

水素エネルギー社会実現に向けた HYDROGENIUS の取り組み — 高圧水素ガス用ゴムシールの研究 —



2011年7月15日

西村 伸

九州大学大学院工学研究院機械工学部門

産総研 水素材料先端科学研究センター 高分子材料研究チーム

豊かな石油の時代が終わる

石油はあと40~50年

EPR>1.0 → EPR<1.0

(EPR: Energy Profit Ratio)

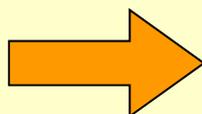
日本のエネルギーの将来は？

- 地球温暖化 → 戦争上回る惨禍
(コロンビア大 J.E.Stiglitz)

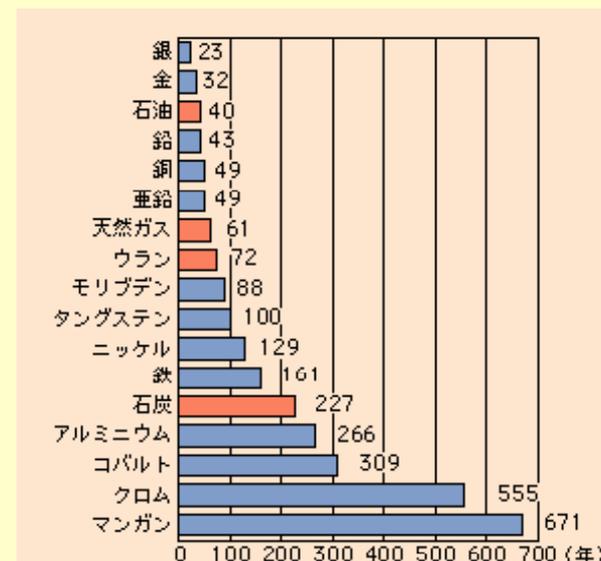
京都議定書 2005年2月16日発効
日本: 1990年比でCO₂ 6%削減目標

日本	US	EU	カナダ	ロシア
6%	7%	8%	6%	0%

↙ 2001年離脱



水素エネルギー・燃料電池システムの
利用・普及が必須



平成12年現在 (ただし、ウランは平成9年、アルミニウムは平成11年)

残余年数 = 埋蔵量 / 生産量

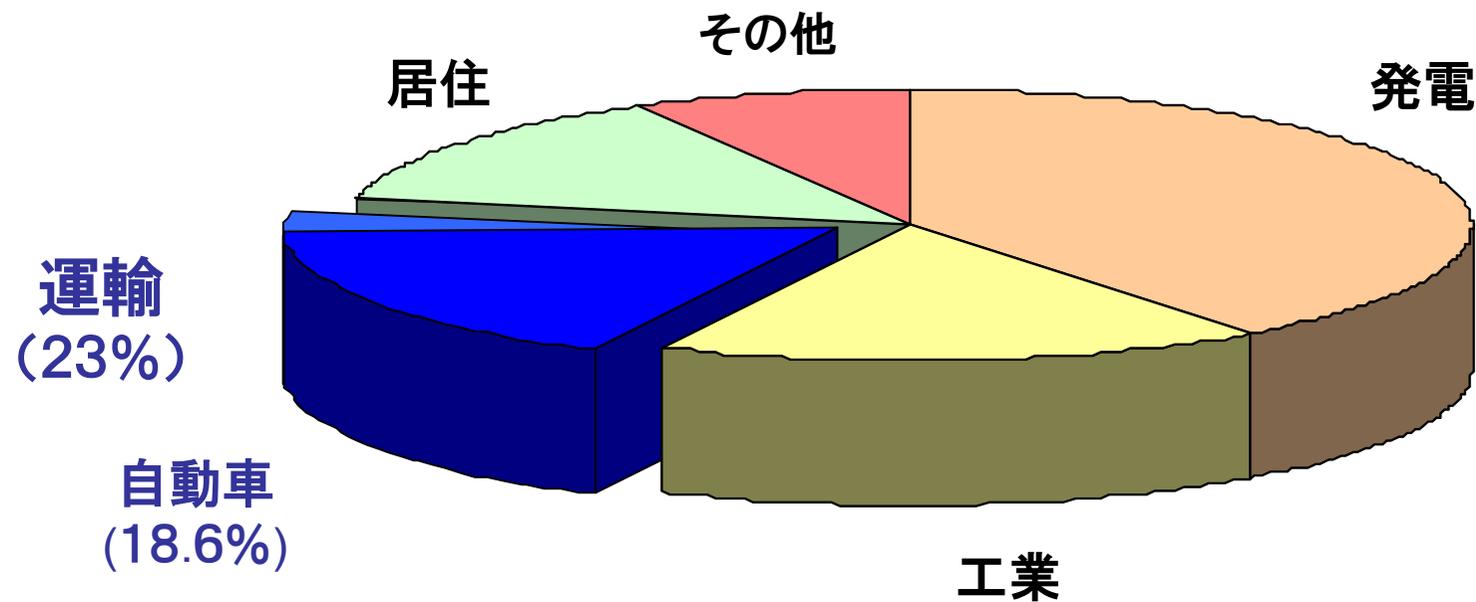
資料: BP Amoco『Statistical Review of World Energy 2001』、OECD/NEA-IAEA、Mineral Commodity Summaries 2001 (一部2000)、World Metal Statistics 2001より環境省作成

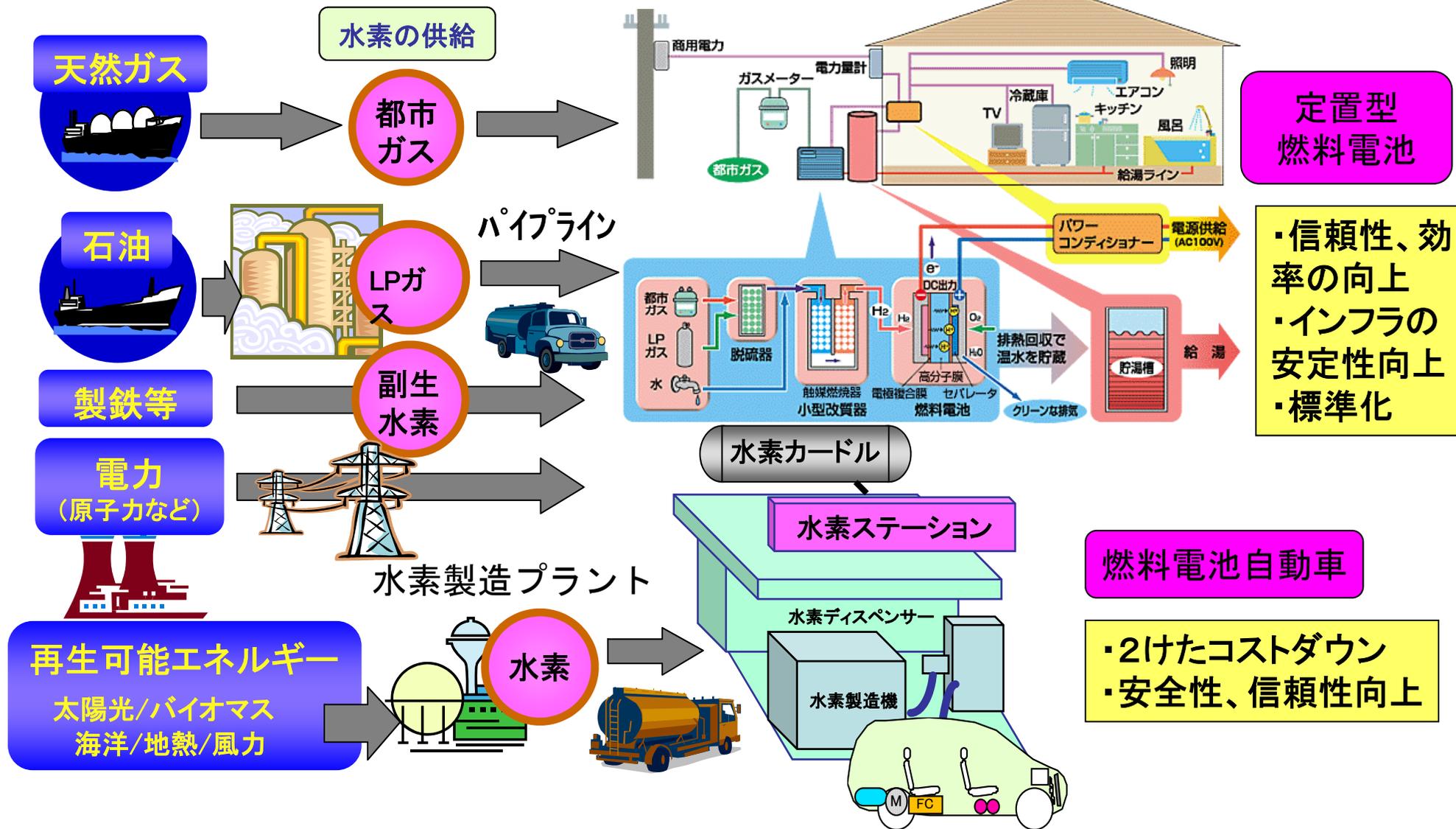
主要なエネルギー資源・
鉱物資源の残余年数

CO₂に対する自動車の影響

本田技術研究所作成 2009,2

CO₂の排出に関して、各分野で排出されているが、
 輸送関連約23%、内自動車18.6%を占めており、
 自動車分野でもCO₂の削減は必須である。





安全な水素エネルギー社会の実現

水素エネルギー普及の阻害要因

コスト

- ・ 輸送、貯蔵技術のブレークスルー
- ・ 水素ステーションの建設・運営コストの低減

キーワード

安全性と経済性の両立

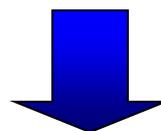
法規制

- ・ 高圧ガス保安法（各種機器，保安距離等）
- ・ 消防法（既存STとの併用）
- ・ 建築基準法（取り扱い数量）

法の再点検が必要



FCEVの価格 現在1~2億円



実用化・普及

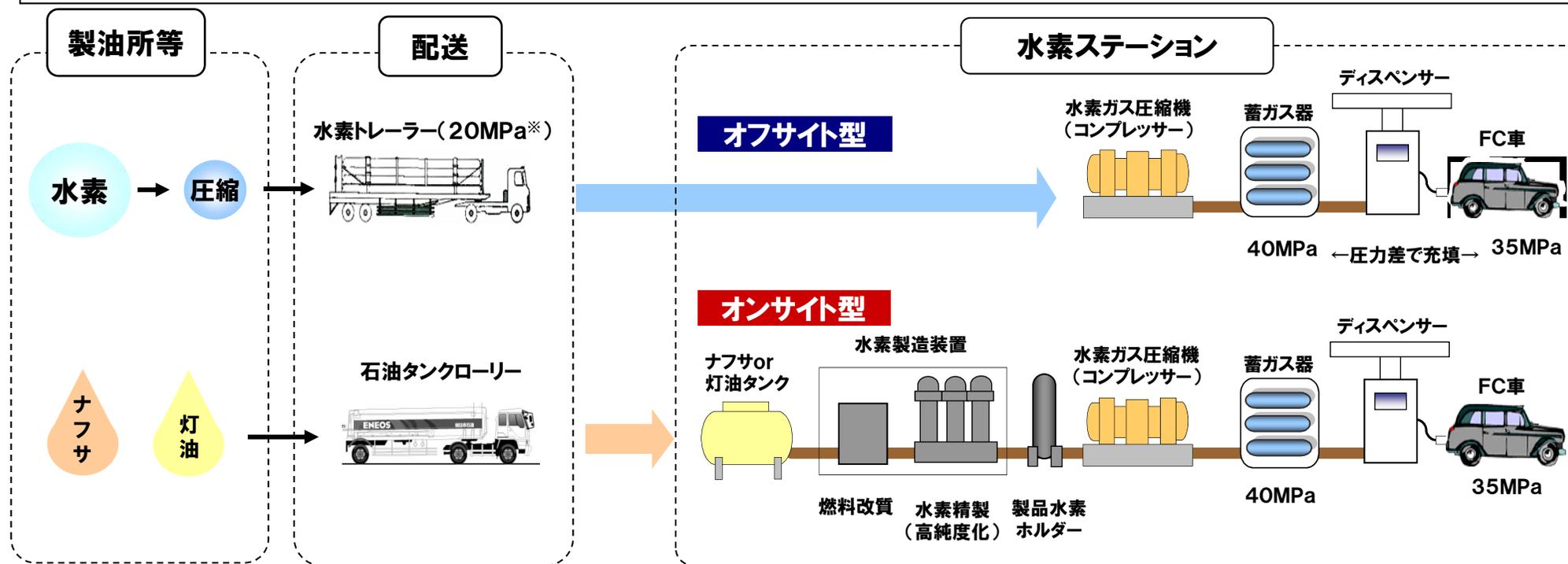
2桁のコストダウン



- ・量産
- ・安全と信頼性を確保する技術(イノベーション)

