

2.4 研究開発項目④「高圧/液化水素環境下での長期使用及び加工(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(高分子材料))」

(1)水素機器に使用される非金属材料(ゴム・樹脂)の強度評価

①目的

摩擦・摩耗・劣化特性評価(ゴム材のブリスタ現象の再現と影響要因の明確化)を目的として、以下の内容について検討を進めた。

- a. 圧力差, 減圧速度, ゴム材とブリスタ発生状況の関係を把握する。
- b. ブリスタによる内部クラックの進展状況を観察し, ブリスタ発生メカニズムを推定する。
- c. 長時間水素雰囲気下に曝露されたゴム材料の物性変化(劣化)の評価を行う。

なお, a.については, (4)水素雰囲気下におけるゴム材料研究にて O リングの高圧耐久試験機を用いて検討を進めたため, 結果は(4)項に記載した。

②実験方法

a. 供試材料

ゴム材料の構造は, 結晶性の金属材料と異なりアモルファス(非晶質)である。複雑に絡み合った長い鎖状の分子(高分子鎖)が硫黄や過酸化物を用いた化学反応によって結ばれており, 架橋構造を形成している。ゴム材料を伸張したとき, ゴム材料の内部では複雑に絡み合った高分子鎖が伸び, 伸びた高分子鎖がもとの状態に戻ろうとすることによりゴムの弾性力が発現する。ゴム材料の弾性力を向上させるために, 実用的なゴム材料には充てん剤(フィラー)といわれる粒子を配合する。充てん剤には, 主にカーボンブラックやシリカが使用されている。ゴム材料は鎖状高分子であるベースポリマーおよび加硫促進剤や充填剤からなる複合材料(コンパウンド)であり, その構成要素であるベースポリマーや加硫促進剤, 充てん材種類には数多くの種類があり, それらの組み合わせは膨大な数になる。

ゴム材料についても, 標準化が進められ, 規格が作製されている。例えばOリングのゴム材料の規格は JIS B2401, JIS K6380(一般機器用), JASO(自動車用)などで規定されている。一例として, 表 2.4.(1).1 に JIS B2401 の常態値の規格を示す。

表 2.4.(1).1 O リングの材料別種類と物理的性質(常態):JIS B2401

記号	材質	用途	硬度	引張強度	伸び
1 種 A	NBR 相当	耐鉱物油用	A70±5	>9.8MPa	>250%
1 種 B	NBR 相当	耐鉱物油用	A90±5	>14MPa	>100%
2 種	NBR 相当	耐ガソリン用	A70±5	>9.8MPa	>200%
3 種	SBR 相当	耐動植物油用	A70±5	>9.8MPa	>150%
4 種 C	VMQ 相当	耐熱用	A70±5	>3.4MPa	>60%
4 種 D	FKM 相当	耐熱用	A70±5	>9.8MPa	>200%

これらは物性値による規格であり、配合したコンパウンドの物性値が「相当品」として基準に適合すれば良く、配合や添加剤等の種類や配合量の規定はない。このため、Oリングメーカーはメーカー独自の配合によるコンパウンドを使用してOリングの製造を行っている。これらのメーカー独自のコンパウンドの配合は一般的には非公開である。従って、本事業では水素によるプリスタへの耐性が高い配合を分子設計することが目的であるため、配合が明確な材料による評価が必要である。そこで、ガスシール材として一般的に用いられるエチレンプロピレンゴム(EPDM)およびアクリロニトリルブタジエンゴム(NBR)をベースポリマーとして選択し、標準的な硫黄加硫法[1-1]を用いて試験片を作製した。

原料ゴム(EPDM:住友化学製 ESPREN 505, NBR:日本ゼオン製 Nipol1042)に、硫黄1.5phrおよび酸化亜鉛5phr, ステアリン酸1phrおよび加硫促進剤を添加した配合物を金型中で加熱し、2mm厚の平板, 29mmφ×12.5mmの円柱など、所要の形状の試験片作製した。同じゴム配合品にカーボンブラック(CB, 平均粒径: 0.3μm, 比表面積: 65mm²/g), シリカ(SC, 平均粒径: 12μm, 比表面積: 154mm²/g)を添加したものについても同様に作製した。平均粒径は、レーザー回折法によって測定された凝集状態のフィラーの影響を含んだ値である。表2.4.(1).2に試験片の配合と物性値をまとめて示す。EPDM-NFTについては、加硫剤として過酸化物(Dicumyl peroxide)を使用した。過酸化物による加硫を用いることにより試験片は透明になり、前述の通り内部の気泡発生状況などの観察が可能である。なお、試験片の作製は高石工業(株)に依頼した。

表 2.4.(1).2 試験片の配合と物性値

Items	EPDM					NBR			
	CB50	CB25	SC60	NF	NFT	CB50	CB25	SC60	NF
EPDM	100	100	100	100	100	-	-	-	-
NBR	-	-	-	-	-	100	100	100	100
Stearic acid	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0
Zinc oxide	5.0	5.0	5.0	5.0		5.0	5.0	5.0	5.0
Sulfur	1.5	1.5	1.5	1.5		1.5	1.5	1.5	1.5
1,3,5-triallyl isocyanurate	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-
Dicumyl peroxide	-	-	-	-	2.5	-	-	-	-
Carbon Black	50	25	-	-	-	50	25	-	-
Silica	-	-	60	-	-	-	-	60	-
Hardness	A 79	A 68	A 91	A 54	A 52	A 77	A 67	A 85	A 52
Density (g/cm ³)	1.093	1.016	1.136	0.928	0.857	1.191	1.123	1.248	1.035
Elastic modulus <i>E</i> (MPa)	7.9	4.3	9.3	2.1	2.0	6.3	3.3	7.5	1.7
Nominal fracture stress σ_n (MPa)	19	11	13	1.3	1.0	24	14	28	2.0
Fracture stretch λ_f	3.6	3.9	3.6	2.3	1.9	4.0	4.7	7.5	4.3

b. 飽和水素量の測定

水素量の測定は 13mm φ × 2mm の円柱試験片を使用し、水素曝露後、昇温脱離分析装置 (TDA) : ゴム・樹脂中水素分析システム JSH-201 により測定した。得られた残存水素量の経時変化について、式(1)に示した拡散方程式の多項式近似解を飽和水素量と拡散係数 D を未知定数として最小二乗法によりフィッティングすることにより決定した[1-2].

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

ここで $C_{H,R}(t)$ (wt.ppm)は水素曝露後の減圧時点からの経過時間 t (sec)における試験片中の水素量, C_{H0} (wt.ppm)は水素曝露時の飽和水素量, D (m²/sec),は拡散係数, β_n 0次ベッセル関数の根, l (m)と ρ (m) はそれぞれ試験片の厚さと半径を示す。

c. ブリスタ破壊現象の観察

高圧水素容器中を用いて、円柱試験片 (29mm φ × 12.5mm)を圧力 0.6MPa, 10MPa, 50MPa, 100MPa の水素ガス中で曝露後、減圧して大気中で保持し、試験片の変形や破壊状況を観察した。

③実験結果と考察

a. ゴム材料のブリスタ破壊現象

図 2.4.(1).1 に高圧水素ガス環境中で曝露したゴム材料で生じる破壊現象を模式的に示す。高圧水素ガスにかかわらず、一般的に高圧ガス環境中にゴム材料を曝露すると、減圧後にゴム材料内部から気泡やき裂が発生する現象が報告されている[1-3]。発生した気泡やき裂はブリスタ(blister)と呼ばれている。

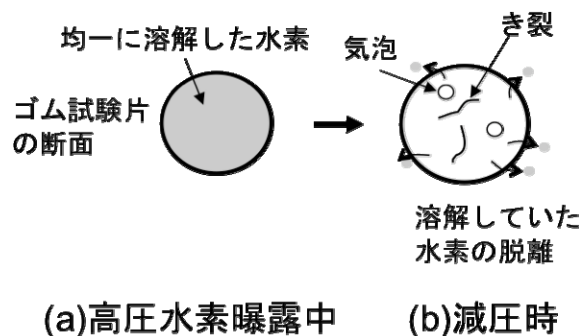


図 2.4.(1).1 高圧水素ガス環境中で曝露したゴム材料の破壊現象の模式図

例えば、水素機器においては高圧水素ガスをシールするためのゴム製 O リングでは、高圧

水素ガスの加減圧が繰り返される。 高圧水素容器のシールとして用いたゴム製 Oリングにおいても、ブリストに起因する破壊が発生した例がある。 図 2.4.(1).2 に 100MPa, 30°C, 30 分の条件で 25 回使用して破損した高圧水素容器のガスシール用 NBR 製 Oリングの破断面を示す。 破断の内部にはブリストに起因すると考えられるき裂が多数見られ、これにより Oリングが破断したものと推定される[1-4].

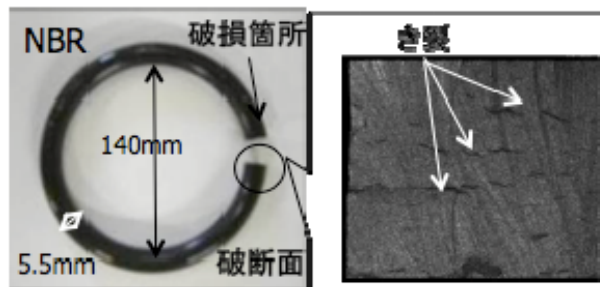


図 2.4.(1).2 高圧水素容器用 Oリングの破断面観察

材料:NBR , 水素曝露条件:100MPa , 30°C , 30 分, 25 回繰り返し使用

このような現象は、ゴム製 O リングの耐久性を確保するためには、ブリストがどのようなメカニズムで発生・進展しているのかを明らかにし、高圧水素ガス環境中でもブリストが発生しないゴム材料を開発する必要がある。 本研究では、ブリスト破壊に対する耐性が高いゴム材料の開発指針の提供を目的として、ブリスト発生メカニズムを解明し、使用条件やゴム配合との相関把握を進めている。

b. 水素曝露圧力と飽和水素量の相関

図 2.4.(1).3 に各種ゴム材料の水素曝露圧力に対する曝露時のゴム材料中への水素溶解量である飽和水素量を示す[1-5].

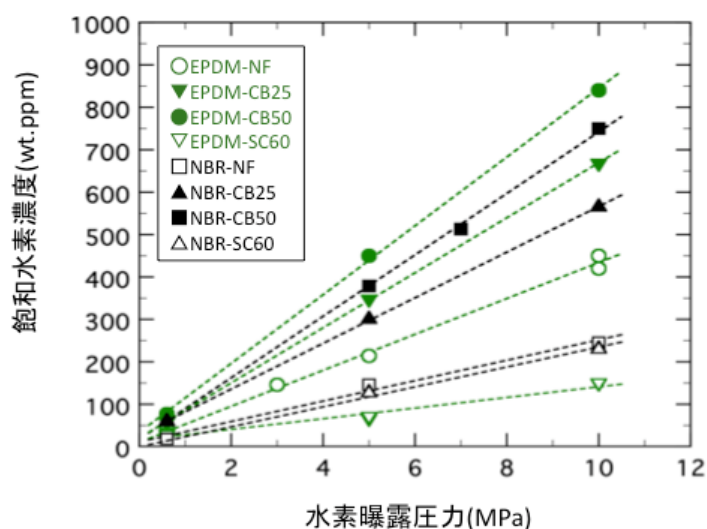


図 2.4.(1).3 曝露圧力と水素溶解量の相関

いずれの組成のゴム材料も 10MPa 以下では飽和水素量は曝露圧力に比例し、ヘンリーの法則に従う事が判明した。ゴム材料中の水素ガスは分子の形で存在し、理想気体の状態である事が示唆された。飽和水素量に及ぼすフィラーの影響を検討した結果、CB を配合した試験片の吸着量は未配合の試験片に比べて増加したのに対し、SC を配合した試験片ではほとんど変化がないことがわかった。フィラー単体の水素吸着量を調べた結果、CB は水素を吸着するのに対し、SC は吸着しない事を確認した。以上の結果から、ゴム材料の飽和水素量はフィラーの水素吸着量に影響を受けることが判明した。

b. ブリスタ破壊の発生挙動

ブリスタ発生挙動を直接観察するため過酸化物架橋によって透明なゴム材料を作製し、ブリスタの発生・進展挙動を光学顕微鏡によって観察した。前述の通り、図 2.4.(1).6 に透明な試験片である EPDM-NFT を 30°C において 10MPa、65 時間曝露し、減圧後大気中で保持した際の観察結果を示した。減圧から 5.5 分経過した段階で試験片中に多くの気泡が発生している。また、試験片中の気泡は時間の経過とともに増加していることがわかる。気泡を起点としたき裂の進展も観察された。透明試験片を用いた一連の観察で確認された最小の気泡の大きさは数 μm 程度であった。その結果、ブリスタは減圧後に過飽和の状態になった水素分子に起因して生じたマイクロオーダーの気泡を起点として発生していることが判明した。

図 2.4.(1).4 に 10MPa 水素曝露後の試験片の断面観察結果を示す。

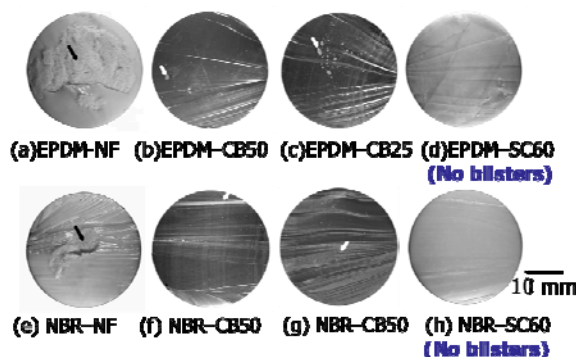


図 2.4.(1).4 水素曝露後の断面観察(減圧後 80 時間経過)

曝露条件: 10MPa, 30°C, 65 時間

フィラーとしてカーボンブラック、シリカを加えた場合、いずれもゴム材料に充てん材を配合することで、充てん材を添加していないゴム材料(EPDM-NF, NBR-NF)に対して破断強度が向上し、それに伴い耐ブリスタ性も向上した。しかし、充てん材として水素を吸着するカーボンブラックを用いた場合には、未充てんのゴム材料に対して水素溶解量が増加するためブリスタ現象を完全に抑制できなかつた。これに対して、充てん剤としてシリカを用いた場合には、水素溶解量が未充てんゴム材料と同等以下であり、耐ブリスタ性向上に有効なゴム組成であることが分かった。

c. ブリスタ破壊に対するゴムの材料強度の指標

前項の結果に基づき、ゴム材料中に発生するブリスタ現象のモデル化によるブリスタに対する強度の指標確立を試みた。高圧ガスに曝露され、水素が溶解したゴムの試験片を水素分圧がほぼゼロである大気中に取り出すと、水素のゴム材料への溶解度が低下し、溶解していた水素が過飽和の状態になると考えられる。結果的に、過飽和になった水素によりゴム試験片中に気泡が発生し、クラックの起点となる。気泡は内圧 Π を受ける球と仮定し、気泡の内圧により球の接線方向に引張応力が発生すると考える。発生した最大応力を $\sigma_{\theta, \max}$ とし、第1近似として最大引張応力 $\sigma_{\theta, \max}$ がゴム材料の静的な破断応力 σ_T を超えたとき、き裂が進展しブリスタが発生すると仮定して、各種ゴム材料のブリスタ発生限界内圧を計算した。ここで、内圧 Π は飽和水素量 C_{H_0} に比例すると考えられる。内圧 Π が試験片中のゴム成分に溶解する水素量に比例するとして、ブリスタ破壊とゴム材料の水素量および引張特性との関係を検討した。ゴム材料を超弾性体と仮定した場合、ひずみエネルギー関数は(2.4.1.1)式で記述できる[1-6]。ここで I_1, I_2 は変形テンソルの不変量、 C_{ij} は物質定数である。き裂進展が発生する限界内圧を Π_F およびその際に発生する最大引張応力 $\sigma_{\theta, \max}$ は気泡の半径方向のストレッチ λ_F および C_{ij} を用いて式(2.4.1.2)、(2.4.1.3)により記述することが出来る[1-7]。

$$W(I_1, I_2) = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 \quad (2.4.1.1)$$

$$\Pi_F = \left(5 - \frac{1}{\lambda_F^4} - \frac{4}{\lambda_F}\right)C_{10} - 2\left(1 + \frac{1}{\lambda_F^2} - 2\lambda_F\right)C_{01} - \left(\frac{177}{5} + \frac{1}{\lambda_F^8} + \frac{8}{\lambda_F^5} - \frac{6}{\lambda_F^4} + \frac{8}{\lambda_F^2} - \frac{24}{\lambda_F} - 16\lambda_F\right)C_{20} \quad (2.4.1.2)$$

$$\sigma_{\theta, \max} = \left(-5 - \frac{1}{\lambda_F^4} + \frac{4}{\lambda_F} + 2\lambda_F\right)C_{10} + 2\left(1 - 2\lambda_F + \lambda_F^4\right)C_{01} + \left(\frac{177}{5} + \frac{3}{\lambda_F^8} + \frac{8}{\lambda_F^5} - \frac{6}{\lambda_F^4} + \frac{4}{\lambda_F^2} - \frac{24}{\lambda_F} - 16\lambda_F - 12\lambda_F^2 + 8\lambda_F^4\right)C_{20} \quad (2.4.1.3)$$

式(2.4.1.2)、(2.4.1.3)から、各配合の試験片を用いて別途測定した σ_T を用いて $\sigma_{\theta, \max}$ が σ_T を超える限界値となる内圧を Π_F として算出し、ブリスタ発生に対するゴムの材料強度の指標とした。なお、内圧 Π は前述のヘンリーの法則より水素曝露圧力を上回ることはないと考えられる。

d. ブリスタ破壊と材料強度、飽和水素量との関係

図2.4.(1).5に表2.4.(1).1に示した材料組成の試験片について評価した Π_F および10MPa、30°Cにおける水素曝露時の飽和水素量 C_{H_0} の関係を示す。

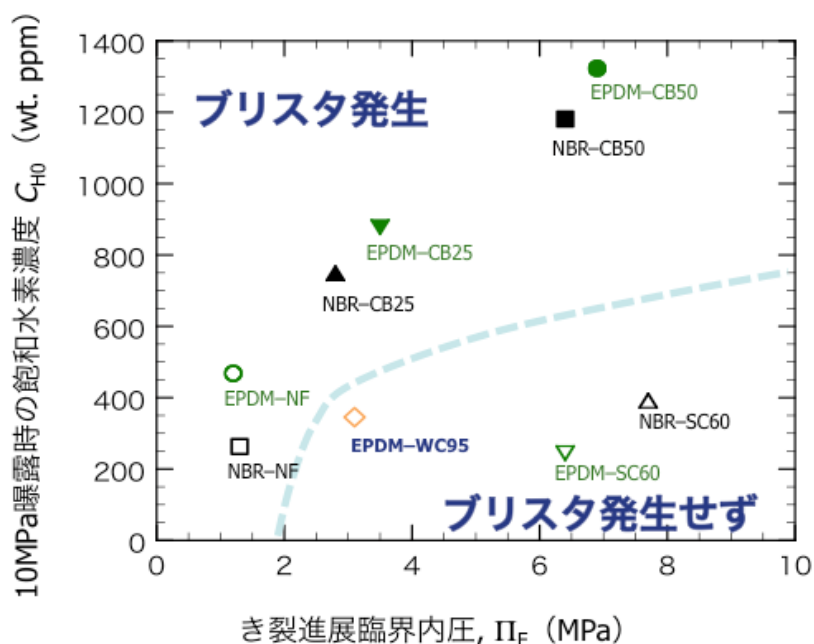


図 2.4.(1).5 ブリスト発生状況と水素溶解量およびブリスト発生臨界圧力の相関

図 2.4.(1).5 に示した通り、ブリスト発生臨界内圧 Π_F が高い EPDM-CB50 や NBR-CB50 のような材料においてもブリストが発生している。これに対して EPDM-SC60 や NBR-SC60 は高いブリスト発生臨界内圧を示し、かつ飽和水素量が小さいことからブリストは発生していない。ブリスト破壊現象は C_{H0} および Π_F の両者に相関があり、 C_{H0} が低く、かつ Π_F が高いゴム材料はブリスト発生が軽微になった。これらの結果から、高压水素ガスによるブリストへの耐性に優れたゴム材料の設計指針として、高いブリスト発生内圧を示し、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。

e. ゴム材料のブリスト発生限界の推定

図 2.4.(1).6 に透明なゴム材料である EPDM-NFT の円柱試験片 ($\phi 29\text{mm} \times 12.5\text{mm}$) を圧力 1~5MPa、温度 30°C の水素ガス中で 65 時間曝露し、減圧した後のブリスト発生状況を示す。

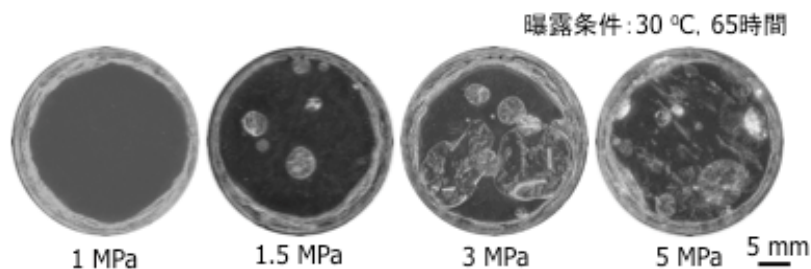


図 2.4.(1).6 EPDM-NFT の水素曝露後のブリスト発生状況

ブリスタ発生限界の水素圧力は 1~1.5MPa であった. 前述のブリスタ発生臨界圧力の推定は気泡を球状と仮定していた. 実際のゴム材料で観察される気泡は扁平な形状である. 図 2.4.(1).7 にき裂発生モデルを示す[1-8].

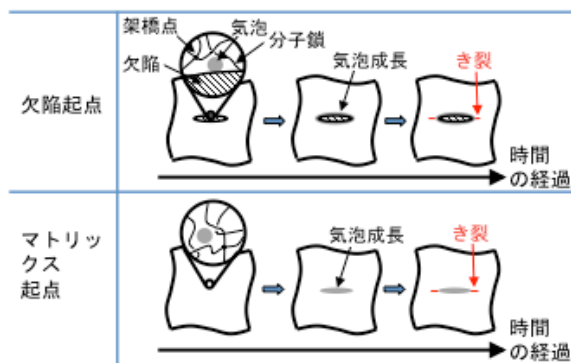


図 2.4.(1).7 気泡形成からき裂発生までのプロセス

このモデルでは, 減圧後, 溶解した水素分子の脱離に伴いゴム材料の不均質に関連した低強度部位にミクロンオーダの気泡が形成され, この気泡を起点としてゴム材料内部からき裂が発生するプロセスを想定した. 気泡には水素ガスによる内圧 Π が作用する. き裂は減圧後の時間経過に伴い発生・進展していくことから, 一定応力(ひずみ)下でき裂が進展する際の静き裂進展特性がブリスタによるき裂発生・進展に影響を及ぼしていることが示唆される. この観点から, 気泡の引裂きエネルギー(エネルギー解放率) T が静き裂の下限界引裂きエネルギー $T_{s,th}$ を超えたときにき裂が発生すると仮定し, き裂発生時の内圧 Π_F を評価した. FEM を援用し, 気泡形状として円盤状の気泡を仮定して, 気泡から発生したき裂の進展に伴って解放されるひずみエネルギー, すなわちエネルギー解放率(引裂きエネルギー)を計算した. 図 2.4.(1).8 に線形弾性体および超弾性体を仮定した際の FEM 解を引裂きエネルギーと気泡に作用する内圧の関係として示す.

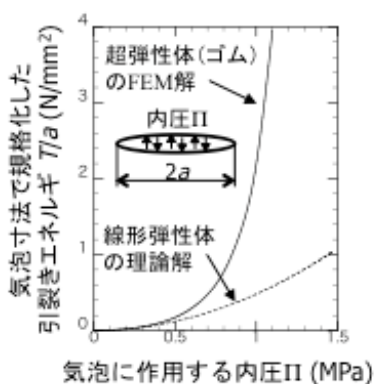


図 2.4.(1).8 引裂エネルギーと気泡に作用する内圧の関係

超弾性体の場合，線形弾性体の場合と比較して，内圧の増加に伴い急激に上昇する結果が得られた．得られた引裂きエネルギー T を静き裂進展試験によって得られた $T_{s,th}$ と比較して，ブリスタが発生しない限界の曝露圧力を求めた．気泡寸法とき裂発生時の内圧の関係を図 2.4.(1).9 に示す．

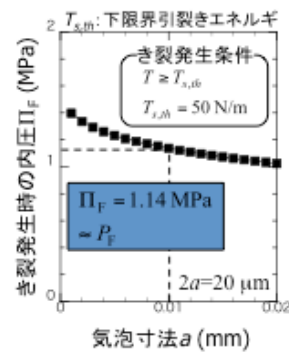


図 2.4.(1).9 気泡寸法とき裂発生時の内圧の関係

この結果から，気泡からき裂発生に至る臨界内圧 Π_F は 1.14MPa となり，図 2.4.(1).6 に示した実測値と良く一致した．

f. ブリスタ発生に対する充てん材粒径の影響

前項でブリスタはゴム中に溶解する水素量少なくなるほど，かつ，ゴム材料の強度特性が向上するほど軽微になることを述べた．シリカは水素量を増大させずにゴム材料を補強可能であり，耐ブリスタ性向上に有効であった．一方カーボンブラックは高い補強効果を示すが，水素量を増大させるため，耐ブリスタ性向上には必ずしも有効ではなかった．しかしながらカーボンブラックには製造法により粒子径や比表面積の種々の材料があり，ブリスタ破壊への影響が明らかになっていない．このような観点から，一次粒子径(粒径)の異なるカーボンブラック(ASTM N110, N220, N330, N550, N774)を使用し，表 2.4.(1).3 に示した 8 種類の EPDM を作製した．さらに，表 2.4.(1).4 に使用したカーボンブラックの物理化学的性質[1-9]を示す．

表 2.4.(1).3 試験片の配合と密度および硬度

Items	N110 (25phr)	N220 (25phr)	N330 (25phr)	N550 (25phr)	N774 (25phr)	N110 (50phr)	N330 (50phr)	N774 (50phr)	NF (Unfilled)	Silica (30phr)	Silica (60phr)
EPDM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ステアリン酸	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ZnO	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
硫黄	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
加硫助剤	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
カーボン ブラック	25	25	25	25	25	50	50	50	-	-	-
シリカ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	60
密度 (g/cm ³)	1.015	1.014	1.016	1.017	1.014	1.093	1.093	1.093	0.928	1.039	1.136
硬さ	A69	A69	A68	A68	A66	A81	A79	A72	A64	A71	A91

表 2.4.(1).4 カーボンブラックの物理化学的性質[1-9]

項目	N110	N220	N330	N550	N774
一次粒子径 (nm)	19	22	28	43	66
N ₂ 比表面積(m ² /g)	142	119	79	42	27
よう素吸着量(mg/g)	139	121	80	44	26
DBP 吸収量(cm ³ /100g)	115	114	101	115	68
かさ密度 (kg/m ³)	310	330	380	380	520

作製した試験片について、水素曝露実験を行い、ブリスタ発生の有無を確認し、あわせて水素量測定、強度特性評価を実施した。これらの試験片について、前述の図 2.4.(1).5 と同様評価として、各ゴム材料の Π_F と水素溶解度 S の関係を図 2.4.(1).10 に示す。

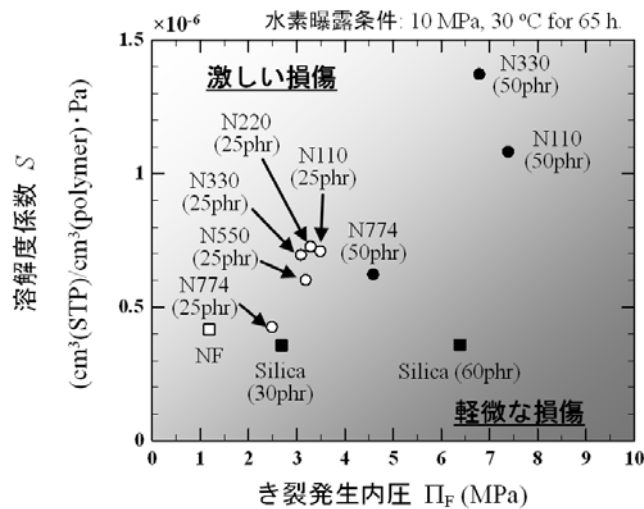


図 2.4.(1).10 ブリスタ発生臨界内圧と水素溶解度の関係

Π_F は弾性率、破断強度といった強度特性が向上するほど高くなる。図 2.4.(1).10 では、高 Π_F 、低 S のゴム材料ほどブリスタ発生状況が軽微になる。各ゴム材料のブリスタ発生状況は図 2.4.(1).10 によって良く再現されており、N110～N330 を充てんしたゴム材料は N774 を充填したゴム材料と比べて高強度であるものの水素溶解度が高いため、N774 を充てんしたゴム材料と同様なブリスタ発生状況であった。

g. 結論

本研究では高圧ガスシール用ゴム材料のブリスタ破壊と水素溶解挙動および材料強度との関係を検討し、以下の結論を得た。

1. ゴム材料を水素曝露した際の飽和水素量は 0.6 から 10MPa の範囲で曝露時の水素圧力

に比例し、ヘンリーの法則に従うことが判明した。ゴム中に水素分子の形で溶解すると考えられる。

2. フィラーとしてカーボンブラックを配合したゴム材料は、カーボンブラックの水素吸着により水素溶解量が増大することがわかった。

3. ブリスタ破壊現象は飽和水素量およびブリスタ発生臨界内圧の両者に相関があり、飽和水素量が低く、ブリスタ発生臨界内圧が高いゴム材料はブリスタ発生が軽微になった。

4. これらの結果から、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。

5. ゴム材料を超弾性体とみなし、FEM を援用し気泡を円盤状としたき裂モデルの引裂きエネルギーを計算した。その結果、高い精度で引裂きエネルギーが計算できた。引裂きエネルギー T を静き裂進展試験によって得られた $T_{s,th}$ と比較してすることにより高い精度で臨界内圧を評価することができた。

6. ブリスタ現象にカーボンブラック粒径の影響は認められなかった。補強効果が高い小粒径カーボンブラックを充てんしたゴム材料は、強度特性は高いが水素溶解度が大きいため、補強効果の小さい大粒径カーボンブラックを充填したゴム材料と同様なブリスタ発生状況となった。

参考文献

[1-1] ゴム工業便覧(第4版), 日本ゴム協会編, 社団法人日本ゴム協会(1994).

[1-2] 山辺純一郎, 中尾匡利, 藤原広匡, 西村伸, 日本機械学会論文集,A 編 74 巻 743 号 971-981

[1-3] Biscoe, B. J. et al., Rubber chemistry and technology, 67, 384 (1994).

[1-4] 山辺純一郎, 西村伸, 藤原広匡, 日本機械学会論文集,A 編 75 巻 756 号 1063-1073

[1-5] Yamabe, J and Nishimura, S, Int. J Hydrogen Energy, 33, 1977 (2009).

[1-6] Ogden, R. W., “Non-linear Elastic Deformations”, John Wiley&Sons (1984).

