

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05622

研究課題名（和文）高圧水素気泡を微量含有する樹脂材料の弾性率測定

研究課題名（英文）Elastic modulus measurement of resin materials containing trace amounts of high-pressure hydrogen voids

研究代表者

西村 伸（NISHIMURA, SHIN）

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：30567061

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：持続可能な社会を実現するため、カーボンフリーな水素をエネルギーとして利用するための研究が進められている。水素は燃料電池自動車（FCEV）の燃料として、既に水素ステーションで供給されているが、必要な走行距離を得るために1000気圧近い圧力まで加圧する必要がある。このような高圧水素を安全かつ確実にFCEVに供給するために、シール材やホース材にナイロンなどの高分子材料が使用されている。本研究は高圧水素が材料中に侵入してその弾性率（硬さの指標）を低下させる現象を、ミクロな気泡形成のレベルからナノスケールの分子鎖相互作用に至る3つのモデルを用いて解明しようとしたものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、FCEVに高圧水素を供給する水素ステーションの基盤材料技術に関するものである。水素ステーションでは水素漏れを防ぐシールや、水素を移送するホースが高圧水素に晒される。水素は分子の大きさが小さいため、物質内部に入り込むことが知られているが、それによる物性変化は明らかではなかった。本研究は水素ガスが物質のナノスケールの構造と、材料物性を変化させるメカニズムを明らかにした。本研究を進展させることで、高圧水素材料に求められる材料スペックの明確化、部品交換時期の予測、劣化機構に基づく新材料の開発など水素エネルギー社会実現に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：To realize a sustainable society, wide researches are promoted to use carbon-free hydrogen as an energy source. Hydrogen is already supplied at hydrogen stations as fuel for fuel cell vehicles (FCEVs), but it needs to be pressurized to nearly 1000 atoms to achieve the required driving distance. Polymer materials such as nylon are used for seals and hoses in order to safely and reliably supply the high-pressure hydrogen to FCEVs. This study will clarify a phenomenon that high-pressure hydrogen involved in the polymer materials decreases the elastic modulus (that is index of a hardness) by using three models ranging from the scale of micro-voids to nano-scale intermolecular-chain interaction.

研究分野：高分子科学

キーワード：発泡樹脂 構造力学モデル 高圧水素ガス 可塑化 球晶

1. 研究開始当初の背景

高圧水素環境下で使用される樹脂材料，例えば Nylon11 は 90MPa の高圧水素曝露後の水素含有状態で弾性率が減少し，その後水素脱離に伴い回復することを我々が見出した．本研究では，この弾性率減少機構を明らかにするため研究を進めた．R2 年度は，粘弾性体と高圧水素気泡からなる複合材料におけるせん断弾性率モデルを適用したが，約 50%にも達する弾性率変化を十分に説明することは出来なかった．

2. 研究の目的

本研究では水素侵入・脱離に伴う弾性率変化を記述するモデルを提案し，検証することで材料物性の変化のメカニズムを明確化することを目指した．

3. 研究の方法

Alkema 社製の Rilsan BESN を射出成型し，厚さ 4mm の板材とした PA11 を用いた．この試験片に対し，90 [MPa], 30 [] 24 [h] の条件で高圧水素曝露を行い，曝露前後 24 時間の曲げ弾性率変化測定，水素侵入量測定，体積変化率測定，小角 X 線散乱測定をそれぞれ行った．

弾性率変化を記述するモデルは，Figure 1 (a)に示す球状の水素気泡が存在していると仮定する気泡モデルと Figure 1 (b)に示す PA11 の球晶間に水素が侵入する球晶モデルの 2 つを検証した．

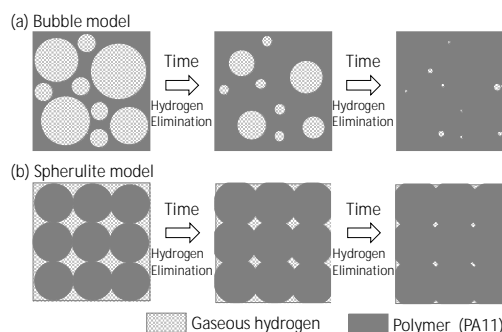


Figure 1: Applied models

4. 研究成果

気泡モデルとして，高圧水素曝露後，試験片内に球状の水素気泡が発生し，弾性率変化に寄与していると仮定し，球状の介在物を含む複合材料のせん断弾性率変化の式¹⁾を適用したが，計算によって得られる弾性率と実験値の弾性率低下に対する水素侵入量の影響度の差が大きく，適切なモデルではないことが分かった．

次に，球晶モデルとして，高圧水素曝露後，PA11 の球晶間に水素が侵入していると仮定し，粉末冶金の焼結プロセスにおける多孔質金属に用いられるヤング率変化の式²⁾を適用した．以下に適用した式を示す．

$$E = E_0 \exp(-(\beta p + \gamma p^2))$$

E は曝露後の弾性率， E_0 は未曝露時の弾性率， p は気孔率であり，未曝露時に比べた体積の増加率として算出した． β ， γ は材料により定まる定数である．90 MPa 水素曝露後，減圧1時間後から5時間後までの体積変化から， p の経時変化を算出し，式中の β ， γ により実測データをフィッティングした弾性率の経時変化の結果を Figure 2 に示す．球晶モデルにより水素曝露直後の弾性率低下および5時間程度までの回復挙動の再現が可能であった．

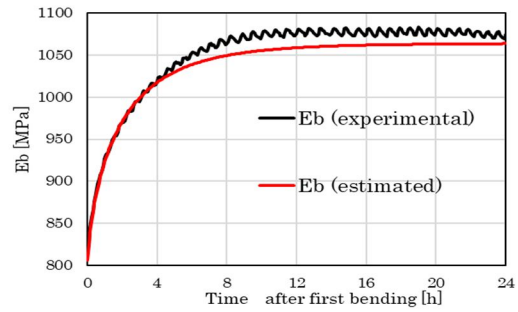


Figure 2: Result of model of Spherulite

<参考文献>

- 1) R. M. Christensen and K. H. Lo :, *J. Mech. Phys. Solids*, **27**, 315 (1979).
- 2) J. C. Wang : *J. Mat. Sci.*, **19**, 801 (1984).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 葛西昌弘
2. 発表標題 ポリアミド樹脂結晶相の静水圧下における構造変化
3. 学会等名 日本ゴム協会九州支部，第33回ゴム技術・研究事例発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	葛西 昌弘 (KASAI Masahiro) (80600387)	九州大学・水素材料先端科学研究センター・特任准教授 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------