

水素社会へ向けた材料研究

杉村 丈一

九州大学 水素材料先端科学研究センター

1. はじめに

九州大学では、2003年に文部科学省 21世紀 COE プログラム「水素利用機械システムの統合技術」が採択されたことを契機として、水素をキーワードとした組織的な取組みを進めている。学内共同施設として水素利用技術研究センター（現 水素エネルギー国際研究センター）をはじめとする複数の研究施設を設置し、水素の製造、貯蔵、利用、安全にわたる様々な分野の研究を行っている。教育面では大学院に水素エネルギーシステム専攻を設置し、世界に類をみない水素エネルギーの一大研究教育拠点となっている。本講演では、水素材料先端科学研究センター（HYDROGENIUS）における研究を中心に、その活動の一端を紹介する。

2. 水素の動向

水素利用の道が開けた主要因は、燃料電池技術の進歩である。燃料電池技術とともに、水素を扱うための周辺技術がある程度整ってきたことを背景に、主要な自動車メーカーとエネルギー企業によって燃料電池自動車と水素ステーションが実用化された。我が国では、国のエネルギー政策の一環として、水素社会実現へ向けたさまざまな取組みが加速され、またこれらと並行して、発電やエネルギー貯蔵・輸送の分野での技術開発も進められている。このような様々な場面で水素を普及させていくためには、水素を安全に蓄え、運び、供給する技術の確立と、それらの経済性を向上させることが必要不可欠である。

3. 水素利用に必要な材料技術

水素は、可燃性ガスであるため漏洩すれば爆発の危険性があること、エネルギー密度が低いために高圧や液化が必要なこと、あらゆる物質に侵入すること、金属に侵入すれば水素脆化に代表される強度低下を引き起こす場合があること、など材料に関わる様々な問題がある。水素材料先端科学研究センターは、NEDOの委託研究を行うために産業技術総合研究所の研究センターとして2006年に設立し、2013年からは九州大学の研究センターとして、NEDO事業を中心に多くの企業、機関と連携して研究を行っている。主な研究分野は、1) 構造用材料として用いられる金属材料の高圧水素中での強度特性、2) シールなどで使われるゴムや高分子材料の強度特性に及ぼす高圧水素の影響、3) 高圧下での水素ガスの熱物性、4) 各種材料の水素中でのトライボロジー特性、5) 水素に関わる安全評価、である。研究形態は分野ごとに異なるが、基礎原理を探りつつ、実用に直結する知見の蓄積と提供に主眼を置いている。国内外の他機関にはない超高圧ガスの実験装置群と実験技術、評価技術、分析技術などを有し、技術開発のためのデータや開発指針を提供するとともに、規制見直しや国際標準化などに貢献している。

4. おわりに

九州大学の水素関連の活動についてご質問、ご要望等ございましたら是非お寄せください。

連絡先: sugi@mech.kyushu-u.ac.jp

URL: <http://hydrogenius.kyushu-u.ac.jp/index.html>

水素社会に向けた材料研究 ～九州大学での取り組み～

杉村 丈一

九州大学

¹カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)
²水素材料先端科学研究センター (HYDROGENIUS)
³工学研究院機械工学部門

第10回九州シンクロtron光研究センター研究成果報告会
2016.8.3

伊都キャンパス(水素キャンパス)

国立大学法人 九州大学

Toyota and Honda launched fuel cell vehicles

(from Honda website)

About ninety hydrogen stations are in service

3

製造・貯蔵・エネルギー変換が容易な水素

H₂ 電力

水素→移動体 電気→定置・小容量モバイル

4

水素社会実現に向けた対応の方向性

■ **フェーズ1(水素利用の飛躍的拡大):現在～**
 足元で実現しつつある、定置用燃料電池や燃料電池自動車の活用を大きく広げ、我が国が世界に先行する水素・燃料電池分野の世界市場を獲得。

■ **フェーズ2(水素需要の本格導入/大規模な水素供給システムの確立):2020年代後半に実現**
 水素需要を更に拡大しつつ、水素源を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな二次エネルギー構造を確立。

■ **フェーズ3(トータルでのCO₂フリー水素供給システムの確立):2040年頃に実現**
 水素製造にCCS(二酸化炭素回収・貯留)を組み合わせ、又は再生可能エネルギー由来水素を活用し、トータルでのCO₂フリー水素供給システムを確立する。

