

PRESS RELEASE (2023/09/28)

## 水素を電子として利用する水素エネルギーキャリアの開発 新発想エネルギーキャリアの常温合成と直接利用

### ポイント

**研究が必要とされる背景：**カーボンニュートラルの実現には、気体のままでは貯蔵・運搬の効率が低い水素を、多くのエネルギーを必要としないで貯蔵・運搬し、そのまま利用できる技術の革新が求められている。

**当該研究の内容：**(1) 常温で水素から「1 電子」を抽出・貯蔵できる新しい発想の水素エネルギーキャリアとなるニッケル化合物を開発した。(2) 必要な時に水素エネルギーキャリアの電子をそのまま還元反応に利用できる。(3) 開発した水素エネルギーキャリアは電子還元剤としてだけでなく、触媒としても機能する。

**社会に及ぼす影響：**(1) 本研究は、水素の電子を「常温抽出」「長期間貯蔵」「直接利用」できる新しい水素エネルギーキャリアを開発した。(2) 開発した水素エネルギーキャリアは安価な鉄族元素の一つであるニッケルの化合物である。今後は、さらに安価な鉄の使用を検討する。(3) 学術的には、天然のヒドロゲナーゼ酵素と同様に、本研究のニッケル化合物も、ニッケルの酸化数が+1の状態の水素から電子を貯蔵することを明らかにした。

### 概要

カーボンニュートラルの実現には、気体のままでは貯蔵・運搬の効率が低い水素を、多くのエネルギーを必要としないで貯蔵・運搬し、そのまま利用できる水素エネルギーキャリアの革新が求められています。

九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I<sup>2</sup>CNER) / 大学院工学研究院の小江誠司 (おごうせいじ) 主幹教授らの研究グループは、近畿大学との共同研究により、常温で水素から「1 電子」を抽出・貯蔵できる新しい発想の水素エネルギーキャリアとなるニッケル化合物を開発しました。開発した水素エネルギーキャリアは、電子を3ヶ月以上安全に貯蔵できて、必要な時に貯蔵した電子をそのまま還元反応に利用できます。学術的には、開発したニッケル化合物は、水素の合成や分解を担う天然のヒドロゲナーゼ酵素と同様に、ニッケルの酸化数が+1の状態の水素から電子を貯蔵することを示しました。

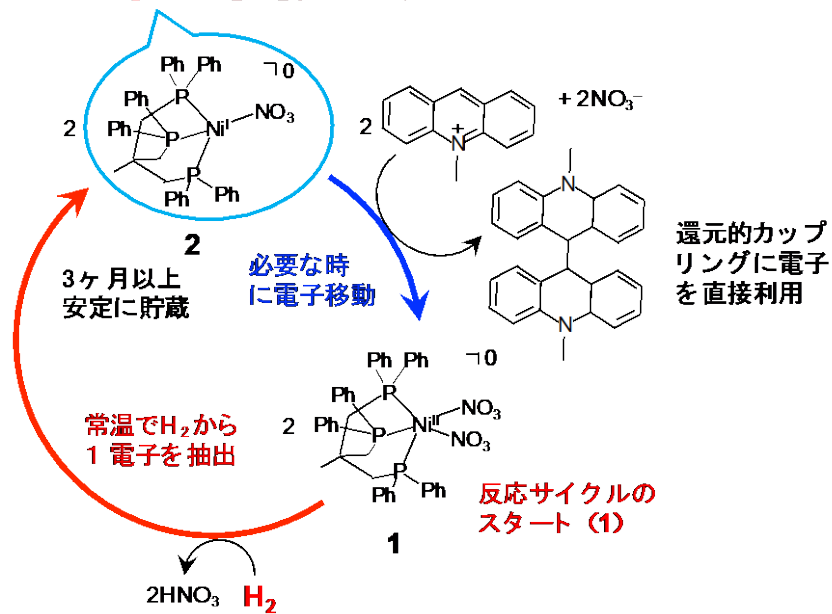
本研究成果は、ドイツの雑誌「*Chemistry—A European Journal*」オンライン版で令和5年9月25日(月)午前11時(日本時間)に公開されました。

#### 小江主幹教授からひとこと：

安価な鉄族元素の一つであるニッケルを使用することで、水素エネルギーキャリア開発の道が開けました。これまでは、白金族元素を触媒として類似の反応を行なってきましたが、高価なためエネルギーキャリアとして使用するという発想はありませんでした。



**開発した水素エネルギーキャリア (2)**  
( $H_2$ から1 電子を抽出した状態)



(参考図)  
水素を電子として利用できる水素エネルギーキャリアの常温合成と直接利用

**【研究の背景と経緯】**

< 研究分野の背景 >

カーボンニュートラルの実現には、気体のままでは貯蔵・運搬の効率が低い水素を、多くのエネルギーを必要としないで貯蔵・運搬し、そのまま利用できる水素エネルギーキャリアの革新が求められている。