[1-7] Green, A. E. et al., “Theoretical Elasticity”, Oxford at the Clarendon Press (1954), pp.104-108.

[1-8] 山辺純一郎, 松本隆志, 西村伸, 材料 (掲載予定)

[1-9] http://www.tokaicarbon.co.jp/products/carbon_b/seast/index.html.

(2)水素機器に使用される非金属材料(ゴム・樹脂)の化学構造評価

①目的

ゴム材料の化学構造評価 (ゴム材の水素曝露による劣化等, 化学構造変化の明確化) を目的として, 以下の内容について検討を進めた。

- a.水素曝露前の状態で分析を実施し初期のゴム材料の化学構造を把握する。
- b.長時間水素雰囲気下に曝露された, ゴム材料の分析を実施する。
- c.水素曝露によるゴム材料の化学構造変化 (劣化) の評価を行う。

試料として、充てん材を含まないNBR-NF、EPDM-NFを試料として用い、高圧水素曝露後のゴム材料の構造変化を赤外吸収スペクトル、ラマンスペクトル、核磁気共鳴スペクトル（固体¹H-NMRおよび固体¹³C-NMR）により確認し、曝露時の水素圧力の影響を把握することを目的とした。また、固体¹H-NMRを用いてゴム材料中に溶解した水素分子の検出を試みた。

②実験方法

a. 赤外吸収スペクトルの測定

赤外吸収スペクトルの測定は日本分光（株）製620型フーリエ変換赤外分光光度計（Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR）を用いた。PIKE Technologies社製ATRアタッチメントを装着し、ATR測定を実施した。測定波長範囲は400cm⁻¹から4000cm⁻¹、分解能2cm⁻¹、積算回数32回とした。ATR法は、測定試料表面に高屈折率のプリズムに密着させ、密着界面での全反射が起こる臨界角より大きい入射角でプリズムに光を導入し、全反射光を検出器に導入してスペクトルを得る方法である。[2-1], [2-2]

b. ラマン散乱スペクトル測定

ラマン散乱スペクトルは日本分光（株）製620型フーリエ変換ラマン散乱分光光度計を用いた。光源としてYAGレーザーを用い、波長1.064 μm、出力600mWの近赤外光を用いて測定した。測定範囲は150cm⁻¹から3500cm⁻¹、分解能2cm⁻¹、積算回数500回とした。

c. 核磁気共鳴（NMR）スペクトル

NMRは超伝導固体NMR装置 CMX-300(日本電子(株))を用い、シリコンゴム(0ppm)を基準物質として¹Hケミカルシフトを観測した。残存水素量は同条件にて曝露した試験片をTDA：昇温脱離分析装置JSH-201 (Jサイエンス社製)にて別途測定した。また、水素ガスをNMR管に封管し、重クロロホルムを外部ロック試薬として超伝導NMR ECP-400(日本電子(株))にて測定した。固体NMRによる測定は、表2.4.1に示すNBR-NFを試料として用いて、NMR用サンプル管の寸法にあわせた円柱試験片を成形し、ジルコニア製φ7mmサンプル管に試験片を充填した状態で、100MPa、30℃、65時間の条件で水素曝露し、測定に用いた。

d. 測定試料

表2.4.(1).2に示した試料のうち、充てん材を添加していない配合であるNBR-NFおよびEPDM-NFについて、円柱型試験片（29mmφ×12.7mm）の円柱の上面をそのまま測定した。赤外吸収スペクトルは試料上面をプリズムに密着させることにより測定した。また、ラマン散乱スペクトルは試料上面からレーザー光を入射し、入射光と同一の方向（180°散乱）の散乱光を測定した。水素曝露条件は5MPa/30℃/24時間、7MPa/30℃/24時間、10MPa/85℃/24時間、100MPa/85℃/200時間であり、曝露後、数週間経過した試験片を測定に供した。試験片を初期状態として水素曝露していない試料について測定し、スペクトルを比較することにより水素曝露による影響を調べた。

なお、充てん材を配合したものについては充てん材による光の吸収が大きく、測定が困難であった。

③実験結果と考察

a. 赤外吸収スペクトル，ラマン散乱スペクトルの同定

・ NBR

NBR-NFについての赤外吸収スペクトル，ラマン散乱スペクトルの測定結果をそれぞれ図2.4.(2).1, 図2.4.(2).2に示す．図中にそれぞれの吸収，散乱ピークの帰属を併せて示す[2-3].

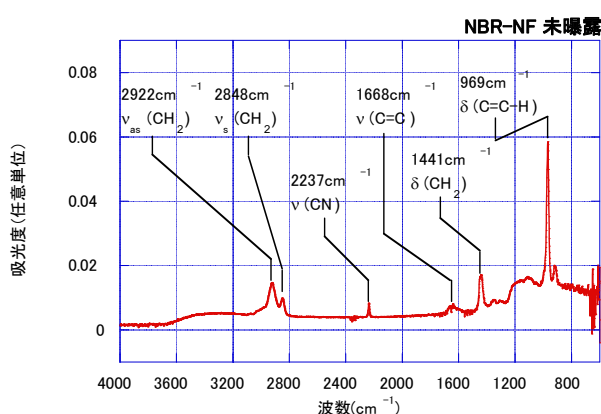


図2.4.(2).1 NBR-NFの赤外吸収スペクトル（ATR法）とピークの帰属

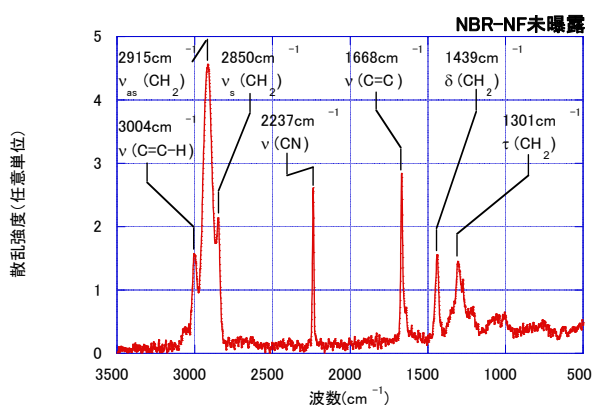


図2.4.(2).2 NBR-NFのラマン散乱スペクトルとピークの帰属

・ EPDM

EPDM-NFについての赤外吸収スペクトル，ラマン散乱スペクトルの測定結果をそれぞれ図2.4.(2).3, 図2.4.(2).4に示す．図中にそれぞれの吸収，散乱ピークの帰属を併せて示す[2-3].

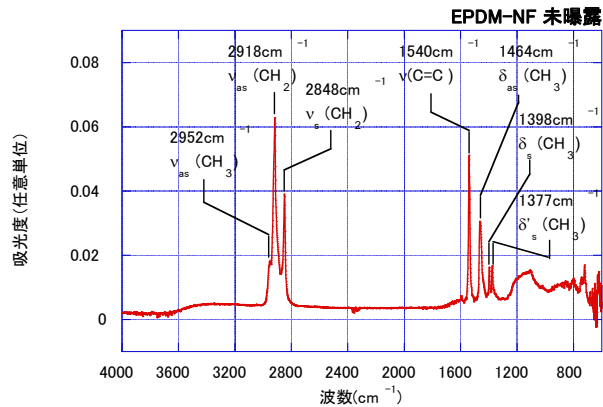


図2.4.(2).3 EPDM-NFのラマン散乱スペクトルとピークの帰属

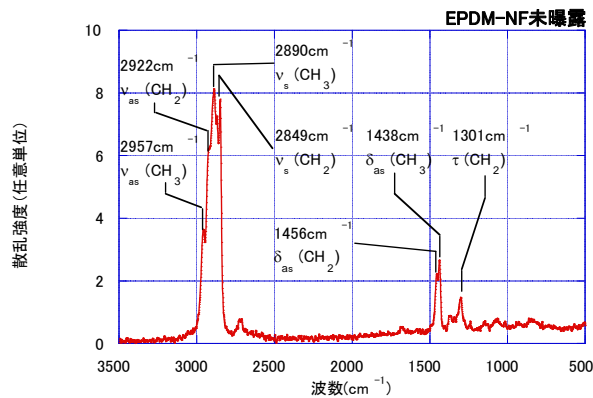


図2.4.(2).4 EPDM-NFのラマン散乱スペクトルとピークの帰属

b. 水素曝露による赤外吸収スペクトル，ラマン散乱スペクトル，核磁気共鳴（NMR）スペクトルの変化

・ NBR

NBR-NF円柱型試験片を30°Cにおいて5MPa/24時間，7MPa/24時間，10MPa/24時間，85°Cにおいて100MPa/200時間水素曝露した後に赤外吸収スペクトル，ラマンスペクトルを測定した結果を比較して図2.4.(2).5，図2.4.(2).6に示した．これらのスペクトルを比較したところ，全体的なピーク強度の変化は見られるが，新たなピークの出現やピークの移動は観測されなかった．それぞれのピークの相対強度比も水素曝露により変化していないと判断される．これらの結果から赤外吸収スペクトル，ラマン散乱スペクトルとも水素曝露によるNBRの構造変化によるスペクトルの変化は生じていないと判断される．

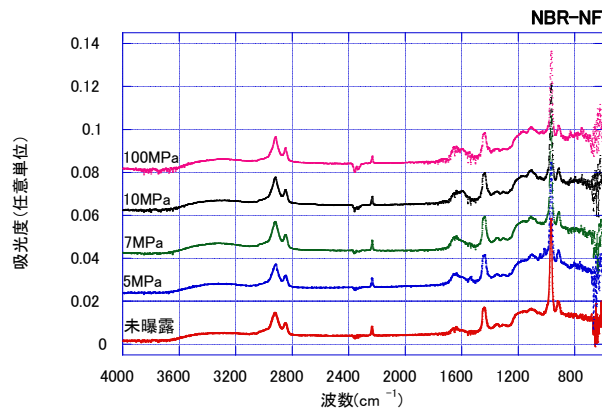


図2.4.(2).5 NBR-NFの水素曝露後の赤外吸収スペクトル (ATR法)

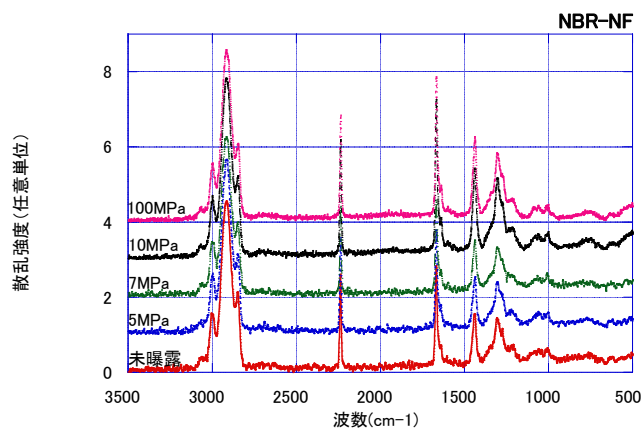


図2.4.(2).6 NBR-NFの水素曝露後のラマン散乱スペクトル

NBR-NFについては、水素曝露前後のNMRスペクトルについても確認した。図2.4.(2).7、図2.4.(2).8に水素曝露後、大気中で保持し一週間以上の時間が経過し、水素が完全に脱離した後の ^1H -NMRおよび ^{13}C -NMRスペクトルを曝露前の試験片のスペクトルと比較して示す。スペクトルの帰属のため、試験片の原料として用いた未加硫のNBRについて、 CDCl_3 溶液のスペクトルを測定して比較して示す。なお、未加硫NBRについて、別途溶液 ^1H および ^{13}C -NMRを測定し、スペクトルの帰属を実施した[2-4]。固体 ^1H -NMRおよび ^{13}C -NMR、さらにこれらの試験片を CDCl_3 により膨潤させた状態での ^1H -NMRおよび ^{13}C -NMRスペクトルを比較して検討した結果、いずれの試験片のスペクトルも本来のNBRに帰属されるシグナルのみが観察され、水素曝露による化学構造変化は生じていないと考えられる。

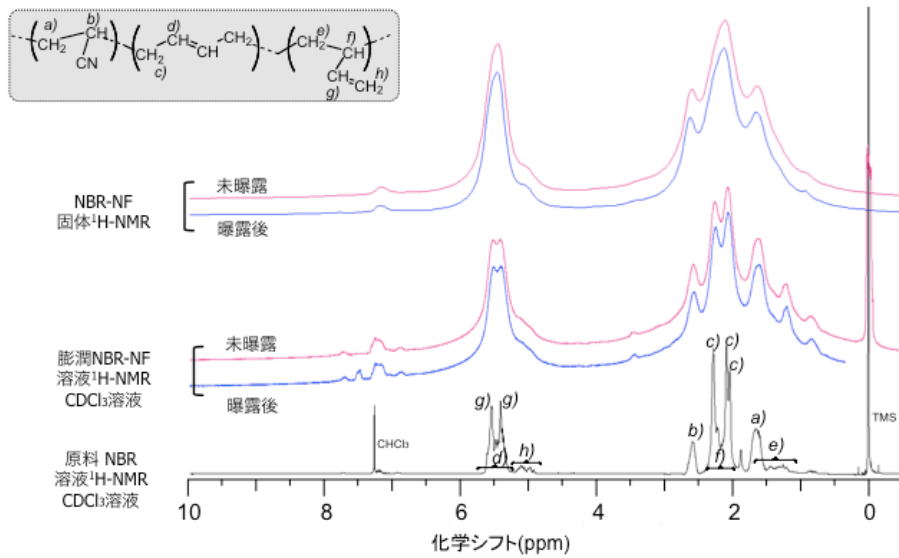


図2.4.(2).7 曝露前後のNBR-NFの¹H-NMRスペクトル

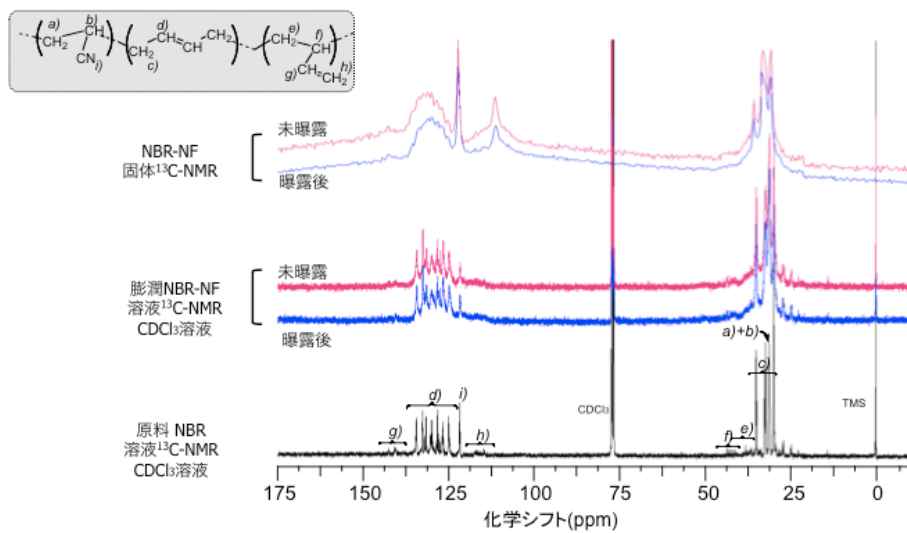


図2.4.(2).8 曝露前後のNBR-NFの¹³C-NMRスペクトル

・ EPDM

EPDM-NF円柱型試験片を30℃において5MPa/24時間, 7MPa/24時間, 10MPa/24時間, 85℃において100MPa/200時間水素曝露した後に赤外吸収スペクトル, ラマンスペクトルを測定した結果を比較して図2.4.(2).9, 図2.4.(2).10に示した. これらのスペクトルを比較したところ, NBRと同様に全体的なピーク強度の変化は見られるが, 新たなピークの出現やピークの移動は観測されなかった. それぞれのピークの相対強度比は水素曝露により変化していないと判断される. これらの結果から赤外吸収スペクトル, ラマン散乱スペクトルとも水素曝露によるEPDMの構造変化によるスペクトルの変化は生じていないと判断される.

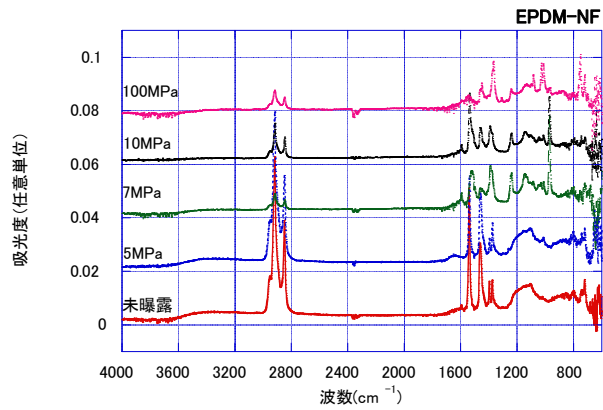


図2.4.(2).9 EPDM-NFの水素曝露後のATRスペクトル変化

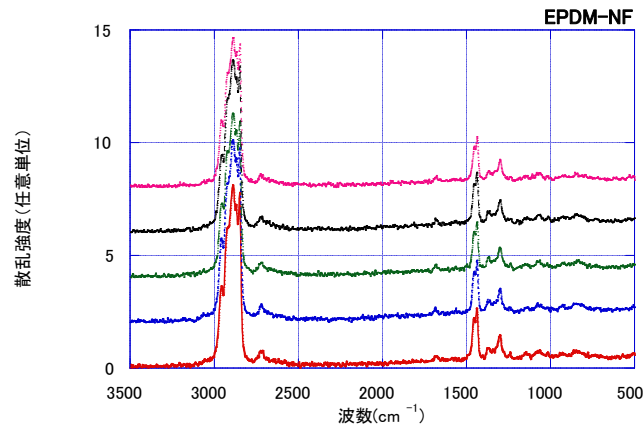


図2.4.(2).10 EPDM-NFの水素曝露後のラマン散乱スペクトル

c. 核磁気共鳴 (NMR) スペクトルによるNBR中に溶解した水素の検出

図2.4.(2).11に曝露後ゴム中に水素ガスが溶解した状態の試験片についてMAS速度3,000Hzで固体¹H-NMR測定を行った結果を示す。

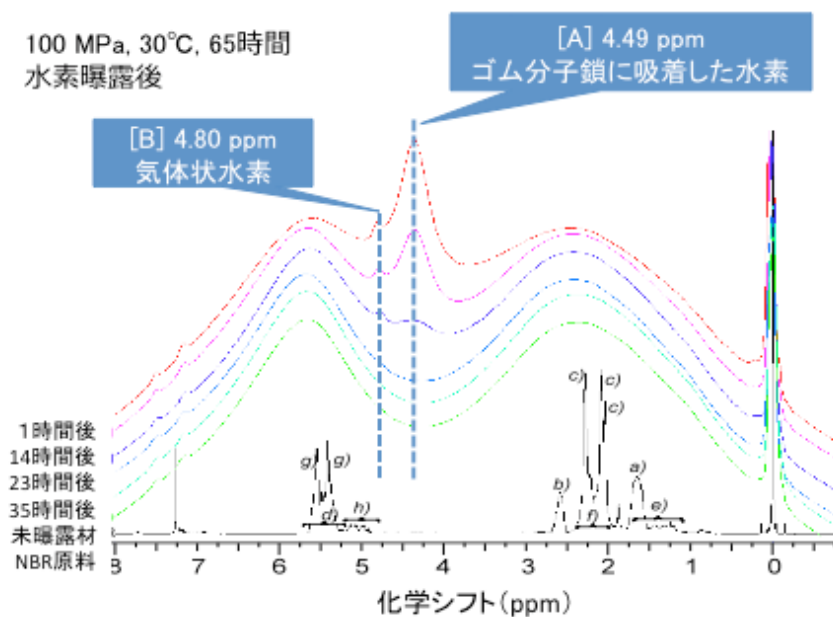


図2.4.(2).11 水素曝露後のNBR-NFの固体¹H-NMRスペクトルの経時変化
曝露条件：100MPa，30°C，24時間

曝露後1時間経過した試験片には2.2ppmと5.5ppmをピークトップとするNBR由来のスペクトルの他、未曝露のNBRでは観測されない[A] 4.49 ppm (半値幅:148Hz)および[B]4.8 ppm (47Hz)に2種類のピークが発現した。一方、別途測定した水素ガスのピークは7.4ppmに観測されたことから、[A] [B]は測定中に試験片から脱離した水素ガス由来のスペクトルでないことが示唆される。NMRスペクトルの経時変化を測定した結果、[A] [B]は時間の経過とともに減少し30時間後消滅した。30時間後のスペクトルは未曝露NBR試験片のスペクトルと一致することが確認され、試験片中の残存水素量はTDAにより0wt.ppmであることが確認された。前項で述べた通りNBRの分子構造は水素曝露の影響を受けないことから[A] [B]をゴム中に溶解した水素分子と仮定し、スペクトルの波形分離によって[A],[B]の水素分子のピークとNBRのピークの面積比より水素濃度を算出した。別途昇温脱離ガス分析法 (TDA) によりNMR測定温度と同条件で測定した試験片中の残存水素濃度との関係を図2.4.(2).12に示す。

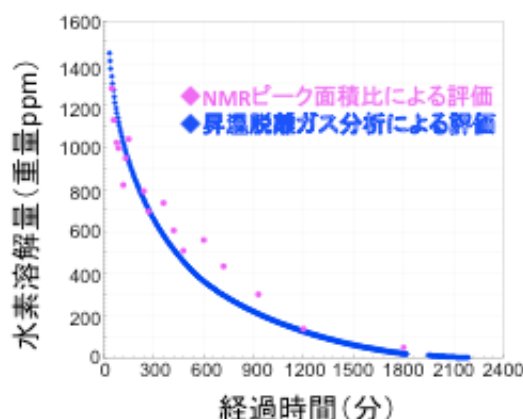


図2.4.(2).12 TDAおよびNMRで評価したNBR-NF中の残存水素濃度の相関
曝露条件：100MPa, 30°C, 24時間

[A]と[B]の合計水素量はTDA測定による水素脱離挙動と一致した。TDA測定により観測されるガスは水素分子であることが確認されているため、[A][B]はゴム試験片中に溶解している水素分子であることが確認された。よって、ゴム中に溶解した水素ガスは、化学シフトと半値幅が異なることから分子運動性の異なる2種類の水素分子、すなわちゴム分子鎖と同等の運動性を示すゴム分子鎖に吸着したと考えられる水素分子[A]および気体状の運動性を示す水素分子[B]として存在していることが示唆された。

d. 結論

本項では水素曝露前後のNBRおよびEPDMについてATR法による赤外吸収スペクトル、ラマン散乱スペクトル、固体¹H-NMRおよび固体¹³C-NMRを測定し、以下の結論を得た。

1. NBR-NF, EPDM-NF試験片について、ATR法による赤外吸収スペクトル、ラマン散乱スペクトル、さらにNBRについては¹H-NMRおよび¹³C-NMRを測定し、水素曝露前後のスペクトルを比較した結果、いずれもスペクトルに変化はなく、ゴム素材の化学的な構造変化は生じていないと判断される。
2. 水素曝露直後の水素が溶解した状態のNBR-NFについて、固体¹H-NMRを測定した結果、分子運動性の異なる2種類の水素分子、すなわち気体状の運動性を示す水素分子およびゴム分子鎖と同等の運動性を示すゴム分子鎖に吸着したと考えられる水素分子が検出された。
3. 水素溶解状態の試験片NBR-NF試験片の固体¹H-NMRの経時変化を測定し、ピーク面積比から水素溶解量を算出した結果、昇温脱離ガス分析法により測定した水素溶解量と良く一致した。

(参考文献)

- [2-1] 田中誠之, 寺前紀夫「赤外分光法」共立出版 (1993)

[2-2] 田隅三生「FT-IRの基礎と実際」東京化学同人(1986)

[2-3] Noël P. G. Roegers, “A Guide to the Complete Interpretation of Infrared Spectra of Organic Structures” JOHN WILEY & SONS, (1994).

[2-4] 藤原広匡, 山辺純一郎, 西村伸, 高分子論文集, 9巻66号.363-372 (2009).

(4)水素雰囲気下におけるゴム材料研究

①目的

ブリスタ発生メカニズム解明と解決に向けたゴム材料の研究及び評価を目的とし、ゴム材料の高圧水素耐久試験機を用い、ブリスタ発生に起因する機構側要因(圧力差, 昇圧・減圧速度等)の影響度を把握する. 更に, その検討結果から現実的なブリスタ評価試験条件について検討を行う. このため, 90MPaクラスモデル高圧容器を用いたOリングの高圧水素耐久試験機を開発し, 高圧水素容器などに用いられる種々のOリングの使用条件を模擬した温度, 加減圧条件によるシールからの漏洩量の評価を試みた. これらの結果に基づき, Oリングの破壊モードを把握し, 対策の指針を確立する.

②実験方法

a.高圧水素ガス容器用Oリング高圧水素耐久試験機

図2.4.(4).1に開発したOリング高圧水素耐久試験機の概要を示す.

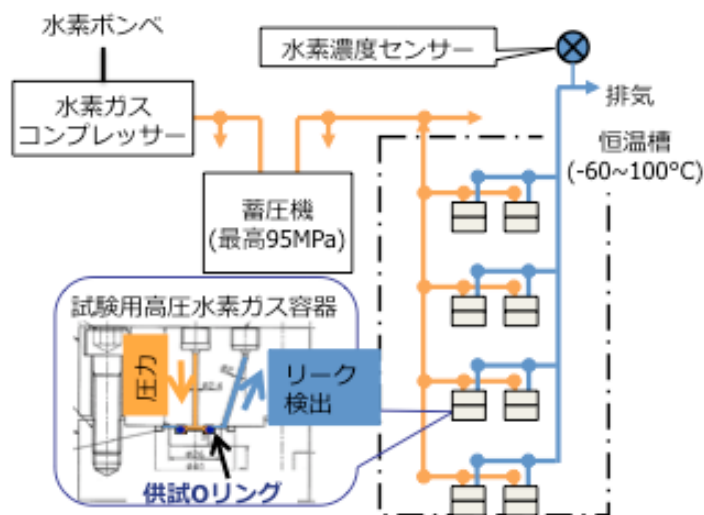


図2.4.(4).1 Oリング高圧水素耐久試験機

本装置は供試Oリングによりシールされた内容積約0.3 cm³のモデル高圧水素容器に蓄圧器から高圧水素を導入することにより所定の条件で加減圧し, このときの供試Oリングを介して

漏洩した水素量を水素濃度センサーにより検出することができる。試験中の高压水素容器は恒温槽により所定の温度に保持することが可能である。表2.4.(4).1に本装置の仕様を示す。

表2.4.(4).1 Oリングシール挙動評価装置の仕様

項目	下限値	上限値
試験モデル高压水素容器数	2個	8個
上限圧力 P_U	6 MPa	90 MPa
下限圧力 P_L	0.1 MPa	10 MPa
昇圧時間 α_p	1~2 sec.	15 sec.
減圧時間 α_d	1~2 sec.	1 hour
上限圧力保持時間 t_p	0 hour	99 hours
下限圧力保持時間 t_d	0 hour	99 hours
温度 T	-60 °C	100 °C

本装置には2個直列4系統、合計8個のモデル高压水素容器が接続されている。また、Oリングの充填率、つぶし率などはOリング溝寸法の変更が可能であり、これらのパラメータのシール挙動への影響についても評価することが可能である。図2.4.(4).2にモデル高压水素容器のOリング溝とOリングの関係について模式図を示す。

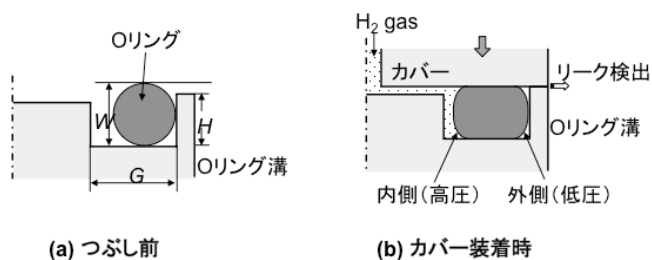


図2.4.(4).2 モデル高压水素容器のOリング溝とOリングの関係の模式図

Oリング溝寸法 $H = 2.96 \text{ mm}$, $G = 4.00 \text{ mm}$

Oリング線径 $W = 3.53 \text{ mm}$, 内径 11.9 mm

Oリングのつぶし率16%

使用したモデル高压容器のOリングはOリング溝内に装着される。上部からカバーで締め付けられつぶされることによりゴム製Oリングが変形し、接触面積が増大するため内部の高压水素がシールされる。ここで、Oリングのつぶし率 S とは、Oリングのつぶし量である線径 W と溝の深さ H の差とOリングの線径 W の比で定義され式(2.4.4.1)のように百分率で表示される。

$$S = \frac{W - H}{W} \times 100 \quad (2.4.4.1)$$

また、充てん率 F はリング溝の断面積 A_{Gland} とリングの断面積 A_{OR} との比で表され、式(2.4.4.1)のように百分率で表示される。なお、充てん率はリング溝の容積とリングの体積で定義する場合もあるが、本章では式(2.4.4.2)に示した断面積による定義を用いる。

$$F = \frac{A_{OR}}{A_{Gland}} \times 100 \quad (2.4.4.2)$$

通常、リングメーカーによるこれらのパラメータの推奨値はつぶし率8%~30%、充てん率100%以下となっている。

b. 直交実験によるブリスタ発生要因解明

加減圧力サイクルを任意の圧力および時間で設定可能な高圧水素耐久試験機[4-1], [4-2]を用いて、直交表を利用したL18直交実験によりゴムリングのブリスタ破壊に及ぼす要因の感度解析を実施した。ブリスタ破壊に対し影響するリングおよびリング溝の仕様や、使用時の圧力や減圧速度などの因子をユーザーの意見を踏まえて抽出し、直交実験の制御因子を決定した。ゴム材料、雰囲気温度、水素ガス圧力のほかリング溝充てん率、加減圧力サイクルの環境条件として減圧時間などを抽出し、L18直交表への割り付けた。ゴム材料は、フィラーを添加しデュロメータA硬度80°に調整したエチレンプロピレンゴム(EPDM)、シリコンゴム(VMQ)、水素化アクリロニトリルブタジエンゴム(HNBR)を用いた。L18直交実験では、このような特性を持つ3種類の材料を条件圧力の水素ガスで加圧しガス透過量が定常状態になるまで保持後、割りつけられた減圧時間などの条件で加減圧サイクルを10サイクル実施し、水素リーク量及びリングの破壊状態を評価した。

③実験結果と考察

a. 圧力サイクル試験によるリングの損傷

開発したシール挙動評価装置を用い、高圧水素ガスによるシール性を考慮し、白色系充てん材により硬度A70に調整したエチレンプロピレンゴム(EPDM)モデル配合材により作成したリングの高圧水素による加減圧試験を実施した。表2.4.(4).2に使用したリング仕様及び材料の物性をまとめて示す。リング材料は図2.4.(1).5に示したEPDM-WC95材を用いた。この材料は充てん材として前項で述べたシリカ同様、水素吸着量が小さい無機系の充填材である白色系充てん材を用いており、10 MPaの水素曝露ではブリスタが発生しない材料である。

表2.4.(4).2 供試Oリング仕様及び材料の物性

項目	仕様	
Oリング仕様	内径	11.9 mm
	線径	3.53 mm
	つぶし率	16%
	充てん率	86%
材料 (EPDM-WC95材)	ゴム材料	過酸化物加硫EPDM 100重量部
	充てん材	白色系充てん材 95 重量部
物性	硬度	A 70
	密度	1.30 g/cm ³
	引張強度	12.0 MPa
	破断伸び	330%
	弾性率 (100%伸長時間)	4.0 MPa
	使用限界温度	-45°C

表2.4.(4).2に示した仕様のOリングを用い、水素加減圧によるシール挙動を評価した。試験方法は、供試Oリングによりシールされたモデル高压水素容器を上限圧力において3時間程度保持し、Oリングが水素により飽和した後に所定の条件で、モデル高压容器の繰り返し加減圧を実施し、試験後のOリングを観察した。繰り返し加減圧の条件を表2.4.(4).3に示す。

表2.4.(4).3 繰り返し加減圧試験の条件

項目	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
温度 T	100°C			30°C
上限圧力 P_U	10 MPa	35 MPa	70 MPa	
下限圧力 P_L	0.5 MPa			
昇圧時間 α_P	1~2 sec.			
減圧時間 α_D	1~2 sec.			
上限圧力保持時間 t_P	58~59 sec.			
下限圧力保持時間 t_D	18~19 sec.			