フェーズ1
燃料電池の利用拡大

2017年 家庭用燃料電池に加え、業務・産業用燃料電池を市場投入

2020年頃～2020年代半ば 燃料電池車の普及拡大を促進する水素価格・車両価格の実現

フェーズ2
水素発電の本格導入/大規模な水素供給システムの確立

開発・実証の加速化 水素供給国との協力関係の構築

2020年代後半 海外からの水素供給システム確立

2030年頃 水素発電の本格化

フェーズ3
トータルでのCO₂フリー水素供給システムの確立

水素供給体制の構築見通しを踏まえた計画的な開発・実証

2040年頃 CO₂フリー水素供給システム確立

出典：経済産業省 資源エネルギー庁 (2015年2月26日FCエキスポ)

5

水素材料先端科学研究センター

6

FCVで使用される水素

1. 超高压(70MPa)
2. 高純度・・・不純物、潤滑油だめ
3. 温度範囲が広い

7

水素インフラにおける材料の課題

8

沿革

水素・燃料電池研究は基礎に立ち返るべし

「研究開発が進展するに従い、より本質的な壁が顕在化」、「サイエンスの基礎に立ち返った 根本的な研究開発が必要」 (経産省)

Back to the Basics

2006年 5月 九州大学・産総研包括連携協定締結
2006年 7月 (独)産業技術総合研究所・水素材料先端科学研究センター

ミッション：安全性と経済性が両立する本格的な水素利用への貢献

- ◇水素脆化のメカニズム等の基礎原理の解明
- ◇水素機器の設計・製造への指針を提供
- ◇安全性の評価・反映、設計の基礎となるデータベースの提供

2006～12年度 「水素先端科学基礎研究事業」(NEDO)
2007年11月 水素材料先端科学研究センター実験棟 (HY10) 開所

●世界で唯一の一貫した水素集中拠点の形成
●企業と連携し、国の施策を支える恒久的な世界的拠点

Basics to Practice

2013年 4月 九州大学・水素材料先端科学研究センター (HYDROGENIUS) 設立
安全科学研究部門新設、産総研水素材料先端科学連携研究体との連携
2013年度～17年度 「水素利用技術研究開発事業」(NEDO)

9

NEDO「水素利用技術研究開発事業」

目標：FCV・水素ステーションに係る規制見直しを進めるとともに、低コスト用の機器・システムに関する研究開発を行い、水素ステーションのコスト低減に資する。

FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和、国際標準化に関する研究開発	
水素ステーションの設置・運用等に規制の適正化に関する研究開発	
FCV及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大及び複合容器の基準整備に関する研究開発	
水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発 (JPEC、KHK、九州大学(NIMS,AIST))	
水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発	
FCVの水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発 (HySUT、JPEC、佐賀大学、九州大学)	
FCVの水素安全基準等の国際調和に関する研究開発	
FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発	
水素ステーション用低コスト機器・システム及其構成材料等に関する研究開発	
82MPa、-40℃プレクローラに対応した充填ホース、シールシステムに関する研究開発 (HySUT、九州大学(山形大,阪大)、化学物質評価研究機構、横浜ゴム、NOK、日本合成化学工業)	
FCV用水素貯蔵材料に関する研究開発	
水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発	九州大学
CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	
海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	5大学、8研究機関・団体、
水素エネルギーの導入・普及・CO2フリー水素等に関する調査研究	27企業による産学官が結集

10

HYDROGENIUS

金属材料の疲労と破壊

高分子材料

水素の熱物性

$pV = nRT?$

thermal conductivity, viscosity, specific heat, ...