水素供給形態（普及初期）

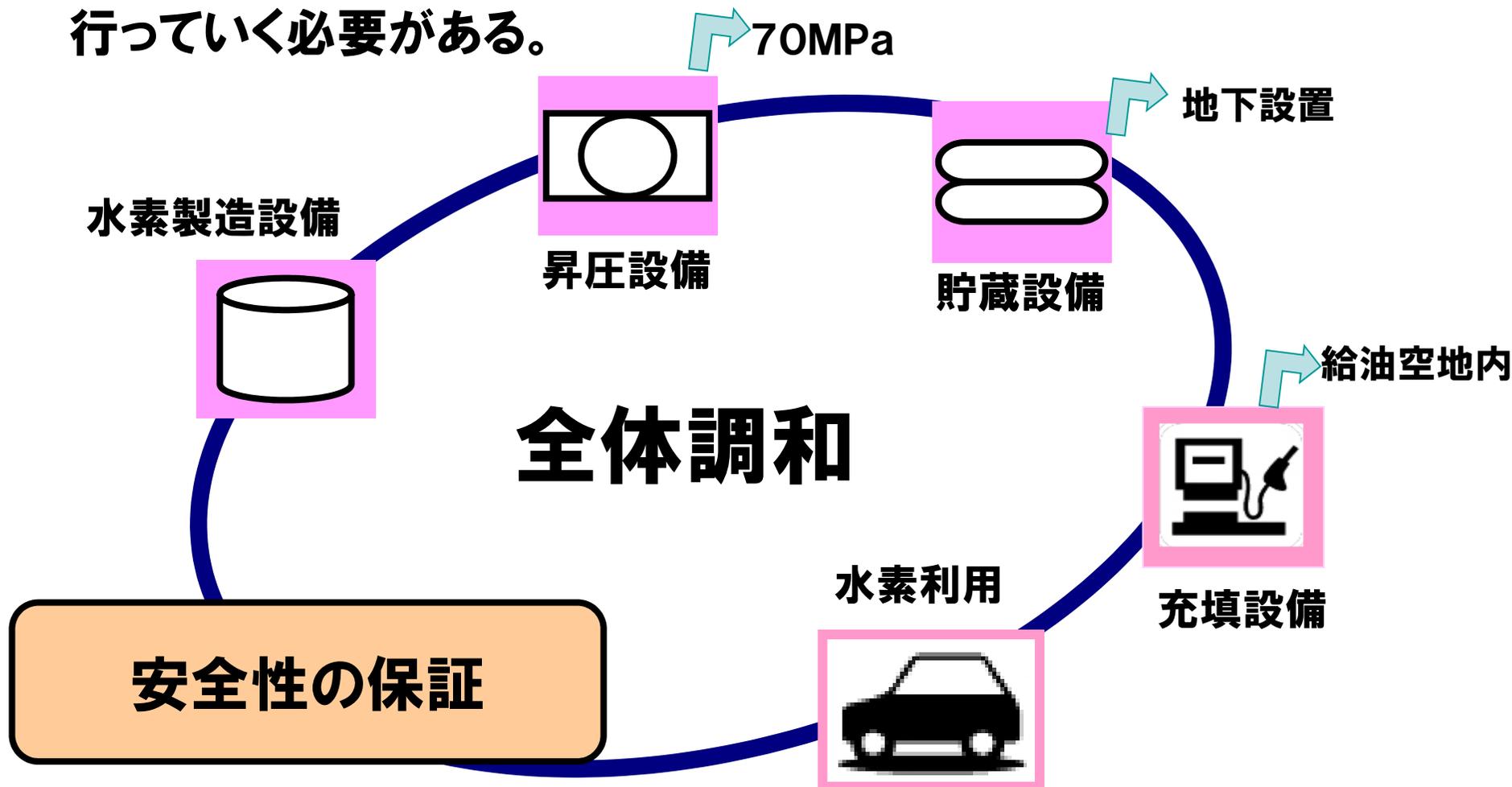
- ①副生水素（製油所・製鉄所等の水素）を用いた「**オフサイト型水素ステーション**」
- ②製油所石油製品を利用した「**オンサイト型水素ステーション**」



(※MPa:メガパスカル)

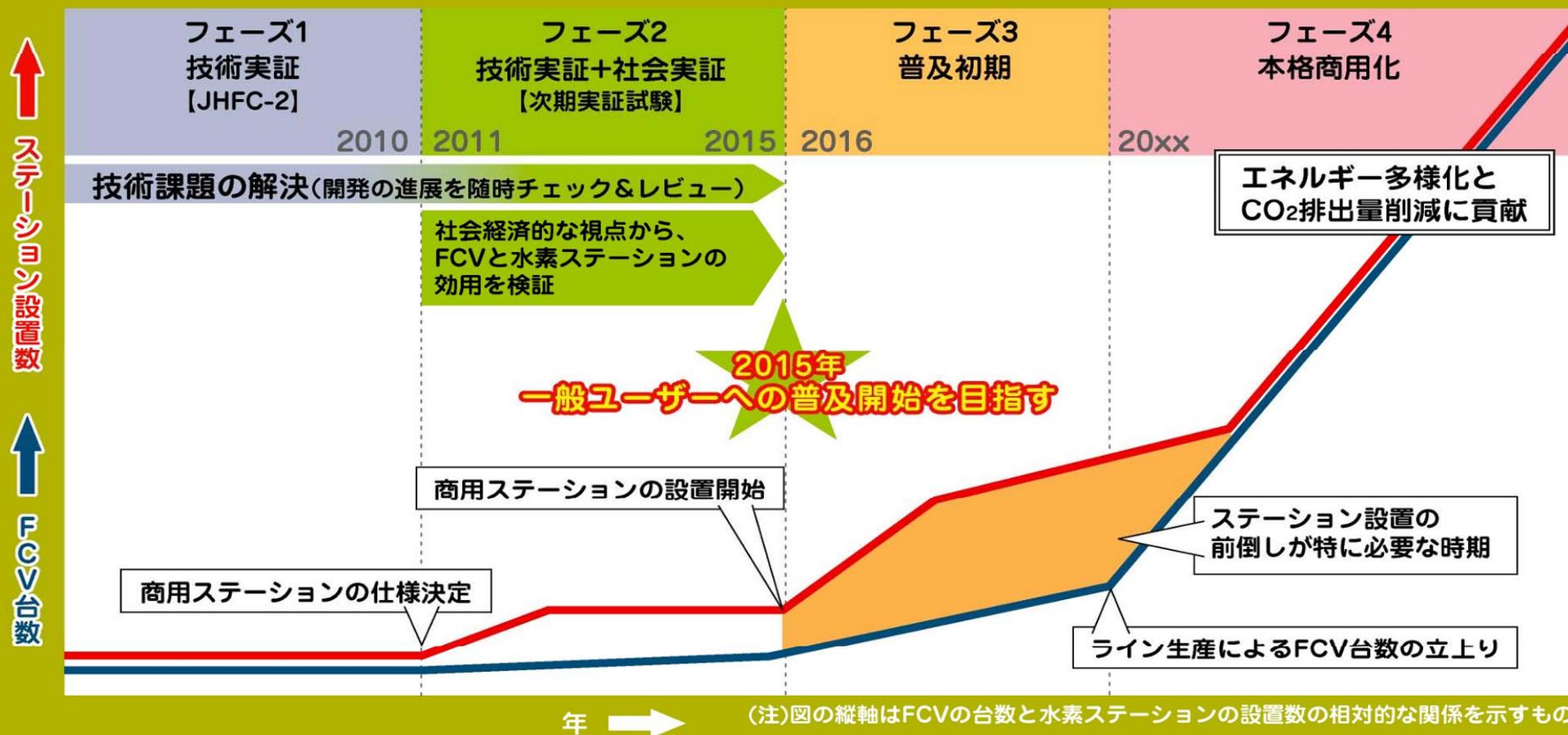
個別機器開発と全体調和

個別機器の技術開発とともに、全体システムとしての開発を行っていく必要がある。



➡ 「安全性を保証した上で、コストダウン、コンパクト化技術の開発を推進」

FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ

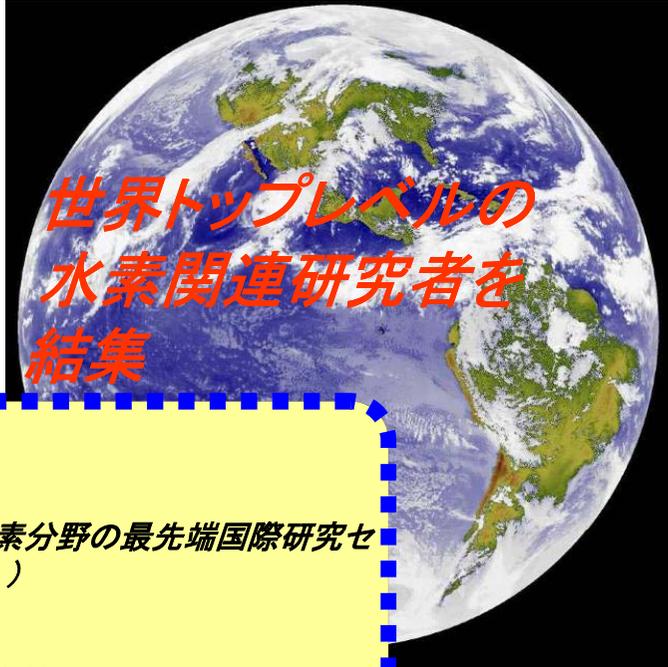


FCCJ(燃料電池実用化推進協議会):民間企業(および関係団体)より構成され、燃料電池の実用化と普及に向けた検討、政策提言等を行っている。



NEDO 「水素先端科学基礎研究事業」

平成18年度より24年度までの7年計画



世界トップレベルの
水素関連研究者を
結集

水素環境下における水素材料研究

(現象探求、原理創出などの基礎的研究、基礎データ蓄積、実用試験研究のための水素分野の最先端国際研究センター。九州大学伊都キャンパス内の産総研・水素材料先端科学研究センターで実施。)

- (1) 高圧水素物性の基礎研究
- (2) 高圧/液化による金属材料等の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討
- (3) 高圧/液化化状態における長期使用及び加工(成形・溶接・表面修飾)、温度などの影響による材料強度特性研究
- (4) 高圧水素トライボロジーの解明
- (5) 材料等内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究

水素エネルギー社会実現に不可欠な、水素を長時間安全に利用するための科学的な知見の確立

経済産業省資源エネルギー庁

燃料電池実用化戦略研究会

水素・燃料電池研究は基礎に立ち戻るべし

固体高分子形燃料電池の抜本的な
低コスト化と耐久性・信頼性の向上

固体高分子形燃料電池
先端基盤研究センター
FC-Cubic

2005年4月1日

「水素脆化」の基本メカニズム解明と
使用材料の実用的な安全指針確立

水素材料先端科学研究センター
HYDROGENIUS

2006年7月1日

水素貯蔵材料の革新的な性能向上

水素貯蔵材料先端基盤
研究事業
HYDRO☆STAR

2007年4月1日

研究資源を集中し、科学的・技術的限界を打破する「ブレイクスルー」を実現。

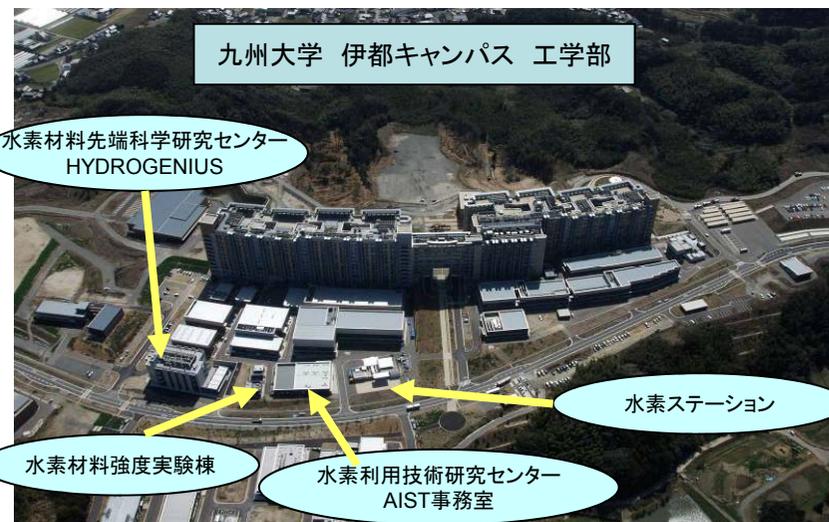
水素材料先端科学研究センターの特徴

①産総研の**大学内型研究センター** ←産総研・九州大学の包括連携協定

- 1.九州大学と研究資源 (設備・研究者・予算)を融合した全面的な連携
人材の相互利用・設備の相互利用・
予算使用の便宜など一体的運営
九州大学伊都キャンパス内に新実験棟
- 2.福岡西事業所としての機能を併せもつ



梶山九大総長と古川産総研理事長
平成18年5月1日
九州大学・産総研包括連携協定締結



福岡市の西端 九州大学の新しいキャンパス内に研究センターを設立

②NEDO水素先端科学基礎研究事業の**集中実施機関**

- 1.高圧での水素物性の研究などの基礎的研究から、高圧水素環境下での材料特性研究など広範な領域を伊都キャンパスでカバー
- 2.センター長(九州大学副学長・理事)による、研究の一括集中管理



実験棟HY10棟



NEDO
水素先端科学基礎研究事業

福岡県
福岡水素エネルギー戦略会議

経済産業省
資源エネルギー庁
燃料電池推進室
原子力安全・保安院
九州経済産業局

産総研
水素材料先端科学研究センター

産総研
の研究ユニット

文部科学省
JST

<産業界>

(社)日本自動車工業会

トヨタ自動車、日産自動車、ホンダ

燃料電池実用化推進協議会

(財)エンジニアリング振興協会

(財)日本自動車研究所

石油関連企業、高圧ガス関連企業、

海外

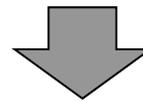
大学、研究機関、高圧ガス関連企業、
州政府、海外公館、

九州大学



これまでに得られた成果

- ・水素脆化のメカニズムは、脆性破壊ではなく、ミクロな**延性破壊**であることを示す証拠を提示
- ・水素が存在すると疲労き裂の進展速度が、負荷の速度により大きな影響を受けることを発見



HYDROGENIUS

- ・水素は全ての材料の強度に影響
- ・水素脆化のメカニズムを理解すれば安全なものづくりが可能

産業界の要望

HYDROGENIUSの成果をもとに合理的設計法を確立することによって、安全性が担保された安価な材料を使いたい

燃料電池車用高圧容器例示基準
(JARI S001, S002)

- ・2005年3月策定
- ・使用材料をA6061-T6とSUS316Lに限定

例示基準とは？

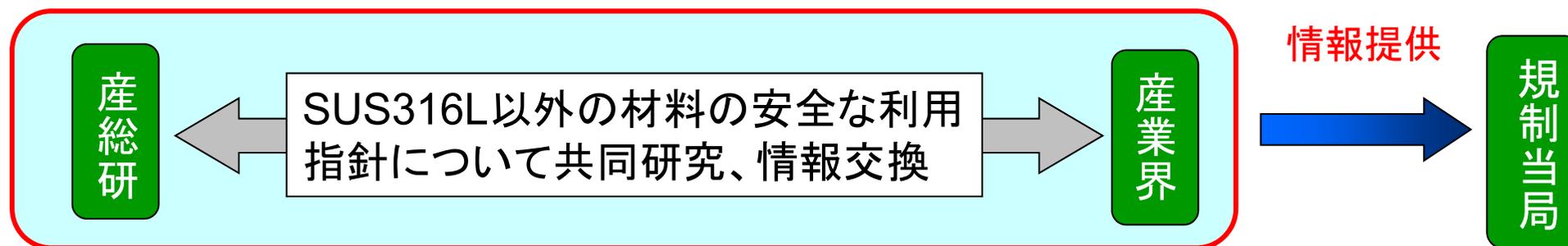
- ① 例示基準に従う場合は、法令に定める技術的要件に適合すると判断
- ② 例示基準に従わない場合は、法令に定める技術的要件に照らして安全性等に問題ないか、事業者が個別に証明する義務を負う

現実的には、例示基準に適合しない材料を使えない



燃料電池車以外でもSUS316Lの使用が拡大

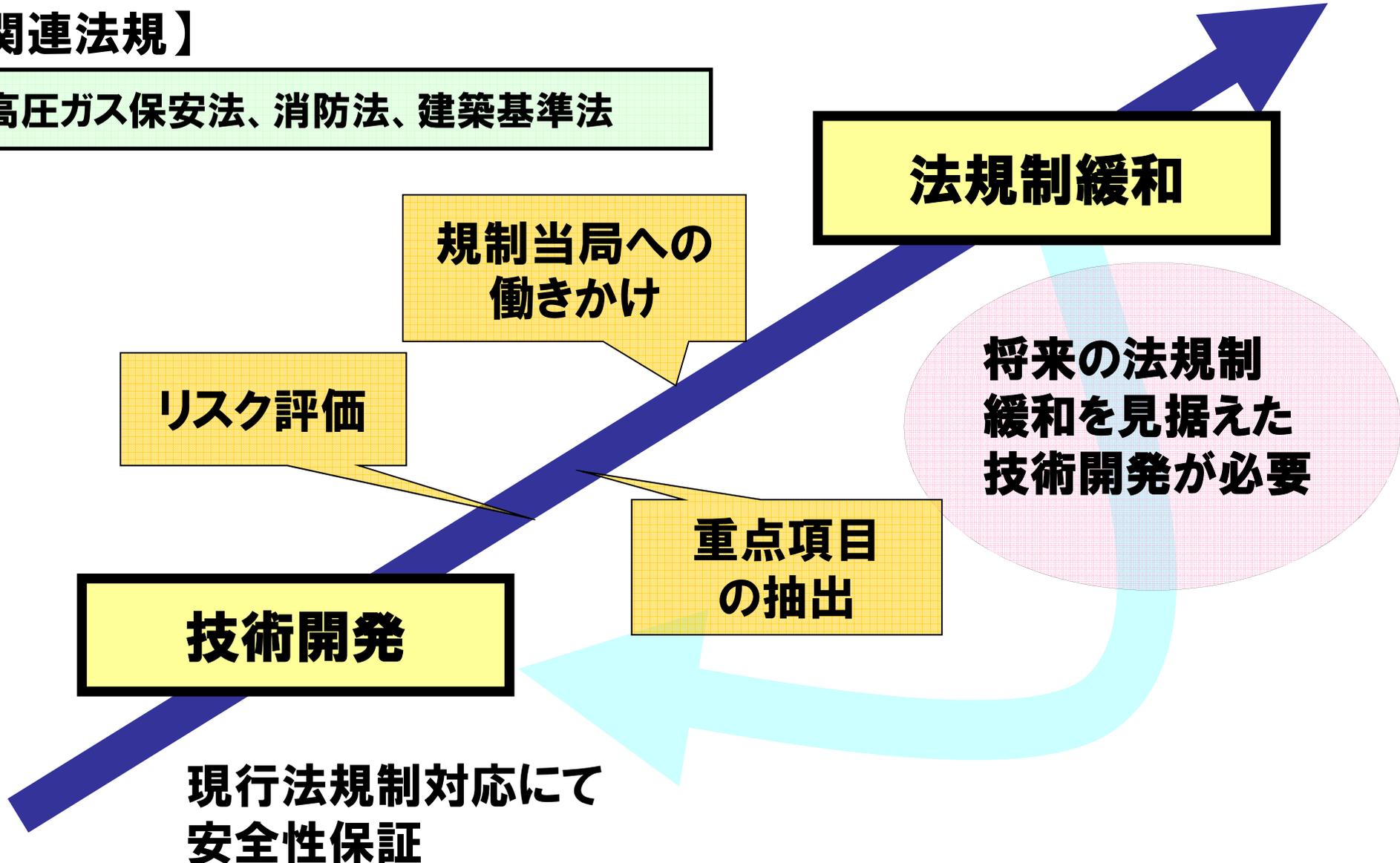
- ・愛・地球博水素ステーションにおいて、SUS316L製充填ホースの水素漏れ事故発生
- ・HYDROGENIUSの調査により、水素脆化の証拠が判明



法規制緩和を見据えた技術開発

【関連法規】

高圧ガス保安法、消防法、建築基準法



技術開発

法規制緩和

将来の法規制
緩和を見据えた
技術開発が必要

規制当局への
働きかけ

リスク評価

重点項目
の抽出

現行法規制対応にて
安全性保証

- ・各国の熾烈な開発競争が続く中、科学的に誤った情報(例: 格子脆化説)に基づいた規格や評価方法が国際標準とされないよう、情報発信の強化が必要
- ・国内規格と国際標準の整合を目指すことが必要
- ・国内メーカーが不当な不利益を被らないための戦略的な対応が必要



Prof. Petros Sofronis
University of Illinois

HYDROGENIUS客員研究員

HYDROGENIUSの貢献

自工会
KHK
JARI
FCCJ



米
国
側
基
準
作
成
委
員
に
影
響
力
が
あ
る
研
究
者

- ・最も信頼できる科学的データ提供
- ・情報交換の促進

KHK: 高圧ガス保安協会
JARI: (財)日本自動車研究所
FCCJ: 燃料電池実用化推進協議会



Dr. Brian P. Somerday
Sandia National Laboratories

HYDROGENIUS客員研究員

高圧水素貯蔵容器に用いられる樹脂材料

高圧水素容器の高圧水素ガスシール（Oリング、ライニング）

→ 樹脂材料は，高圧水素環境中に繰返し曝される

Oリング（ゴム）



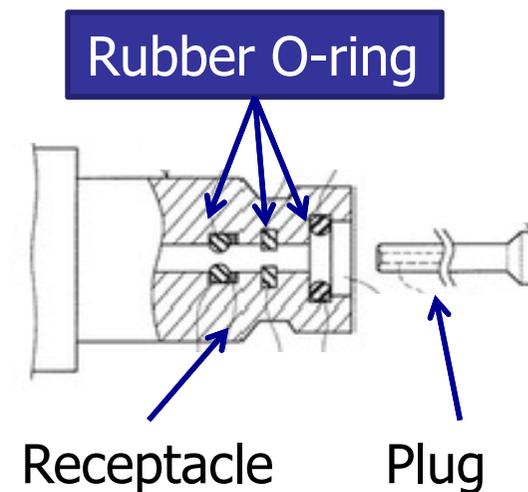
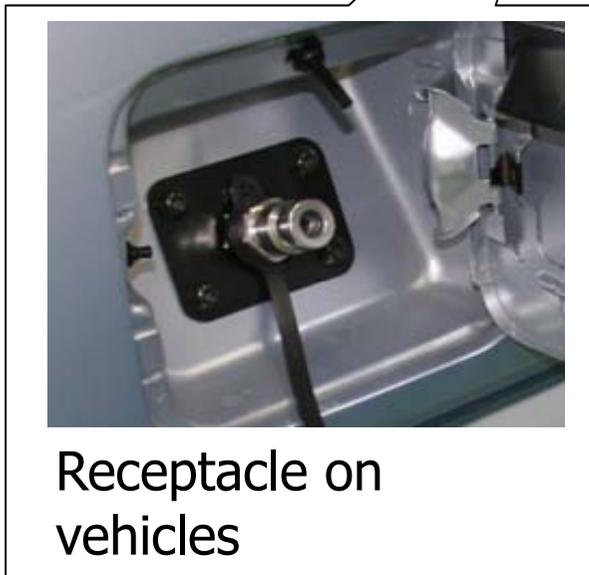
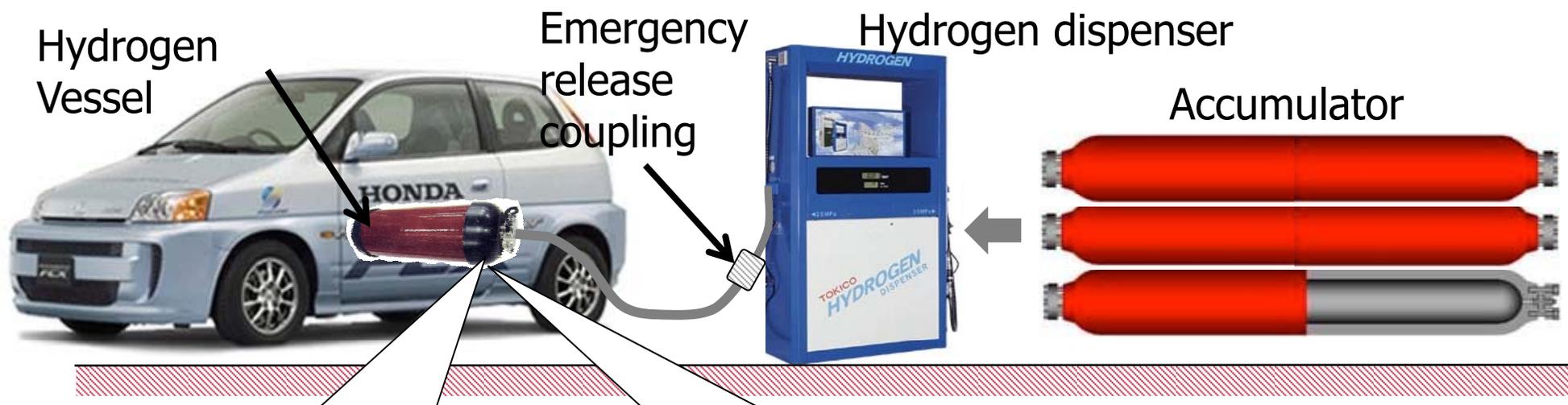
高圧水素容器材料

- ・クロムモリブデン鋼
- ・CFRP

（CFRP容器）

ライニング材

- ・Al(A6061-T6)
- ・樹脂



Rubber O-rings are used for hydrogen seals in hydrogen energy system.

ゴム材料は高圧ガスに曝された場合、気泡（ブリスタ）が発生し、き裂が進展することがある。

⇒ **ブリスタ破壊現象**

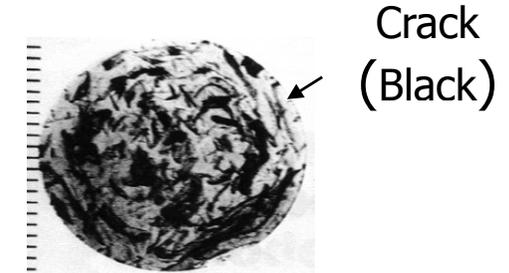
ブリスタ破壊に関するこれまでの研究例

【曝露条件】

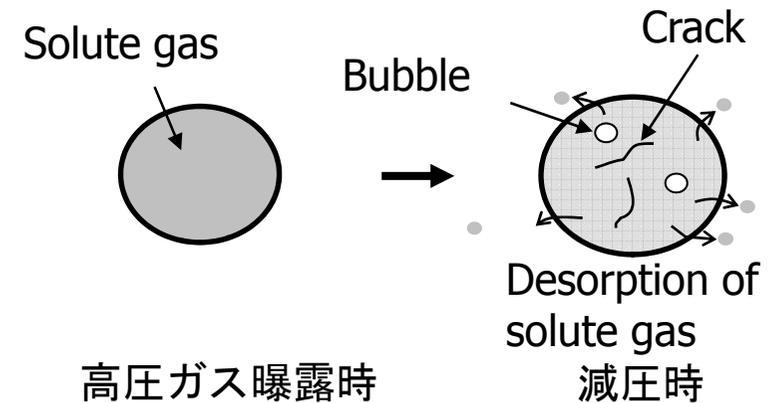
- ・ ガス種 : CO₂, N₂, Ar etc.
- ・ 圧力 : ~70 MPa.
- ・ ゴム材料 : NBR, EPDM, FKM, VMQ etc.

【ブリスタ破壊の特徴】

- ・ 曝露圧力が高いほど、ブリスタ破壊は激しくなる
- ・ 減圧速度が速いほど、ブリスタ破壊は激しくなる
- ・ ガス種によりブリスタ破壊様式が異なる



Silicon rubber exposed to 40 MPa CO₂ gas.⁽¹⁾

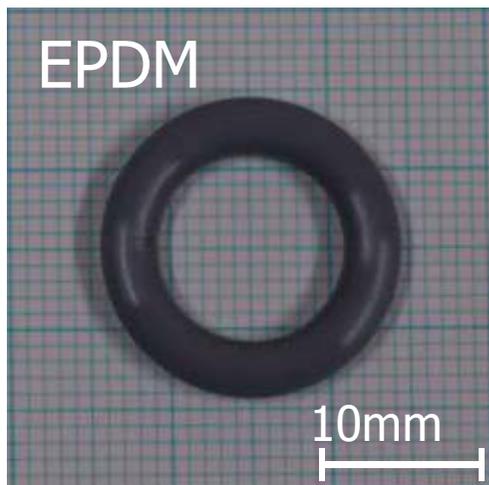


(1) S. Zakaria, and B. J. Briscoe, "Why rubber explodes", Chemtech, Vol.20, Aug, pp. 492-495 (1990).

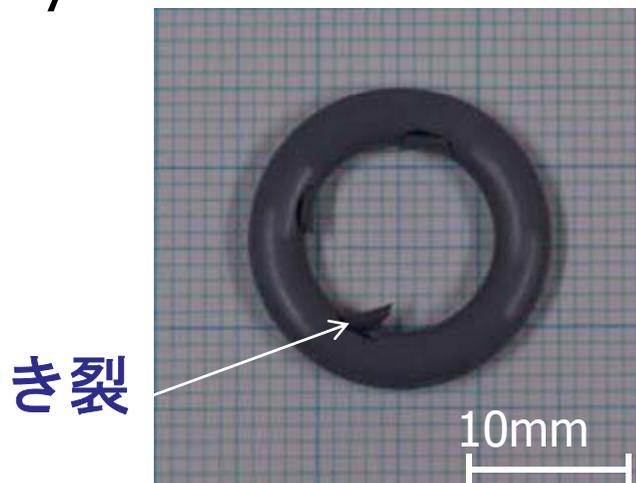
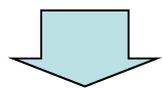
(2) A. Stevenson, and G. Morgan, "Fracture of Elastomers by Gas Decompression", Rubber Chemistry and Technology, Vol. 68, pp. 197 - 211 (1995).

(3) B. J. Briscoe, T. Savvas, and C. T. Kelly, "Explosive Decompression Failure of Rubbers: A Review of the Origins of Pneumatic Stress Induced Rupture in Elastomers", Rubber Chemistry and Technology, Vol. 67, pp. 384 - 416 (1994).

試験前



90MPa, 100° C
× 20 cycles

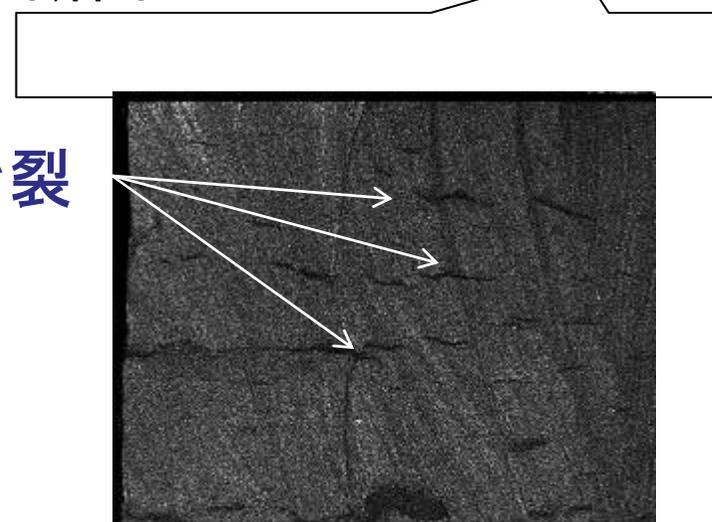


100MPa, 30° C, 25サイクル後



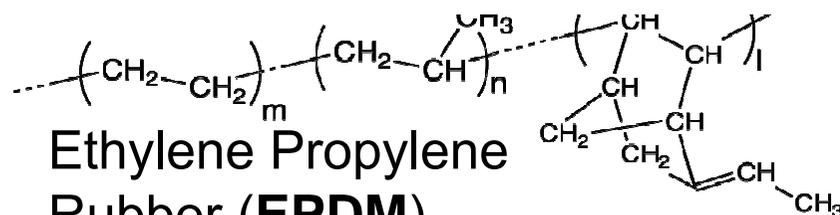
断面

き裂

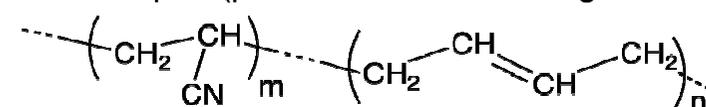


	ITEMS	EPDM-NF	EPDM-CB50	EPDM-CB25	EPDM-SC	NBR-NF	NBR-CB50	NBR-CB25	NBR-SC
Rubber	EPDM(ESPRENE 505)	100	100	100	100	-	-	-	-
	NBR(NIPOL 1042)	-	-	-	-	100	100	100	100
	Stearic Acid	1	1	1	1	1	1	1	1
	Zinc oxide	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sulfur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	MBTS	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	TMTD	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
	ZnEDC	0.7	0.7	0.7	0.7	-	-	-	-
Filler	CB:HAF Black (ASTM N330)	-	50	25	-	-	50	25	-
	SC:NIPSIL VN3	-	-	-	60	-	-	-	60

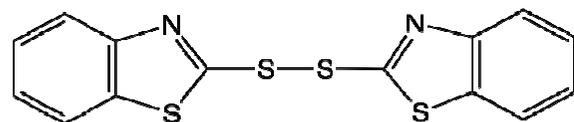
phr (per hundred rubber: g/Rubber100g)



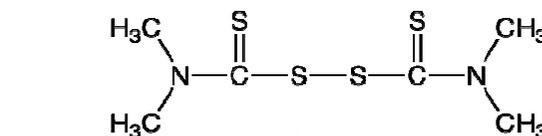
Ethylene Propylene Rubber (**EPDM**)



Acrylonitril Butadiene Rubber (**NBR**)



2,2'-Benzothiazyl Disulfide (**MBTS**)



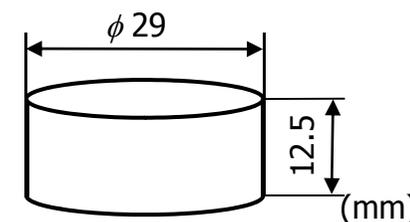
Bis(dimethylthiocarbamoyl) Disulfide (**TMTD**)



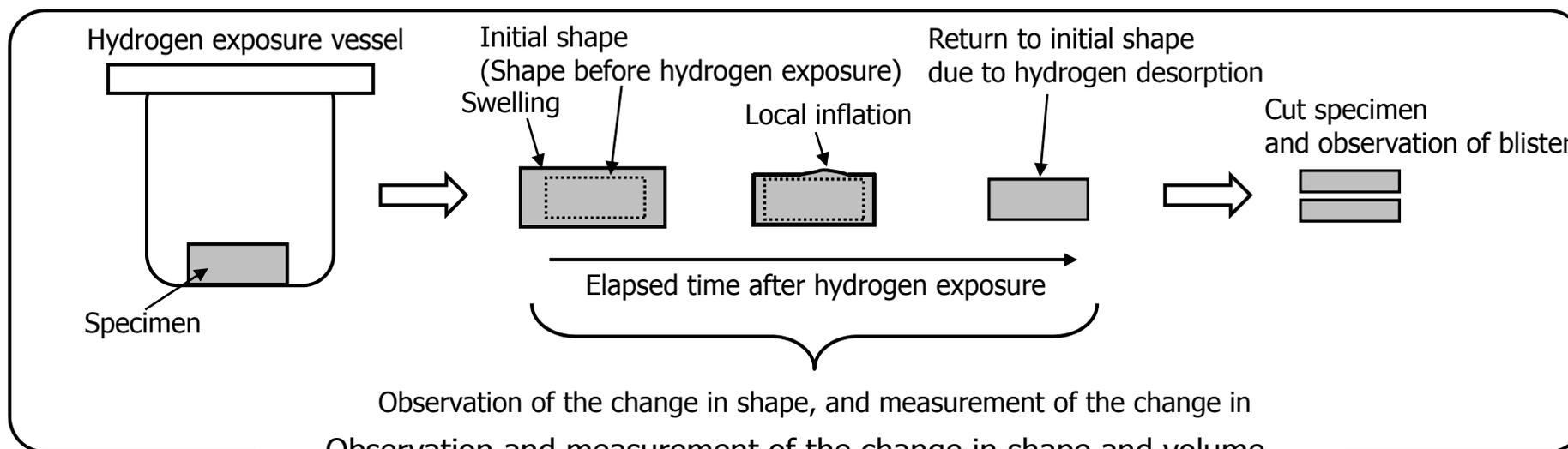
Zinc Diethylthiocarbamate (**ZnEDC**)

供試材	フィラー	ゴム硬度	密度 (g/cm ³)	破断歪み (%)	破断応力 (MPa)	弾性率 (MPa)
NBR-NF	なし	A 52	1.035	325	2.0	2.9
NBR-CB50	HAF 50phr	A 77	1.191	295	23.9	15.3
JIS B2401 1A NBR-CB25	HAF 25phr	A 67	1.123	375	14.2	6.3
JIS B2401 1B NBR-SC60	シリカ 60phr	A 85	1.248	650	28.0	30.1
EPDM-NF	なし	A 54	0.928	135	1.3	3.2
EPDM-CB50	HAF 50phr	A 79	1.093	265	19.4	18.1
JIS B2401 1A EPDM-CB25	HAF 25phr	A 68	1.016	285	10.6	5.8
EPDM-SC60	シリカ 60phr	A 91	1.136	263	12.6	43.7