Oリングを介した漏れ量は、モデル高压水素容器の供試Oリング低圧側のリーク検出ポートに接続された排気ラインの水素濃度により測定した。繰り返し加減圧試験時の水素漏洩量測

定結果の一例を図2.4.(4).3に示す. これは表2.4.(4).3の条件3(100℃, 上限圧力70 MPa)の場合の結果と加減圧の圧力パターンを示したものである.

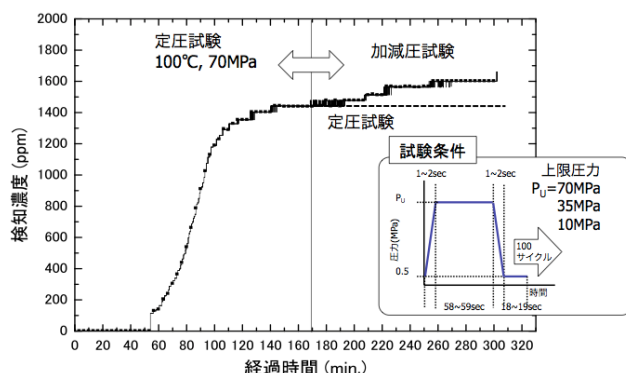


図2.4.(4).3 加減圧による水素透過量測定結果 (100℃, 上限圧力70 MPa)
(EPDM製供試Oリングの仕様は表2.4.(4).2に示す)

上限圧力である70MPaに加圧後, 約40分を経た後に低圧側に水素の漏洩が検出され, 一定の速度で水素濃度が上昇し, 約140分後に一定の濃度となる. このまま定圧保持した場合, 水素濃度は定常的に推移する. すなわち, 圧力変化がない場合, Oリングを介した漏洩量は一定となる. これらの挙動からOリングに用いたゴム材料の水素の透過量, 溶解度, 拡散係数などの物性値の評価が可能であるが, 加圧時のOリングの透過距離, 断面積などの形状因子の評価や水素濃度による計測であるため透過量の絶対値の評価が難しく, 現段階でこれらのパラメータを定量的に議論することは困難である. 透過漏れ量が一定となった後, 所定の条件で100回の加減圧を実施した. その結果, 図2.4.(4).3に示した通り加減圧に伴い水素の漏れ量は徐々に増加した. 水素による加減圧の結果, Oリングのゴム材料が損傷し, 結果として透過漏れ量が増大すると考えられる.

100回の圧力サイクル後のOリングをモデル高圧水素容器から取り出し, 観察した結果を図2.4.(4).4に示す. また, 断面の拡大図を図2.4.(4).5に示す.

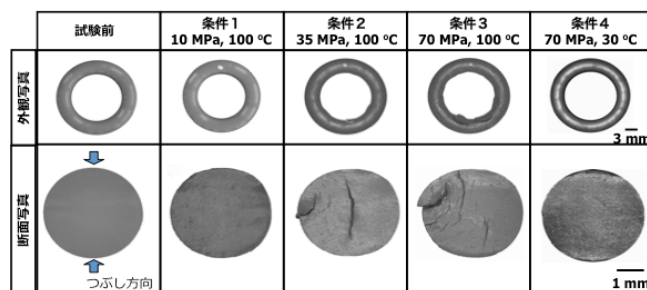


図2.4.(4).4 加減圧試験後のOリングの状況

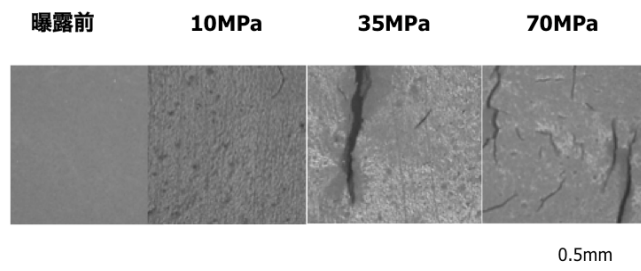


図2.4.(4).5 加減圧試験後のOリング断面

未使用のOリングに対して加減圧試験後のOリングは外観、断面とも損傷が見られる。100°Cにおける加減圧の場合、上限圧力が高いほど損傷は激しくなっている。外観を比較すると、35 MPa、70MPaの場合にはOリングの高圧側である内周部にき裂が見られる。内周部にき裂が発生する要因として、加減圧時のOリングの体積変化が考えられ、ゴム材料に水素が飽和した状態で減圧された場合、ゴム材料の体積膨張が起こるためOリングの内周部にはみ出しが発生し、き裂が生じていると考えられる。内周部のはみ出しによるき裂については有限要素法による解析により確認されている。

Oリングの断面観察の結果も上限圧力が高い加減圧の場合に激しい損傷が観察されている。上限圧力10 MPaの場合、断面には微小な気泡の痕跡が見られる。これに対して35 MPa、70 MPaの場合は気泡からき裂に進展したブリスタ破壊の痕跡が観察される。10.2節において述べたモデル配合のゴム試験片の気泡からのき裂進展が実際のOリングの加減圧試験により観察された。これらはいずれも試験温度100°Cにおける結果である。Oリングの損傷への試験温度の影響を検討するため、試験温度30°Cにおいて上限圧力70 MPaの加減圧試験を実施した(条件4)。100°Cにおける同じ上限圧力による加減圧試験(条件3)の結果と比較すると、30°Cにおける加減圧の場合、損傷が軽微になっており、気泡からき裂に至る大きな損傷は見られなかった。このことから、Oリングの損傷に対する試験温度の影響も大きいと考えられる。

b. L18直交実験による感度評価

ゴム材料、雰囲気温度、水素ガス圧力のほかOリング溝充てん率、加減圧力サイクルの環境条件として減圧時間などの制御因子を表2.4.(4).4に示した通り決定し、L18直交表への割り付けた。L18直交表を表2.4.(4).5に示す。

表2.4.(4).4 決定した制御因子

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	充てん率 (%)	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

表2.4.(4).5 L18直交表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Test No.	下限圧力	材料	温度	充てん率	上限圧力	上保持	下保持	減圧時間
1	8	EPDM	100	86	90	120	120	60
2	8	EPDM	30	77	35	60	60	10
3	8	EPDM	0	67	10	30	30	3
4	8	VMQ	100	86	35	60	30	3
5	8	VMQ	30	77	10	30	120	60
6	8	VMQ	0	67	90	120	60	10
7	8	HNBR	100	77	90	30	60	3
8	8	HNBR	30	67	35	120	30	60
9	8	HNBR	0	86	10	60	120	10
10	1	EPDM	100	67	10	60	60	60
11	1	EPDM	30	86	90	30	30	10
12	1	EPDM	0	77	35	120	120	3
13	1	VMQ	100	77	10	120	30	10
14	1	VMQ	30	67	90	60	120	3
15	1	VMQ	0	86	35	30	60	60
16	1	HNBR	100	67	35	30	120	10
17	1	HNBR	30	86	10	120	60	3
18	1	HNBR	0	77	90	60	30	60

L18直交表を表使用したゴム材料の表2.4.(4).6に材料特性を示す。

表2.4.(4).6 直交実験に用いた材料

	EPDM	VMQ	HNBR
硬度(デュロメータA)	80	80	80
引張強度(MPa)	22.5	10.5	30.9
破断伸び(%)	200	290	260
密度(g/cm ³)	1.15	1.22	1.16
ガラス転移温度(°C)	-42	-114	-13
透過係数(10 ⁻¹² cm ³ (STP)cm/cm ² secPa)	3.61	38.2	0.95
拡散係数(10 ⁻⁶ cm ² /sec)	3.02	36.5	1.38

引張強度についてはHNBRが最も高く、動的粘弾性により得られたガラス転移点 T_g についてはVMQが最も低い。EPDMはこれらの中間的な特性を有する。30°C,0.6MPaでの水素透過および拡散係数については、VMQが他の材料よりも1オーダー程度高く、それぞれ特徴を持った材料である。

図2.4.(4).6に直交表L1の加減圧力サイクル中の水素漏れ量の変化を示す。

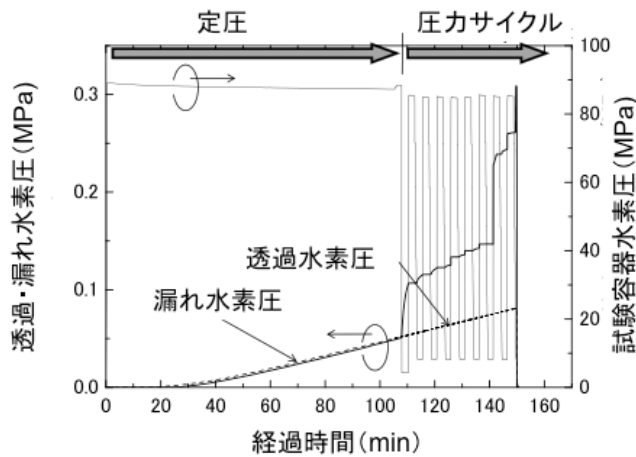


図2.4.(4).6 直交表L1条件による加減圧力サイクル中の水素漏れ量の経時変化

加減圧サイクルにより水素漏れ量の増加が見られる。これは図2.4.(4).7に示すL1の試験後サンプルの断面写真に見られるような加減圧によるブリスタ発生・成長に起因するOリングの損傷によるものである。

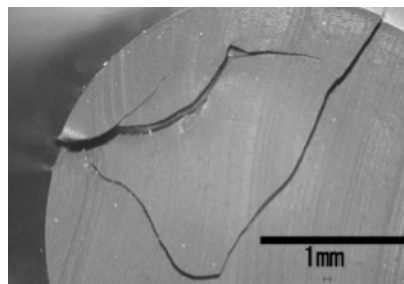


図2.4.(4).7 直交表L1条件による加減圧力サイクル後のOリング断面

また、このようにブリスタが発生したOリングでは、試験後の破断強度は未使用のものとは比べて低下した。本研究では、破断強度変化率をブリスタ破壊の指標としSN比が高いほどブリスタ破壊しにくいことを示す望小特性SN比 η を用いて図2.4.(4).8に示す要因効果図を作成し、ブリスタ破壊に影響および感度の高い因子を特定した。

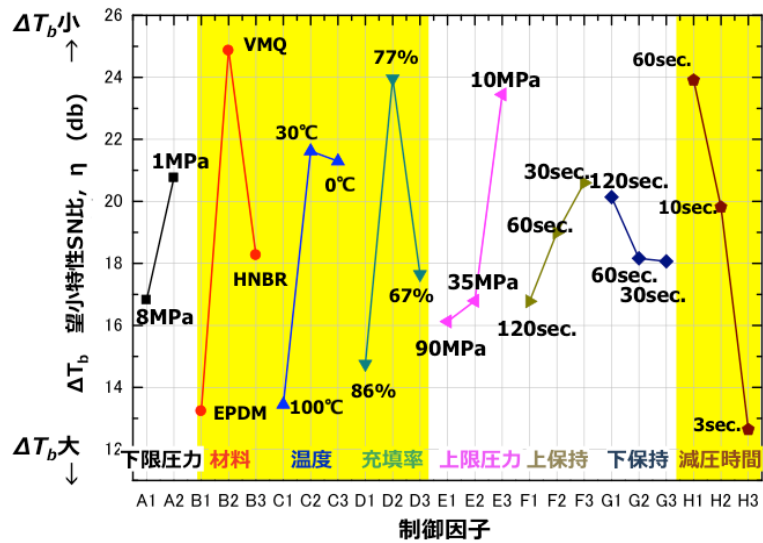


図2.4.(4).8 要因効果図

図2.4.(4).8に示した通り、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。

直交実験によるリング評価の結果、ゴム材料のブリスタに起因する破壊のみならず、リング溝からはみ出しによる破壊モードも発生していることが判明した。

圧力サイクル後のリングの破壊状況を図2.4.(4).9に示す。

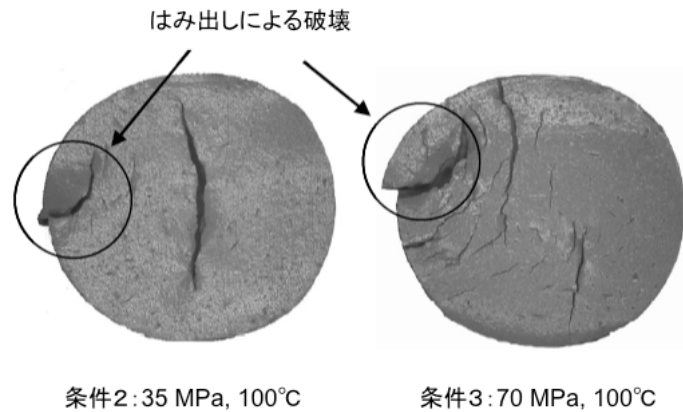


図2.4.(4).9 加減圧試験後のリング断面

図の上下方向がリングのつぶし方向、左側が内周方向となる。断面に微小なブリスタやつぶし方向に平行なブリスタによるき裂が観察されたことに加えて、リングの内周部に表面からのき裂が観察された。これらの表面からのき裂はリングの溝からはみ出しに起因するものと考えられる。通常、リングによるシールは使用条件及びリングの寸法を考慮した溝設計が行われる。図2.4.(4).2に示したリングおよびリング溝の設計パラメータを示した通り、溝設計のパラメータは使用するリングの寸法に応じてつぶし率 S および充填率 F を考慮して決定される。図2.4.(4).2に示したつぶし率 S 及充填率 F は、それぞれ式(2.4.4.1)及び(2.4.4.2)で定

義されるパラメータである。充てん率は、100 %を越えた場合、OリングのOリング溝からはみ出しが懸念されるため、100 %以下で使用することが重要であり、メーカーの推奨値となっている。しかしながら、高圧水素ガスをシールするOリングの場合、Oリング用ゴム材料中に水素が溶解し、膨潤状態となる。前節までに述べて来たようにブリスト破壊が懸念されるとともに、膨潤による体積変化が起こり、未使用のOリングにより設計した充てん率がOリングの体積変化により100 %を越えた場合、はみ出しによる破壊が懸念される。

図2.4.(4).10にモデル高圧セルによる加減圧試験に使用したEPDM製Oリングを装着し30 °C、水素圧力5, 10, 35, 70 MPaにて15時間保持し、減圧後のOリングの体積変化をアルキメデス法により計測した結果を示す。

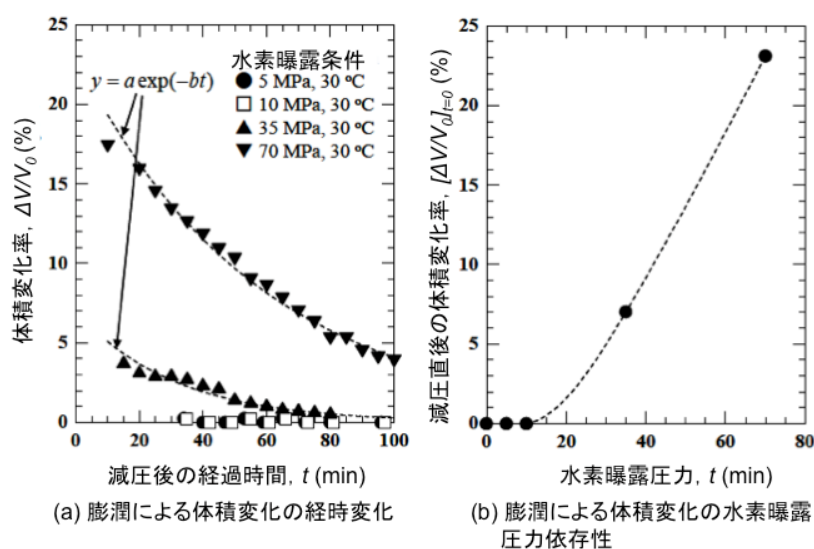


図2.4.(4).10 Oリングの膨潤による体積変化

図2.4.(4).10(a)に圧力5, 10, 35, 70 MPaにて保持し、減圧後のOリングの体積変化率 $\Delta V/V_0$ の経時変化を示す。ここで、 V_0 は初期のOリングの体積、 ΔV は膨潤による体積の変化量である。体積変化率 $\Delta V/V_0$ は、時間に対して指数関数的に減少しており、Oリング内部の水素量が指数関数的に脱離することに対応していると推定される[4-3]。図2.4.(4).11 (b)には、図2.4.(4).10(a)の体積変化のデータを指数関数で近似し $t=0$ に外挿した体積増加率 $[\Delta V/V_0]_{t=0}$ と水素圧力の関係を示す。水素圧力35 MPa 以上で顕著な体積増加が認められ、圧力が高くなるとともに $[\Delta V/V_0]_{t=0}$ は大きくなった。また、エネルギー密度関数はMooney-Rivlinの多項式で近似した。

図2.4.(4).11にFEMにて行った解析の結果を示す。

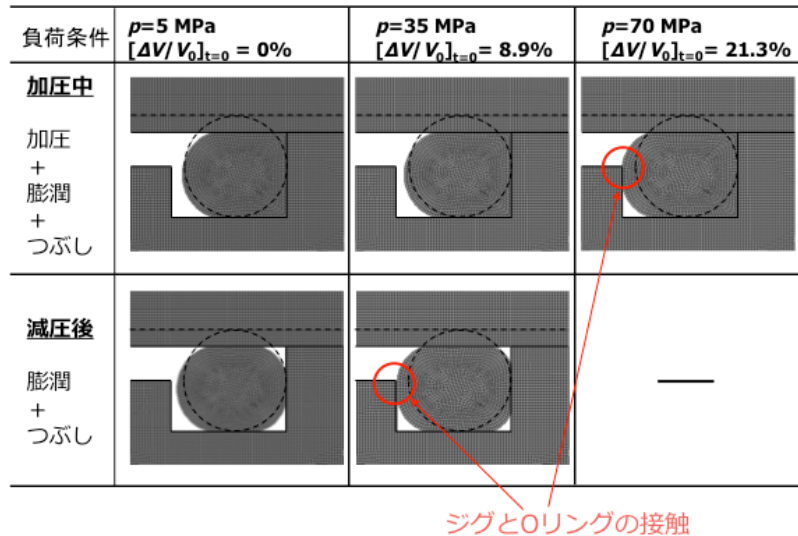


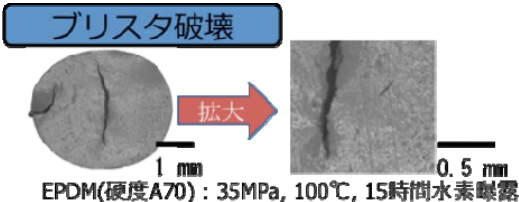
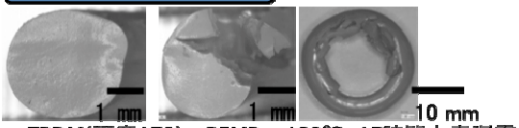
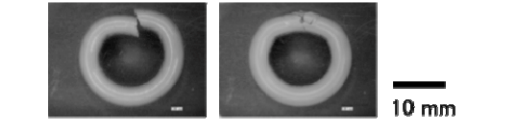
図2.4.(4).11 OリングのFEM解析結果

図2.4.(4).11中、上段に示す加圧中の解析は、OリングのOリング溝への装着によるつぶし、水素による膨潤に起因する体積増加を考慮し、さらに水素による圧力が印加された状態で解析した。各圧力での体積変化率は図2.4.(4).10(b)に示した $[\Delta V/V_0]_{t=0}$ とした。図2.4.(4).11の下段に示した減圧後の解析は、減圧直後の状態を想定し、水素による加圧中の解析から水素の圧力を取り除いた状態で解析した。この条件での解析では、水素圧力35 MPaの場合、加圧時にはOリング内週面とジグは接触していないが、減圧により内周部がジグと接触する。水素圧力70 MPaでは加圧中でも水素による膨潤のためOリング内周面がジグと接触する結果となった。減圧後では、圧力35 MPa以上でOリング内周面がジグと接触した。このようなOリングとジグの接触は、Oリングのはみだしによるき裂発生と関連すると考えられる。図2.4.(4).10(b)に示した通り、水素曝露圧力10 MPa以下ではゴム中に溶解した水素による膨潤に起因する体積変化は見られなかった、これに対して、水素曝露圧力35 MPa、70 MPaでは、水素による膨潤に起因するゴム材料の体積増加率が大きい。このためOリング溝の充てん率を決定した際に用い初期のOリングの体積よりも大きくなり、結果的に充てん率の上昇を引き起こし、Oリング溝からはみ出しによる表面き裂発生も認められた

c. Oリングの破壊モード

表2.4.(4).6に高圧水素ガスシール用ゴム製Oリングの破壊に関するこれまでの検討結果をまとめて示す。高圧水素ガスによるOリングの破壊モードは主に3種に分類することができる。それぞれの原因と対策の指針を表2.4.(4).6にあわせて示す。プリスタによる破壊のみならず、Oリング用ゴム材料の水素による膨潤に起因する体積変化が原因となるはみ出し破壊および座屈破壊も発生している。これらは、Oリング溝をゴム材料の体積変化を考慮した溝設計や変形防止を考慮した設計とすることで回避できると考えられる。

表2.4.(4).6 高圧水素ガスシール用ゴム製Oリングの破壊モードとその原因・対策指針

破壊モード	原因	対策指針
<p>ブリスタ破壊</p>  <p>EPDM(硬度A70) : 35MPa, 100℃, 15時間水素曝露</p>	<p>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>(Oリング用ゴム材料の対策)</p> <ul 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>はみ出し破壊</p>  <p>EPDM(硬度A70) : 35MPa, 100℃, 15時間水素曝露</p>	<p>水素による膨潤のため, ゴム材料の常態値で設計された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.</p>	<p>(Oリング用ゴム材料の対策)</p> <ul 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>座屈破壊</p>  <p>EPDM(硬度A70) : 35MPa, 100℃, 3時間水素曝露</p>	<p>水素による膨潤のため, O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>(Oリング溝設計の対策)</p> <ul 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

d. 結論

ブリスタ発生メカニズム解明と解決に向けたゴム材料の研究及び評価を目的とし, ゴム材料の高圧水素耐久試験機を用い, ブリスタ発生に起因する機構側要因(圧力差, 昇圧・減圧速度等)の影響度把握を目的に高圧水素耐久試験機を用いたOリング評価を実施し, 以下の結論を得た.

1. モデル高圧水素容器によりEPDM-WC95Oリングのシール挙動を評価した結果, 一定圧力で加圧した際には定常的な透過漏れが発生し, 繰り返し加減圧を行うことにより透過漏れ量が増加することが判明した.

2. 繰り返し加減圧試験後のOリングを観察した結果, 気泡発生および気泡からき裂に至るブリスタ破壊現象が観察され, 加圧時の上限圧力が高いほど損傷が激しいことが判明した. 30°Cと100°Cにおける上限圧力70MPaでの繰り返し加減圧試験を実施した結果, 30°Cにおけるブリスタ現象は軽微であり, 破壊は見られない.
3. ゴム材料, 雰囲気温度, 水素ガス圧力のほか Oリング溝充填率, 加減圧力サイクルの環境条件として減圧時間などの制御因子とした 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.
4. 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.

参考文献

- [4-1] Atsushi Koga, Junichi Nakayama, and Hideyuki Tokumitsu, Masaya Otsuka, Junichiro Yamabe, and Shin Nishimura, Effects of Hydrogen on Materials, Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference (2009), pp. 397-404
- [4-2] Junichiro Yamabe, Shin Nishimura, and Atsushi Koga, SAE International Journal of Materials & Manufacturing, Vol. 2, No.1 (2009), pp. 452-460
- [4-3] 山辺純一郎, 古賀敦, 西村伸, 日本ゴム協会誌 83 巻 6 号 (2010), pp. 159-166

(5) 今後の課題

図 2.4.(5).1 に本研究開発項目のロードマップを、表 2.4.(5).1 に最終目標達成に向けた今後の研究課題を示す。

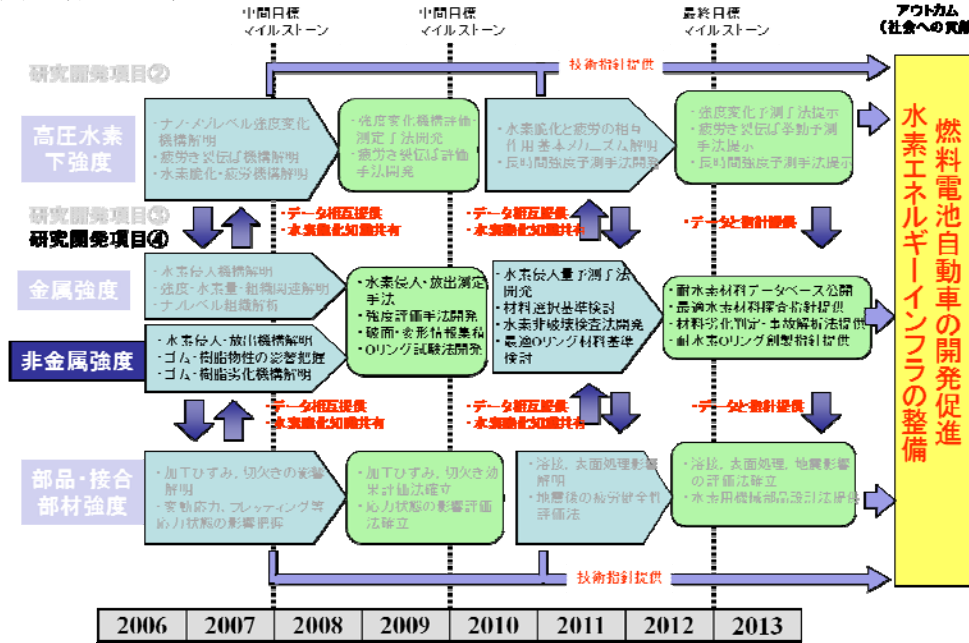


図 2.4.(5).1 本研究開発項目のロードマップ

表 2.4.(5).1 最終目標に向けた今後の課題

研究実施項目	最終目標達成に向けた、今後の課題
(1)水素機器に使用される非金属材料(ゴム・樹脂)の強度評価	<p>最終目標:耐水素材料データベース公開, 最適水素材料探査指針提供</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 高圧水素ガスシール用ゴム材料に使用可能なゴム原料および配合試薬について、系統的に水素影響を明らかにし、ゴム材料の配合設計指針を提示する。これまで、シール材として用いられる代表的な合成ゴムであるエチレンプロピレンゴム (EPDM) およびアクリロニトリルブタジエンゴム (NBR) および水素溶解量に大きく影響する充てん剤について検討を進めてきた。この他、各種の汎用的なゴム材料であるフッ素ゴム、ブチルゴム等についてもデータを取得する。 2. 高圧水素ガスシールとして使用可能な樹脂材料について、物性への水素影響に関するデータを取りまとめ、産業界に提示する。これまでポリエチレン、ポリテトラフルオロエチレンなどの単体について、標準的な仕様の入手し、物性への水素影響に関するデータ取得を進めている。これらの結果を取りまとめるとともに、ガスシール材、ガスバリア材として汎用的に使用されているポリビニルアルコール、ポリアミドなどについてもデータを取得する。
(2)水素機器に使用される非金属材料(ゴム・樹脂)の化学構造評価	<p>最終目標:材料劣化判定・事故解析法提供</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 高圧水素環境下における材料劣化を化学構造変化の観点から解明し、化学劣化に関する評価法、加速試験法を確立する。具体的には水素環境中での加熱劣化試験を実施し、水素環境中での加熱による化学構造変化を調べ、物性との相関を検討する。これにより、ゴム、樹脂材料の水素環境中での化学劣化評価法を確立する。 2. 水素中での化学劣化について、加速試験法を確立する。これに基づき、水素環境中で使用するゴム、樹脂材料についての化学劣化のマスターカーブを作成する手法を開発する。 3. ゴム、樹脂の化学構造と水素溶解量の相関を把握し、水素溶解量が低いゴム、樹脂材料の分子設計指針を確立する。

<p>(4)水素雰囲気 下における ゴム材料研 究</p>	<p>最終目標:耐水素 O リング創製指針提供</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 高圧水素シール用 O リングは水素によるブリスト破壊の発生および膨潤や熱膨張による寸法変化による破壊が発生することが判明した。ブリスト破壊に対する耐性が高く、かつ、膨潤や温度変化による寸法変化が小さいゴム配合を確立する。 2. 高圧水素シール用 O リングの溝設計指針を確立する。ゴム材料の寸法変化に対応した充填率やつぶし率の限界値や溝の表面粗さの影響などについて評価し、指針として纏める。
---	--

2.5 研究開発項目⑤「高圧水素トライボロジーの解明」

燃料電池自動車及び水素インフラ機器などで使用される軸受、バルブ、シール等の摺動材料の水素雰囲気におけるトライボロジー特性を明らかにし、トライボ設計で活用できるデータと耐水素トライボ設計の設計指針を提供することを最終目的として、以下の小項目(1)～(5)を設定して研究を実施した。平成18～20年度には小項目(1)～(4)を実施し、平成21年度に(5)を加えた。多岐にわたる摺動材料を対象としているが、産業界のニーズをふまえて対象をしぼり、データの蓄積とメカニズムの解明を行ってきた。

(1) 軸受・バルブ摺動材料の水素トライボロジー特性の調査研究

各種軸受・バルブ摺動材料の水素雰囲気中でのトライボロジー基礎特性データの蓄積とメカニズム解明をめざして、まず常圧気体中の特性の把握からスタートし、次に高圧水素に曝露した試験片による試験を行い、さらに40MPaまでの高圧水素中での試験を実施した。また、諸現象のメカニズム解明のために、摺動表面の各種分析を行って、現象の支配的因子を抽出した。これらを実施するために、小項目(2)と連携して実験装置の開発を行って研究体制を整備した。研究を通じて、無潤滑下の摺動において水素ガス中の不純物が重要な支配的因子の一つであることが明らかとなり、特にこの点に着目して装置の開発と試験の実施につとめた。

(1-1) 試験装置の導入(小項目(2)と連携)