< これまでの研究の問題点 >

水素エネルギーキャリアとしては、アンモニア、ギ酸、金属水素化物、液体有機水素化物、錯体水素化物などの研究が行われているが、最終的なエネルギーキャリアの確立には至っていない。

水素エネルギーキャリアの次の課題は、(1)多くのエネルギーを必要としない水素エネルギーキャリアの合成と、(2)水素エネルギーキャリアの直接利用である。

< 本研究の経緯 >

我々は、常温で水素を合成・分解する天然のヒドロゲナーゼ酵素を範にして、常温で水素から合成して、そのまま利用できる水素エネルギーキャリアを探求してきた。

今回、我々は、常温で水素から1 電子を1 段階で抽出し、長期間(3ヶ月以上)固体として貯蔵でき、必要な時に貯蔵した電子を直接利用できる新発想なエネルギーキャリアとなるニッケル電子担体を開発した。

**【研究の内容と成果】**

< 本研究の成果 >

- (1) 常温で水素から「1 電子」を抽出・貯蔵できる新しい発想の水素エネルギーキャリアを開発した。
- (2) 必要な時に水素エネルギーキャリアの「電子」をそのまま還元反応に利用できるため脱水素の操作は不要。

< これまでの研究との違い >

- (1) 常温で水素の電子を抽出・貯蔵できる新しい発想の水素エネルギーキャリアである。
- (2) 開発した水素エネルギーキャリアは電子還元剤としてだけでなく、触媒としても機能する。
- (3) 類似の水素エネルギーキャリアはない。

### <ブレイクスルーのポイント>

安価な鉄族元素(ニッケル)を使用することで、水素エネルギーキャリアの道が開けた。これまでは、白金族元素(RhやIrなど)を触媒として類似の反応を行ってきたが、高価なためエネルギーキャリアという発想はなかった。

### <学術的にどこが面白いのか>

学術的には、天然のヒドロゲナーゼ酵素は、ニッケルの酸化数が+1の状態の水素から電子を貯蔵することが知られている。本研究においても、ニッケルの酸化数が+1の状態の水素から電子を貯蔵することを示した。

### <用いられた手法>

水素由来の電子を長期間貯蔵・直接利用できる水素エネルギーキャリアを、オンデマンドなベンチトップで、常温合成した。

### <成果を得るにあたり特別苦労した点>

これまでは、白金族元素(RhやIrなど)を触媒として類似の反応を行ってきたが、安価な鉄族元素(ニッケル)の使用を試行錯誤で行なった。

## 【今後の展開】

### <本成果が将来的に「経済的・社会的価値の創造」につながるストーリーや展望>

- (1) カーボンニュートラル社会の実現には、多くのエネルギーを必要としない水素エネルギーキャリアの合成と、合成した水素エネルギーキャリアの直接利用が必要である。
- (2) 本研究は、水素から1電子を「常温抽出」「長期間貯蔵」「直接利用」できる新しい水素エネルギーキャリアを開発した。
- (3) 現在は、安価な鉄族元素の一つであるニッケルを使用している。今後は、さらに安価な鉄を検討する。

### <実用化に向けた現状の動き（産学連携の状況等）>

今後は産学連携を行いたい。

### <実現するまでのステップと時間等>

基礎研究はほぼ終了している、今後は実用に向けて取り組みたい。

### <ポイント>

- (1) 水素を「H」ではなく「電子」として貯蔵・運搬できる新しい発想の水素エネルギーキャリアである。
- (2) 常温で安全に水素から1電子を貯蔵できる水素エネルギーキャリアとなるニッケル化合物を開発した。
- (3) 開発したエネルギーキャリアは、長期間(3ヶ月以上)固体として貯蔵できて、必要な時に電子をそのまま還元反応に利用できる。
- (4) 水素を用いる電子還元反応に利用する際には、電子キャリアとしてだけでなく触媒としても機能する。

## 【謝辞】

本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 CREST「電子貯蔵触媒技術による新プロセスの構築」（課題番号：JPMJCR18R2）の研究の一環として、九州大学の小江誠司主幹教授の研究グループが、カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I2CNER）、大学院工学研究院、小分子エネルギーセンターで行ったものです

### 【論文情報】

掲載誌：Chemistry—A European Journal

タイトル：Single-Step Synthesis of Ni<sup>I</sup> from Ni<sup>II</sup> with H<sub>2</sub>

著者名： Chiaki Takahashi, Takeshi Yatabe, Hidetaka Nakai, Seiji Ogo\*

DOI：10.1002/chem.202302297

### 【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院工学研究院 主幹教授 小江 誠司（おごう せいじ）

Mail：ogo.seiji.872@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp