



令和2年6月4日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所

### 水素が金属を弱くする仕組みを“見る”手法の開発 -水素に弱い高強度金属の弱点克服に大きな一歩-

#### 【発表のポイント】

- 水素が金属を壊れ易くするメカニズムを解明するために、水素の影響を直接“見る”ことに成功。
- 水素は金属内を動きながら金属内部構造を変化させる。この水素による金属内部構造の“経時変化”をナノスケールで観察することに成功。
- 本手法により、水素で金属が弱くなるメカニズムの解明が進み、水素エネルギー用インフラ材料の開発促進に寄与することが期待される。

#### 【概要】

東北大学金属材料研究所の小山元道らは、電子顕微鏡（走査型電子顕微鏡：SEM）を用いて、水素が金属の内部構造に影響を与えている様子の経時変化をナノスケールで観察する手法を開発しました。

**水素は金属を弱くします。特に高強度金属では水素の影響が顕著です。**例えば、金属部材が水素ガスに曝されると水素原子が金属中に侵入し、金属が壊れやすくなるので、水素エネルギー社会のインフラ用構造材料に高強度金属を応用するときのボトルネックとなっています。このため、水素が金属を壊れやすくするメカニズムの解明が強く求められています。このメカニズム解明を阻む大きな原因の一つが“見る”ことの難しさです。水素は最小の原子なので、金属中で動き回り、ときには金属の外に飛び出してしまいます。このため、水素の動きに合わせて、刻一刻と変化する金属の“内部構造”を、“ナノスケール”で“時間”を気にしながら見る必要があります。

本研究では、電子チャネリングコントラストイメージング法という手法を用いて、水素添加した金属の内部構造の経時変化をナノスケールで見ることに成功しました。本手法は、他の手法と比べて対象とする試料形状の制約が小さいため、様々な形状の金属片中および負荷環境での水素の影響を見ることができます。より高強度かつ水素に強い材料を開発するため、本手法は水素関連研究全般に寄与することが期待されます。本研究の詳細は Science Advances に 2020 年 6 月 5 日（米国時間）に掲載されます。

## 【詳細な説明】

### ○研究背景

水素は金属の強度を低下させることが知られ、この現象を水素脆化と呼びます。水素は金属が腐食されたり、水素ガスに曝されたりすると金属中に侵入するため、高強度金属応用のボトルネックとなっています。特に、腐食の可能性がある車体用高強度鋼や、水素エネルギー社会におけるインフラ用構造材料の開発・評価のために水素脆化メカニズムの解明が強く求められています。このメカニズム解明を阻む大きな原因の一つが関連現象を“見る”ことの難しさです。水素は最も小さな原子なので、金属中で動き回り、ときには金属の外に飛び出します。このため、水素の動きに合わせて刻一刻と変化する金属の“内部構造”を、“ナノスケール”で“時間”を気にしながら見る必要があります。“内部”、“ナノ”、“時間”に関わる需要を満たし、かつ“簡単”に見る事を目指し、本研究ではSEMを用いたバルク試験片を対象とした観察手法を開発しました。

### ○成果の内容

本研究では、電子チャネリングコントラストイメージング法という手法を用いて、水素を導入した金属の内部構造変化をナノスケールで見ることになりました。図1に一例を示します。ここで、白く見えている箇所は金属中の欠陥で、簡単には原子が存在しない部分です。この欠陥は転位と呼ばれます。転位は力や熱が与えられると動きだし、金属の変形や強度、破壊を支配します。図中では、青でマークされている転位が水素導入後に大きく動いています。このとき、試料に外力や熱は与えておらず、水素の存在そのものが転位を動かしていることが示唆されています。この挙動は転位と水素の相互作用だけでなく、さらに別種の欠陥である粒界との三体の相互作用によって引き起こされることが今回の観察と計算シミュレーションの併用によって明らかになりました。

### ○意義・課題・展望

本手法は他の手法と比べ、対象とする試料形状の制約が小さいため、様々な形状の金属片中および負荷環境での水素の影響を見ることができます。また、他の手法に比べて複雑な環境、複雑な試験片形状を必要としないので、シミュレーションとの相性が良いことも特徴です。本手法は特殊な装置を必要としないので、水素環境で使用される高強度材料を開発・研究・評価する際に、汎用的に応用されることが期待されます。

### ○発表論文

雑誌名: Science Advances

英文タイトル: Origin of micrometer-scale dislocation motion during hydrogen desorption

全著者: M. Koyama, S.M. Taheri-Mousavi, H. Yan, J. Kim, B.C. Cameron, S.S. Moeini-Ardakani<sup>3</sup>, J. Li<sup>2,4</sup>, C.C. Tasan

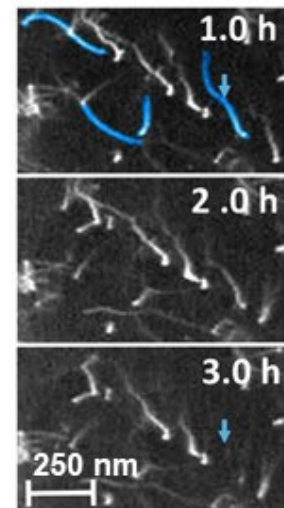


図1 水素導入後の金属内部構造の経時変化。上から1、2、3時間経過後の像。

○共同研究機関および助成

本成果は、米 Massachusetts Institute of Technology の Prof. Cemal Cem Tasan らとの共同研究によるものです。また本研究は、JSPS 科研費基盤 S および基盤 B 課題のもと遂行されました (JP16H06365 および JP20H02457)。

本件に関するお問い合わせ先

◆研究内容に関して

東北大学金属材料研究所 耐環境材料学研究部門  
准教授 小山元道 (こやま もとみち)

TEL: 022-215-2061

Email: koyama@imr.tohoku.ac.jp

◆報道に関して

東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班

TEL:022-215-2144 FAX:022-215-2482

Email: pro-adm@imr.tohoku.ac.jp