本課題では、一方向滑り、往復動滑り、微小振幅往復動滑り、転がり接触などさまざまな摺動形態を実現するための試験装置を開発し使用しているが、ここではトランスファーベッセルを用いた実験システム、高度雰囲気制御型摩擦試験機、水素ガス曝露容器、超高压水素中摩擦試験機の開発について述べる。

(a) トランスファーベッセルを用いた実験システム

摩擦試験を行った試験片を大気にさらすことなく表面分析を行うために、トランスファーベッセルを用いて試験片を移動するシステムを導入した。(図 2.5.(1).1)これにより、大気曝露による酸化の影響を抑え、表面分析結果の信頼性を高めることができた。(図 2.5.(1).2)

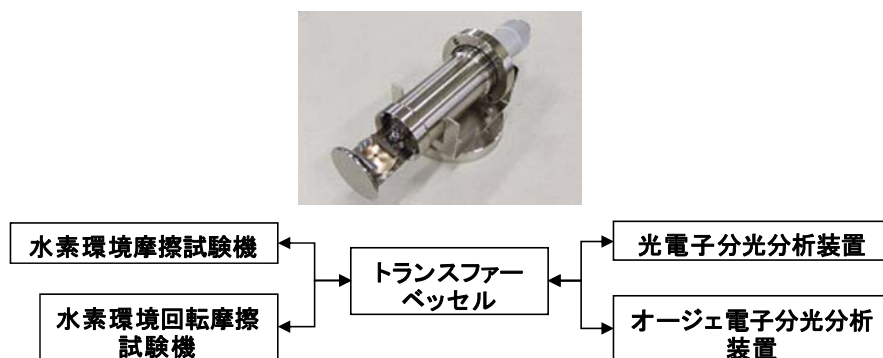


図 2.5.(1).1 トランスファーベッセルを用いた実験システム

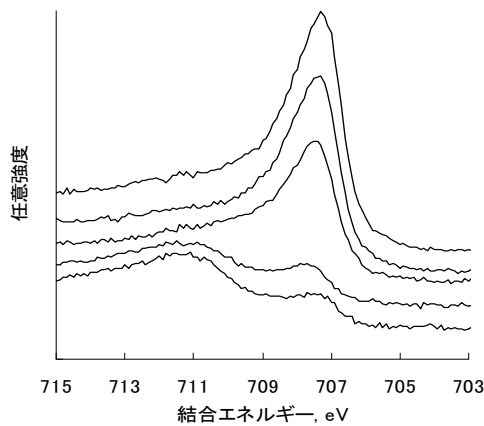


図 2.5.(1).2 トランスファーベッセルによる酸化防止の効果：エッチング後の Fe_{2p3/2} XPS スペクトル
 (A) XPS 装置内でエッチング直後 (B) XPS 装置の試料交換室内で 15 分真空保持 (C) 真空封止したトランスファーベッセルで摩擦試験装置から移送 (D) アルゴン封止したトランスファーベッセルで摩擦試験装置から移送 (E) 1 分間大気曝露

(b) 高度雰囲気制御型摩擦試験機

既存の試験機を改造した試験機、及び平成 19 年度末に導入した高度雰囲気制御摩擦摩耗試験機により、金属材料の摩擦摩耗調査を行った結果、水素雰囲気中のより微量な不純物（特に水分と酸素）の影響調査が必要であることが分かった。そこで、平成 20～21 年度にかけてガス導入系の改良、ppb レベルの水分と酸素を測定できる計測器の導入、及びサブ ppm レベルまで水分と酸素をコントロールできるガス置換方法の開発を行った。(図 2.5.(1).3)

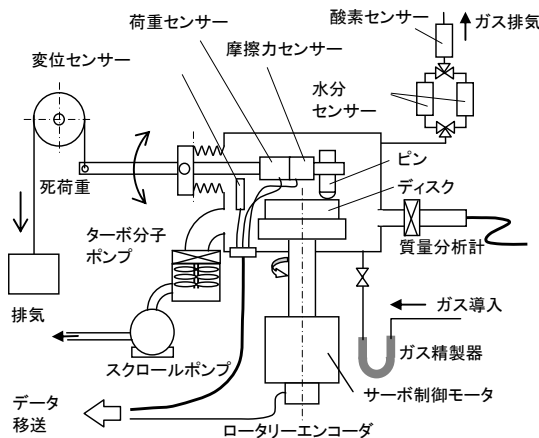


図 2.5.(1).3 高度雰囲気制御摩擦試験機

水分量と酸素量の調節は試験機の真空容器内部に吸着するガスの量をコントロールすることにより行った。具体的には、実験室内温度と湿度に応じてサンプル交換時の試験機内部の大気への暴露時間を規定し、かつ水素ガス導入前の真空度と導入した水素ガス中の不純物水分量の関係を求めることにより行った。本試験機により実施可能となった水分量範囲は下図 図 2.5.(1).4 a) である。参考のために旧試験機で可能であった調査範囲を b) に、従来行われてきた、相対湿度と捉えられる水分での調査範囲を c) に示す。なお、開発した試験技術でも、水分量と酸素量を独立してコントロールすることはできず、水分量 2ppm 以上の範囲では酸素

量が水の約 10%となっていた。水分量と酸素量を独立にコントロールする実験技術は次期以降の課題として残された。

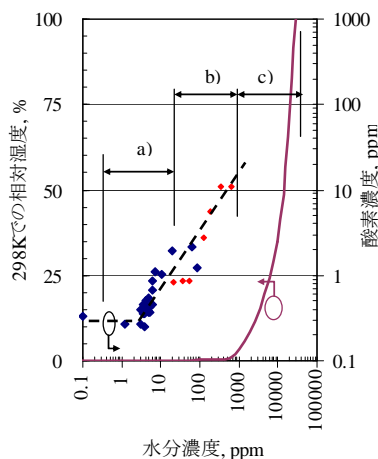


図 2.5.(1).4 調査した水素ガス中の水分量の範囲とその時の酸素

(c) 水素ガス曝露容器

高圧水素の影響を調査するためには、高圧水素中で試験を行う必要があるが、装置自体の開発から始める必要があった。そこで、高圧水素中における摩擦試験を模擬する試験として、高圧水素中に曝露した試験片による常圧水素中の試験を行った。高圧水素中に曝露するための設備として水素ガス曝露容器を導入した。本容器の最大圧力は 40MP、最高温度は 100°Cである。この容器は、摩擦試験用の試験片の曝露だけでなく、高圧水素による表面の変化を分析するための分析試験片の曝露にも用いた。

(d) 超高圧水素中摩擦試験機

超高圧水素摩擦試験機を開発した。(図 2.5.(1).5)ピン・オン・ディスク形式の摩擦試験機を圧力容器内に据え付け、雰囲気圧力 40 MPa までの摩擦試験を可能とした。負荷レバー上の重錘によりピン試験片軸方向に荷重を与え、サーボモータによりディスク試験片を回転することにより、一定荷重、一定速度条件下での滑り摩擦試験を行う。試験片間に生じる摩擦力および接触荷重は、ピン試験片取り付け基部に位置する二軸ロードセルにより計測される。ここで、サーボモータから鞘管内に封入されたディスク回転軸への動力伝達には、最大伝達トルクが 10 N・m を超える大容量マグネットカップリングを使用し、回転軸固定部に円錐ころ軸受を組み合わせた軸受ユニットを設置することで、ディスク試験片の回転精度を保証した。圧力容器は温調のための熱媒層および真空断熱層に覆われており、内部の雰囲気温度を 223~373 K に調整可能である。

摩擦試験機はグローブボックス内に設置されており、圧力容器の開閉は油圧式の昇降機により行う。摩擦試験機への試験片取り付けおよび圧力容器内の雰囲気調整後、グローブボックス内は真空排気され、その後大気圧まで窒素ガスが充てんされる。これにより滑り試験中の高圧容器を大気から隔離し、安全性を向上させる。また試験終了後は、容器内の試験ガスを一

且窒素ガスに置換した後、圧力容器を解放する。ここで、窒素ガスで満たしたグローブボックス内において、実験後の試験片をトランスファーベッセルに収納すれことで、試験片を大気に晒すことなく表面分析装置へ移送することが可能である。

高圧ガスの供給は、隔壁により摩擦試験機から隔てられた高圧ガスコンプレッサから、高圧ガス配管を介して行う。可燃性ガスである水素を 40 MPa まで昇圧し実験を行うためには、試験機およびそれを設置する実験室が、高圧ガス保安法に定められた安全基準を満たさなければならない。そのため実験室の壁はすべて隔壁としての強度を有し、内部に設置された電灯、真空ポンプ、サーボモータ等は、すべて本質安全防爆構造となっている。計測に用いるロードセル等についても、ツェナーバリアにより安全性能を確保した。また試験機上方に大型排気フードを設け実験室内部を換気するとともに、その内部の水素センサーが基準濃度以上の水素を検出した際には、試験機へのガスと電気の供給を自動的に遮断することとした。水素センサーは試験機本体にも設置されており、圧力容器シール部からの水素漏洩を監視している。その他の計測用機器や熱媒用温調機等、防爆構造を有しない装置は隔壁外の制御室に設置した。装置の操作盤も制御室内に設置されており、容器内圧力が 1 MPa を超えた後の操作は、すべて制御室より遠隔にて行うこととした。

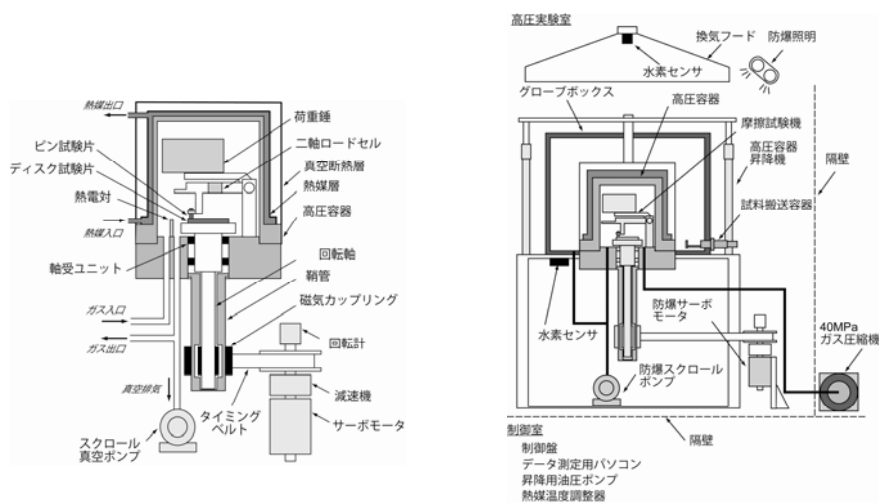


図 2.5.(1).5 超高压水素摩擦試験機

(1-2) バルブ用摺動材料の往復度摩擦試験

水素用バルブ摺動材料として広く使用されているステライト 6B とステンレス鋼 SUS316 について、高圧水素曝露も含め、種々のガス雰囲気における摩擦摩耗を比較した。摩耗形態は真空中では凝着摩耗、空気中では酸化摩耗であり、水素中ではその中間の様相を呈していた。摩擦係数の大小は必ずしも摩耗の大小と対応しておらず、これは摩耗に伴う接触面の変化の影響と考えられる。高圧水素曝露試験片の水素中での摩擦面は真空中のそれに近く、これは初期表面酸化膜の状態の違いのためと考えられる。XPS による表面分析を行った結果、表面の酸化の程度と摩擦係数との間に相関関係がみられた。

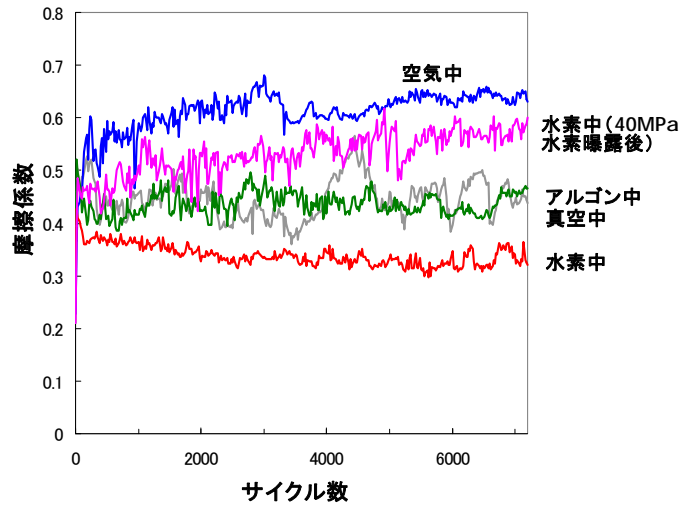


図 2.5.(1).6 種々の雰囲気におけるステライト 6B の往復動摩擦試

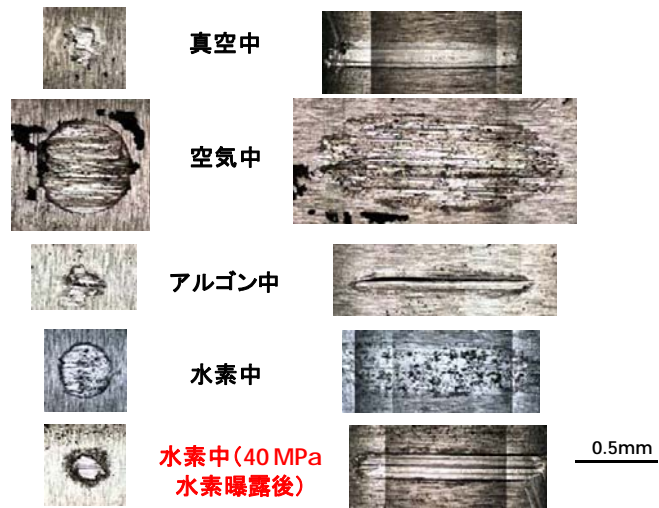


図 2.5.(1).7 種々の雰囲気におけるステライト 6B の摩擦面

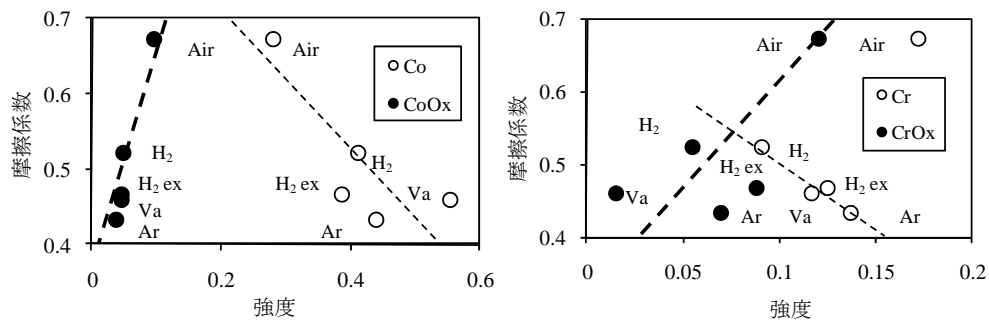


図 2.5.(1).8 ステライト 6B の摩擦面における金属と酸化物量と摩擦係数の関係

上記2材料について、雰囲気の影響を詳細に調べた。まず、酸素の影響を調べるために、窒素ガス中の酸素濃度をさまざまに与えて往復動摩擦試験を行った結果、両材料の摩擦摩耗特性は酸素濃度に影響を受け、酸素濃度が高いほど摩擦係数、摩耗量とも大きくなることがわかった。また、摩耗痕の XPS 分析により、酸素濃度が高いほど摩擦面内部まで酸化が進むこと、酸素 0.1%, 0%においても最表面に酸化物ないし水酸化物が形成されることがわかった。すなわち、いずれの材料も本試験条件においては酸化摩耗が支配的である。

さらに、ガス中の水分量の影響を調べた。ステライト 6B は、数百 ppm 以上では水分量が多いほど摩擦も摩耗も低下することがわかった。水分と酸素の両方の作用を明らかにするために、窒素ガス中の酸素濃度と水分量をさまざまに与えて往復動摩擦試験を行った結果、ステライト 6B は酸素濃度によらず湿度数%で摩擦係数が最大値をとり、また水分量が少くかつ酸素濃度が高いほど比摩耗量が高い。一方、SUS316 は、酸素濃度が低い場合は水分は摩擦を増加させ、酸素濃度が高い場合は水分は摩擦を低下させ、比摩耗量はいずれの酸素濃度においても湿度 1~10%で高くなることがわかった。

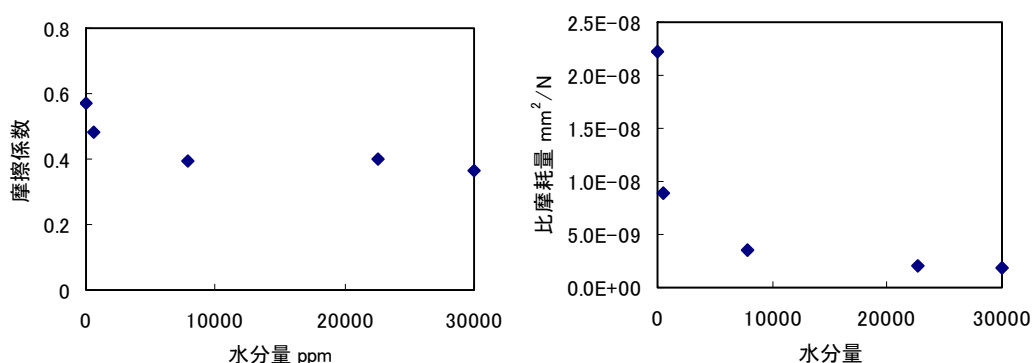


図 2.5.(1).9 ステライト 6B の水素中の摩擦摩耗：水分量の影響

さらに、上記2材料を含む一般用バルブ摺動材料の常圧中の摩擦摩耗に及ぼす水素雰囲気の影響の往復動摩擦試験を、種々の荷重条件下で行った。また高圧水素曝露試験片を用いた試験も行った。このなかで水素中で優れたトライボロジー特性を示す材料は、タングステンカーバイド(超鋼)、ステライト 6B、及びステンレス鋼 SUS316 であった(表 2.5.(1).3、4)。これらに比べ、ニッケル系の合金であるモネル、ハステロイの特性は著しく悪かった。水素雰囲気中での優劣については次項のピンオンディスク試験の結果とあわせて考察する。

表 2.5. (1).1 供試材料

材料	表面硬さ HV	算術平均粗さ Ra μm
ハステロイ B (HB)	274	0.158
ハステロイ C276 (HC)	286	0.166
モネル M-400 (M400)	188	0.190
モネル M-K500 (K500)	236	0.363
SUS630	444	0.293
SUS316	221	0.275
ステライト 6B (ST6)	380	0.119
WC	1265	0.066

表 2.5. (1).2 試験条件

荷重 N	0.49, 0.98, 1.96, 3.92
最大ヘルツ圧 GPa	0.58, 0.73, 0.92, 1.2
周波数	2Hz
ストローク	1mm
潤滑	無潤滑
雰囲気	アルゴン, 水素
サイクル数	7200
滑り距離	14.4m

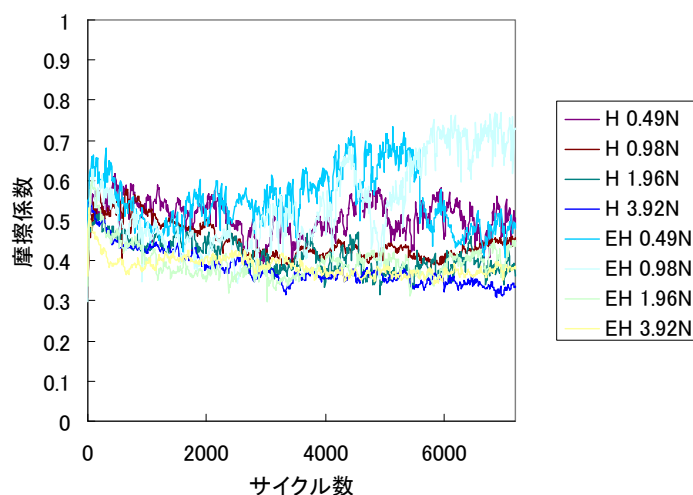


図 2.5.(1).10 ステライト 6B の水素中での摩擦係数：水分量 3-7ppm
EH は高圧曝露試験片、H は非曝露試験片

表 2.5.(1).3 高水分量(20~60ppm) での水素中の摩擦摩耗の良否 (左が摩擦、右が表面損傷)

	0.49N	0.98N	1.96N	3.92N
ハステロイ B	×△	×△	—	—
ハステロイ C	○△	○△	○×	—
モネル M400	○△	○×	○×	—
モネル K500	○△	○△	○×	—
SUS630	○△	○×	○×	—
SUS316	○○	○○	○△	○×
ステライト 6B	○○	○○	○○	○△
WC	○○	○○	○○	○○

表 2.5.(1).4 低水分量(3~7ppm) での摩擦摩耗の良否 (左が摩擦、右が表面損傷)

	0.49N	0.98N	1.96N	3.92N
ハステロイ B	×△	—	—	—
ハステロイ C	×△	—	—	—
モネル M400	×△	—	—	—
モネル K500	×△	—	—	—
SUS630	○△	○×	○×	○×
SUS316	○○	○○	○△	○×
ステライト 6B	○○	○○	○○	○○
WC	○○	○○	○○	○○

(1-3) 各種材料のピンオンディスク試験

(i) 純金属の摩擦摩耗

軸受やバルブに使われる金属材料のトライボロジー特性に及ぼす雰囲気の影響を明らかにする目的で、純金属を含む種々の材料のピンオンディスク試験を高度雰囲気制御摩擦試験機を用いて行い、水素の表面吸着と反応、水素侵入による材料特性の変化、不純物成分の影響のメカニズムを探求した。

図 2.5.(1).11 に周期律表の族を横軸として摩擦係数と比摩耗量を示す。比摩耗量はピンとディスクの合計を示した。これらの金属においては、ピン、あるいはディスクから相手試験片への材料の移着がおり、重量増加を起こした場合があったためである。

これら二つの図においては Ti、V、Cr、Fe、Ni は一つの集団と見なしても差し支えないであろう。これらの金属は大略同じレベルの比摩耗量を示しており、摩擦係数も 1 以下の範囲で原子番号の増加と共に摩擦係数も直線的に増加しているなど、ある傾向が見

られる。これらに対して、残りの Pd、Cu、Ag、Au、Zn、Al、Sn はいずれも 1 以上の高い摩擦係数を示しており、明らかに先に述べた集団とは異なる傾向を示している。これらの金属では Al と Sn 以外は比摩耗量が少なくなっており、一つのグループを形成しているように見える。

Ti、V、Cr、Fe、Ni は 100~200 μm 程度の大きさの揃った塊状の摩耗粉を生成した。Pd、Cu、Ag、Au、Zn は摩擦面も摩耗粉も荒れた金属様の外観で、少数の不揃いで >200 μm と大型の摩耗粉を生じた。Al と Sn は、互いに異なる様相を示しており、Sn は直径数十 μm のころ状摩耗粉を、Al は 1mm 弱の塊状摩耗粉を生成した。また Al は試験した金属種中最大の摩耗量を示した。

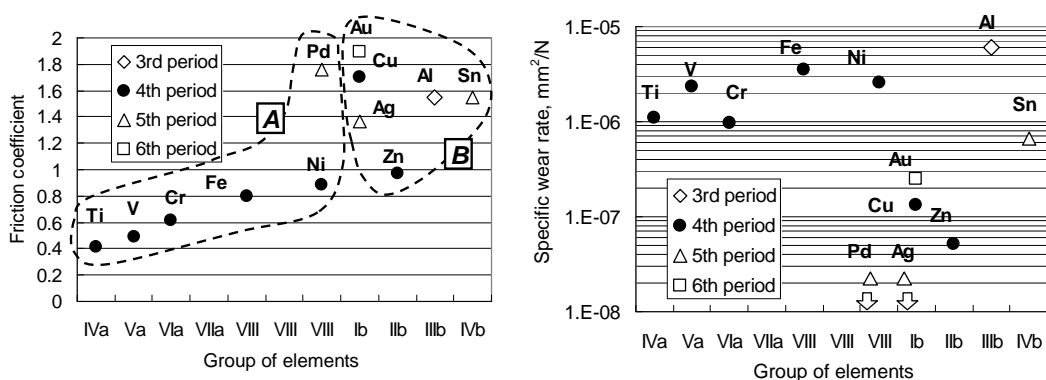


図 2.5.(1).11 各種純金属の水素中における摩擦係数と比摩耗量
荷重 10N、滑り速度 63mm/s、滑り距離 126m

(ii) 金属の摩擦摩耗に及ぼす水素中の微量水分の影響

次に、水素ガス中に含まれる微量水分の影響について調べた。試験条件は、荷重 10N、摩擦速度 62.8mm/秒、摩擦距離 126m で統一した。水分と酸素の供給は、試験機チャンバー内部の吸着ガスなどからなされるため、それらの濃度は時間変化する。そのため、試験はこれらの濃度が比較的安定している 53 分から 66 分の間で行った。図 2.5.(1).12~15 に示すように、純鉄、純アルミニウム、軸受鋼、SUS316L とともに、サブ ppm から数十 ppm の水分や 1ppm 以下程度の酸素により、摩擦摩耗特性が大きく影響を受けていることが分かる。

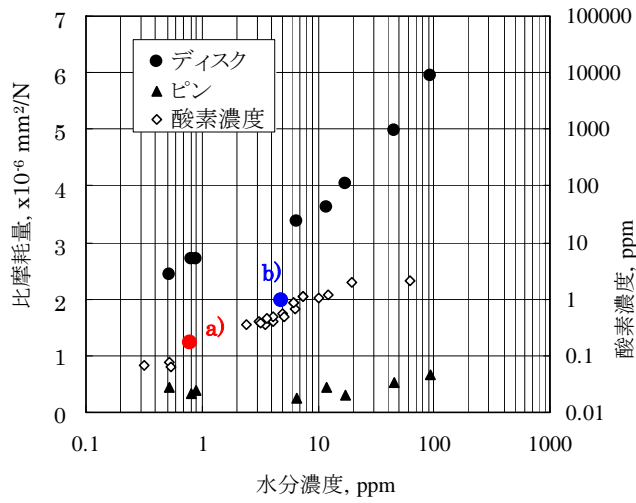


図 2.5.(1).12 鉄 (>99.9%) の摩擦特性に及ぼす水素中不純物濃度の影響
 a)市販 99.999%水素中の不純物実測値 b)市販 99.999%水素中の不純物保証値

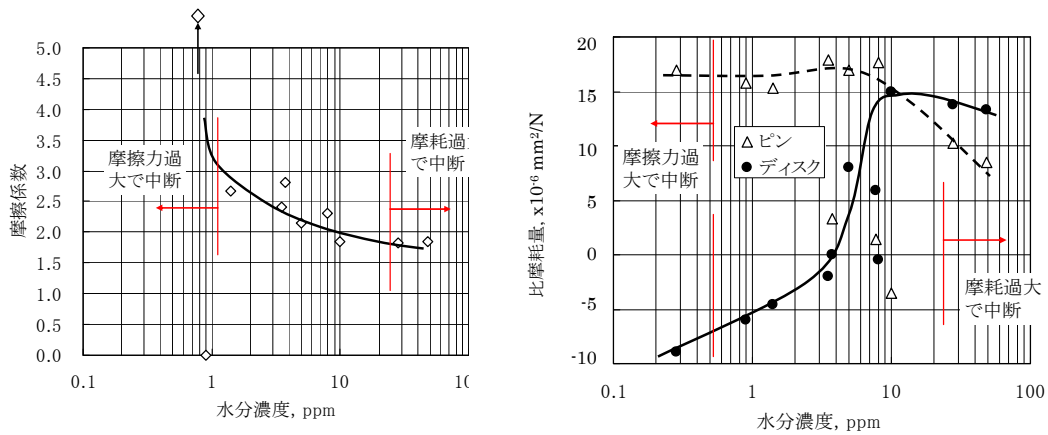


図 2.5.(1).13 純アルミニウム (>99.9%) の摩擦摩擦に及ぼす水素中不純物濃度の影響

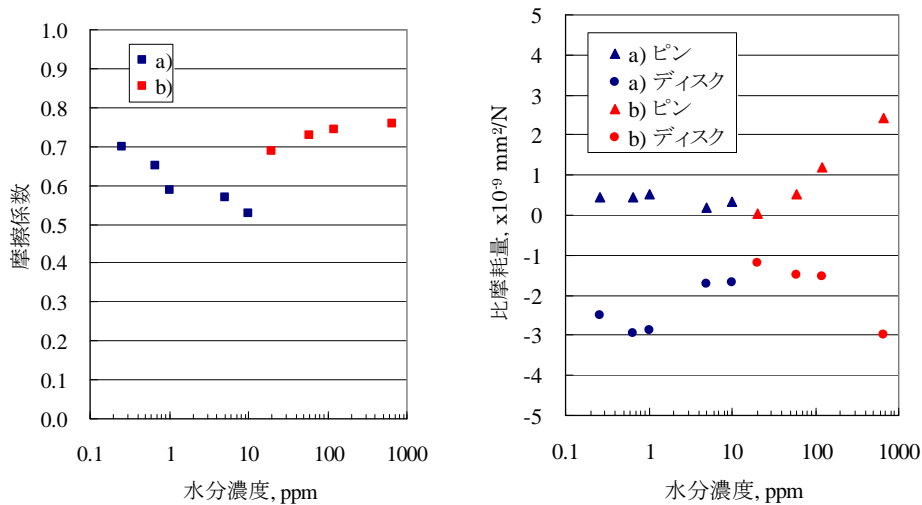


図 2.5.(1).14 軸受鋼 SUJ2 の摩擦摩耗に及ぼす水素中不純物濃度の影響

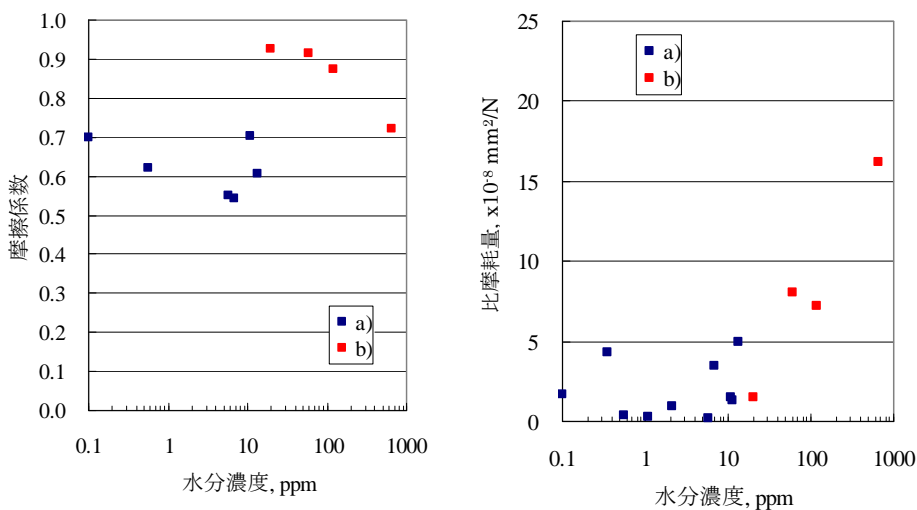


図 2.5.(1).15 SUS316L の摩擦摩耗に及ぼす水素中不純物濃度の影響

エネルギー媒体としての水素としては 99.99%純度の物が使われていることになっている。その際の水分量、酸素量は ISO により 5ppm 以下であることが提案されている。市販の 99.999%純度の水素を調べたところ、保証値が水分量は 5ppm 以下、酸素は 1ppm 以下であったが、実際に測定してみると水分、酸素ともにその 1/10 程度となっていた。水素ガス中の水分量や酸素量は製造方法や精製方法によってばらつくことが予想されるために ISO の提案値はやや大きめの濃度が指定されているものと思われる。従って、燃料電池自動車などの普及により莫大な量の水素が供給されるようになった場合、これらの不純物濃度は広範囲にばらつく可能性が

ある。また、燃料電池自動車に使われる個体高分子タイプの燃料電池では、樹脂内のイオン電導を確保するためある程度加湿した水素を使うことになっており、トライボロジー部品は、これまでに述べてきたよりもかなり高い水分濃度の水素に曝される可能性が高い。

以上述べてきた水素ガス使用に関わる状況を勘案すると、シールやベアリングなどのトライボロジー要素は水素ガス中のかなり広い水分濃度、酸素濃度において安定した特性を示す必要がある。今回のトライボロジー特性に関する調査結果は、述べてきたような不純物範囲で材料のトライボロジー特性が大きく変動する様子を示しており、不純物量に関わらず良好なトライボロジー特性を示す材料の探索と、0.1ppm以下の水分量、酸素量での調査を可能とする実験技術確立が必要であると考えられる。

(iii) 摩擦における水と酸素の挙動

高精度かつレスポンスの良い水分計と酸素系の導入により、しゅう動試験による水分量と酸素量の変化が測定できるようになった。SUS316Lとそれを構成している純金属のしゅう動による水分と酸素濃度の変化を図 2.5.(1).16、17 に示す。しゅう動により酸素は全ての金属において消費されることが分かる。これはしゅう動により現れた金属の新生面のダングリングボンドを塞ぐために酸素が使われたためと想像される。今回調査した純金属ではしゅう動終了後も酸素の消費が続いたが、これは最表面のみならず、表面近傍の金属も酸化するために酸素が使われたためと考えられる。SUS316Lにおいてはしゅう動試験終了と同時に酸素の消費が停止するが、これはステンレス鋼特有の酸化防止膜の形成により、内部の酸化が抑えられるためと考えられる。次に水分濃度であるが、FeとNiにおいてはしゅう動により増加する傾向がみられた。これは、FeとNiの触媒作用により水素と酸素の化学反応が誘起されたためと考えられる。水の生成はしゅう動試験が完了しても継続する傾向が顕著であり、摩擦により形成された面が触媒作用を維持することが分かる。また、FeとNiにおけるしゅう動試験後に継続する酸素の消費は、内部の酸化のみならず、水の生成にも使われているものと想像される。それに対して、酸化活性の高いCrとMoではしゅう動期間中のみ水分も消費されている。これはこれらの金属が水分子に含まれる酸素と反応して酸化した、あるいは水酸化物を生成するために水が消費されたためと考えられる。SUS316Lのしゅう動は水分濃度に影響を与えていないように見えるが、これは構成元素であるFeとNiが水を生成し、CrとMoが水を消費する傾向がバランスしたためか、新生面が瞬時に酸化防止膜で覆われるために水との反応が妨げられたためと想像される。

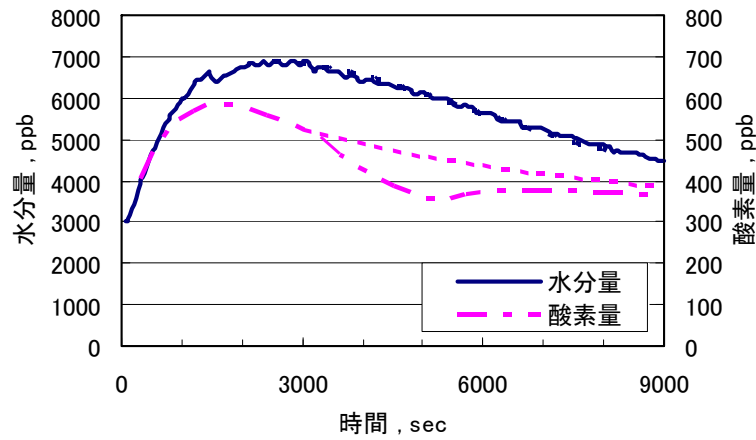


図 2.5.(1).16 SUS316L の摩擦による水素中の水分と酸素の濃度変化

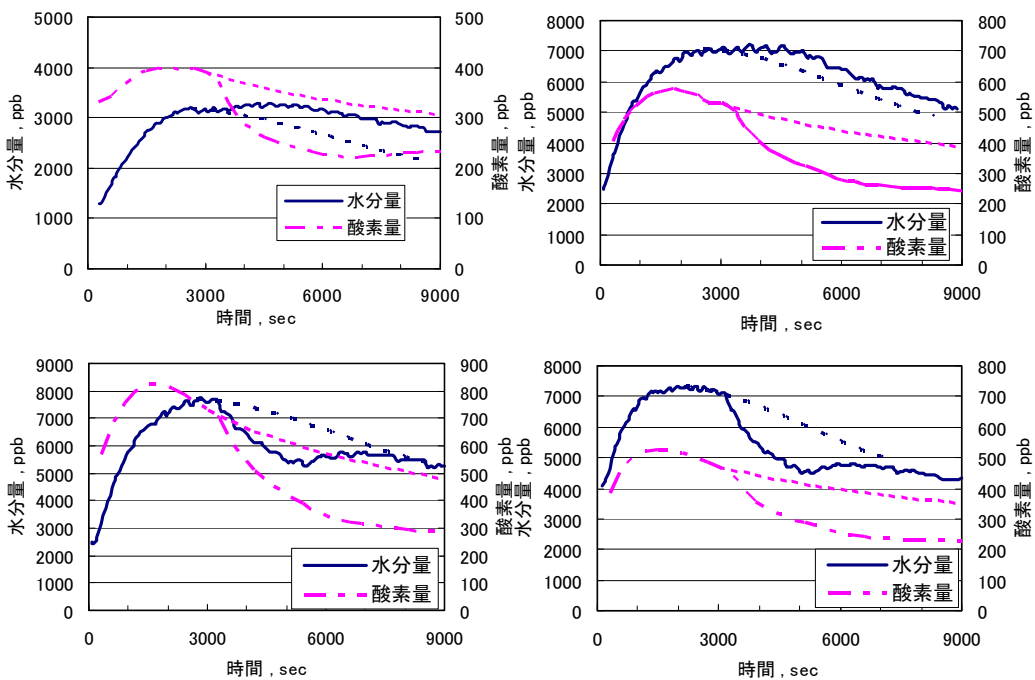


図 2.5.(1).17 各種金属の摩擦による水素中の水分と酸素の濃度変化

左上：Fe、右上：Ni、左下：Cr、右下：Mo

以下に、純金属の摩擦摩耗に及ぼす水素の影響をまとめる。

- 1) 遷移金属は、水素の化学吸着によって摩擦摩耗が抑制される。特に4A, 5A 族の Ti や V は水素の化学吸着に加えて水素化物の生成によって摩擦係数が低減される。
- 2) 非遷移金属は、水素自体が摩擦摩耗に影響を及ぼさない。ただし Al や Sn は水素化物の生成が摩擦摩耗に影響する可能性がある。

次に、純金属の摩擦摩耗に及ぼす水素中の水と酸素の影響をまとめる。

- 1) 酸化活性の高い Cr、Mo などは、酸素の化学吸着、及び金属と水、酸素両方との反応によって摩擦摩耗が抑制される。
- 2) 酸化活性が中程度の Fe などは、酸素の化学吸着、及び金属の酸素による酸化によって（酸素濃度が低い場合は、上記に加えて水による酸化によって）摩擦摩耗が抑制される。ただし、極高温では水素により酸化物が還元され摩擦摩耗抑制効果が失われる。
- 3) 酸化活性が低い Cu などは、酸素の化学吸着、及び金属の酸素による酸化によって摩擦摩耗が抑制される。ただし、高温では水素により酸化物が還元され摩擦摩耗抑制効果が失われる。
- 4) 酸化活性のさらに低い Ag などは、酸素の化学吸着により摩擦摩耗が抑制される。
- 5) 酸化活性の全くない Au は、水や酸素の化学吸着ないし反応による摩擦摩耗抑制効果は期待できない。

(iv) 統一条件下の摩擦摩耗データ

実用水素ガスを想定し、水素中の水分約 5ppm、酸素約 0.5ppm を統一条件として鉄系およびアルミニウム系合金の摩擦試験を行い、摩擦摩耗特性の比較を行った。(図 2.5.(1).18)これにより、実用的には各材料間の摩擦や摩耗特性の相違を知ることができる。またそれらの相違と添加元素の種類や量の関係について考察を深めることにより、将来的には、上述の影響因子に対する合金化の影響が明らかになることが期待される。

摩擦係数に関しては、Fe、Cr、Niと鉄系合金が約 0.6 から 1.0 の間の値を示した。鋳鉄系の材料が低い摩擦係数を示すことが期待されたが、概ね 0.8 程度であり他の鉄鋼系材料と大差なかった。Al と工業的に純アルミニウムとみなされる A1050 は 1.5 を超える非常に高い値を示したが、他のアルミニウム系合金は逆に 0.4 程度と相対的に低く、ほぼ同じ値を示していた。

摩耗量に関しては、ディスクからピンへの移着の影響が認められる場合が多いなど、材料の対しゅう動性能という観点からの判断は難しい。そのような事情を勘案しても、マルテンサイト系鉄鋼材料である SUJ2 と SUS440C の摩耗量が比較的少なかった。逆に、鋳鉄と合金成分の少ないアルミニウム系合金は、突出して摩耗量が大きく、水素雰囲気における同種材とのしゅう動は避けるべきであることが分かる。

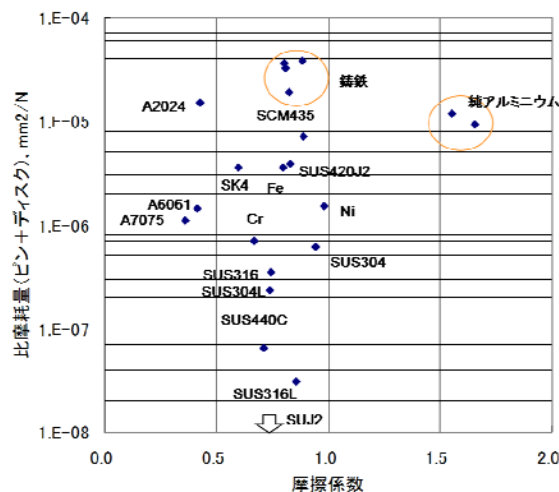


図 2.5.(1).18 統一条件による各種金属材料の摩擦係数と比摩擦耗量

(v) 高圧水素曝露した鋼の摩擦

高圧水素に曝露した試験片の摩擦試験を行った。以下に軸受鋼 SUJ2 についての結果を示す。試験条件は、荷重 10N、摩擦速度 62.8mm/秒、摩擦距離 126m で統一した。水素純度の条件として、条件 A（水分量およそ 5ppm）と条件 B（水分量およそ 40ppm）を設定した。曝露条件は 40MPa、373K、200h である。

滑り距離に対する摩擦係数の変化を図 2.5.(1).19 に示す。曝露材は、摩擦初期は 0.2 程度の低摩擦係数を示し、これは次に述べる高圧水素中の試験結果と類似である。しかし、滑り距離 10m 程度で急上昇し、非曝露材の摩擦係数との有意差がなくなる。高圧水素曝露によって生じた摩擦低減効果（以下の節で述べる）が摩擦のごく初期のみに有効であったと考えられる。

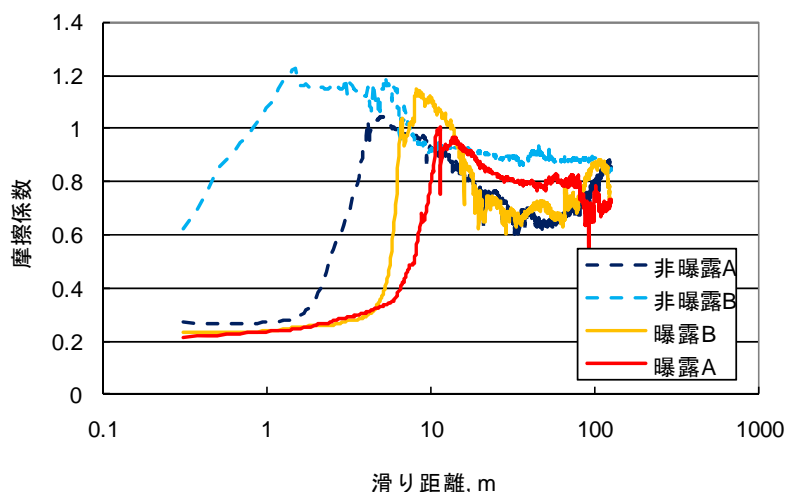


図 2.5.(1).19 高圧水素曝露した SUJ2 の摩擦係数

A : 水素中水分 5ppm、B : 水素中水分 40ppm

(vi) 鋼の高圧水素中摩擦試験

開発した高圧摩擦試験機を用いて、水素ガス圧力として 0.3, 10, 40MPa の 3 通り、温度として 298K と 373K の 2 通りの水素ガス中で、軸受鋼 SUJ2 の摩擦試験を行った。試験条件は、荷重 10N、摩擦速度 62.8mm/秒、摩擦距離 126m とした。

図 2.5.(1).20 に試験期間中の平均摩擦力を示す。摩擦係数は、雰囲気圧力が高いほど 298K ではわずかに上昇し、373K では逆にわずかに減少する傾向がみられる。298K での摩擦係数は、従来の SUJ2 の常圧中試験で得られた値とほぼ同じ 0.7 程度であった。これに対して 373K での摩擦係数は 0.3MPa で 0.23 程度、40MPa では 0.17 程度と、無潤滑の鋼同士の摩擦としては極めて低い値を示した。これらの低い摩擦係数は、試験開始時から最後まで安定して得られた。

298K におけるピンの比摩耗量は $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{mm}^2/\text{N}$ の範囲に分布しており、室温、常圧での水素中不純物の影響を調査した結果と比較すると、水分が 100ppm 以上の場合と同等のレベルである。これに対して、373K での比摩耗量は一桁以上小さな値である。

ピンおよびディスクの摩擦面の光学顕微鏡で観察したところ、黒色半透明な膜、あるいはそれが破砕したと見られる粉が観察された。AES による表面分析、及び次節で示す分析結果から、373K の水素中において SUJ2 の表面層に炭素が現出し、この潤滑作用が低摩擦、低摩耗をもたらしたものと推定される。一方、99.9%純鉄について 10MPa, 373K の条件で摩擦試験を行ったが低摩擦現象は見られず、表面に有意な炭素量は検出されなかった。従って、SUJ2 表面層の炭素は、雰囲気由来の汚染ではなく、SUJ2 内部から供給されたものと考えられる。高圧高温の影響とともに、しゅう動に伴う力学的作用がどのように影響したかについて、さらなる調査、検討が必要である。

なお、用いた装置は高い雰囲気圧力を実現するため、雰囲気の純度を検証することが困難であったが、これまでの知見から相当量の水分が含まれ、摩擦摩耗に影響を及ぼしていると推測される。不純物に関わる検証が来期以降の課題である。

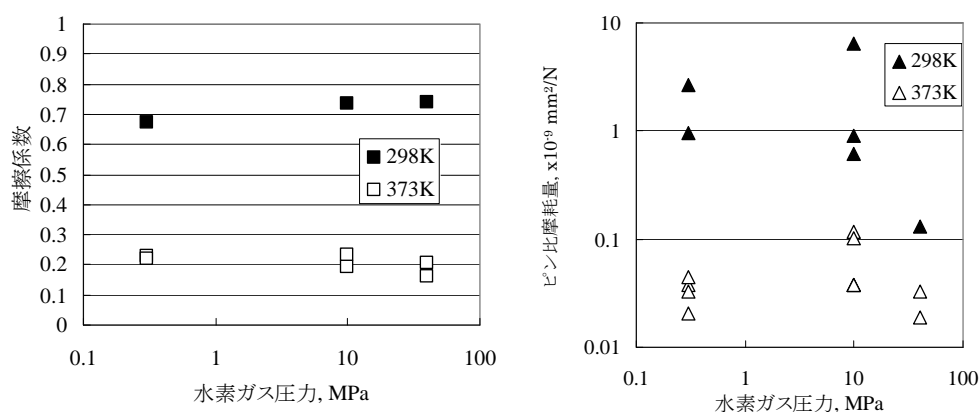


図 2.5.(1).20 SUJ2 の摩擦係数と比摩耗量に及ぼす水素ガス圧力と温度の影響

(1-4) 高圧水素曝露による影響の調査

高圧水素曝露した各種鋼材について、各種表面分析、原子間力顕微鏡による測定、微小硬度測定などを行った。曝露条件は、圧力 40 MPa、温度 303 K および 373K、曝露時間 65 時間および 200 時間とした。径 14 mm、厚さ 4 mm の円板状の試験片を用いた。以下に軸受鋼 SUJ2、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS440C、およびオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316、SUS316L の 4 種類について結果を示す。

まず、曝露試験片の水素吸蔵量の昇温脱離分析法（以下 TDS）による測定結果を表 5 と図 2.5.(1).21 に示す。材料ごとに未処理材の水素量、曝露後の水素量は異なる。オーステナイト系ステンレス SUS316、SUS316L においてはいずれも高く、次いでマルテンサイト系ステンレス SUS440C である。いずれも 373K での水素侵入量が顕著であるのに対し、303K においては高圧水素曝露による侵入量の増加は極めて小さいことがわかる。これは不動態膜の水素遮蔽効果のためであり、高温 373K においてその効果が低減したものと考えられる。これに対して、SUJ2 は侵入量の絶対値は小さく、373K に比べて 303K の水素侵入量は少ないが、温度の効果は上記ステンレス鋼ほど顕著ではない。TDS の昇温プロファイルは材料ごとに異なり、また水素の放出ピークの一部は水の放出ピークと一致しているものもあった。これは、昇温時の水の脱離ないし表面酸化膜の分解を意味している。

以上の結果は、一般に知られている水素侵入に及ぼす圧力と温度の影響から単純に解釈することはできず、以下で述べるとおり表面の酸化状態の違いが関与していることを示唆している。

表 2.5.(1).5 TDS による水素量測定結果（単位 ppm、昇温速度 10°C/min）

曝露温度, K	未処理	303		373	
		65	200	65	200
曝露時間, h					
SUJ2	0.043	0.116	0.298	0.716	0.812
SUS440C	0.0076	0.03	0.02	2.64	3.64
SUS316	1.2		1.25	5.04	7.91
SUS316L	1.38		1.46	2.84	5.34

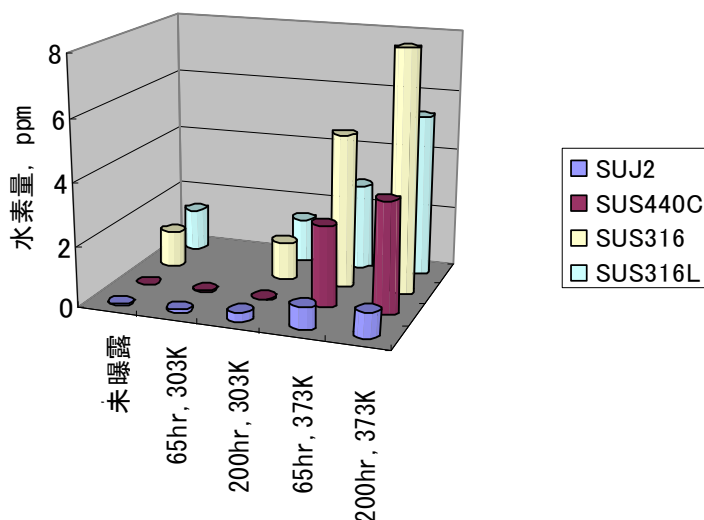


図 2.5.(1).21 TDS による水素量測定結果 (昇温速度 10°C/min)

次に、X 線光電子分光法 (以下 XPS) による表面分析結果を示す。図 2.5.(1).22 は SUJ2 表面の XPS 分析によって得られた酸素と炭素の組成比を表面からの深さに対してプロットしたものである。エッチング速度は SiO_2 換算で 3.8 nm/min である。図から、303K での曝露では鋼の表面酸化が進み、373K では酸化の抑制、ないしは還元が起こったことがわかる。SUS440C、SUS316、SUS316L においても類似の傾向がみられた。したがって、このような表面の組成の違いが、上述の水素侵入量の違いに影響したと考えられる。

一方、炭素の深さ方向分布からわかるように、373K での水素曝露によって表面層に炭素が析出していることがわかる。数ナノメートルの厚さにわたって炭素が検出されており、これは単なる最表面の汚染層だけでなく、鋼の内部から析出したものである。オージェ電子分光法 (以下 AES) による SUJ2 表面の分析から、炭素は島状に分布しており、SUJ2 内に分散している直径数ミクロン以下の球状セメントの面分布と一致しており、セメントから離脱した炭素が表層に拡散した可能性が高いことがわかった。高圧水素中及び高圧水素曝露材の摩擦試験において観察された低摩擦は、この炭素による固体潤滑作用である可能性が高い。しかし AES-REELS 分析によって sp^2 結合の信号をとらえることはできず、現時点では析出した炭素は非晶質カーボンであると考えている。また、原子間力顕微鏡による LFM (Lateral Force Microscopy) 測定においても、図 2.5.(1).23 に示すように高摩擦スポットとして炭素の存在が検出された。

以上から、303K の高圧水素曝露により酸化されるが、373K の高圧水素曝露で酸化は促進されず、炭素の層が厚く検出される。この表面膜の組成の違いが、前述の水素侵入量の劇的な変化をもたらしたと考えられるとともに、これらが高圧高温水素中及び、高圧水素曝露試験片の低摩擦係数に影響したと考えられる。

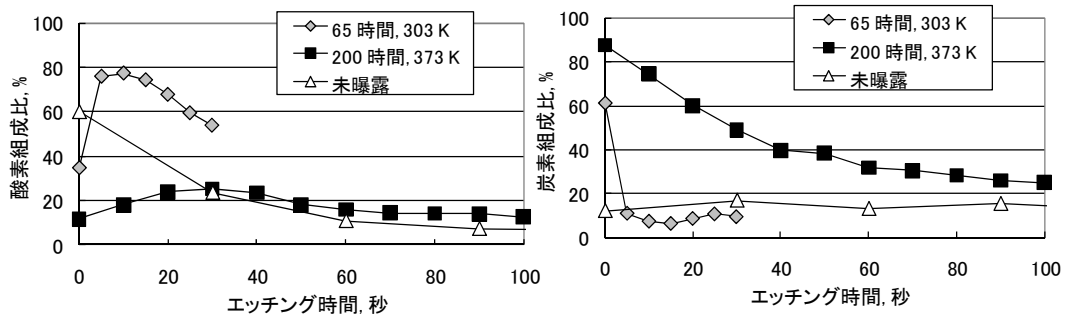


図 2.5.(1).22 高圧水素曝露した SUJ2 表面の XPS 分析 (左が酸素、右が炭素)

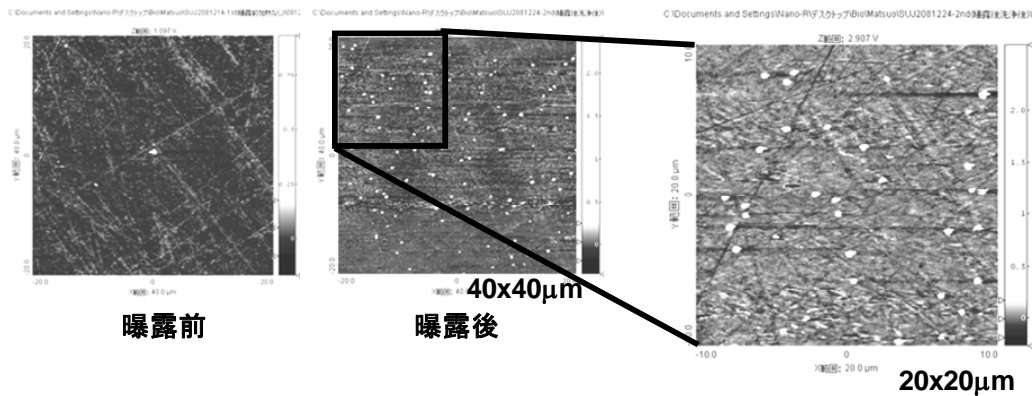


図 2.5.(1).23 高圧水素曝露した SUJ 2 表面の AFM (LFM) 像 (曝露条件 40MPa、373K、200 h)

研究小項目(3)で示すように、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜は水中で良好な摩擦特性を示す。しかし、DLC 膜の高圧水素曝露を行ったところ、膜が基材界面から剥離する場面があることがわかった。この原因について SIMS を用いて調査した。対象とした DLC 膜は標準的な水素化 DLC 及び水素フリーDLC である。SIMS によって深さ方向の水素の分布を測定したところ、水素は DLC 膜内に容易に侵入し、基材(SUJ2)との界面付近に大量に停留することがわかった。この停留水素による体積変化が剥離につながった可能性が高い。したがって、DLC の利用においては、水素停留の抑制と、停留によって生じる応力に耐えうる DLC-基材間の密着強度の確保が必須と考えられる。

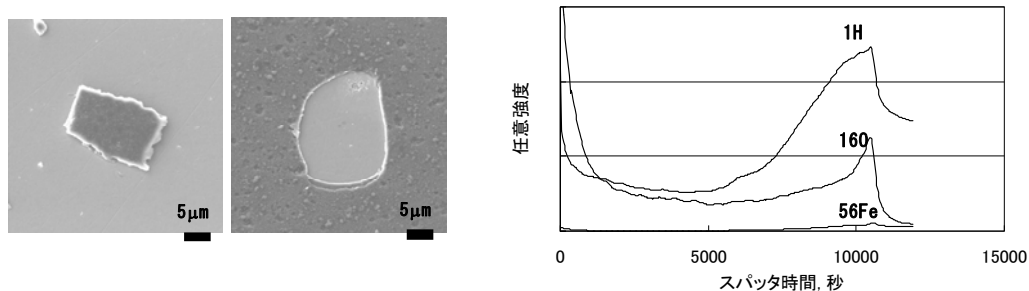


図 2.5.(1).24 高圧水素曝露による DLC 膜の剥離の様子(左)と SIMS 測定例(右)
(曝露条件 40MPa、373K、200 h)

(1-5) 微小往復動摩擦試験

種々の鋼について、平面と球による点接触微小振幅往復動試験を実施した。この接触形態において、フレッチング摩耗への雰囲気ガスによる影響、水素の純度の影響、高圧水素曝露による影響が若干みられるものの、顕著な違いは見いだせなかった。

(1-6) 転がり疲れ試験

転がり軸受は水素インフラにおいて欠かせない機械要素であり、一般に知られる水素脆化による表面疲労損傷のメカニズムの理解と損傷防止策の検討が急務である。本プロジェクトの他の項目でのしゅう動状況との大きな違いは、第一に転がり-滑り接触であること、第二に潤滑油ないしグリースで潤滑されていること、である。

水素雰囲気で作動する機器、あるいは通常雰囲気で作動する機器内で使用されている転がり軸受の損傷事例から、転がり疲れ損傷の早期発生の原因となりうる因子は、荷重の変動や部分滑りの発生などを含む接触形態、潤滑油ないしグリースの分解、混入水分の影響、潤滑剤の供給に起因する潤滑不良、温度や電気化学的条件に起因する材料表面の化学的組成の変化、水素の侵入、固体内でのひずみの繰返しによる水素拡散の促進ないし抑制と材料組織の変化とこれに伴う機械的強度の変化、など多岐にわたる。したがって、これらの個々の影響を明らかにし、実用に即して支配因子に関する対策をとる、といった総合的なアプローチが必要がある。本プロジェクトでは特に接触形態と潤滑状態の違い、及びそれらに関連する表面状態に着目して研究を進めている。以下では、転がり疲れ試験及び単純接触試験の結果を示す。

転がり疲れ試験は、接触圧力(ヘルツの接触圧力)と膜厚比(Λ 値:潤滑膜厚を表面粗さで除した値であり、潤滑状態を示す指標である)をコントロールした試験を意図し、ボール・オン・ディスク型の転がり疲れ試験機を使用して行った。ボールの径は 6.35mm、ディスク上のトラック径は 43 mm である。試験雰囲気として、常圧水素ガス、及び比較雰囲気としてアルゴンと乾燥

空気を用いた。材料は主に SUJ2 と SUS440C を対象とした。潤滑油として鉱油 P60 と合成潤滑剤ポリアルファオレフィン（以下 PAO）数種類を使用した。主な成果は以下のとおりである。

(i) 純転がり、ないし部分滑りの少ない転がり接触において、接触圧力が軸受の定格荷重に相当する接触圧力より高い場合、水素雰囲気は寿命に影響しないことがわかった。これは繰返し転がり接触による鋼内への水素侵入量が顕著ではなく、水素侵入による著しい組織変化がないためである。水素侵入量は水素雰囲気中よりも空気中で若干多いケースもあった。

一方、強制的に鋼に水素を吸蔵させると寿命が低下する。図 2.5.(1).25 は、試験片をチオシアン酸アンモニウムに 48 時間浸漬させて水素を吸蔵させた場合と、40MPa、373K の高压水素中に 200 時間曝露させて水素を吸蔵させた場合に、寿命が低下したことを示す（2007 年度報告書より）。

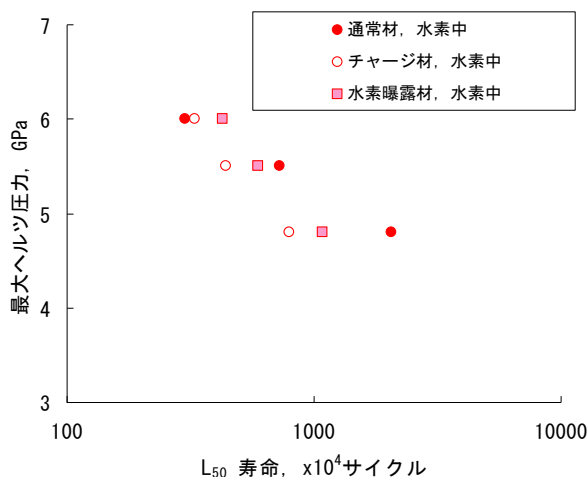


図 2.5.(1).25 転がり疲れ寿命に及ぼす試験前の水素チャージの影響
潤滑油 P60

(ii) 純転がり、ないし部分滑りの少ない転がり接触において、接触圧力が軸受の定格荷重に相当する接触圧力付近ないしそれ以下の場合の水素雰囲気の影響を調べるためには、接触回数が 1000 万回以上の試験を行う必要がある。以下に述べる試験では、ディスク試験片における繰返し接触回数の上限を 2 億回として試験を行った。試験油としては、鉱油 P60 と合成潤滑剤 PAO5、PAO10、PAO17 を用いた。同一条件で複数回試験を行うとともに、TDS による水素侵入量の測定と、試験後の潤滑油の劣化状態を調べるために全酸価の測定を行った。

図 2.5.(1).26 に潤滑油 PAO10、温度 333K、接触圧力 4.8 GPa（シェークダウン限界よりわずかに高い）、 $\Lambda=2.75$ の条件で行った試験の結果をワイブルプロットの形で示す。右向き矢印はそのサイクルまでに損傷が発生せず打ち切った試験であることを示す。水素中では、空気中、アルゴン中にくらべ、低寿命のデータが多い。L10 ないし L50 による比較が困難であるが、部分滑りのほとんどない条件においても、水素雰囲気によって寿命低下を生じることが明らかになった。

図 2.5.(1).27 は、転がり疲れ試験直後に水素侵入量を測定した結果である。いずれもヘルツ圧力 4.8GPa、膜厚比 Λ 2.5~2.75、繰返し接触回数 6300 万回としたものであり、複数の試験片に対する測定値の平均値を示す。同系列の PAO を用いた試験において、いずれも水素中で水素侵入量が多いことから、水素中の侵入水素の少なくとも大部分が雰囲気水素を起源とする水素であることがわかる。一方、鋼表面での潤滑剤の分解または水分等の反応によって水素が生じ、これが空気中とアルゴン中における水素量の若干の増加に寄与している。空気中とアルゴン中では試験温度が高いほど水素侵入量が少ないのに対し、水素中では 353 K (80°C) において水素量が顕著に高い。これらは、水素の発生と、水素の侵入を抑制する表面膜の形成が、温度と雰囲気によって異なることを示している。

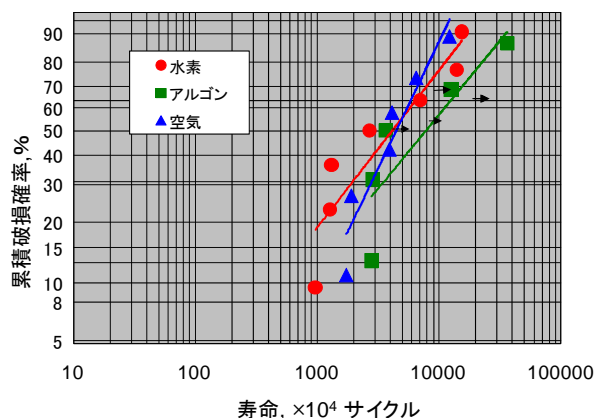


図 2.5.(1).26 転がり疲れ試験結果 ; PAO10、333K、4.8 GPa、 $\Lambda=2.75$

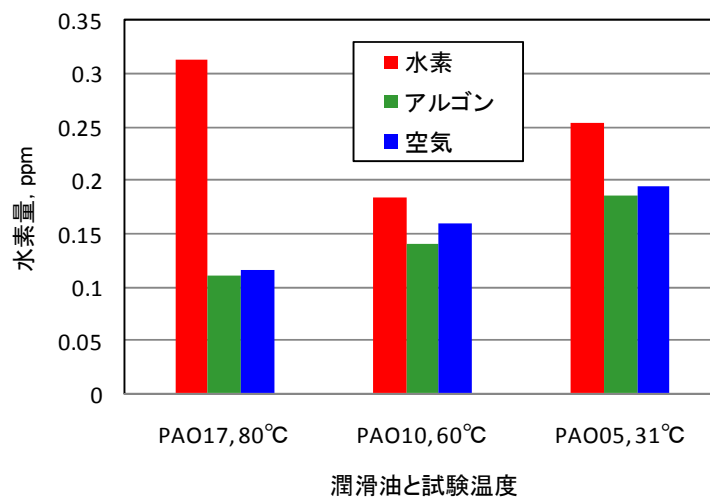


図 2.5.(1).27 転がり疲れ試験直後の水素侵入量

(iii) 繰返し接触形態の違いによる水素侵入量への影響を調べる目的で、雰囲気をコントロールしたチャンバー内で単純接触試験を行った。垂直荷重のみの接触において荷重を繰返し増減させると、水素雰囲気中では、他の条件よりも固体への水素侵入量が多かった。図 2.5.(1).29 は SCM435 のディスクに対して SUJ2 のボールを用いた垂直荷重増減試験における D-SIMS 測定結果である。最大ヘルツ圧力 4.05 GPa、最小ヘルツ圧力 1.7 GPa とし、荷重変動の周波数 10 Hz、繰返しサイクル数 10 万回である。一方、上述の負荷形態に繰返し往復滑りを重畳すると、水素雰囲気においても表面酸化が起こり、表面下への水素の侵入を抑えることがわかった。

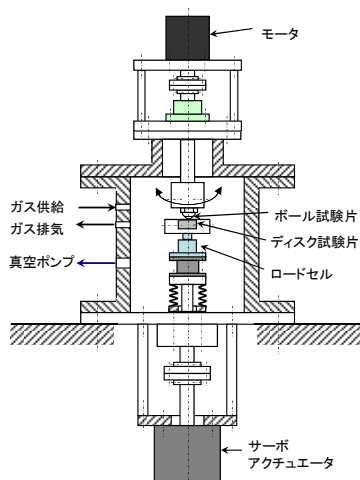


図 2.5.(1).28 単純接触試験

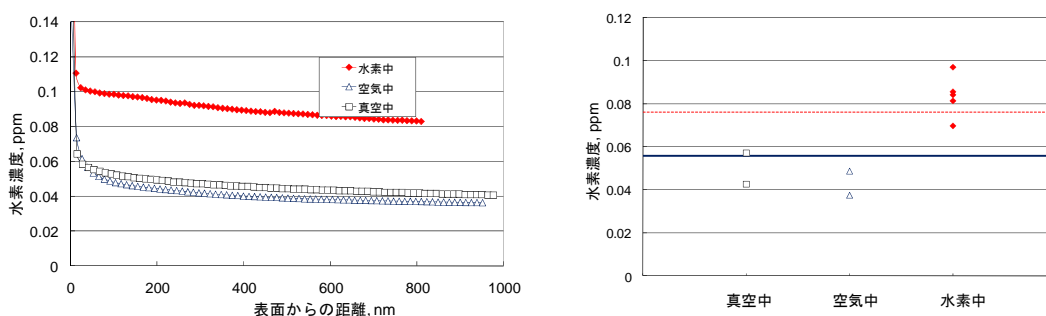


図 2.5.(1).29 垂直荷重の繰返し増減によるディスク (SCM435) 中の水素量
 左は水素濃度の深さ方向分布、右は深さ 700nm における値であり
 青線は空気中非接触部の測定値、赤線は水素中非接触部の測定値

今後、転がり疲れ試験、及び単純接触試験を継続し、繰返し接触形態の違いの影響と温度等の違いによる表面膜の形成の違いをより詳細に調べることにより、水素雰囲気における転がり疲れに及ぼすの主要因子の影響を明らかにし、水素中での寿命低下を抑制する潤滑設計の指針を提示をめざして研究を進める。

(2) シール材料の水素トライボロジー特性の調査研究

動的シールの摺動材料、すなわち四フッ化エチレンに代表される樹脂材料の水素雰囲気中でのトライボロジー基礎特性データの蓄積とメカニズム解明をめざして、小項目(1)と同様に常圧気体中の特性の把握からスタートし、次に高圧水素に曝露した試験片による試験を行い、さらに40MPaまでの高圧水素中での試験を実施した。また、諸現象のメカニズム解明のために、摺動表面の各種分析を行って、現象の支配的因子を抽出した。これらを実施するために、小項目(1)と連携して実験装置の開発を行って研究体制を整備した。

Oリングなどのゴム材料の静的シールは、動的なシールとして使用される場面があり、また静的シールとして使用される場合においても、機械の振動にともなって接触部に微小振幅の往復動が生じる。これらの水素雰囲気中での影響を調べるために、往復動摩擦試験と一方向滑り試験を実施した。

(2-1) 各種シール材料の常圧水素中の摩擦試験

圧縮機や調整弁の動的シールとして用いられる各種樹脂材料について、常圧気体中における摩擦摩耗特性を評価した。実験には、雰囲気制御チャンバーを備えた3ピン・オン・ディスク型試験機を用いた。樹脂材料を上部ピン試験片、摩擦相手材となるステンレス鋼を下部ディスク試験片とし、ピンとディスク間に生じる摩擦係数と、樹脂材料の比摩耗量を計測した。

平成19年度までは、無充填PTFEについて、雰囲気ガスの影響、相手面の粗さの影響、滑り速度の影響などを調べ、転移膜の形成に雰囲気と粗さの影響が大きいことを明らかにした。また、水素が相手面に吸着することにより、転移膜の形成を阻害する可能性があることを示した。

以下では、グラファイト15wt%添加PTFE、ブロンズ60wt%添加PTFE、グラスファイバ15wt%添加PTFE、PEEKの4種について示す。(図2.5.(2).1~4)摩擦相手面にはオーステナイト系ステンレス鋼SUS316Lまたはマルテンサイト系ステンレス鋼SUS440C間を用いた。SUS316Lのディスク表面は表面粗さが $Ra=0.05\mu m$ に、SUS440Cのディスク表面は表面粗さが $Ra=0.03\mu m$ となるよう、耐水ペーパーにより研磨した。ピンとディスク間の接触面圧を4MPaまたは24MPaとし、100mm/s、200mm/s及び400mm/sの各滑り速度において滑り距離1000mの摩擦摩耗試験を行い、水素(純度>99.999%)、アルゴン(純度>99.999%)、大気 of 各雰囲気間で結果を比較した。以下の結果を得た。

水素雰囲気においてグラファイト15wt%添加PTFEは、特に高面圧、高滑り速度条件下で良好な低摩擦、低摩耗となる。

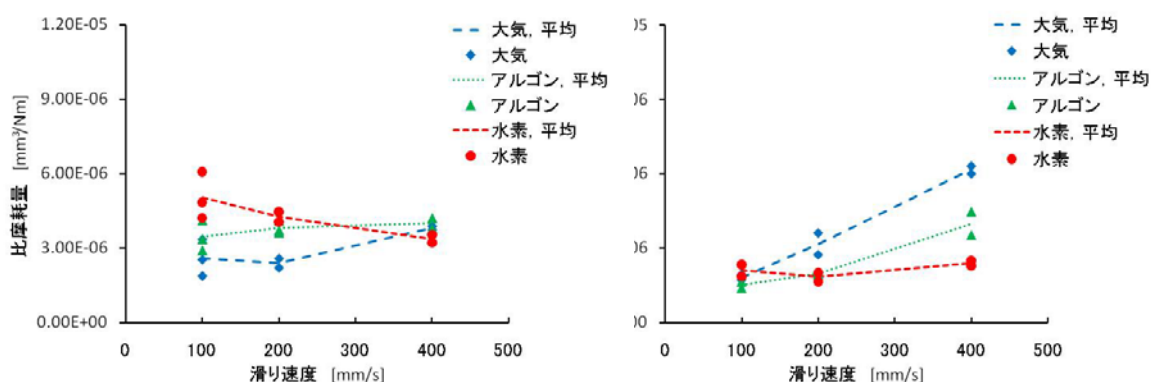
ブロンズ60wt%添加PTFEは、滑り速度の増加に伴う高摩擦、高摩耗状態への遷移を示し、特に水素雰囲気では、高滑り速度条件下での摩擦・摩耗挙動が他の雰囲気中と比較し悪くなる傾向がある。

グラスファイバ15wt%添加PTFEの摩擦・摩耗挙動への雰囲気の影響はきわめて限

定された物であり、水素雰囲気においても、高接触面圧、高滑り速度条件まで安定した低摩擦、低摩耗特性が維持された。

以上の挙動について、摩擦面の XPS 分析等を実施し、PTFE 転移膜の形成状態とともに充填剤の作用について考察を行った。

PEEK は耐摩耗性に優れるものの、自己潤滑性が乏しいために摩擦係数が高く、滑り速度の上昇に伴う発熱量の増加により、PEEK 表面に激しい損傷が生じた。水素雰囲気では、おそらく水素の高い熱伝導率による冷却効果により、表面損傷が抑制され高滑り条件下まで安定した摩擦挙動が得られた。



(a) 接触面圧 4MPa

(b) 接触面圧 24MPa

図 2.5.(2).1 グラファイト 15wt%添加 PTFE の比摩耗量

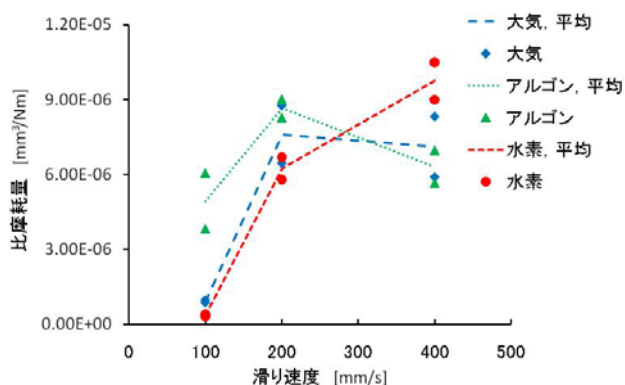


図 2.5.(2).2 ブロンズ 60wt%添加 PTFE の比摩耗量
接触面圧 24MPa

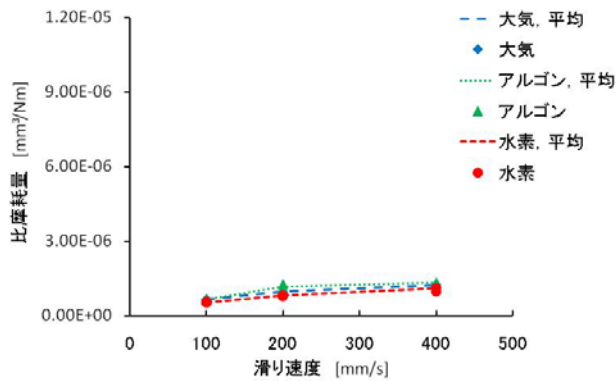


図 2.5.(2).3 グラスファイバ 15wt% 添加 PTFE の比摩耗量
接触面圧 24MPa

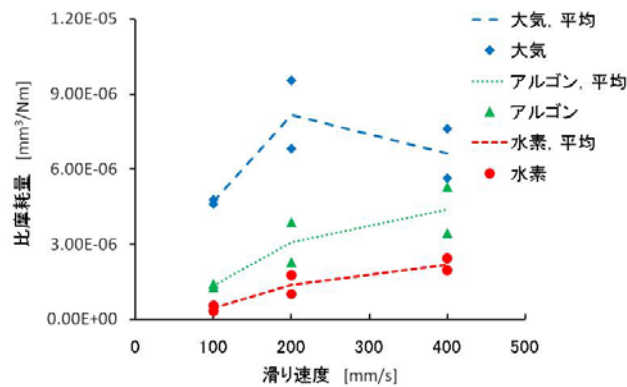


図 2.5.(2).4 PEEK の比摩耗量接触面圧 24MPa

また、調整弁実機に用いられるシール用樹脂材料について、水素雰囲気中における摩擦および摩耗を評価した。(図 2.5.(2).5,6) 評価したシール用樹脂材料 UHMWPE および PVDF であり、摩擦相手面には、実機同様 SUS316 を使用した。

自己潤滑性を有する UHMWPE は、グラファイト添加 PTFE と同程度の摩擦係数を示し、良好な低摩耗性を示した。また、自己潤滑性を有しない PVDF は PEEK と同程度の高い摩擦係数を示し、摩擦挙動も不安定であった。比摩耗量は小さかったことから、PEEK に似た水素中での摩擦・摩耗特性を持つと思われる。

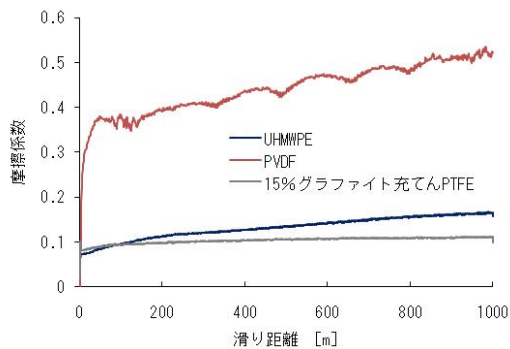


図 2.5.(2).5 UHMWPE, PVDF/SUS316 間の摩擦係数

接触面圧 4 MPa, 滑り速度 100 mm/s

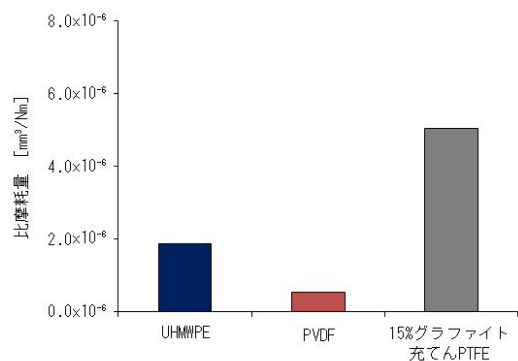


図 2.5.(2).6 UHMWPE および PVDF の比摩耗量

接触面圧 4 MPa, 滑り速度 100 mm/s

シール材料の使用限界を明らかにする目的で、無充填 PTFE の PV 特性を調べた。試験には 3 ピン・オン・ディスク試験機と高度雰囲気制御型摩擦試験機を用いた。3 ピン・オン・ディスク試験機では数百～1000ppm の水分量を含む試験ガス中での摩耗試験を、高度雰囲気制御型摩擦試験機では 0.5～3.5ppm の水分量を含む試験ガス中でのピン・オン・ディスク試験を行った。3 ピン・オン・ディスク試験機では試験ガスを流量 50ml/min で 1 時間供給することでチャンバー内部を試験ガス雰囲気へ交換した。高度雰囲気制御型摩擦試験機では $5.0 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以下になるまで真空ポンプで残留空気を排気した後に試験ガスをチャンバー内が常圧付近になるまで供給することで雰囲気の交換を行った。それぞれの試験ではチャンバー内雰囲気交換後も 50mL/min で試験ガスを供給することで内部雰囲気を一定に保った。試験ガスには水素、アルゴンおよび空気とした。空気中での試験は 3 ピン・オン・ディスク試験機のみで行った。

PTFE の比摩耗量は相手面の表面粗さに影響されるため、本試験で使用したディスク試験片の表面粗さは $Ra0.05 \mu\text{m}$ に統一した。試験片間にかかる平均接触面圧は 0.89～4.00MPa, 滑り速度は 20～100mm/s, 総滑り距離は高水分量ガスでは 800m, 低水分量ガスでは 500m として面圧と速度による比摩耗量の変化について計測した。比摩耗量は精密電子天秤により試験前後の重量を測定し、重量の変化から PTFE の比摩耗量を求めた。

図 2.5.(2).7 に各種雰囲気における PTFE の比摩耗量を示す。図中の「高水分量」は 3 ピン・オン・ディスク試験機による結果を、「低水分量」は高度雰囲気制御型摩擦試験機による結果であることを示す。水素ガス中・アルゴンガス中では PV 値が大きくなると共に比摩耗量はガスに含まれる水分量に関わらず増加することが認められる。また、雰囲気ガスに含まれる水分量が多いほうが PTFE の摩耗が低下することが明らかとなった。ガスに含まれる水分量が多い場合には PV 値が大きくなるにつれ水素ガス中での比摩耗量がアルゴンガス中と比較して増加することが示された。ガス中に含まれる水分量が数 ppm の低水分量の場合では水素ガス中とアルゴンガス中での比摩耗量に大きな差

は現れなかった。水分量が多い大気中では荷重・速度への比摩耗量の依存性は観察されなかった。

以上より、PTFE の比摩耗量の PV 値による変化が明らかになった。試験ガス中の水分は PTFE の転移膜形成に大きく影響を与え、水分量が多いほど PTFE の摩耗は少ない。これは PTFE 転移膜の形成の良否によるものである。ガス中の水分が多い場合、アルゴンガス中よりも水素中の比摩耗量が高い。

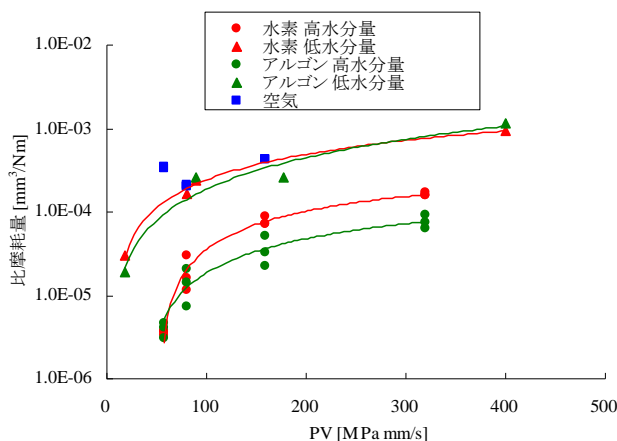


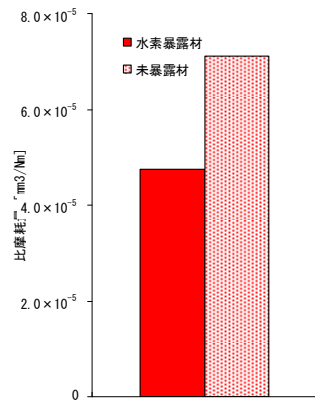
図 2.5.(2).7 無充填 PTFE の比摩耗量に及ぼす PV 値の影響 (相手面 SUS316L)

(2-2) 高圧水素曝露

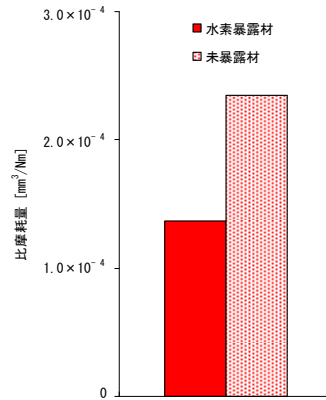
高圧水素環境下で動的シールとして使用される樹脂材料について、摺動時のトライボロジー特性に及ぼす高圧水素の影響を評価することを目的に、高圧水素中に曝露した試験片の摩擦摩耗試験を行った。実験には、雰囲気制御チャンバーを備えた 3 ピン・オン・ディスク型試験機を用いた。樹脂材料を上部ピン試験片、摩擦相手材となるステンレス鋼を下部ディスク試験片とした。摩擦摩耗試験に先立ち、両試験片を高圧水素ガス曝露容器内に封入し、圧力 40 MPa、温度 373 K の高圧水素ガスに 200 時間曝露した。曝露後、容器から取り出した試験片は、速やかにピン・オン・ディスク試験機に取り付け、常圧の水素(純度>99.999%)中において滑り距離 1000m の摩擦摩耗試験を行った。実験では、接触面圧を 4MPa、滑り速度を 100mm/s とし、ピンとディスク間に生じる摩擦係数と、樹脂材料の比摩耗量を計測した。実験は同条件において 3 回繰り返した。

評価を行った樹脂材料は無充填 PTFE、及びグラファイト 15wt% 添加 PTFE であり、摩擦相手面には SUS316L を用いた。SUS316L のディスク表面は、表面粗さが Ra=0.05 μm となるよう、耐水ペーパーを用いて仕上げた。

無充填 PTFE、グラファイト 15wt% 添加 PTFE いずれも、高圧水素曝露により摩耗量が低下した。



(a) 滑り速度 40mm/s



(b) 滑り速度 80mm/s

図 2.5.(2).8 常圧水素雰囲気における PTFE 比摩耗量への高圧水素曝露の影響:
荷重 338 N、滑り距離 400m、SUS316L ディスク、 $R_{\max}=0.5\mu\text{m}$

高圧水素曝露前後の SUS316L 表面について XPS を用いた化学分析を行った。特に、ステンレス鋼の場合、表面を主としてクロムと鉄の酸化物からなる不動態膜が覆っていることが知られている。そこで、この不動態膜の状態に対する高圧水素の影響を検討するため、クロム Cr2p_{3/2} および鉄 Fe2p_{3/2} の光電子スペクトルを取得した。

表面分析用の試験片は、摺動試験に用いるディスク試験片と同様に、表面をバフ研磨仕上げした後、有機溶媒により洗浄した。ステンレス表面の高圧水素ガス曝露前および曝露後の光電子スペクトルを図 2.5.(2).9 に示す。ここでは、最表面の分析を行った後、アルゴンイオンエッチングを 20 秒ずつ行いながら分析を繰り返し、表面から深さ方向の化学組成分布を求めた。曝露前のステンレス表面は、主にクロム酸化物の不動態膜に覆われていることから、クロムからのスペクトルでは、純クロムを示す 573eV 付近のピークと比較し、酸化物と水酸化物を示す 575eV 付近のピークが顕著に高くなっている。この傾向は 80 秒のエッチング後も変化しないことから、ある程度の厚さを持ったクロム酸化物の不動態膜が存在することが確認された。また鉄からのスペクトルにおいても、最表面では酸化物と水酸化物を示す 708eV 付近のスペクトルが高くなっており、エッチングにより掘り下げることによって、徐々に純鉄を示す 705eV 付近のピークが高くなった。このことより、最表層部の不動態膜には鉄の酸化物ないし水酸化物も含まれていることがわかる。曝露後のステンレス表面の光電子スペクトルは、最表面では曝露前と類似しているものの、20 秒のエッチングによりスペクトルは大きく変化した。特にクロムからのスペクトルでは、純クロムを示すピークが顕著となり、深さ方向に行くに従い、酸化クロムのピークと比較し、純クロムのピークが徐々に高くなっている。鉄からのスペクトルにおいても、20 秒のエッチング後には純鉄のピークが最大値を示した。これらの分析結果は、高圧水素ガス曝露によりステンレス表面の不動態膜が還元され、その一部が失われたことを示すものと思われる。最表面に見られた酸化物層は、曝露容

器から取り出した後、大気にすれることにより再形成されたものと考えられる。

一方、摩擦試験後の光学顕微鏡観察と XPS 分析を行った結果、高圧水素曝露材ではディスク表面への PTFE 転移膜形成が促進されており、これにより PTFE の比摩耗量減少したことが示された。したがって高圧水素曝露によりステンレス表面の酸化膜を還元除去され、これが密度の高い転移膜形成を促し、PTFE の摩耗を抑制したものと考えられる。

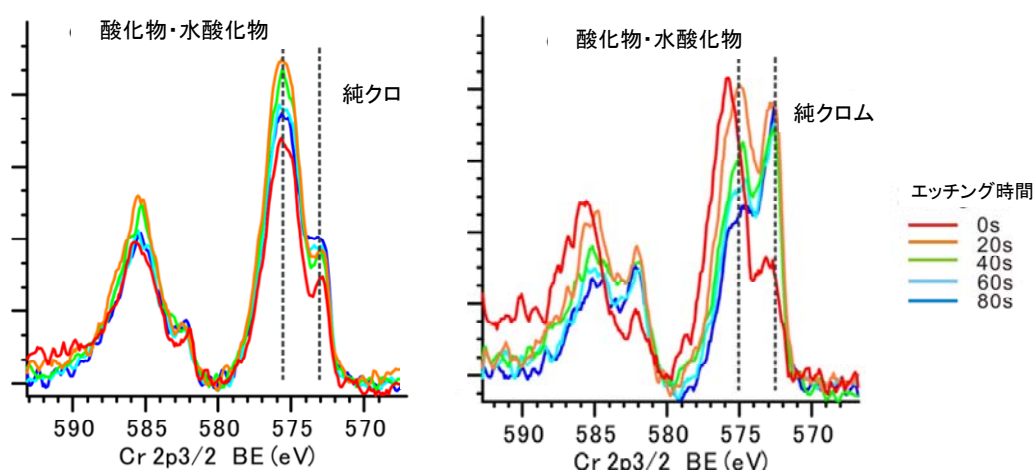


図 2.5.(2).9 SUS316L 高圧水素曝露材 (右) と未曝露材 (左) の XPS 分析

(2-3) 高圧水素中摩擦試験

前述の超高压水素摩擦試験機を用い、高圧水素ガス雰囲気におけるグラファイト 15%添加 PTFE とオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L 間の摩擦・摩耗試験を行った。ここでは上部ピン試験片に樹脂材料、下部ディスク試験片にステンレス鋼を用いた。ピン試験片の形状は、直径 6 mm、長さ 15 mm の円柱状であり、ディスク試験片は外径 58 mm、内径 20 mm の円環状とした。ディスク表面は複数の耐水ペーパーにより研磨し、 $R_a = 0.05 \mu\text{m}$ に仕上げた。

実験は雰囲気温度 323 K とし、雰囲気圧力 1 MPa または 40 MPa の高純度水素中にて行い、試験片間に生じる摩擦係数を評価した。また同条件の高圧ヘリウムガス中においても実験を行い、結果を比較した。すべての実験において、荷重は 12 N (平均面圧 0.4 MPa)、滑り速度は 100 mm/s とし、滑り距離は 2,000 m とした。また実験終了後のディスク表面の化学組成について、X 線光電子分光法 (XPS, X-ray photoelectron spectroscopy) により分析し、ディスク表面に形成された樹脂転移膜の状態に対する雰囲気の影響を検討した。実験は各雰囲気において 2 回ずつ行った。

1 MPa または 40 MPa に昇圧した高圧水素中および高圧ヘリウム中における、グラファイト 15wt% 添加 PTFE / SUS316L 間の摩擦係数計測結果を図 2.5.(2).10 に示す。いず

れの雰囲気においても、摩擦係数は試験開始から徐々に上昇し、試験後半には一定の値に収束した。各試験雰囲気における試験終了直前の摩擦係数の比較を図 2.5.(2).11 に示す。高圧水素中の摩擦係数は、高圧ヘリウム中と比較し低くなる傾向が認められた。また水素雰囲気においては、雰囲気圧力が 1 MPa から 40 MPa に上昇することにより、摩擦係数がわずかであるが減少する傾向が認められた。

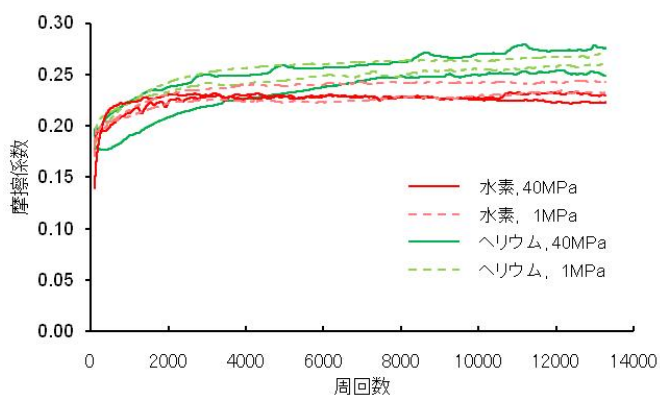


図 2.5.(2).10 高圧水素中および高圧ヘリウム中におけるグラファイト 15wt% 添加 PTFE/SUS316L 間の摩擦係数

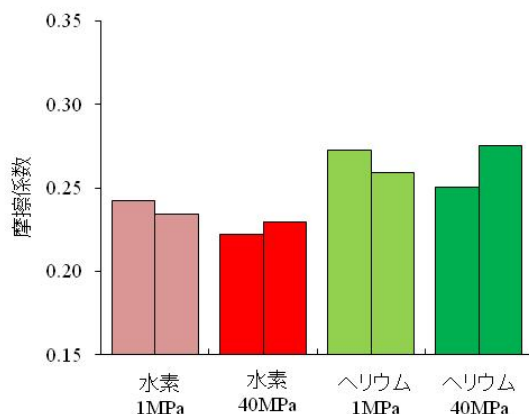


図 2.5.(2).11 試験終了時におけるグラファイト 15wt% 添加 PTFE/SUS316L 間の摩擦係数の比較

実験後のディスク表面から得られたフッ素、炭素および酸素のスペクトルの比較を図 2.5.(2).12 および図 2.5.(2).13 に示す。これにより、雰囲気のガス種および雰囲気圧力により、ディスク表面に形成される樹脂転移膜の化学組成が影響を受けていることがわかる。

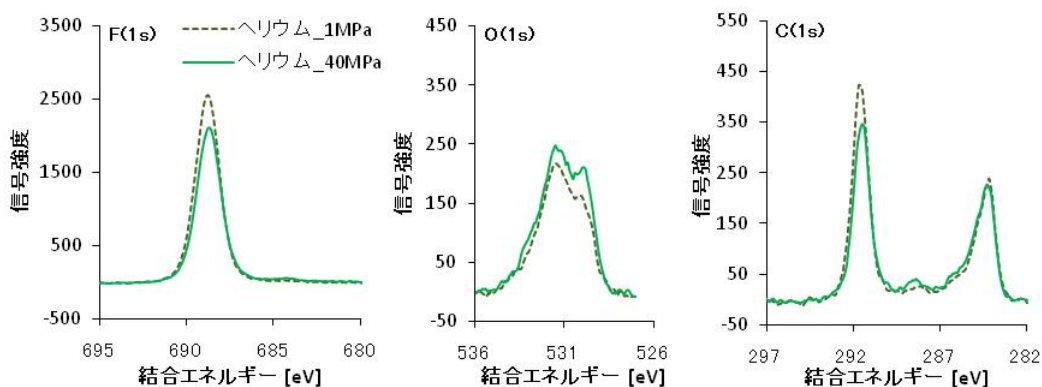


図 2.5.(2).12 高圧ヘリウム中における試験後のディスク最表面から得られた XPS スペクトル

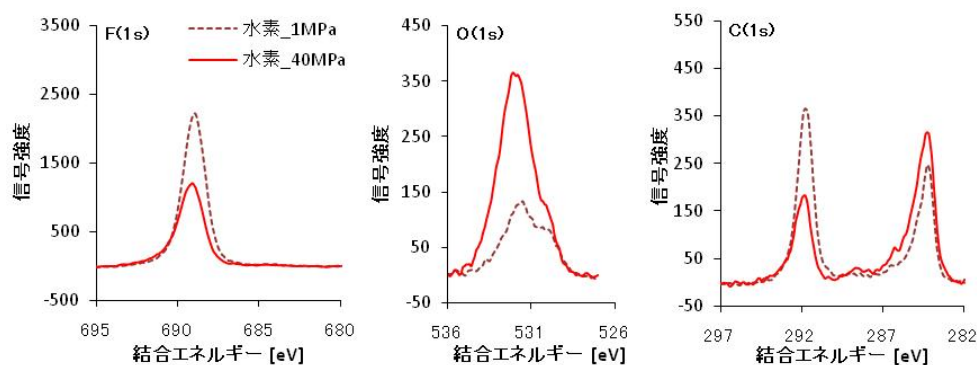


図 2.5.(2).13 高圧水素中における試験後のディスク最表面から得られた XPS スペクトル

いずれの雰囲気においても、炭素のスペクトル中にグラファイト成分を示す 284 eV 付近のピークとフッ化炭素成分を示す 292 eV 付近のピークが認められる。このうち、フッ化炭素成分を示すピークは、いずれのガス中においても雰囲気圧力の上昇とともに強度が低下する傾向が認められた。この傾向は水素雰囲気中においてより顕著であり、その結果、40 MPa の超高压状態では、ヘリウム中と比較し、水素中ではフッ化炭素成分が著しく減少していることがわかる。この現象は、フッ素のスペクトル中に見られる 688 eV 付近のピークからも確認することが出来る。一方グラファイト成分については、ヘリウム中では雰囲気圧力の影響が認められないものの、水素中では圧力の上昇とともに信号強度が上昇している。これらの結果より、40MPa の水素中では、同圧のヘリウム中やより低圧の水素中と比較し、グラファイト成分をより多く含む転移膜がディスク表面に形成されているものと思われる。

酸素のスペクトルにおいても、ガス種および雰囲気圧力の影響が確認できる。水素中ではヘリウム中と比較し、酸化金属を示す 530 eV 付近の信号強度が弱くなっている。これは、水素の還元作用によるステンレス表面の酸化膜の減少を示すものと思われる。また、水素中では圧力が上昇することにより、532 eV 付近に見られる吸着成分からの信号強度が著しく増加している。

(2-4) Oリングの微小振幅摩擦試験

Oリングによる水素密封部に外来振動が加わった状態を想定して Oリングを微小振幅で往復動させ、その接触部の変化を観察した。P18 サイズ (内径 17.8mm, 線径 2.4mm) の Oリングを円筒面シールとして使用し、2 台の試験機を用いて雰囲気チャンバーの中で摩擦試験を行った。Oリングの材質は、水素に対してメーカーが推奨するエチレンプロピレンゴム (EPDM) とした。

実験には 2 種の試験機を使用した。部分滑り試験機ではストローク 160 μ m 周波数 100Hz で外側ハウジングを往復動させ、全体滑り試験機(図 2.5.(2).14)は加速試験を目

的とし、ストローク 2mm, サイクルタイム 2秒で内側円筒を往復させた。実験後の接触部の観察とともに外側ハウジングにはたらく軸方向力を摩擦力としてロードセルで測定した。

いずれの試験機においてもOリング溝は内側円筒に設け、Oリングが接触する外側ハウジングと内側溝円筒の材料は水素用構造材料として推奨されている SUS316L とした。Oリングの接触する溝寸法および表面粗さは推奨設計値としたが、一部外側ハウジングの表面粗さを推奨値である $Rz=1.6\mu\text{m}$ のほかに $12.5\mu\text{m}$ へ粗くした実験も行った。

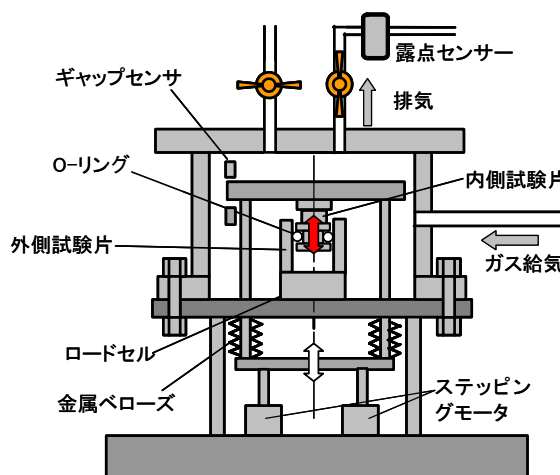


図 2.5.(2).14 Oリング長振幅摩擦試験機

結果は以下のとおりである。Oリングの摩擦摩耗は水素中で最も高く、空気中で最も低い。また雰囲気ガス中の微量水分が多いほど摩擦摩耗は増加するが、水分量が数万 ppm と極端に高い場合は摩擦摩耗は低くなる。また、相手面粗さが大きいほどゴムの損傷は大きく、雰囲気ガスによる差異が顕著になる。

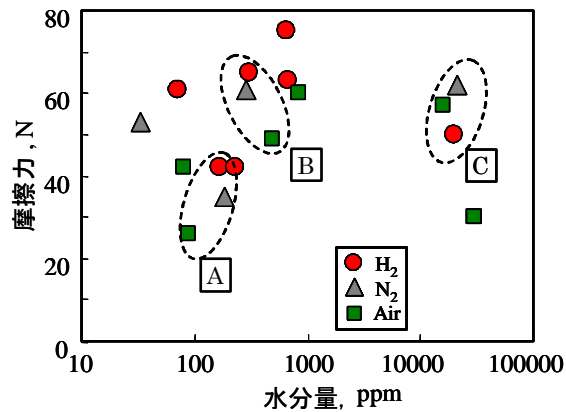


図 2.5.(2).15 Oリング長振幅摩擦試験の結果

2mm	0.5Hz	3×10^3	100min	Rz1.6 μ m	室温
-----	-------	-----------------	--------	---------------	----

水分量	H ₂	N ₂	Air
A 100ppm ~ 200ppm	165ppm 変化領域 0.2mm	180ppm 	90ppm
B 300ppm ~ 500ppm	300ppm 	290ppm 	490ppm
C 20,000 ppm	20,000ppm 	21,000ppm 	16,000ppm 相対湿度44%

図 2.5.(2).16 実験後のOリング外周面のSEM像

2mm	0.5Hz	3×10^3	100min	Rz1.6 μ m	室温
-----	-------	-----------------	--------	---------------	----

(3) 耐水素表面のトライボロジー特性(耐水素表面改質)の調査研究

本小項目では、水素環境下での利用に最適なトライボマテリアルを探索するため、材料選択および新材料開発にフレキシビリティの高い表面改質法に着目し、その適用の可能性を調査した。ここで開発目標とする耐水素表面とは、材料表面における水素侵入によるトライボロジー特性劣化を防止するとともに、水素雰囲気中において十分な低摩擦係数と耐摩耗性を発

現するコーティング膜を付与した改質表面である。摩擦試験は、常温および 220 K で行い、硬質コーティング膜のほか固体潤滑剤 MoS₂ の評価も行った。小項目 (1) (2) と連携して、(5) ヘデータを提供する。

(3-1) 水素透過を抑制する水素バリア性コーティング膜の探索と開発

水素バリア性については、コーティング膜の水素拡散係数を一つの評価指標とした。ただし、水素拡散係数については、いくつかの金属材料や高分子膜等では測定データが存在するものの、トライボマテリアルとして用いられるような膜厚数 μm の硬質膜の水素拡散係数については、測定データはもとより確立された測定手法さえないのが実状であった。そこで本研究では、硬質薄膜の水素透過性を評価するための計測方法の検討からはじめた。水素透過性の評価手法としては、薄板にコーティング膜を施した試験片を用い、高温環境下において実際の水素透過量を計測する手法をはじめ、水素チャージしたコーティング試験片から水素放出量を計測する手法など、いくつかの方法について実験的検討を行った。その結果、高圧水素チャージしたコーティング試験片から一部を切り出し、これを昇温脱離法 (Thermal Desorption Spectrometer, TDS) を用いて評価する手法が、コーティング膜の特性を把握する上で優れることを明らかにした。図 2.5.(3).1 に評価結果の一例を示す。コーティング膜としては、SUJ2 に DLC 及び TiN を片面コートしたものをを用いた。TDS 測定は、高圧水素暴露 (40 MPa、100 °C、200 時間) により水素チャージした SUJ2、DLC 被覆 SUJ2、TiN 被覆 SUJ2 の各試料から、厚さ約 1 mm の測定試料を切り出して行った。高圧水素暴露した SUJ2 では、470 K 付近、600 K 付近に 2 つの水素放出ピークが存在する。それぞれ、第 1 ピーク、第 2 ピーク、とする。DLC 被覆 SUJ2 では、第 1 ピークと第 2 ピークが観察されるが、第 1 ピークが減少している。さらに TiN 被覆 SUJ2 では、第 1 ピークが 450K 付近に現れ、低温側にシフトしている。さらに第 2 ピークは著しく減少し、570 K 付近にピークが現れる。得られた昇温脱離プロファイルより、各試料の水素含有量を見積もると、SUJ2 では 1.26 ppm、DLC 被覆 SUJ2 では 1.06 ppm、TiN 被覆 SUJ2 では、0.75 ppm であった。TiN コーティングで水素含有量が減少していることから、TiN コーティングは水素バリア性を有していると考えられる。

水素バリア性を有する候補材料としては、DLC、TiN、TiC、TiAlN などの硬質薄膜のほか、ジルコニウムやニオブなどの高融点金属薄膜を考えている。平成 21 年度に導入した電子ビーム蒸着法を用いて成膜プロセスの最適化を図りつつ、水素バリア性の評価試験を開始した。

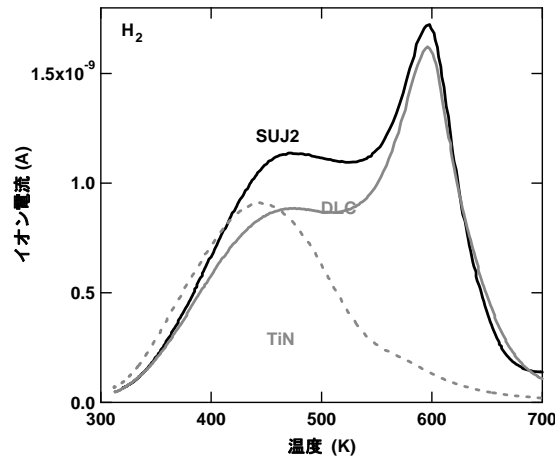


図 2.5.(3).1 コーティング膜の昇温脱離プロファイル特性

(3-2) 耐水素表面のトライボロジー特性評価

水素バリア性は温度の影響を受けるため、水素雰囲気中において摩擦面温度（220～370K）を制御可能なトライボロジー特性評価試験機を開発した。図 2.5.(3).2 に母材の軸受鋼、TiN、水素フリーPVD-DLC,CVD-DLC の各種雰囲気中における摩擦係数を示した。軸受鋼と TiN は、水素中において高い摩擦係数を示す一方で、2 種類の DLC はともに水素中での摩擦係数は低く、真空中との比較では水素による摩擦低減効果が顕著に見られた。トライボロジー特性への水素の直接の影響は、摩擦表面における水素吸着もしくは水素化物の形成によるものと考えられる。すでに DLC では、表面炭素原子のダングリングボンドが水素終端されることにより、摩擦係数が低減することが報告されているが、本研究でもこれを裏付ける結果が得られたものと考えられる。低温（220K）水素雰囲気中では、すべての材料において室温時よりも摩擦係数の低下が確認されたが、この原因については雰囲気中の微量水分の吸着の影響も排除できない。

高融点金属膜のジルコニウムニオブ、チタン合金などの場合でも、水素雰囲気中における摩擦低減効果が観察された。摩擦表面の X 線回折分析結果より、金属水素化合物の形成が確認されているが、特にジルコニア同士を摺動させた場合、得られる摩耗粉は層状の結晶構造を持つ水素化物 ϵZrH_2 より構成されることがわかった。これらのことから、水素雰囲気中でのトライボロジー特性向上には、水素と適度な反応性を有し、かつ固体潤滑性を発現する層状構造を有する水素化合物を形成する材料系を選択することが有効であることを明らかにした。

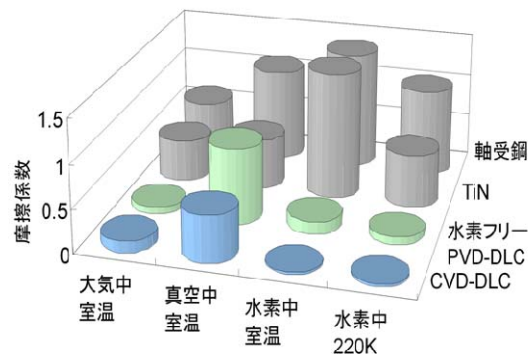


図 2.5.(3).2 各種コーティング膜の摩擦特性

(4) トライボシステム中の気体分子の挙動解析

本研究実施項目では、トライボシステムにおける気体分子の拡散、吸着、摺動表面の凝着力に及ぼす気体分子の影響をとらえることを目的として分子動力学解析によるシミュレーションを実施した。

(4-1) 拡散と吸着に及ぼすせん断の影響

潤滑剤中に溶存した水素分子の拡散と固体表面への吸着について検討するため、水素分子が溶存した潤滑剤をモデル化し、分子動力学 (Molecular Dynamics : MD) 法を用いた解析を行った。吸着については潤滑面モデル、拡散はバルク潤滑剤モデルを設定して計算した。以下では潤滑面モデルについて示す。潤滑面モデルでは計算系を2つの固体壁面とその間に潤滑剤分子を配置した直方体とし、計算系の四方の側面には周期境界条件 (二次元周期境界条件) を適応した。潤滑剤の上下方向への移動は固体壁面によって制限され、潤滑剤分子の挙動は壁面原子と潤滑剤分子間の相互作用力の影響を受ける。また、下側壁面を設定の速度で移動させることによりせん断を与えた。潤滑剤分子を固体壁面間に配置して緩和させた後、水素分子を潤滑膜の内部 (中央部) に配置し、上側壁面に外部より垂直方向に一定荷重を与えたまま 600ps 間計算した後、下側壁面を[100]方向へ移動させることによりせん断をかけた (600ps 間)。この計算系を用いて水素分子の壁面への吸着量の時間変化を検討した。

潤滑剤はパーフルオロヘキサン C_6F_{14} およびヘキサン C_6H_{14} とし、潤滑剤分子間および潤滑剤分子内のポテンシャル関数として OPLS-AA 力場を用いた。また、水素分子内における水素原子間の結合はばねで表されるモデルを用いた。固体壁面は bcc 構造をもつ α 鉄で、(001)面を摩擦面とする。壁面原子間のポテンシャルは Johnson ポテンシャルを用い、潤滑剤分子と溶存分子の相互作用力の計算は Lennard-Jones ポテンシャルを用いた。せん断速度、温度、圧力を変えた計算を行い、これらが水素分子の挙動に及ぼす影響を検討した。

せん断速度が 10 から 200m/s の場合における固体壁面に吸着する水素分子の変化を図 2.5.(4).1 に示す (潤滑剤 C_6F_{14} 、圧力 1GPa、温度 300K)。縦軸は系内の水素分子の総数に対する吸着している分子の割合で、横軸は経過時間である。ここで、潤滑面の固体原子から 4Å 以内に存在する原子を吸着原子としている。計算開始後 0~600ps はせん断なしの状態であり、600~1200ps までは所定の速度でせん断を与えた。せん断のない 600ps までは吸着量は数%でほぼ一定であるが、600ps 以降は吸着量が増加している。また、せん断速度が大きいほど、吸着量の増加が大きい。

潤滑剤分子が水素分子の挙動に及ぼす影響を検討するため、パーフルオロヘキサンとほぼ同じ分子鎖長をもつ炭化水素であるヘキサンを潤滑剤として設定した計算を行った。わずかであるが、ヘキサンの方がパーフルオロヘキサンに比べて吸着が早い。

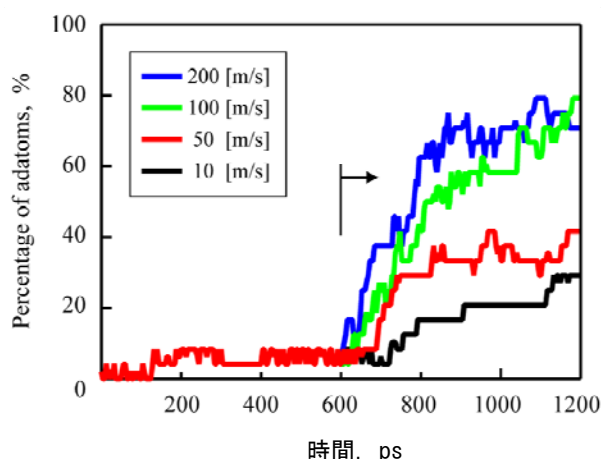


図 2.5.(4).1 吸着量の時間変化 (せん断速度の影響)

(4-2) 固体表面への吸着と侵入に及ぼす吸着膜の影響

添加剤などによってしゅう動面に形成される吸着分子に着目し、温度、圧力、吸着分子長さが吸着分子近傍における水素の挙動に及ぼす影響について、分子動力学法を用いて検討を行った。

図 2.5.(4).2 にシミュレーションモデルを示す。吸着分子近傍の潤滑面をモデル化するため、2つの吸着分子膜とその間に配置した潤滑剤分子、水素分子で直方体の計算系を構成し、四方側面に周期境界条件 (二次元周期境界条件) を適用した。各分子を速度スケール法によって温度制御を行い、吸着分子に設定圧力に相当する荷重を付与することで系内の圧力を一定にした。吸着分子は n -ヘキサン C_6H_{14} 、 n -ドデカン $C_{12}H_{26}$ 、潤滑剤は n -ヘプタン C_7H_{16} とし、吸着分子、潤滑剤分子間および分子内のポテンシャル関数として OPLS-AA 力場を用い、水素分子は、原子間がばねで結ばれているモデルを用いた。吸着分子または潤滑剤分子と水素分子の間のポテンシャル関数は Lennard-Jones ポテンシャルを用いた。温度 300K、500K、圧力 0.5GPa、1.0GPa とした。

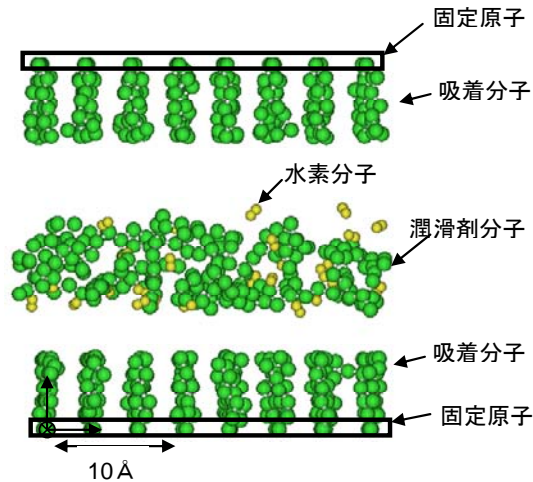


図 2.5.(4).2 計算モデル

固体壁面上に吸着分子が存在する場合の潤滑剤中に溶存した水素分子の挙動について検討した。潤滑膜の内部に水素分子を配置した初期状態から計算を始めた場合の潤滑膜内部の水素分子の分布求めた。水素原子と潤滑剤分子、吸着分子の炭素原子の膜厚方向に対する個数分布から、吸着分子近傍に水素原子の密度のピークが見られ、水素分子が吸着分子に集まることがわかった。この傾向は、潤滑膜にせん断を与えた場合に顕著に見られた。

吸着分子近傍に達した水素分子は吸着分子内に侵入、または吸着分子を通過することがある。これらの水素分子は固体表面に到達し、水素脆化を引き起こす可能性のある水素原子である。これらの分子の時間変化を、さまざまな温度、圧力、吸着分子を設定して計算した。その結果、水素分子が吸着分子を通過して固体壁面に到達しにくくなるのは、温度が低い場合、圧力が低い場合、吸着分子の長さが長い場合であることがわかった。

また、鉄表面近傍における水素の挙動の MD シミュレーションを行った。分子状態で存在する水素は鉄表面に吸着する際に解離して原子状態となり、鉄表面を拡散し、表面の欠陥に侵入する。

(4-3) PTFEの凝着力

摺動部材および固体潤滑材として広く用いられる PTFE(四フッ化エチレン)のトライボロジー特性に及ぼす水素の影響を検討するため、PTFE と固体壁面との凝着力およびせん断力に及ぼす水素の影響について分子動力学法(MD 法)を用いた計算を行った。

計算モデルを図 2.5.(4).3 に示す。計算系は、上方に配置した PTFE と下方に配置した固体壁面で構成する。水素分子を設定密度で固体壁面上に配置後、PTFE を所定の圧力で壁面に接触させる。その後、PTFE 分子を引き上げることで凝着力の検討を、また PTFE 分子を x 方向に移動させることでせん断力の検討を行った。計算系の x、y 方

向には周期境界条件を適応し、z 方向上方は鏡面反射するとした。PTFE 分子内の相互作用力の計算には REBO ポテンシャルを用い、PTFE、水素と固体壁面との分子間相互作用力の計算には Lennard-Jones ポテンシャルを用いた。

計算条件は、PTFE と固体壁面の接触圧力を 100、150、200、600MPa とし、せん断速度を 20m/s とした。壁面上に配置した水素原子の個数密度は 0.0、 6.11×10^{-2} 、 12.2×10^{-2} 、 24.5×10^{-2} 個/ \AA^2 とし、温度制御の設定温度は 300K とした。

PTFE 分子の固体表面への凝着力に及ぼす水素の影響を検討するため、PTFE を固体壁面から引き上げるのに要した仕事を求めた。また、

計算の結果、固体表面の水素密度が大きいほど凝着力が小さいことがわかる。これは、接触域の水素密度が増加すると固体壁面と PTFE 間の距離が長くなり、固体表面と PTFE 間の相互作用力が小さくなるためである。凝着力は転移膜形成と関係があり、水素が存在することによって転移膜の形成が阻害されることを示しているが、この結果は小項目（2）の試験結果と一致する。

次に、水素密度が高いほどせん断力が大きいという結果が得られた。これは、接触域内に水素量が多いほどフッ素原子がよく移動するため、エネルギーの散逸が大きいためであると考えられる。

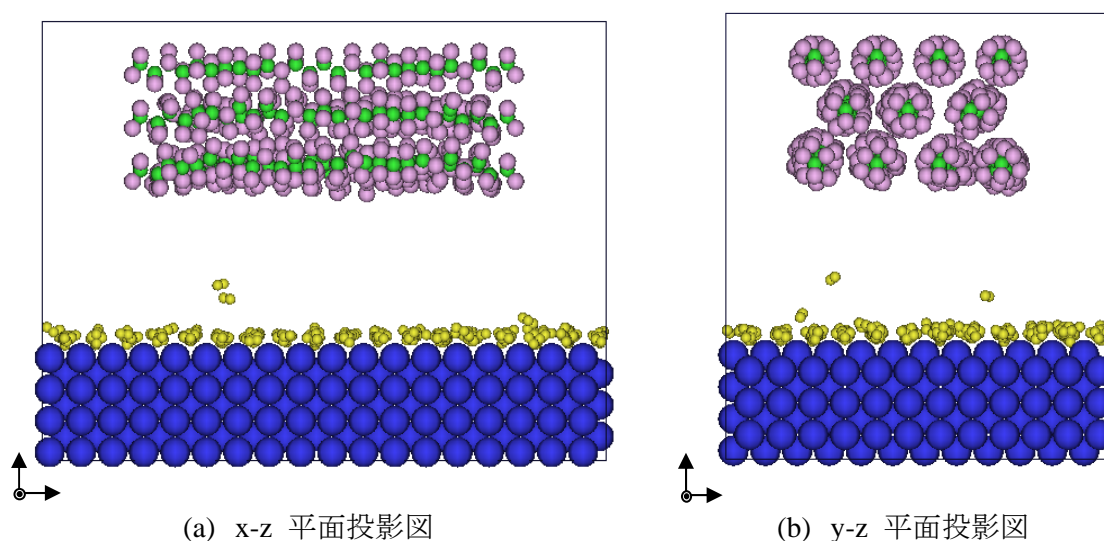


図 2.5.(4).3 計算モデル

(5) 耐水素トライボロジー信頼性評価

本小項目は、小項目(1)～(4)の結果を集約し本プロジェクトで行った実験結果を実験条件とともにトライボアトラス(データベース)として整理し、最終的には本プロジェクトの成果として公開し、水素利用機械の設計の指針を提供することを目的としている。平成 21 年度はその前段階としてチーム内での実験結果の共有を目的とするデータベースのプロトタイプを作成

し、集積データの整理項目と利用インターフェースを検討した。データベースを実現するソフトウェアには広く使われ研究者、技術者に操作方法がよく知られている Microsoft Excel を使用した。

(i) 目標・・・トライボアトラスとは

本課題で得られた結果を、実際の設計において有効に活用できるようにするために、データベースの検討に着手した。従来、トライボロジーのハンドブック等に掲載されている摩擦や摩耗のデータは、単一の数値であることがほとんどであり、また試験条件もまちまちであった。これは、データベースを構築するために得られたものではないためである。そのため、異なる材料のトライボロジー特性を総合的に比較することや、必要な条件にあわせた検索が不可能であった。

そこで本課題では、実用性を高めるために、対象とする材料や作動条件に応じてデータをひくことができ、また必要に応じて数値だけでなく摩擦面の損傷の特徴などがわかるデータ集を構築する。

(ii) チーム内データベース

軸受鋼 SUJ2、ステンレス鋼 SUS316L、樹脂材料 PTFE、バルブ用材料ステライト等いくつかの材料を水素中の摩擦面候補材料として実験を行っているが、転がり、一方向滑り、往復滑り、微小振幅往復動等様々な接触運動形式下での結果を担当者どうしで共有することが必要不可欠である。そこで、公開版トライボアトラスの前段階として、チーム内での利用するデータベースを試作した。

(iii) データの構成と項目

データ原簿シートには、試験片の性状、試験条件、摩擦係数や比摩耗量、試験後の摩擦面の様相など、200 を越える入力項目を設けた。一方、ユーザーが操作を行うシートは別ファイルとし、データベースにおいて原則とされるデータとインターフェースの独立を実現した。

図 2.5.(5).1 に試作したデータベースのイメージを示す。下段のシートがデータ原簿シートであり、左上の青い枠の中がユーザーインターフェースのシートである。このシート上でフィルタ機能を使ってデータを絞り込み、グラフの作成などを行う。インターフェースシートで青字は画像ファイルや代表値をそれが得られた経時変化で詳しく見るためのリンクの表示である。

データ選択・表示インターフェース

実験条件

試料名	試料情報				試験条件				試験結果				試験機		
	寸法	MPa	K	速度	湿度	温度	時間	圧力	速度	時間	圧力	速度	時間	圧力	速度
摩擦試験 H1.1min	H2	0.12	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	1	0.85	0.57	1.82	SJLJ2	865
摩擦試験 H1.1min	H2	0.12	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	3	0.78	0.52	1.66	SJLJ2	865
水分量制御 H2.75GR	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	3	0.78	0.52	1.66	SJLJ2	865
水分量制御 H2.43GR	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	0.5	0.43	0.29	0.928	SJLJ2	865

実験結果

レーザー	摩擦係数		摩擦係数増		最大	平均	経過	
	SEM	mm2	mm2	mm2				
摩擦係数C1_max							0.0652	
摩擦係数C1_min							0.0681	
摩擦係数C1_max	摩擦係数C1 SEM_max	1.34E-05	1.29E-10	0.102	0.484	0.631	0.457	摩擦係数C1 of E1.7.4n
摩擦係数C1_min	摩擦係数C1 SEM_min	-4.19E-05	-4.27E-10	0.102	0.924	1.187	0.596	摩擦係数C1 of E1.8.4n
摩擦係数C2_max	摩擦係数C2 SEM_max	-6.87E-06	-4.17E-10	0.026	0.560	1.181	0.577	摩擦係数C2 of E2.1.4n

画像表示
経過変化表示

試料名	試料情報				試験条件				試験結果				試験機		経過	
	寸法	MPa	K	速度	湿度	温度	時間	圧力	速度	時間	圧力	速度	時間	圧力		速度
H1	H2	0.12	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	1	0.85	0.57	1.82	SJLJ2	865	0.0652
H1	H2	0.12	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	3	0.78	0.52	1.66	SJLJ2	865	0.0681
H1	H2	0.12	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	3	0.78	0.52	1.66	SJLJ2	865	0.0652
H1	H2	0.12	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	0.5	0.43	0.29	0.928	SJLJ2	865	0.0681
H1	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	3	0.78	0.52	1.66	SJLJ2	865	0.0652
H1	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	0.5	0.43	0.29	0.928	SJLJ2	865	0.0681
H1	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	0.5	0.43	0.29	0.928	SJLJ2	865	0.0652
H1	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	0.5	0.43	0.29	0.928	SJLJ2	865	0.0681
H1	H2	0.1	室温	-	100	3.2	32	1.00E+02	167	0.5	0.43	0.29	0.928	SJLJ2	865	0.0652