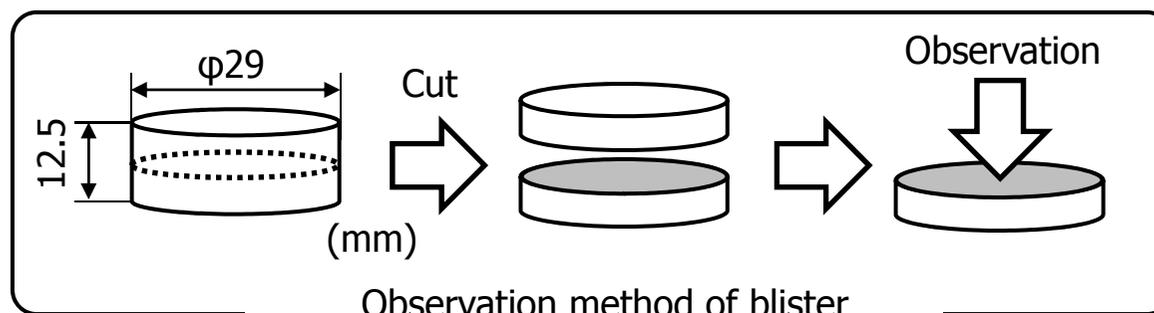
- 円柱試験片を10MPa、30° Cの水素中で65時間曝露
- 水素曝露後、形状および体積変化を測定
- 試験片を中央部を切断し、光学顕微鏡およびSEMにより断面のき裂発生状況を観察



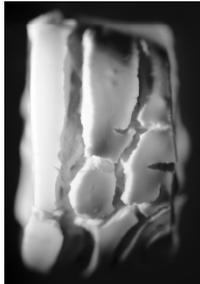
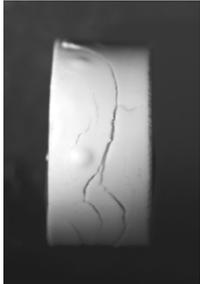
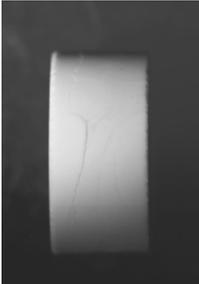
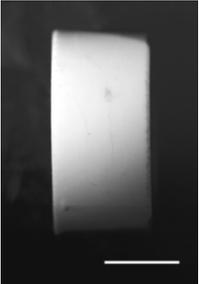
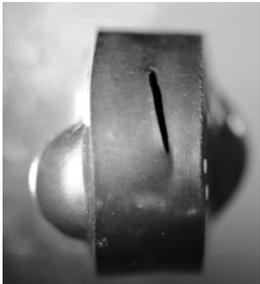
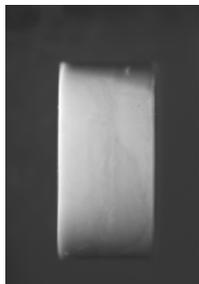
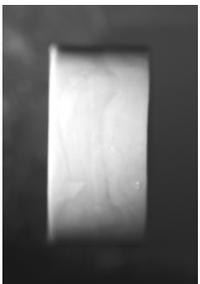
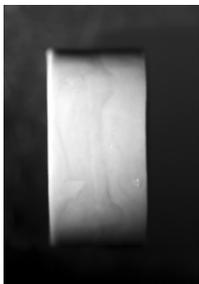
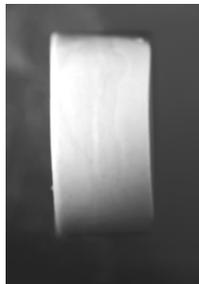
Specimen for blister test.



Observation of the change in shape, and measurement of the change in
Observation and measurement of the change in shape and volume.



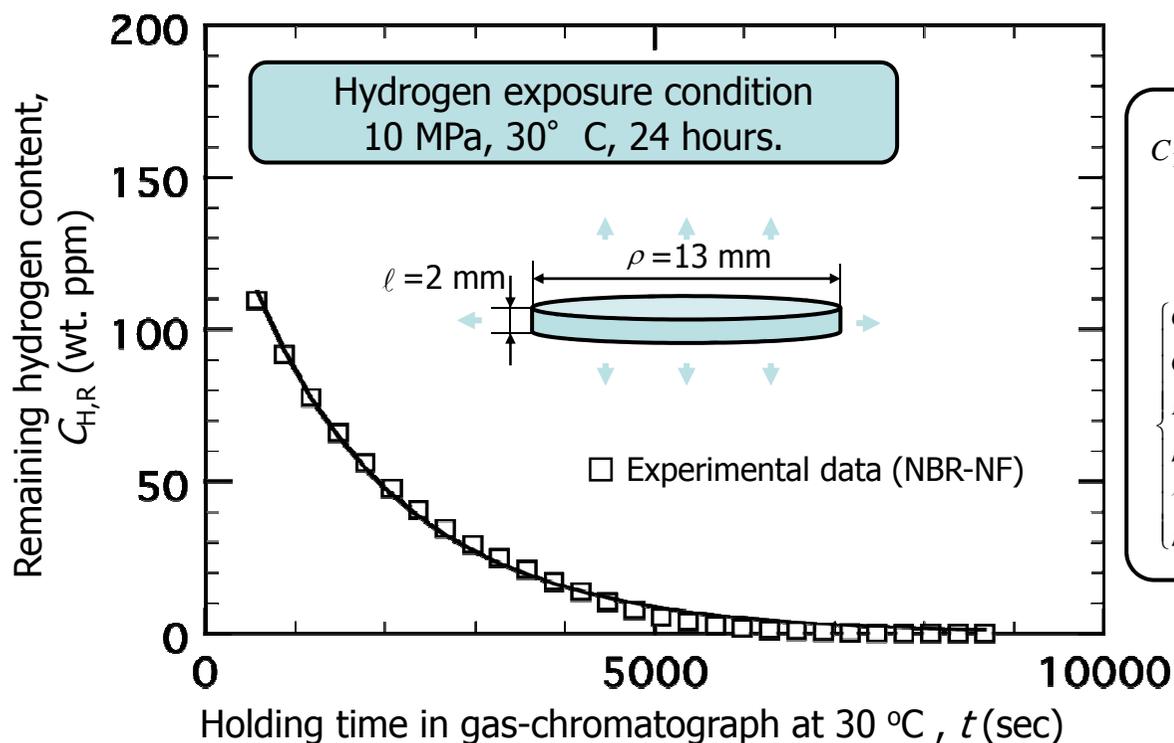
Observation method of blister

Materials	Exposed to hydrogen gas (100MPa) at 30 °C for 65 h.			
	1 h	4 h	8 h	11 h
EPDM-NF				
EPDM-CB25				
EPDM-SC60				

10 mm

○水素曝露後、試験片を温度30 °Cの昇温脱離ガス分析装置(TDA, Thermal Desorption Gas Analysis)中で定温に保ち、水素放出量の経時変化をガス クロにより測定

○水素放出プロファイルを飽和水素量と拡散係数を未知定数とし下式で近似
 ⇒水素放出が早いため、飽和水素量を外挿して推定.



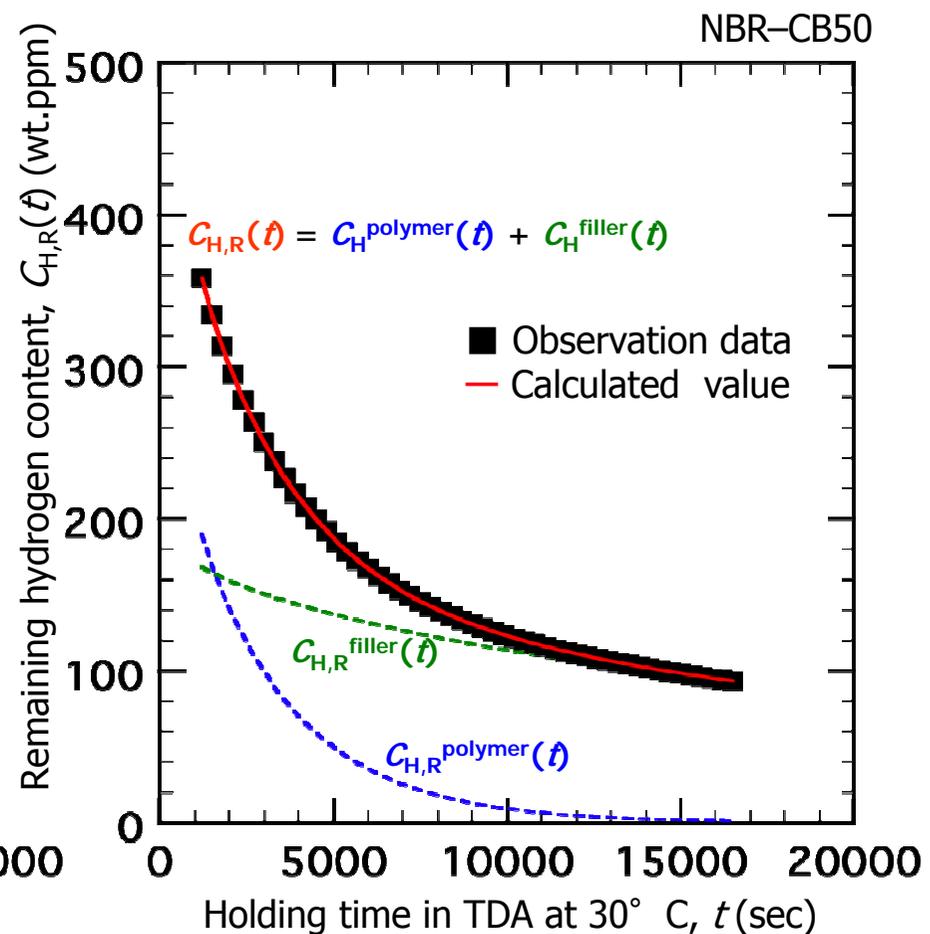
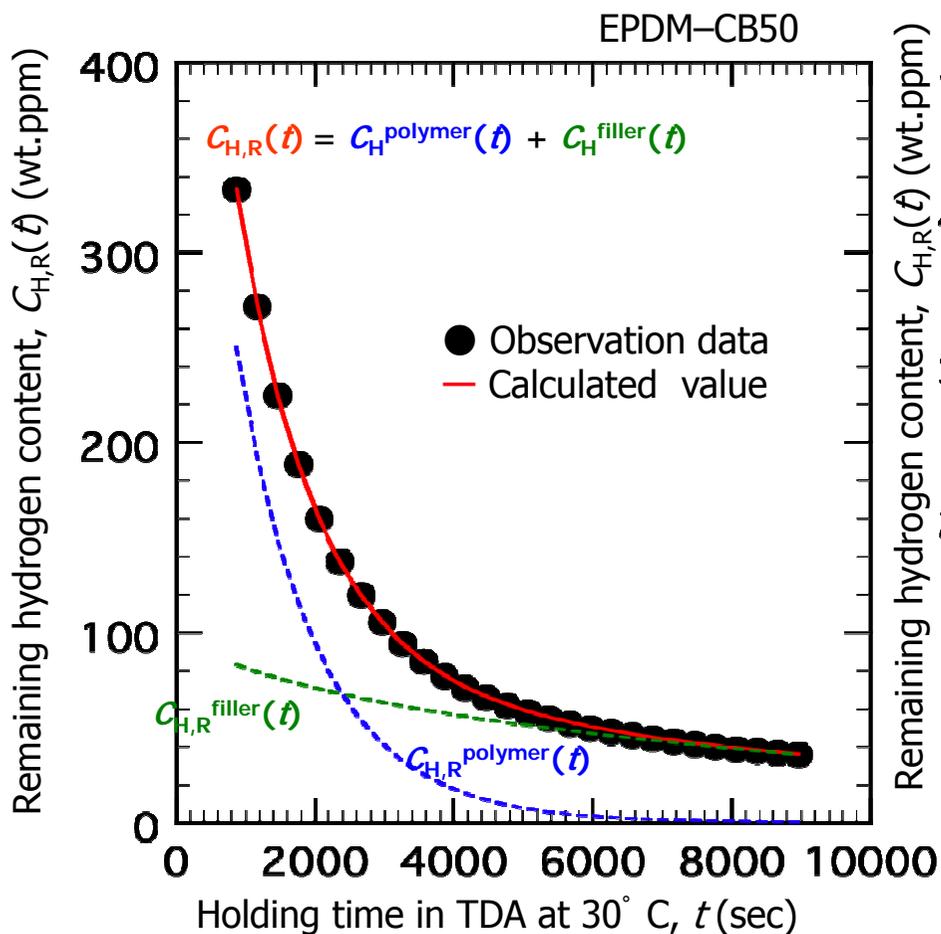
$$C_{H,R}(t) = \frac{32}{\pi^2} \times C_{H0} \times \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp[-(2n+1)^2 \pi^2 Dt / \ell^2]}{(2n+1)^2} \right\} \times \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp[-D\beta_n^2 t / \rho^2]}{\beta_n^2} \right\} \quad (5)$$

$C_{H,R}(t)$: Remained hydrogen content at t
 C_{H0} : Equilibrium hydrogen content
 D : Diffusion coefficient
 ρ : Radius of hydrogen-exposed cylindrical specimen
 ℓ : Thickness of hydrogen-exposed cylindrical specimen
 β_n : The roots of zero-order Bessel function

Hydrogen release profile of hydrogen-exposed specimen of NBR-NF.

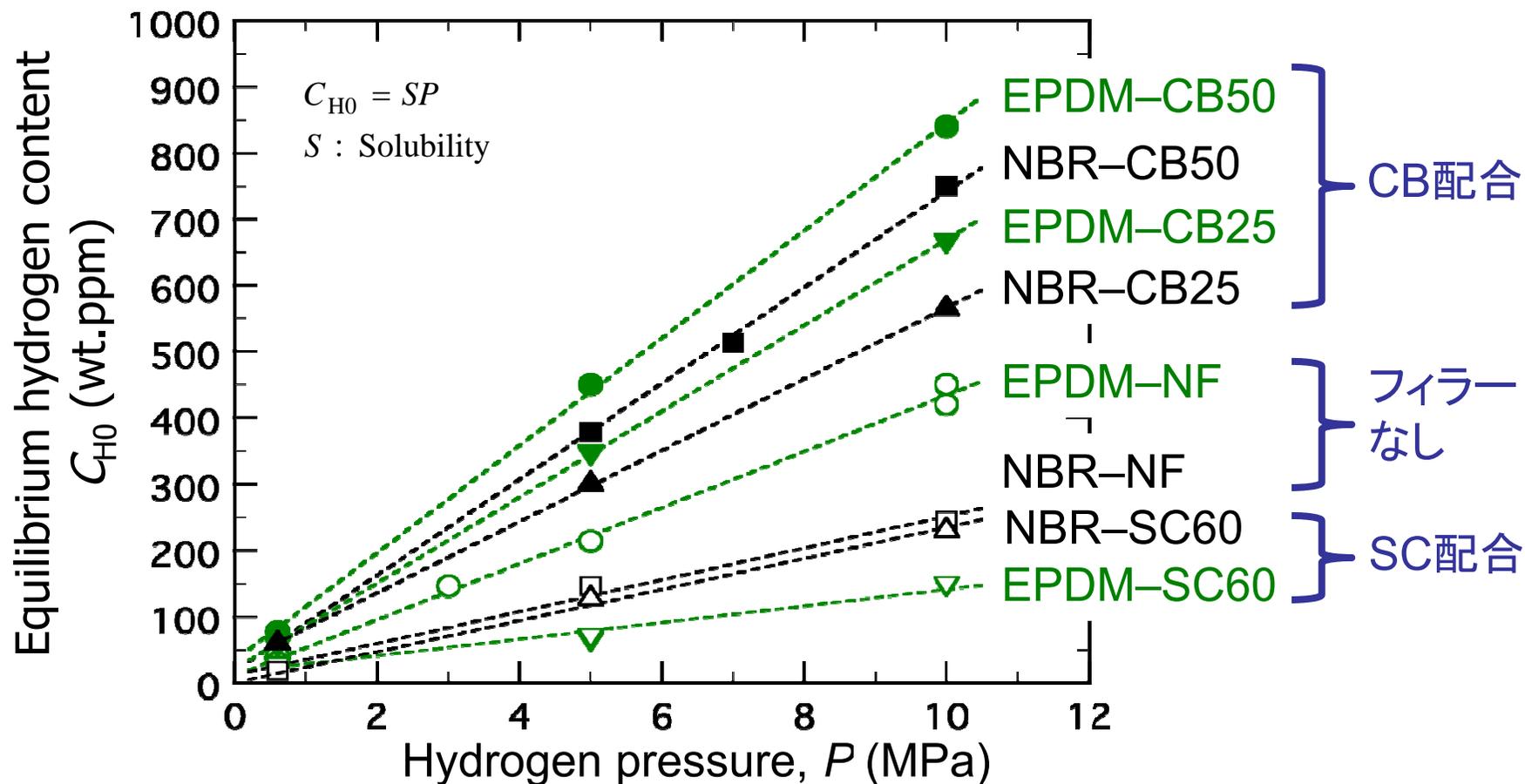
(5) A. Demarez, A. G. Hock, F. A. Meunier, "Diffusion of Hydrogen in Mild Steel", Acta Metallurgica, Vol. 2, pp. 214 – 223 (1954).

$$C_{H,R}(t) = C_H^{\text{polymer}} \times \frac{32}{\pi^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp[-(2n+1)^2 \pi^2 D^{\text{polymer}} t / \ell^2]}{(2n+1)^2} \right\} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp[-D^{\text{polymer}} \beta_n^2 t / \rho^2]}{\beta_n^2} \right\} + C_H^{\text{filler}} \times \frac{32}{\pi^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp[-(2n+1)^2 \pi^2 D^{\text{filler}} t / \ell^2]}{(2n+1)^2} \right\} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp[-D^{\text{filler}} \beta_n^2 t / \rho^2]}{\beta_n^2} \right\}$$



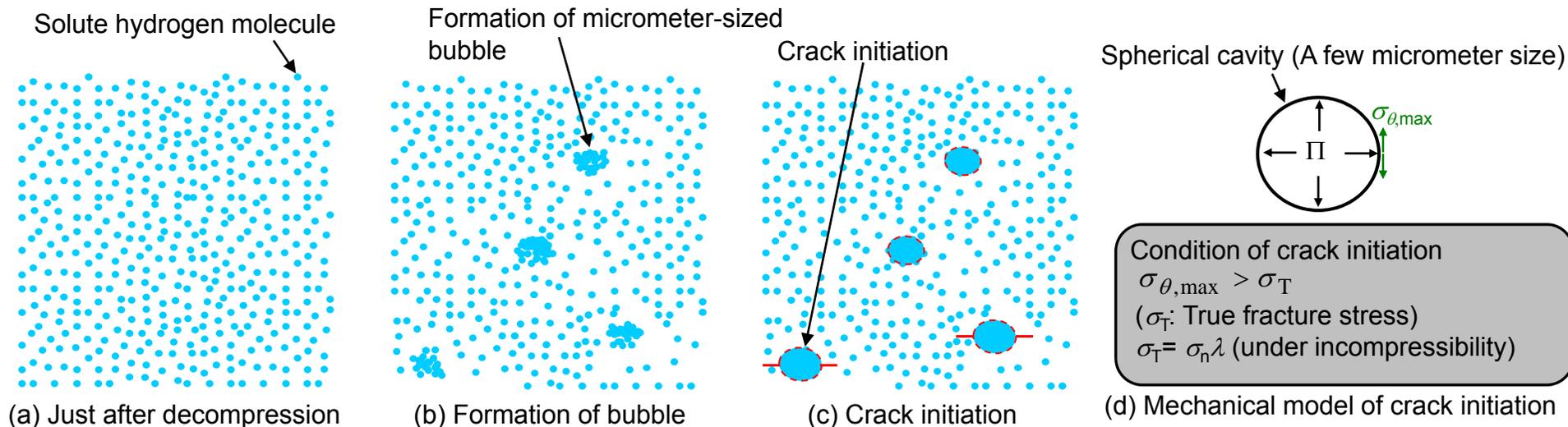
Fitting of hydrogen content of specimens after hydrogen exposure

- 材料の種類およびCB添加の有無によらず，飽和水素量は圧力に比例
 ⇒水素量はヘンリーの法則に従い、ゴム材料中に水素分子の状態で侵入
- CBはEPDMとNBRの飽和水素量を増大させる



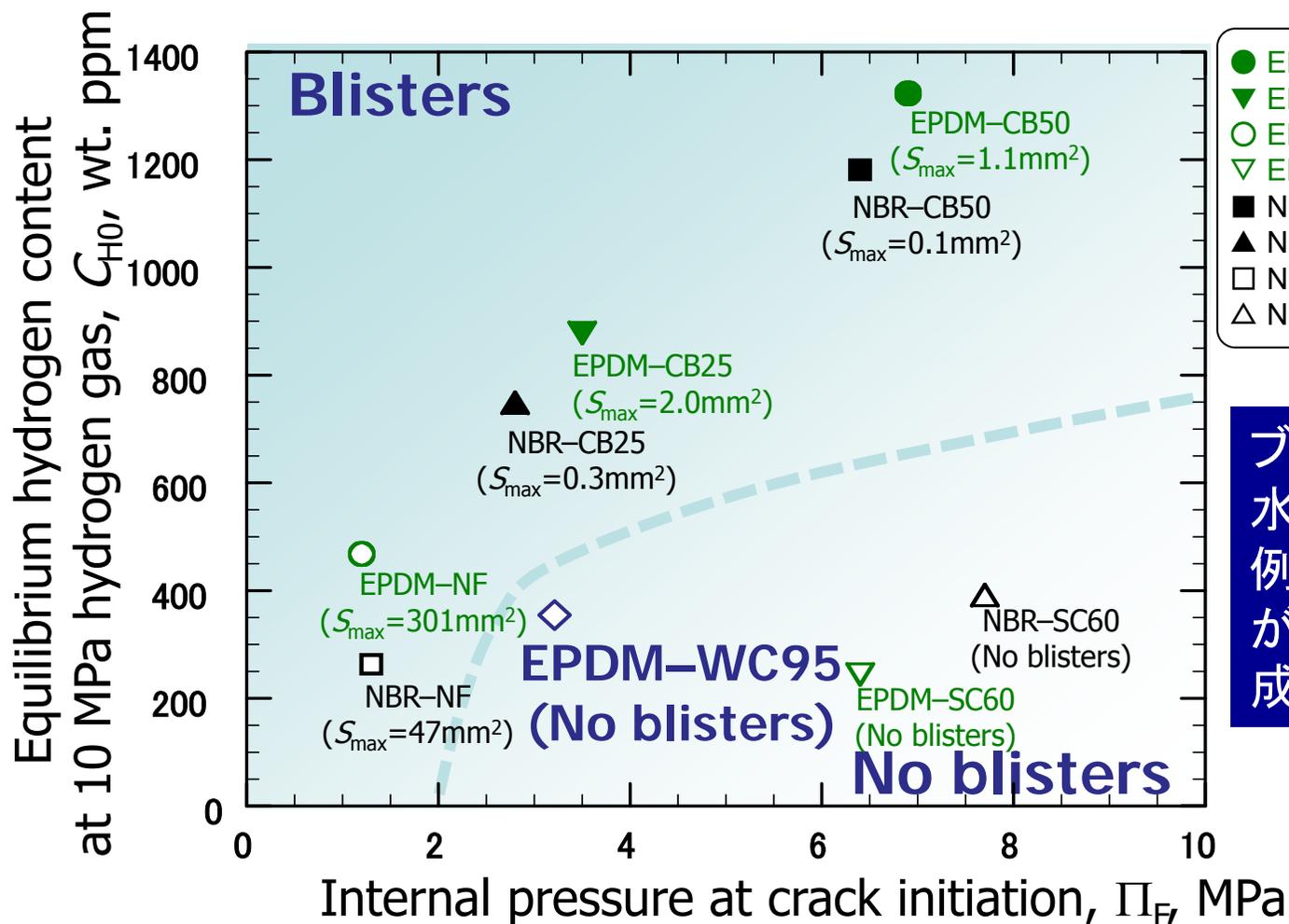
Relationship between equilibrium hydrogen contents and pressures.

- ・ 気泡を内圧 Π を受ける球状の穴と見なす
- ・ 第1近似として、気泡内面での最大発生応力 $\sigma_{\theta, \max}$ がゴム材料の破断応力 σ_T を超えたときブリスタが発生すると判断（寸法効果は考慮しない）
- ・ 水素量 C_{H_0} は内圧 Π に比例すると仮定



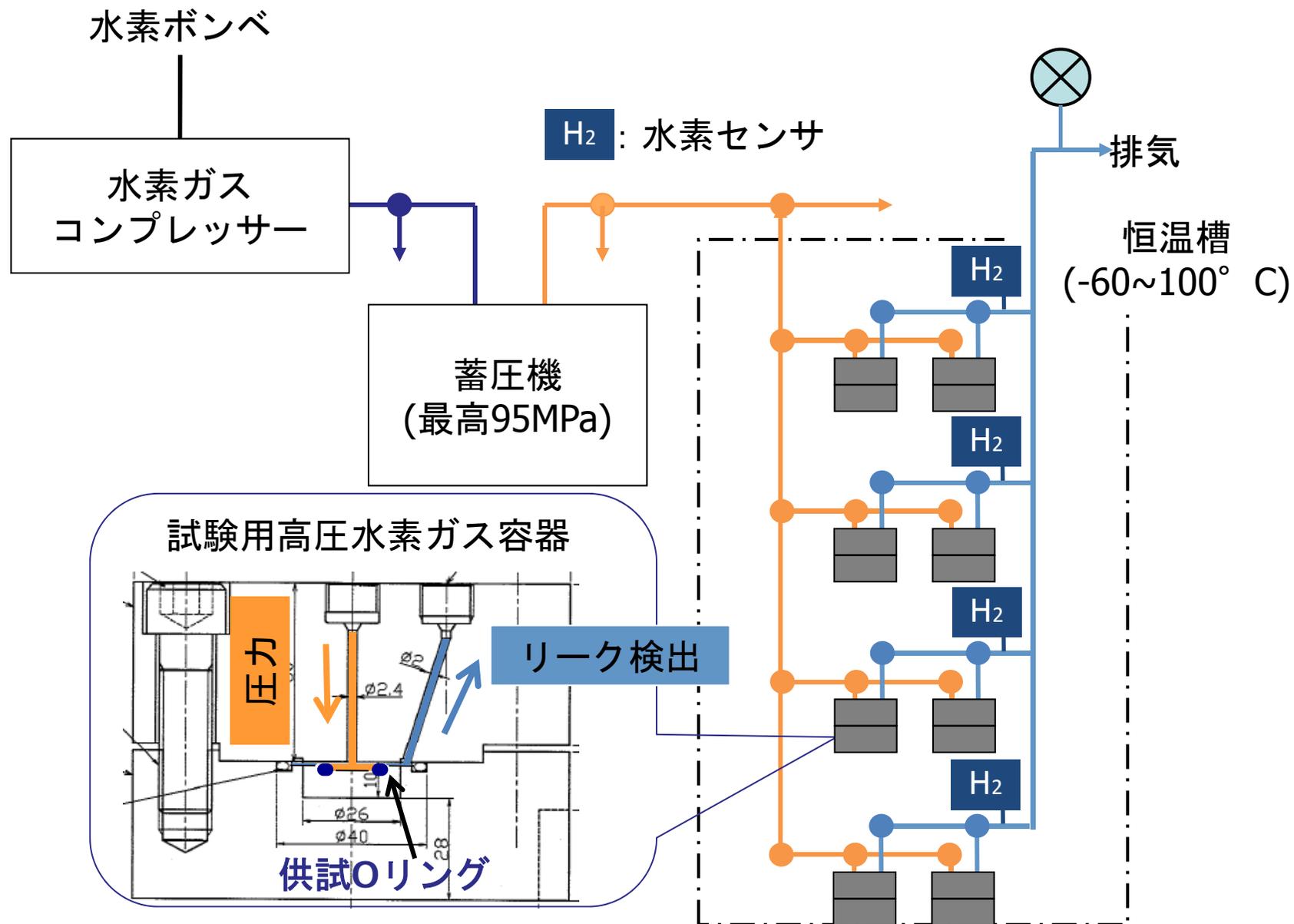
Process of blister initiation

- ブリスタ破壊は、ゴム材料の水素量 C_{H_0} が少なくなるほど、および弾性率 E や破断応力 σ_T などの引張特性が向上するほど、軽微になる



- EPDM-CB50 ($E = 7.9$ MPa, $\sigma_T = 68.4$ MPa)
- ▼ EPDM-CB25 ($E = 4.3$ MPa, $\sigma_T = 42.9$ MPa)
- EPDM-NF ($E = 2.1$ MPa, $\sigma_T = 3.0$ MPa)
- ▽ EPDM-SC60 ($E = 9.3$ MPa, $\sigma_T = 46.8$ MPa)
- NBR-CB50 ($E = 6.3$ MPa, $\sigma_T = 96.0$ MPa)
- ▲ NBR-CB25 ($E = 3.3$ MPa, $\sigma_T = 65.8$ MPa)
- NBR-NF ($E = 1.7$ MPa, $\sigma_T = 8.6$ MPa)
- △ NBR-SC60 ($E = 7.5$ MPa, $\sigma_T = 210.0$ MPa)

ブリスタ発生限界内圧が高く、水素溶解量が低いゴム組成例えばシリカなど水素吸着量が小さい充填剤を用いた組成が望ましい





ゴム材料高圧水素耐久試験機外観



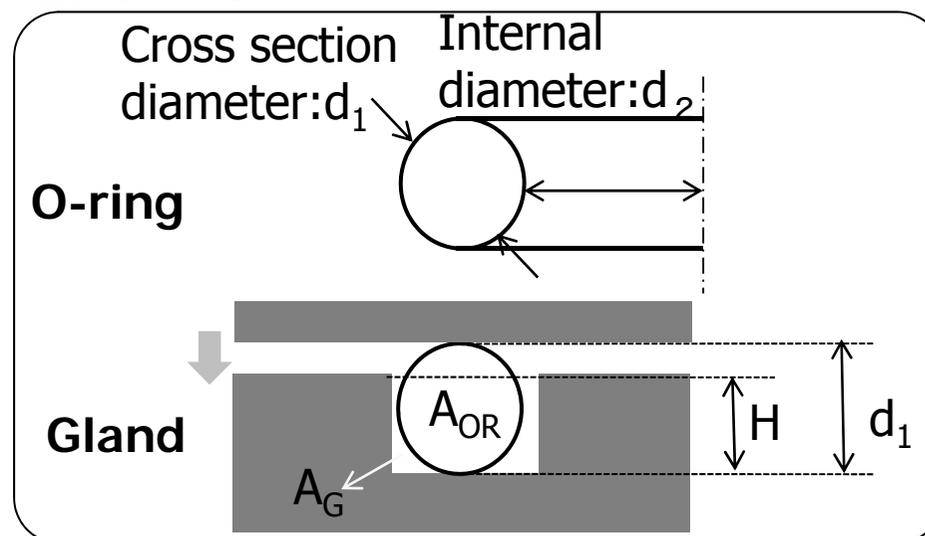
試験機設置時の供試体ホルダー

水素シールの破壊に対して感度の高いパラメータを抽出するため
品質工学を用いた感度解析を実施

[Oリングと溝の因子]

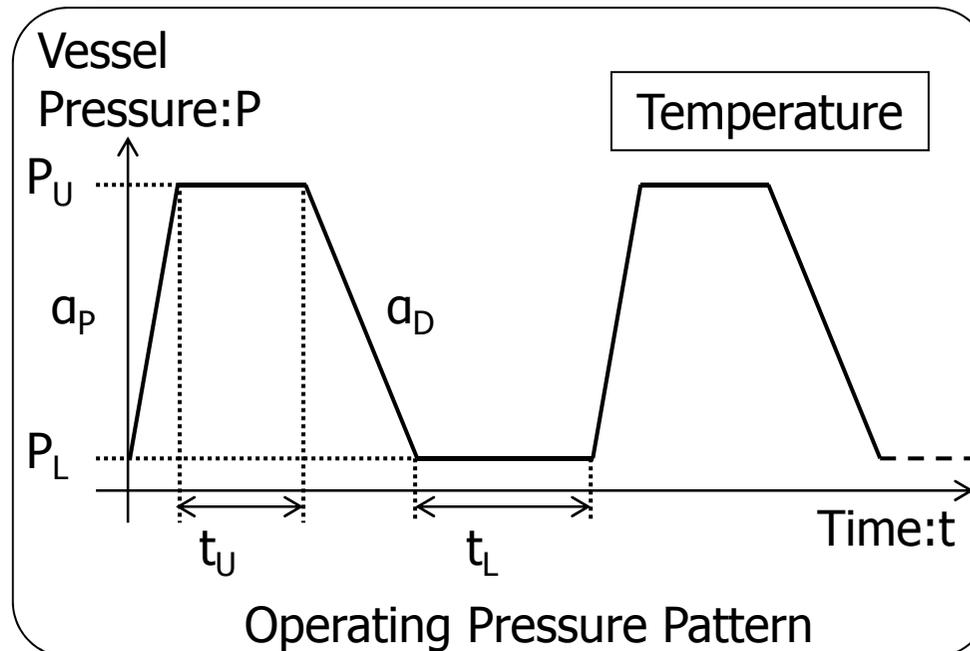
- ・ Oリング線径 (3.53mm固定)
- ・ Oリング内径 (11.9mm固定)
- ・ 材料 (ゴム材料、フィラー等)
- ・ つぶし率: $1-d_1/H$
- ・ 充填率

Oリング溝と断面の面積比: A_{OR}/A_G



[高圧容器の運転パラメータ]

- ・ 上限圧力: P_U (MPa)
- ・ 下限圧力: P_L (MPa)
- ・ 上限圧力保持時間: t_U (sec)
- ・ 下限圧力保持時間: t_L (sec)
- ・ 昇圧速度: a_L (MPa/sec)
- ・ 減圧速度: a_D (MPa/sec)
- ・ 計測温度: T ($^{\circ}\text{C}$)



パラメータから制御因子を抽出

L18直交表の作成

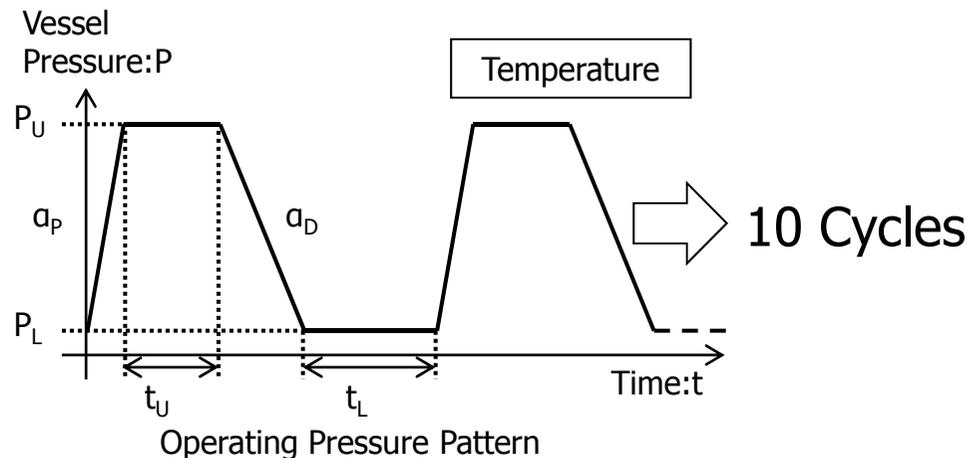
L18直交表のデータ取得

各実験のSN比の算出

各制御因子のSN比算出

要因効果図の作成

圧力サイクル



計測特性としてOリングの引張り破断強度低下率を測定



T_{b0} : 圧力サイクル前の破断強度
 T_{b1} : 圧力サイクル後の破断強度
 DT_b : 破断強度低下率

$$\Delta T_b = \frac{T_{b1} - T_{b0}}{T_{b0}}$$

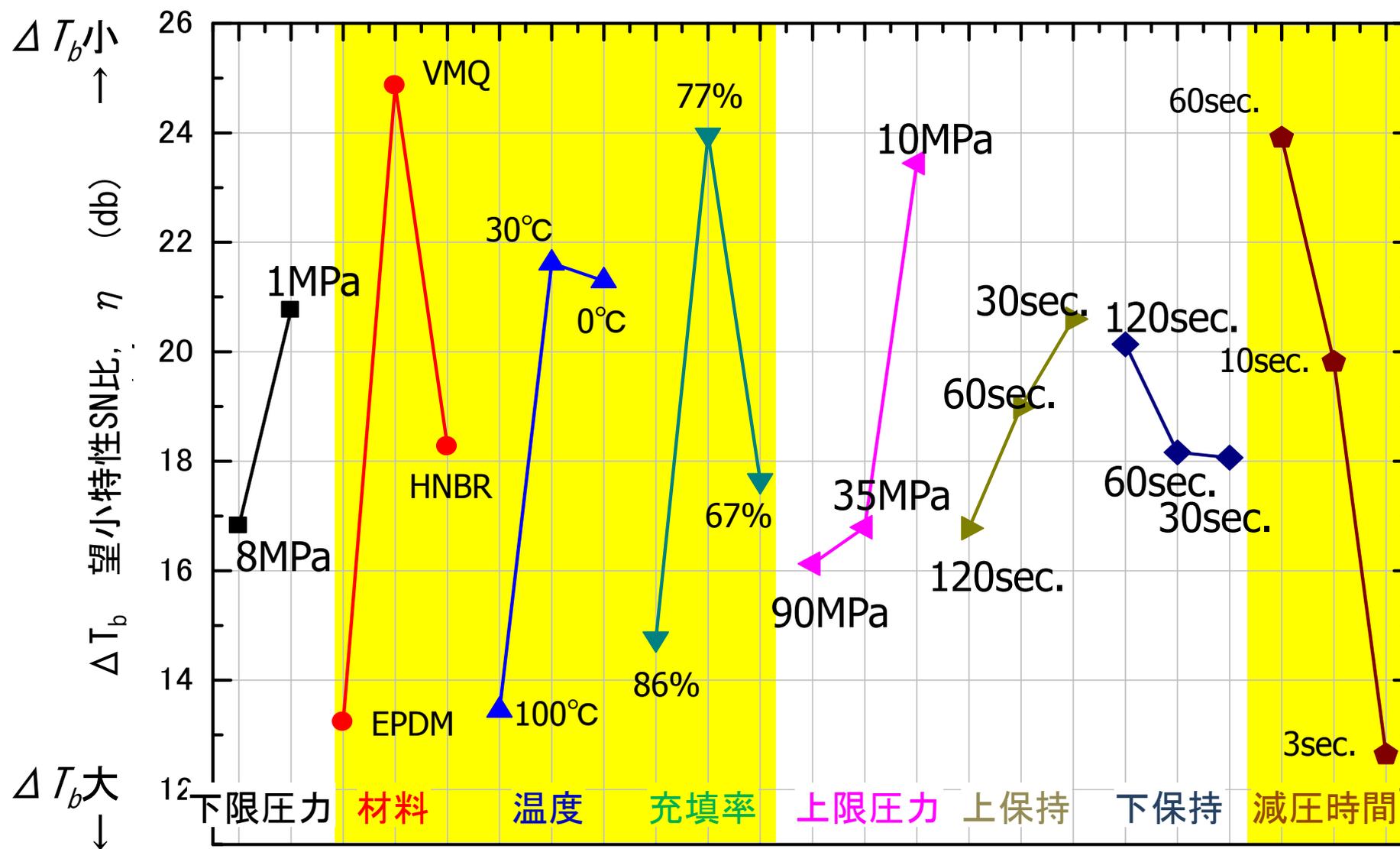
望小特性による解析

Strain rate : 500mm/min

圧力サイクル前のOリングの破断強度	
EPDM	40.0kgf
VMQ	14.0kgf
HNBR	51.6kgf

高圧水素ガス雰囲気下で使用されるゴムシール材料の耐久性能評価において、高圧水素ガスシール使用環境条件から2水準の制御因子A, 3水準の制御因子B~H を取り上げ、それぞれの水準1~3に割りつけた

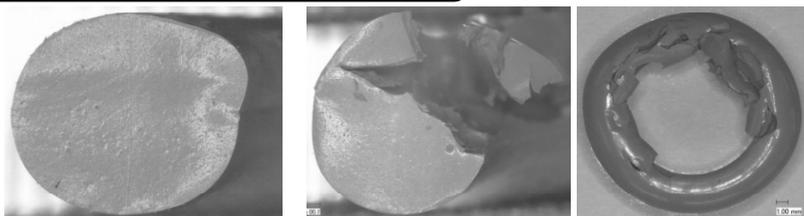
制御因子		水準1	水準2	水準3
A	下限圧力 : P_L (MPa)	8	1	-
B	ゴム材料 (Hs 80)	EPDM	VMQ	HNBR
C	雰囲気温度 (°C)	100	30	0
D	充填率 (%)	86	77	67
E	上限圧力 (MPa)	90	35	10
F	上限圧力保持時間 (sec.)	120	60	30
G	下限圧力保持時間 (sec.)	120	60	30
H	減圧時間 (sec.)	60	10	3



A1 A2 B1 B2 B3 C1 C2 C3 D1 D2 D3 E1 E2 E3 F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3

制御因子

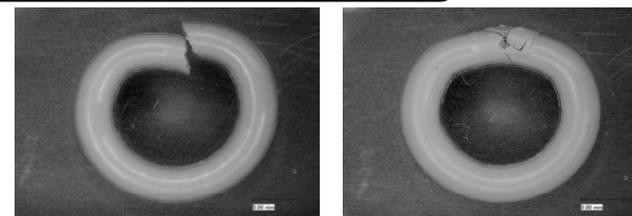
はみ出し破壊



EPDM(Hs70) :

$H_2 \times 35\text{MPa} \times 100^\circ\text{C} \times 15\text{hrs.}$

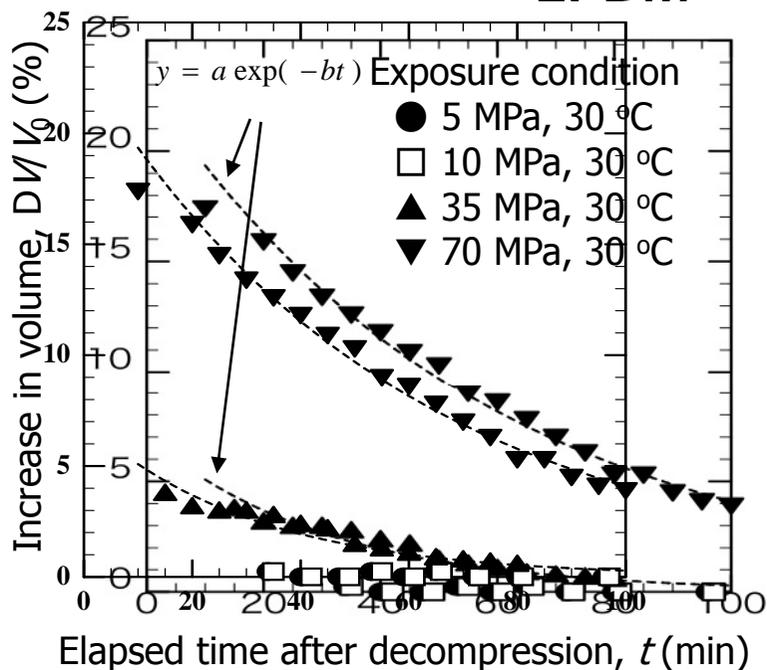
座屈破壊



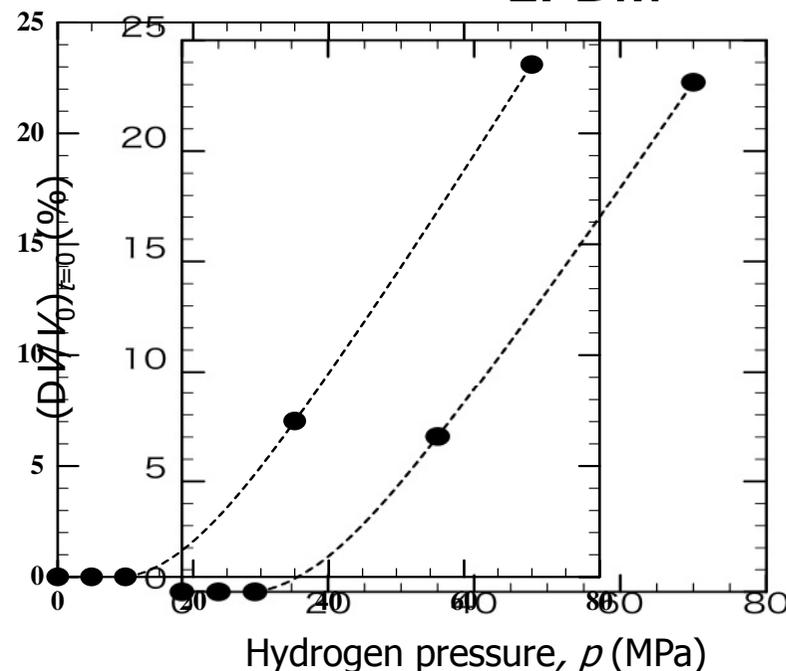
EPDM(Hs70) : $H_2 \times 70\text{MPa} \times 100^\circ\text{C} \times 3\text{hrs.}$

Oリングの破壊はブリスタによる破壊のみならず、ゴム材料の膨潤に起因するはみ出し破壊と座屈破壊も発生する。

EPDM



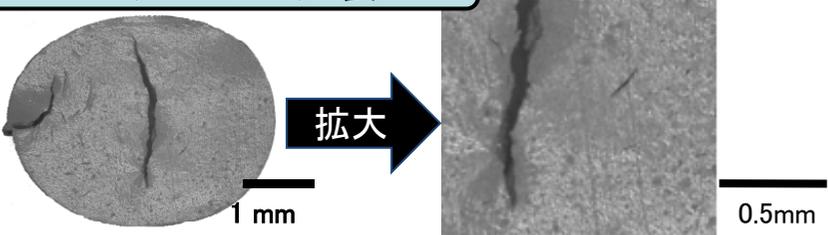
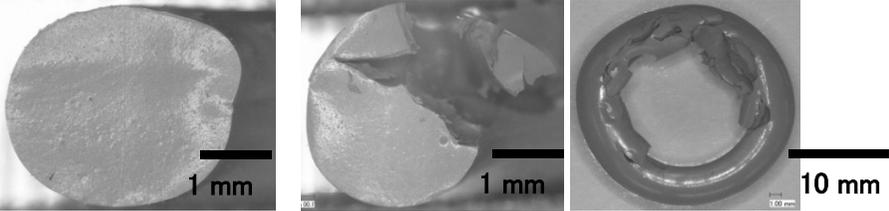
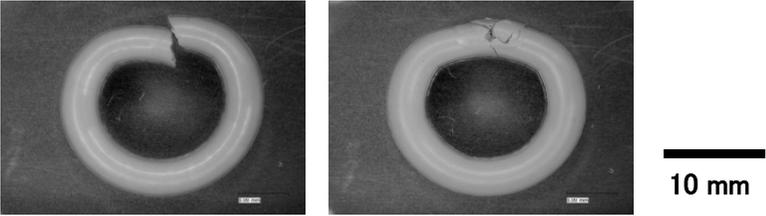
EPDM



- ・ 圧力が高くなるほど，Oリングが横方向に膨らむ。
- ・ 加圧中では圧力70 MPa以上でOリングとジグが接触． 減圧後では圧力35 MPa以上でOリングとジグが接触（はみ出しによる破壊）．

負荷条件	$D/V_0 = 0\%$ $p = 5 \text{ MPa}$	$D/V_0 = 8.9\%$ $p = 35 \text{ MPa}$	$D/V_0 = 21.3\%$ $p = 70 \text{ MPa}$
加圧中 加圧 + 膨潤 + つぶし			
減圧後 膨潤 + つぶし			

ジグとOリングの接触

破壊モード	原因	対策
<p data-bbox="159 331 674 403">ブリスタ破壊</p>  <p data-bbox="241 635 952 678">EPDM(Os70) : H₂ × 35MPa × 100°C × 15hrs.</p>	<p data-bbox="1077 331 1386 592">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ことにより気泡発生からき裂進展に至る.</p>	<p data-bbox="1435 331 1883 368">(リング用ゴム材料の対策)</p> <ul data-bbox="1435 373 2040 683" style="list-style-type: none"> ・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
<p data-bbox="159 707 674 778">はみ出し破壊</p>  <p data-bbox="241 1007 952 1050">EPDM(Os70) : H₂ × 35MPa × 100°C × 15hrs.</p>	<p data-bbox="1077 715 1386 1018">水素による膨潤のため, ゴム材料の常態値で設計された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.</p>	<p data-bbox="1435 715 1883 751">(リング用ゴム材料の対策)</p> <ul data-bbox="1435 756 1995 927" style="list-style-type: none"> ・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 <p data-bbox="1435 979 1809 1016">(リング溝設計の対策)</p> <ul data-bbox="1435 1021 2018 1289" style="list-style-type: none"> ・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
<p data-bbox="159 1062 674 1134">座屈破壊</p>  <p data-bbox="241 1362 936 1406">EPDM(Os70) : H₂ × 70MPa × 100°C × 3hrs.</p>	<p data-bbox="1077 1070 1386 1289">水素による膨潤のため, リングの円周方向に体積膨張が発生し, 座屈発生に至る.</p>	<p data-bbox="1435 979 1809 1016">(リング溝設計の対策)</p> <ul data-bbox="1435 1021 2018 1289" style="list-style-type: none"> ・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

九州大学伊都キャンパス内に、水素材料研究のナショナルラボとして、産業技術総合研究所 水素材料先端科学研究センターを設立し、NEDO「水素先端科学基礎研究事業」として、水素エネルギー社会実現に不可欠な、水素を長時間安全に貯蔵、輸送、利用するための科学的な知見の確立に関する研究開発を推進している。

- ・ 高圧水素ガスによるブリスタへの耐性に優れたゴム材料の設計指針として、高いブリスタ発生内圧を示し、かつ水素溶解量が小さいゴム材料が望ましいことがわかった。
- ・ 高圧水素シール用Oリングについて、高圧水素耐久試験機を用いたL18直交実験を実施した結果、Oリングの破断強度低下に対して、材料、温度、充填率、減圧時間の影響が大きいことが判明した。
- ・ Oリングの破壊モードとして、ブリスタ破壊の他、はみ出しおよび座屈による破壊が発生していることが判明した。はみ出し、座屈による破壊の原因は水素溶解によるゴム材料の膨潤に伴う体積増加であることが示唆された。

謝辞

本研究成果の一部は、NEDO技術開発機構の水素材料先端科学基礎研究事業（平成18年度～平成24年度）の一環として行ったものである。ゴム試験片の作製にご協力いただきましたNOK株式会社殿、高石工業株式会社殿に感謝致します。