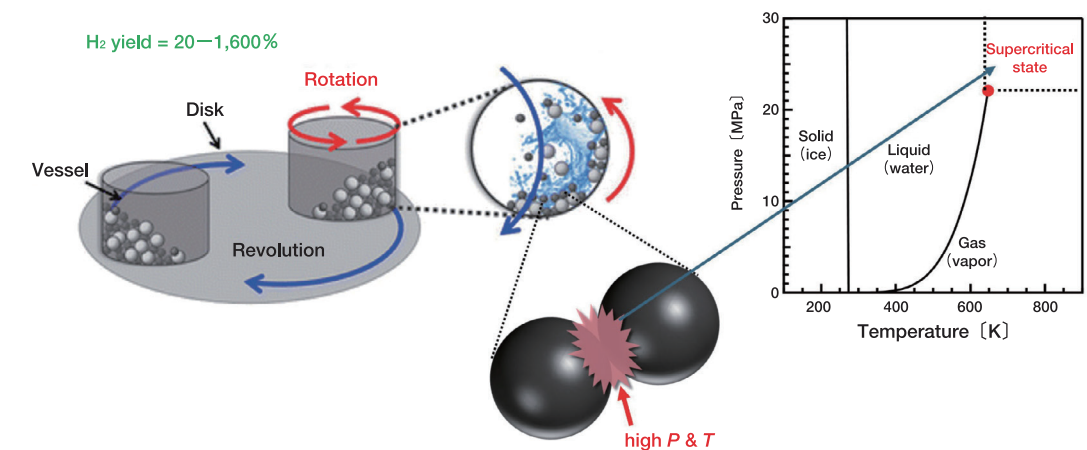


図1 遊星型ボールミルを用いたメカノケミカル反応による水素生成の模式図。右は水の相図(状態図)である。点線で囲った領域は、超臨界状態の水、超臨界水を示す

るたび、水素が生まれる」という未来の利用像を見据え、その実現に向けた技術的基盤を提示することを目指す。

(注1) 遊星型ボールミル：硬質容器内にボールと試料を入れ、高速回転で粉砕する装置。自転と公転を組み合わせ、強い機械的エネルギーを与えられる(図1)。

(注2) メカノ触媒：力学的・化学的な衝撃(メカノケミカル作用)によって触媒機能を発現する材料。近年注目されている新しい触媒の概念。

(注3) 助触媒：触媒の性能を補助・促進する物質。反応を加速・安定化させる役割をもつ。

(注4) 超臨界水：水が臨界点(374℃・218気圧)を超えたときの状態で、液体と気体の性質を併せ持つ。超臨界CO₂はカフェイン除去やドライクリーニングなどにも使われる。

(注5) 太陽炉：太陽光を平面鏡やパラボラミラーなどの光学系で集光し、超高温を発生させる装置。熱化学サイクルの研究や実用化に用いられており、海外の砂漠地帯に設置されたヘリオスタットフィールドが代表例である。この施設では、太陽を自動追尾する大型の平面鏡(5~50m²)を約300~1,000枚配置し、総敷地面積は10,000~500,000m²に達する。超大型太陽炉(500,000m²)は東京ドーム10個分に相当する。

2 背景：集中から分散へ—“その場でつくる”水素の可能性

本稿で紹介する反応の原理は、従来の水素製造—蒸気—熱化学サイクルが抱える環境的な課題と深く関

わっている。

現在、水素はアンモニア(肥料)製造、石油精製、鉄鋼業、化学業、製薬業、食品分野など、幅広い産業で不可欠な原料として利用されている。さらに近年では、気候変動対策の切り札として、再生可能エネルギーと連携した「水素社会」の構築が世界的に注目されている。例えば米国では、2025年までに「水素社会推進法案」が閣議決定され、水素の供給網・輸送網の整備が加速されている⁽²⁾。しかし、再生可能で製造している水素の割合は、天然ガスや石油を原料とした「水素(化石由来)」により製造されている。この手段ではCO₂排出の削減と大量の水素供給が困難となり、その結果として水素のCO₂を削減するという根本的な課題を抱えている⁽³⁾。例えば、メタンガスと水(蒸気)を反応させると、水素とCO₂を生成するという反応になる。

このような背景のもと、CO₂を削減しない「水素製造」⁽⁴⁾や「水素輸送」⁽⁵⁾による水素社会の構築の課題も指摘されているが、いずれも再生可能エネルギーを必要とする中で、再生可能エネルギーシステムに基づいている。そのため、アンモニアが原料の製造や、天然ガスやアンモニアの原料が不可欠な環境では、導入や適用に課題を生ず。また、水素の「製造—貯蔵—輸送—利用」を一環で解決せようとする従来の水素サプライチェーンは、すでに課題が顕在化しているといわれている。

こうした状況に対し、まったく異なる製造が