安全

H₂ diffusion, Combustion control, Sensing, Incident analysis and Education

トライボロジー

11

水素材料研究の世界的拠点

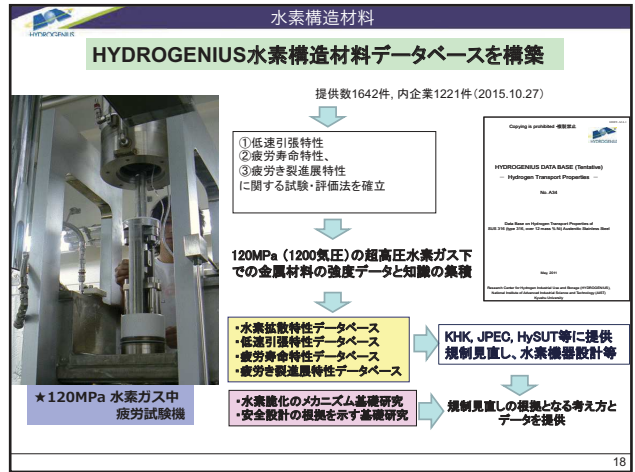
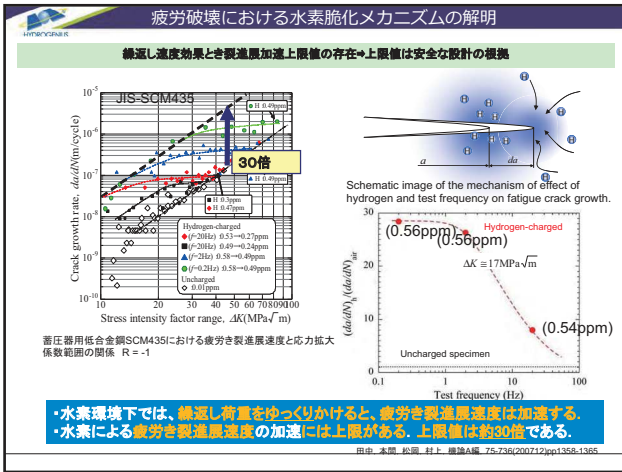
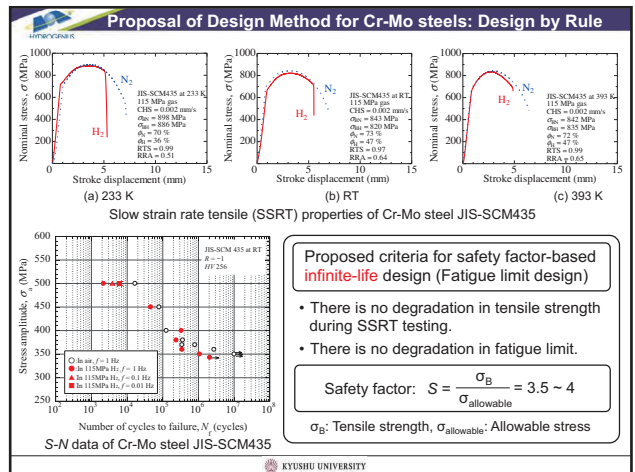
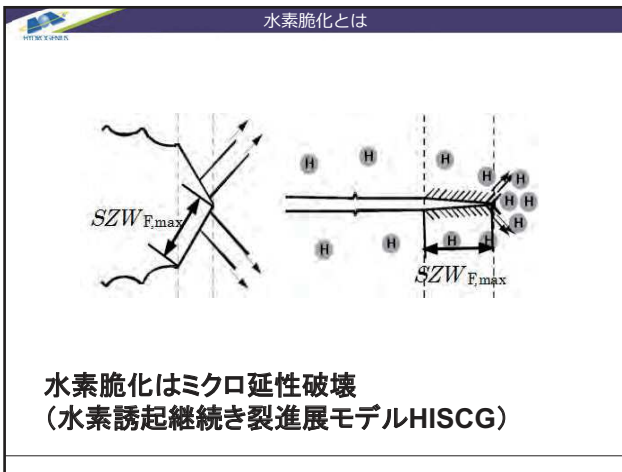
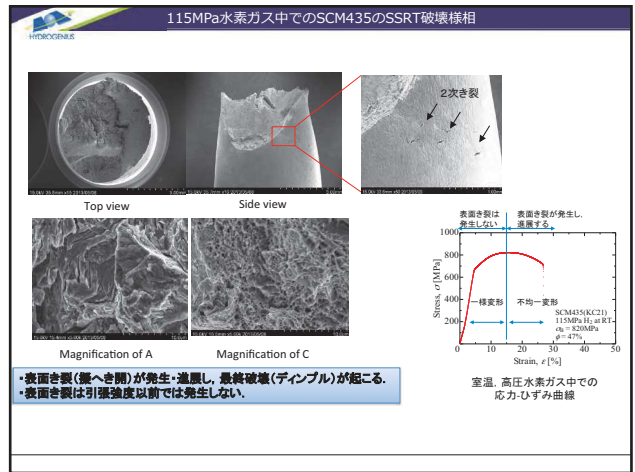
HYDROGENIUSは、**水素の物性、材料、トライボロジー**に関する**集中的研究**を行い、企業と連携しながら国の施策を支える世界的拠点。

水素の世界的研究拠点

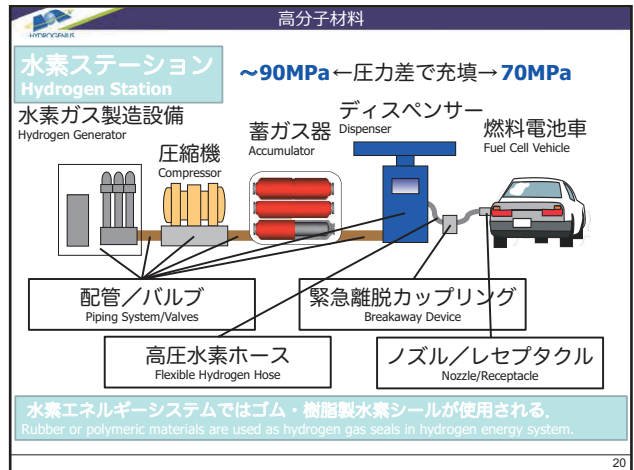
- 国内外から研究者を結集し、水素と材料に関わる先端的な基礎研究を推進。
- 世界唯一の水素トライボロジーの系統的研究所
- 世界で唯一の一貫した水素集中研究施設
- 世界初となる高温高圧水素物性データベースの整備
- 独自で開発した唯一無二の装置群
- 国際規格・標準化に向けた戦略的取組み
- 世界に類を見ない観察方法の採用
- 120MPa 水素環境疲労試験機を世界で初めて運用。100MPa級の試験機を6台保有
- 高圧水素材料データを世界で初めて整備

12

金属材料の研究

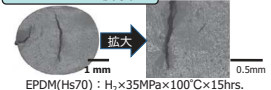
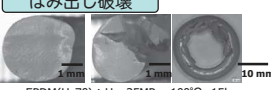
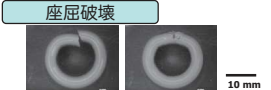


高分子材料の研究

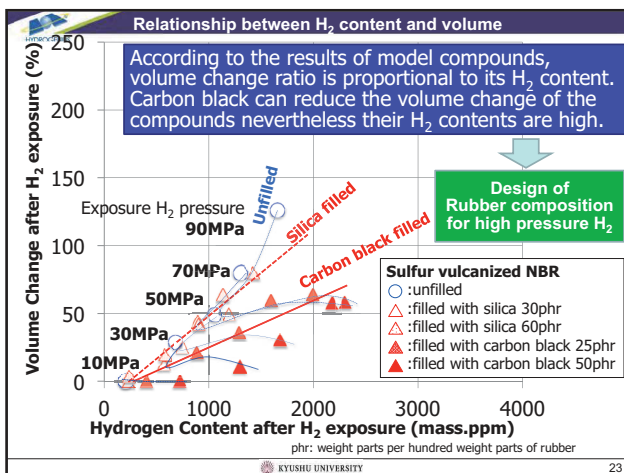
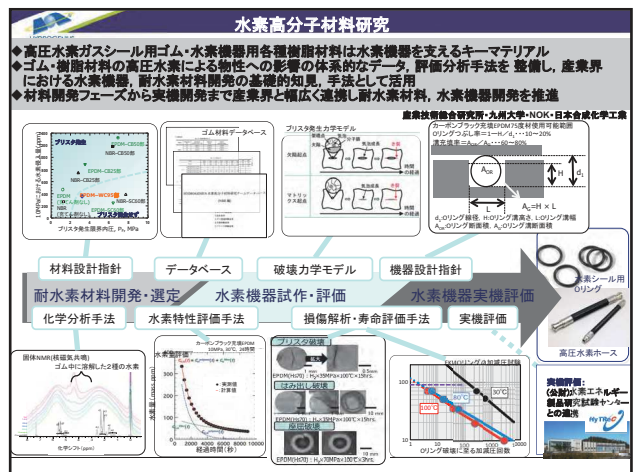


高圧水素ガスシール用Oリングの破壊モード

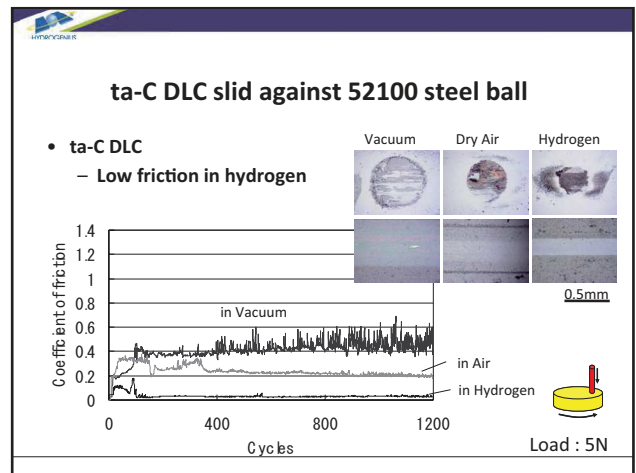
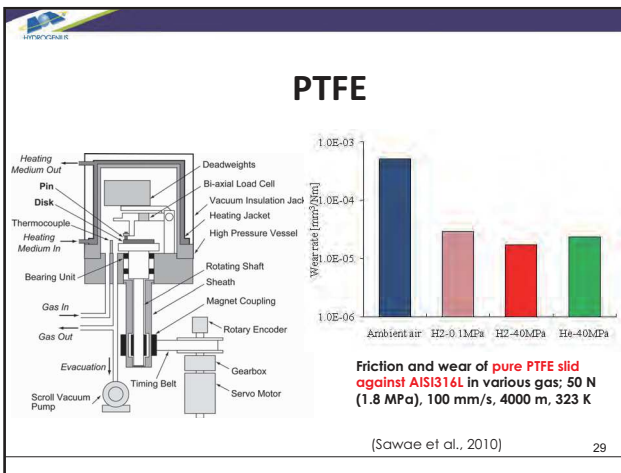
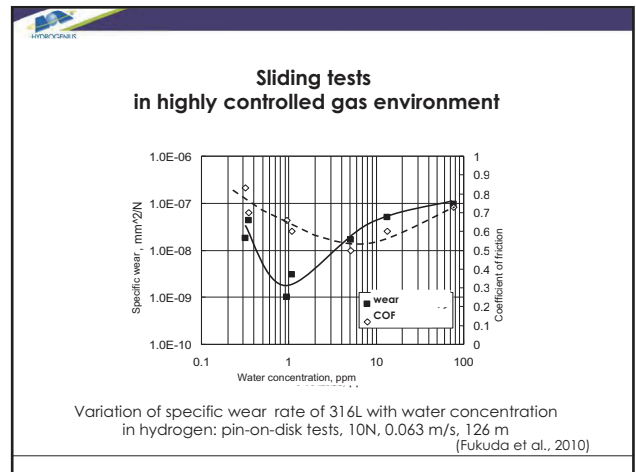
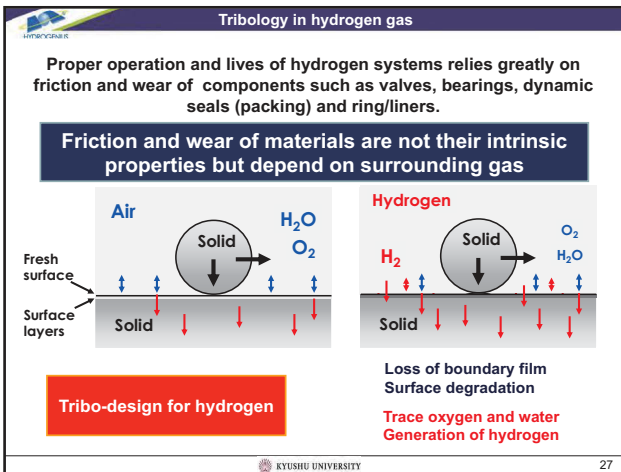
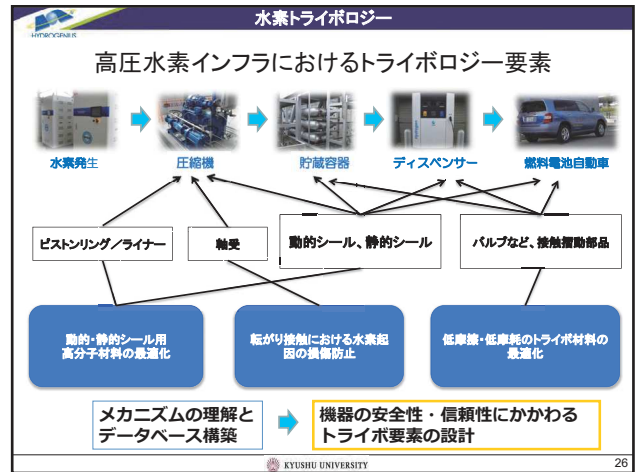
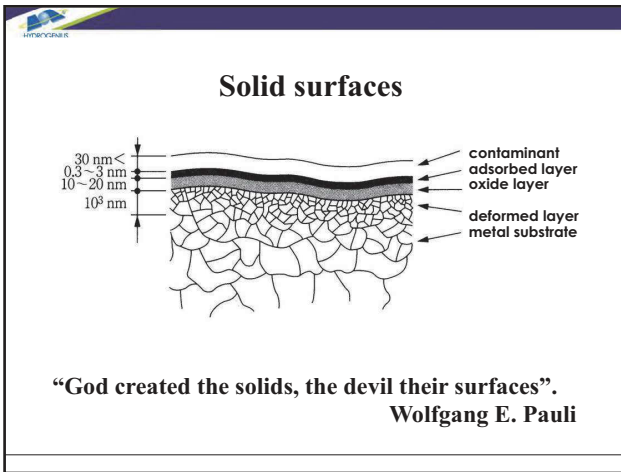
高圧水素シールに用いたOリングの破壊状況を調査・解析し、Oリングの破壊はプリスタ破壊、はみ出し破壊、座屈破壊の3種類の破壊モードに分類することが出来た。それぞれの破壊モードの原因を追究し対策を検討した。

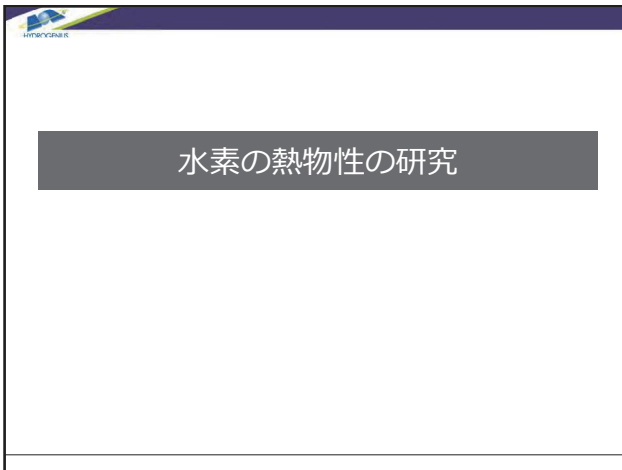
破壊モード	原因	対策
プリスタ破壊  EPDM(Hs70) : H ₂ ×35MPa×100°C×15hrs.	高圧水素曝露時にゴム材料中に溶解した水素が減圧に伴い気化する事により気泡発生から割れ進展に至る。	(Oリング用ゴム材料の対策) ・水素溶解量の低いゴム配合の開発 ・硬度が高く、破壊強度が大きいゴム配合の開発 ・充填材のカーボンブラックは補強効果が高いが水素吸着によりゴムの水素溶解量が増大する。補強効果が高く、水素吸着が小さい充填材を探索
はみ出し破壊  EPDM(Hs70) : H ₂ ×35MPa×100°C×15hrs.	水素による膨潤のため、ゴム材料の常態で設計されたOリング溝の断面積を越える体積増加によりはみ出し破壊に至る。	(Oリング用ゴム材料の対策) ・水素溶解量の低いゴム配合の開発 ・膨潤による体積増加率の低いゴム配合の開発 ・水素溶解量が低いゴム材料の探索
座屈破壊  EPDM(Hs70) : H ₂ ×70MPa×100°C×3hrs.	水素による膨潤のため、Oリングの内周方向に体積膨張が発生し、座屈発生に至る。	(Oリング溝設計の対策) ・使用環境 (温度、水素圧力など) におけるゴム材料の体積増加を前提とした充填率設計 ・使用環境 (温度、水素圧力など) におけるゴム材料のはみ出し破壊、座屈破壊の限界値を把握

NEDO技術開発機構の水素先端科学基礎研究事業 (平成18年度～平成24年度)



トライボロジーの研究





水素物性

・水素の物性値データは水素エネルギー技術を支える基盤情報
 ・世界初となる高温高压水素物性データベースの体系的な整備を実施

・水素の物性値は、水素関連機器の設計の基盤情報
 ・高精度かつ高信頼性の機器設計には、高精度の物性値が必要不可欠
 ・エンジニアに、機器設計に必要な物性値について、使用範囲や精度を分かりやすい形での提供と手軽に入手できる環境整備が必要
 → 水素物性データベース(All in 1 CD)
 → MS-Excel版水素物性ライブラリ

HYDROGENIUSで測定された物性値

- PVT関係
- 定圧比熱
- 音速
- 粘性係数
- 熱伝導率
- 溶解度
- 露点

状態方程式 (EOS)

EOSからの誘導

- 密度
- エンタルピー
- エントロピー
- 内部エネルギー
- 定圧比熱
- 定積比熱
- ジュール・トムソン効果
- 音速
- プラント尺数
- 熱伝散率

水素物性データベース (All in 1 CD / MS-Excel)

文獻等で入手可能なデータ

圧縮機 露点機

水素の物性値は圧縮・充填プロセスの計算に不可欠

<水素物性データベースの貢献>
 安全で公正な水素充填
 水素ステーション制御
 適切な設計による高効率化・コスト低減
 リスクの適切な予測(水素漏洩等)

国立大学法人 九州大学 32

水素物性

高圧水素物性測定法と装置の開発

定容積式PVT装置 (2)100MPa, 500°C
 細管式粘性係数測定装置 (2)100MPa, 250°C

水素物性データ計測と整理式の開発

2006-2012で得られた成果

- 100MPa, 500°CまでのPVTデータの測定、ビリアル状態方程式の開発、PVT data and virial EOS up to 100MPa, 500°C
- 100MPa, 500°Cまでの粘性係数の測定、および予測整理式の開発、Measurement and prediction equation for viscosity up to 100MPa and 500°C
- 100MPa, 500°Cまでの熱伝導率の測定、および予測整理式の開発、Measurement and prediction equation for thermal conductivity up to 100MPa and 500°C
- 水素物性データベース(All in 1 CD, Excel版)の開発、/ Development of H2 thermophysical property database

水素インフラ基礎設計ツールとして産業界に貢献

熱伝導率整理式 粘性係数整理式

PVTデータと状態方程式の開発

100MPa, 500°C
 100MPa, 250°C
 100MPa, 500°C

定容積式PVT装置 熱伝導率測定装置 (2)100MPa, 200°C (2)100MPa, 500°C
 パーネット式PVT装置 熱伝導率測定装置 (2)100MPa, 200°C (2)100MPa, 500°C

33

主な活動

水素先端世界フォーラム 世界の水素関係者の「重要な交流の場」に発展

平成19年から開催し10回目

第10回 2016.2.3-4
 伊都キャンパス 権木講堂

FCXPO

福岡パビリオンの一部としてHYDROGENIUS紹介とその成果の普及(2016.3.2-4、東京ビックサイト)

水素関係国際機関ラポツアー 体制・設備・理論・成果の充実への驚きの声

- ・IEA/HIA EXCO MEETING IN FUKUOKA/サイトビジット (2011.10.1)
- ・IEA先端燃料電池実施協定(AFCIA)/サイトビジット (2012.10.31)
- ・IPHE・テクニカルツアー (2013.11.28)

福岡水素エネルギー戦略会議との連携

研究機関HYDROGENIUS
 水素エネルギー新技術の育成拠点(HyTREO)
 世界最先端の水素貯蔵推進機構(水素先端世界フォーラム)
 人材育成事業(聴覚者、技術者、高度人材)
 社会実証活動(水素タウン、水素ハイウェイ)

(平成16年8月3日設立)
 ・会長：柳川 欽也 (新日鐵住金(株) 代表取締役副社長)
 ・会員数：771 (企業621) (2016年2月現在)

34