画像ファイル名

数値データ

経過変化ファイル名

図 2.5.(5).1 データベースのイメージ

このデータベースを使い、例えば図 2.5.(5).2 に示すような資料を作成する。これは PTFE について水分量の大小が摩擦量を支配していることを示し、その代表的な摩擦表面を示す写真を対応させた図である。このような図の作成を比較的簡単な操作で行い考察を支援することができた。

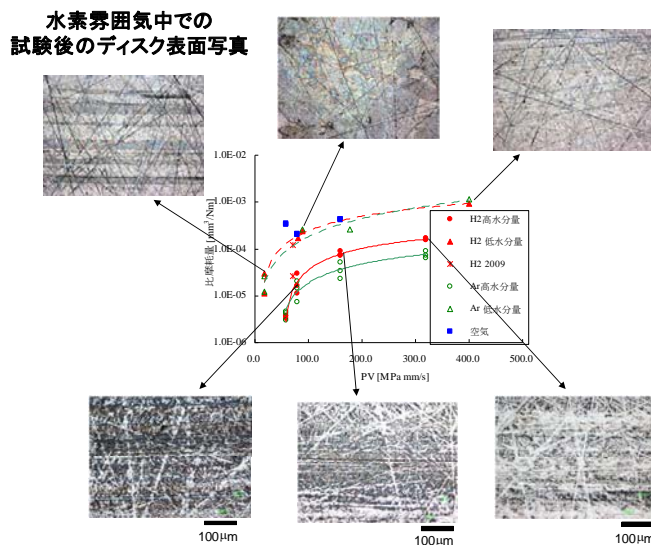


図 2.5.(5).2 データの提示例

(6) 今後の課題

図 2.5. (6).1 に本研究開発項目のロードマップを、表 2.5. (6).1 に最終目標達成に向けた今後の研究課題を示す。

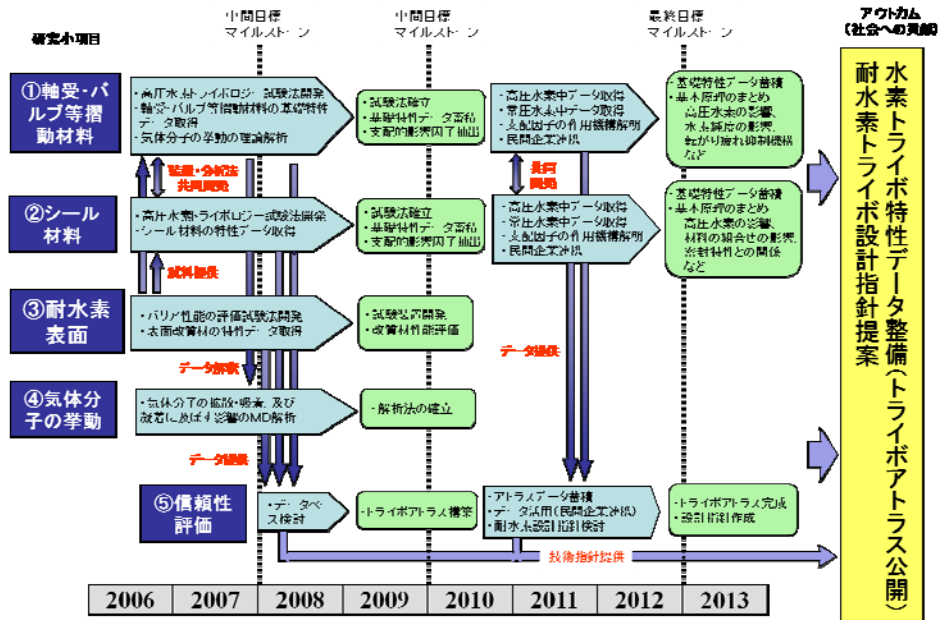


図 2.5. (6).1 本研究開発項目のロードマップ

表 2.5. (6).1 最終目標に向けた今後の課題

研究実施項目	最終目標達成に向けた、今後の課題
(1)軸受・バルブ摺動材料の水素トライボロジー特性の調査研究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製品レベルでの実用化の問題点を民間企業と連携して分析すること 2. 高圧水素曝露試験片による常圧試験と高圧中試験を継続し結果を総合的に理解すること 3. 高圧中試験の効率化と、高圧水素曝露試験片による評価方法の確立をはかること 4. 高圧中摩擦試験における雰囲気ガス中の不純物の把握と制御と可能にすること 5. 長時間作動の影響、例えば高圧ないし高温中の摩擦摩耗抑制効果の持続時間を明確にすること 6. 0.1ppm 以下の水分量、酸素量での試験を可能とする実験技術を確立すること 7. 転がり接触における水素侵入機構と防止策を明確にすること
(2)シール材料の水素トライボロジー特性の調査研究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製品レベルでの実用化の問題点を民間企業と連携して分析すること 2. 高圧水素曝露試験片による常圧試験と高圧中試験を継続し結果を総合的に理解すること 3. 高圧中試験の効率化と、高圧水素曝露試験片による評価方法の確立をはかること 4. 高圧中摩擦試験における雰囲気ガス中の不純物の把握と制御と可能にすること 5. シール材と相手面材料の組合せによる効果を明確にすること 6. トライボ特性と密封特性との関係にもとづく評価法を検討すること

(5)耐水素トライボロジー信頼性評価	<ol style="list-style-type: none">1. ユーザ向けトライボアトラスを構築し活用法を検討すること2. トライボアトラスの提示内容を民間企業の協力のもとに改善すること3. 信頼性向上と低価格をめざした耐水素トライボ設計指針を検討すること
--------------------	---

2.6 研究開発項目⑥「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」

(1) 破壊評価機能を持つ弾塑性解析シミュレーション

- 材料内の水素拡散の代表的な文献に従い ADVENTURE_Solid の機能を改良することにより、水素拡散用弾塑性解析の基本ツールになり得ることを示した。
- Eberl と同様の多結晶モデルを作成し、有限要素解析ソルバー ZeBuLoN を用いて引張り構造解析を行うことで、結晶面のせん断変形（すべり）の重ね合わせがマクロな計算で得られる垂直ひずみと良好な一致を示すことを確認した。
- 従来までは弾塑性解析から得られた節点の静水応力、相当塑性ひずみ、変位の情報を水素拡散解析に利用するのみの、一方向性連成解析しか行われなかったが、今回水素拡散—弾塑性解析の双方向性連成解析が可能となった（水素拡散解析については項目(2)参照）。

多結晶金属材料については ZeBuLoN を用いた研究を開始した。今後 ZeBuLoN と自前の水素拡散用プログラムを連成させることにより水素拡散—弾塑性連成解析の研究を進める準備が整った。並行して ADVENTURE_Solid による水素拡散—弾塑性解析も行い解析結果の精度の比較材料として Marc による解析結果を利用した。3 種類の有限要素法解析ソフトと水素拡散プログラムの各々の連成解析結果を比較する準備が整った。

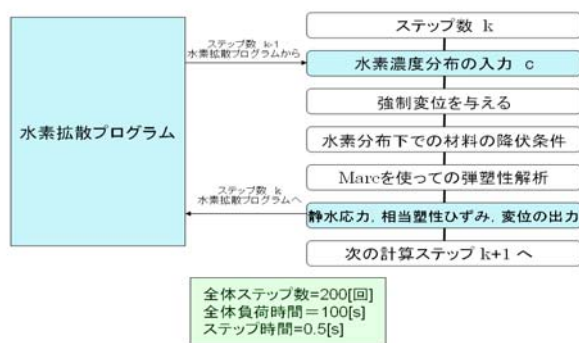


図 2.6.(1).1 連成解析フローチャートの一例

(2) 材料内の水素拡散シミュレーション

水素を次世代のエネルギーとして安全に利用するため、各種材料の強度が水素により劣化する水素脆化の機構を明らかにするシミュレーション技術を開発し、実験的手法と併用することで水素利用に関わる材料の適正な技術指針を確立することを目標に、平成 19 年度は以下のことを行った。

- x 軸対称の半円盤鈍化き裂モデルに対し、水素濃度に依存した降伏条件を適用することにより、静水応力と格子間配位水素濃度、相当塑性ひずみと欠陥配位水素濃度の関

連性を示し、負荷時間の長短変化に対し、静水応力は依存しないが、格子濃度は大きく依存する(負荷時間が短いと格子濃度は高くなる)ことを示した。

- 静水応力の勾配が大きい (Pe 数 : 大) 場合、従来の計算法 (Galerkin 法) では負の濃度が生じる。この問題の解決のために安定化法の適用を試み、解決のメドをつけた。これにより、静水応力の勾配の大小に左右されず、水素拡散計算が可能になった。平成 20 年度はさらに以下のことを行った。
- x 軸対称の半円盤鈍化き裂モデルの単軸引張りシミュレーションに対し、水素濃度に依存した降伏条件を適用することにより、静水応力と格子間配位水素濃度、相当塑性ひずみと欠陥配位水素濃度の関連性を示した。特に、負荷速度が水素濃度に与える影響について、応力拡大係数が同じ条件下であっても負荷速度が低くなるに従って格子間配位水素濃度 C_L が高くなることがわかった。また、従来用いられてきた欠陥配位水素濃度 C_T に対する Oriani の仮定を用いる限り、欠陥配位水素濃度は負荷速度にほとんど依存しない結果になることを再度確認した。それに対して、Oriani の仮定をはずした McNabb-Foster の定式化を導入し、欠陥配位水素濃度でも負荷速度が低いと濃度が高くなる結果が得られることがあることを数値的に示した。
- 本研究では今までに九州大学で開発されてきた水素拡散プログラムを用いて有限要素解析ソフト Marc で行われる構造計算との連成解析、さらには簡略化された基礎式を用いた微小平板内での 2 種の拡散係数を扱う場合の水素拡散問題に取り組んだ。

まず Marc との連成解析では水素の材料内輸送に対する応力勾配の影響、水素による材料脆化が起こった場合の C_L 、 C_T それぞれへの影響、そして負荷時間をさまざまな値で解析を行うことにより材料内での水素濃度の集中には飽和濃度が存在することが確認できた。そして静水応力に差が生じない場合にも水素濃度に大きな変化が起こりうるという結果が得られた。これまでの解析では水素の拡散が構造解析に与える影響が考慮されていなかったことに対して、本研究により相互の影響を考慮できたことは今後への大きな前進となった。今後は構造解析を中身のわかっている ADV_Solid を用いて行うことにより、より様々な条件下での解析を試みていく。

次に 2 種の拡散係数を用いた水素拡散問題の有限要素解析では、オーステナイト、マルテンサイトそれぞれでの水素の拡散の様子が確認できた。この時点で得られた結果は少ないものの、以後の(7)で行う同種の課題に取り組む際の先駆的研究となった。

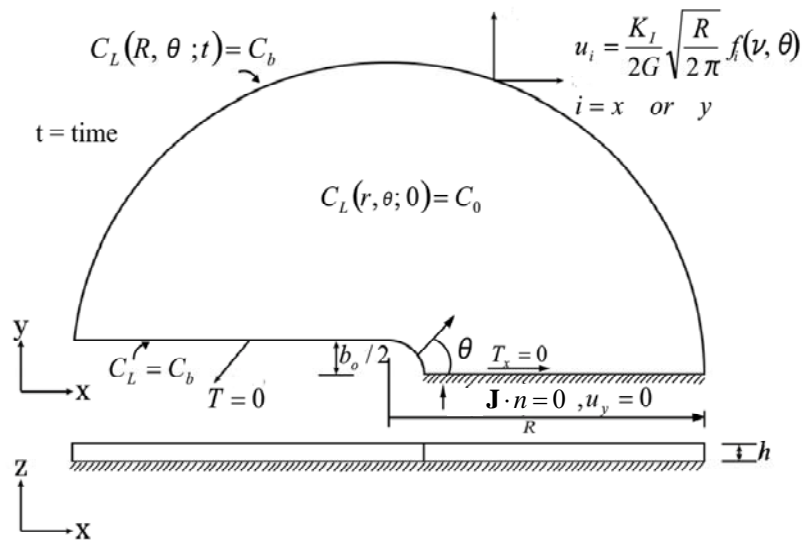


図 2.6.(2).1 x 軸対称の半円盤鈍化き裂モデル

参考文献

- [2-1] Sofronis, P., McMeeking, R.M., Numerical Analysis of Hydrogen Transport near a Blunting Crack Tip, *J. Mech. Phys. Solids* 37 (1989) pp.317-350.
- [2-2] Krom, A.H.M., Koers, R.W.J., Bakker, A., Hydrogen Transport near a Blunting Crack Tip, *J. Mech. Phys. Solids* 47 (1999) pp.971-992.
- [2-3] Sofronis, P., Liang, Y., Aravas, N., Hydrogen Induced Shear Localization of the Plastic Flow in Metals and Alloys, *European Journal of Mechanics A/Solid* 20 (2001) pp.857-872.
- [2-4] 小竹広和、松本龍介、武富紳也、宮崎則幸、鈍化き裂まわりの非定常な水素拡散—弾塑性連成解析、日本機械学会論文集A編 Vol.74, No.737 (2008) pp 30-38.
- [2-5] Kanayama, H., Shingoh, T., Stephane NDONG-MEFANE., Ogino, M., Ryuji, S. and Kawai, H.: Numerical Analysis of Hydrogen Diffusion Problems Using the Finite Element Method, *Japan National Congress for Theoretical and Applied Mechanics*, 56 (2007) pp.389-400.

(3) 材料強度解析用の大規模分子動力学シミュレータの開発及び解析

大規模分子動力学解析には、空間スケールの大規模化と時間スケールの大規模化の二つの課題がある。まず、空間スケールの大規模化に関してはクラスター計算機による並列処理を行うことを前提にして、空間スケールには領域分割法を適用して計算効率の増大をはかった。一方、時間スケールには多重時間数値積分法 (Reversible reference system propagation algorithm (rRESPA)) を採用した。本研究プロジェクトでは、主に鉄と水素からなる体系の分子動力学解析を実施する。この2つの質量比は約 55 であり、鉄系と水素系の固有振動数は大幅に異なる。すなわち、水素系の方が短い固有振動を有する。

水素系を基準に解析時間ステップ Δt を決めると余りにも小さな時間ステップとなり、計算効率の低下を招く。そこで、本研究で開発した分子動力学解析プログラムでは、複数の成分からなる系で複数の時間ステップを用いることができる上記の多重時間数値積分法を用いた。その詳細な時間積分アルゴリズムは文献[3-1]、[3-2]に記載されている。なお、本分子動力学プログラムでは、項目(4)における、研究成果をもとに、鉄-水素系の原子間ポテンシャルとして、Wen らが開発した EAM ポテンシャル[3-3]を実装した。

開発した解析プログラムを用いて解析を行った。解析対象は図 2.6.(3).1 に示すき裂を有する α 鉄 (bcc 鉄) で、き裂を囲むように結晶粒界を 2カ所に導入した。図 2.6.(3).2 に示すようにモード I の繰り返し負荷を 12 荷重ステップ与えた。解析モデルの原子数は約 100 万原子である。解析の時間ステップ数は合計 480 万時間ステップである。この解析は、空間スケールでは大規模ではないが、時間スケールでは大規模計算に属する。き裂進展の様子を図 2.6.(3).3 に示す。この図に示すように 12 荷重ステップで約 1.3nm のき裂進展が認められ、き裂進展速度は 0.11nm/cycle となった。解析結果を詳細に検討することにより、疲労き裂進展初期の低いき裂進展速度領域でのき裂進展メカニズムは、図 2.6.(3).4 に示すように推定される。

開発した分子動力学解析プログラムにより、繰り返し荷重負荷条件下での疲労き裂進展現象を解析できることがわかった。

参考文献

- [3-1] 上田 顯, 分子シミュレーション, 裳華房 (2003).
- [3-2] Tuckeman, M., Berne, B. J., Martyna, G. J., Reversible Multiple Scale Molecular Dynamics, *Journal of Chemical Physics*, Vol.97 (1992) pp.1190-2001.
- [3-3] Wen, M., Xu, X., Fukuyama, S., Yokogawa, K., Embedded-Atom-Method Functions for the Body-Centered-Cubic Iron and Hydrogen, *Journal of Materials Research*, Vol.16 (2001) pp.3496-3502.

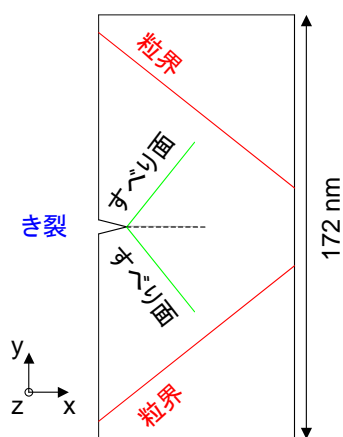


図 2.6.(3).1 解析対象

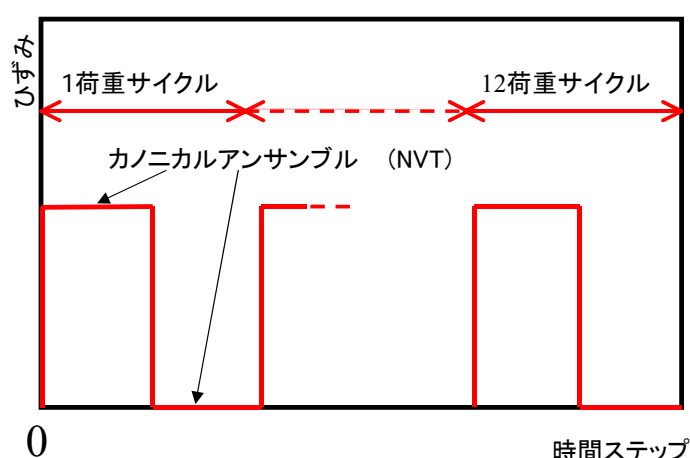


図 2.6.(3).2 繰り返し負荷

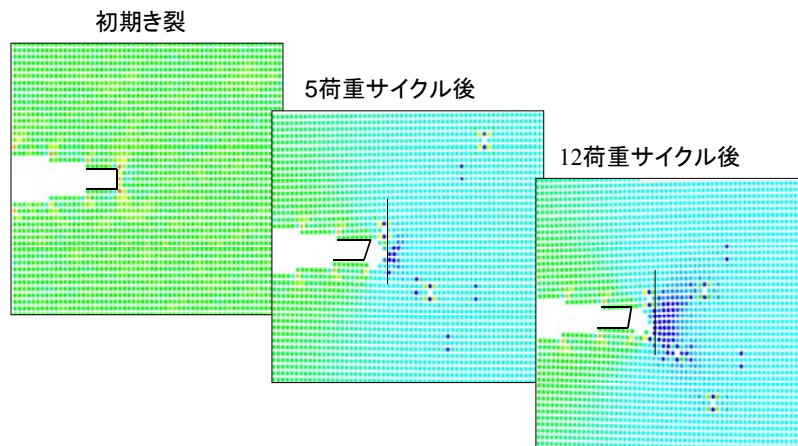


図 2.6.(3).3 き裂進展状

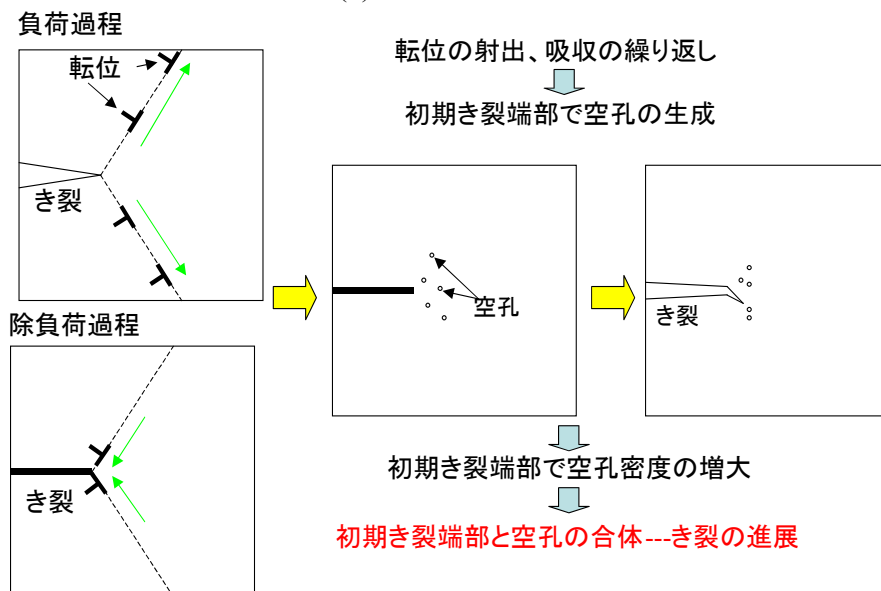


図 2.6.(3).4 繰り返し荷重負荷による疲労き裂進展初期過程のメカニズム

(4) 分子動力学法に用いる原子間ポテンシャルの調査及び分子動力学解析シミュレータによる解析

原子モデルシミュレーションにおいては、原子間ポテンシャルの選択が非常に重要である。最初に、鉄-水素系を取り扱うことのできる3つの原子間ポテンシャル(Morse ポテンシャル [4-1]、Wen らの開発した EAM ポテンシャル(EAM-W) [4-2]、Ruda らの開発した EAM ポテンシャル(EAM-R) [4-3])の中から最も適切なものを選び出すために、基本的な物性値の評価を行った。EAM-W は EAM-R をもとに、より多くの水素に関する物性値を再現するように作られている。よって、EAM-W は EAM-R よりも優れていると考えられる。EAM-W と Morse ポテンシャルに対して、鉄の弾性定数と表面エネルギー、鉄中への水素の溶解熱と水素拡散の活性化

エネルギーを評価し、実験値または第一原理計算と比較した。その結果、表面エネルギーの再現性では Morse ポテンシャルが優れるものの、それ以外の多くの物性値の再現性においては EAM-W の方が良いことがわかった。また、Morse ポテンシャルでは水素-水素間の相互作用が考慮されておらず、さらに鉄-水素間の相互作用距離が長く設定(約 1 nm)されているために 2 体ポテンシャルであるにも関わらず計算時間が長くなる。以上の結果から総合的に判断して、EAM-W を現時点で最も優れた鉄-水素系の原子間ポテンシャルであると考え、本研究では EAM-W を採用することにした。

次に、項目(3)で開発した時間積分法に多重時間数値積分法(rRESPA) [4-4]を採用した分子動力学解析シミュレータを用い、単純な系として α 鉄単結晶を対象としてモード I き裂の進展挙動に与える水素の影響について調べた。解析モデルを図 2.6.(4).1、初期水素分布を図 2.6.(4).2 に示す。初期応力拡大係数を $K_I = 0.9 [\text{MPa}\sqrt{\text{m}}]$ とし、静水圧応力が 0 のときの水素濃度 x^0 を変化させた。また、水素脆性による破壊は転位運動と密接な関係があるとの報告があるため、転位が発生しにくい結晶方位と発生しやすい結晶方位に対する結果を比較する。温度一定(400 K または 100 K) 条件下での 10 ps の緩和計算後に、境界原子に対して応力拡大係数の増加速度が $\dot{K}_I = 5.0 \times 10^9 [\text{MPa}\sqrt{\text{m}}/\text{s}]$ に対応する強制変位を与えることによってき裂進展解析を行った。

転位が生成しない結晶方位にき裂を配置した場合には、き裂進展傾向に及ぼす水素の影響はみられず、水素の有無に関わらず定性的に同様のき裂進展が観察された。一方、転位が生成する結晶方位の場合には、き裂進展に差異が生じた。すなわち、き裂先端から射出された転位近傍に水素が凝集し、転位と水素の相互作用効果によってすべり面を起点としたすべり面分離割れが観察され、水素によるき裂進展促進効果が認められた(図 2.6.(4).3)。

ここで得られた水素によるき裂進展プロセスはき裂先端から生成された転位に高密度に水素がトラップされることによって生じる。Bernstein[4-5]や南雲・宮本[4-6]は水素チャージを行った試験片を用いて引張試験を行いき裂は介在物まわりで発生し、破面が{110}面や{112}面となることを報告しており、本解析で得られた結果と定性的に一致している。なお、本解析ではモデル外周部の境界条件の影響を受けて転位がパイルアップしているが、同様の効果は粒界や介在物によっても生じると考えられる。実際に α 鉄中のき裂先端近くに粒界を配置した分子動力学シミュレーションによって転位が密にパイルアップすることが示されている[4-7]。

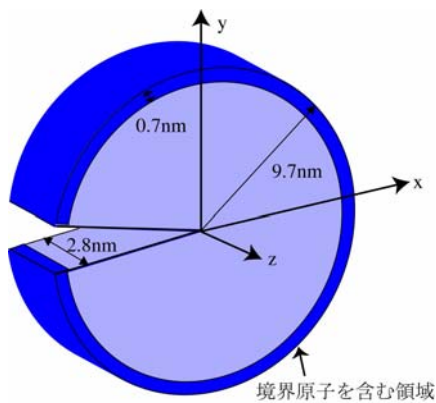


図 2.6.(4).1 解析モデル.

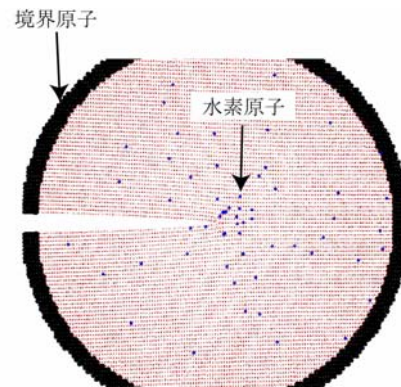


図 2.6.(4).2 初期水素原子配置.

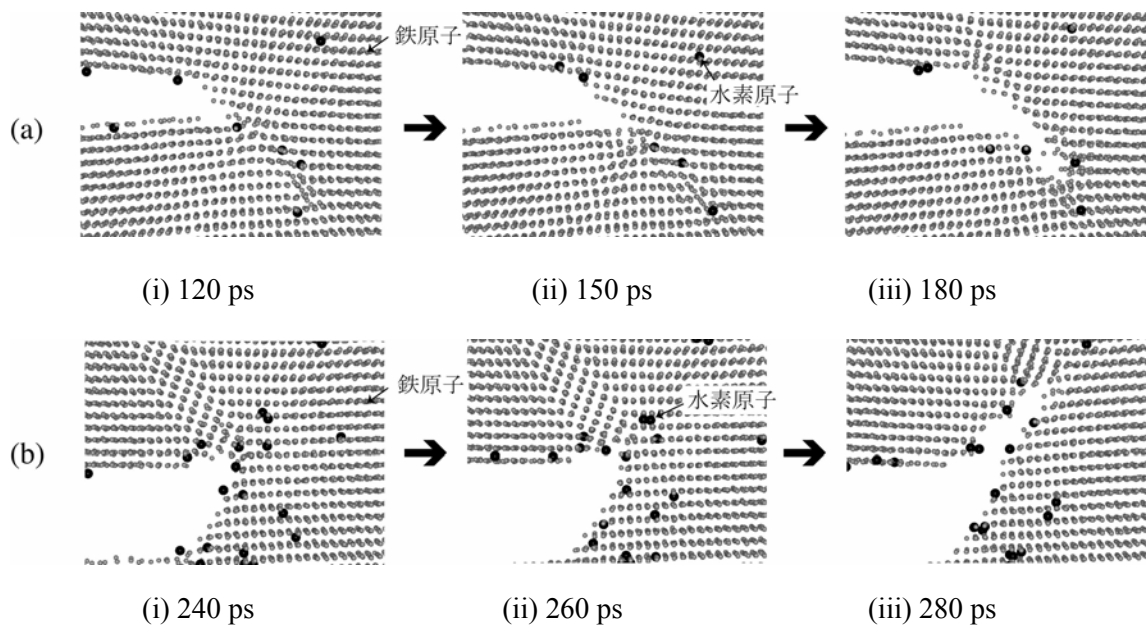


図 2.6.(4).3 き裂先端におけるすべり面分離割れ過程における水素分布;

(a) $x^0 = 1.0 \times 10^{-4}$ 、(b) $x^0 = 3.0 \times 10^{-4}$

参考文献

- [4-1] Hu, Z. et al., Hydrogen Embrittlement of a Single Crystal of Iron on a Nanometre Scale at a Crack Tip by Molecular Dynamics, *Modelling and Simulation in Materials Science*, Vol.7 (1999), pp.541-551.
- [4-2] Wen, M. et al., Embedded-Atom-Method Functions for the Body-Centered-Cubic Iron and Hydrogen, *Journal of Materials Research*, Vol.16 (2001), pp.3496-3502.
- [4-3] Ruda, M. et al, Embedded-Atom Interatomic Potentials for Hydrogen in Metals and Intermetallic Alloys, *Physical Review B*, Vol.54 (1996), pp.9765-9774.

- [4-4] Tuckerman, M. et al., Reversible Multiple Scale Molecular Dynamics, *Journal of Chemical Physics*, Vol.97 (1992), pp.1990-2001.
- [4-5] Bernstein, I. M., Hydrogen-Induced Cracking in Iron - Morphology and Crack Path Dependence, *Metallurgical Transactions*, Vol.1 (1970), pp.3143-3150.
- [4-6] Nagumo, M. and Miyamoto, K., Microscopic Process of Failure and Mechanism of Hydrogen Embrittlement of Iron, *Journal of Japan Institute of Metals*, Vol.45 (1981), pp.1309-131. (in Japanese)
- [4-7] Nishimura, K. and Miyazaki, N., Molecular Dynamics Simulation of Crack Growth under Cyclic Loading, *Computational Materials Science*, Vol.31 (2004), pp.269-278.

(5) 第一原理計算結果に基づいた原子間ポテンシャルの開発

原子間ポテンシャルを開発するためには、最初に様々な原子配置におけるエネルギー値をデータベース化する必要がある。実験的に様々な格子欠陥まわりの個々の原子座標とその配置におけるエネルギー値を知ることは困難であるため、第一原理計算によるデータベースの作成が有効な手段になる。項目(9)において、第一原理計算を用いて α 鉄中の様々な格子欠陥（自由表面、原子空孔、粒界、積層欠陥、転位芯）の水素トラップエネルギーを明らかにした結果について示す。また、その結果を利用することで、水素ガス環境における格子欠陥まわりの水素濃度、および、見かけの格子欠陥エネルギーを評価できることを示す。例えば、300 K、70 MPaの高圧水素ガス環境における熱平衡状態においては、原子空孔の周りには平均して約2個の水素原子がトラップされることがわかり、それによって原子空孔のエネルギーが2.14 eVから0.84 eVに低下することが求まる。ここでは、このようにして得られた水素の影響を受けた鉄の格子欠陥エネルギーをフィッティングデータベースとして用いる。

ポテンシャルのフィッティングにおいては、データベース値との残差が最小になるようにポテンシャル関数の最適化を行う必要がある。原子間ポテンシャルの性格から一般的に非線形多次元空間の最適化問題となり初期値依存性が強いため、ここでは突然変異を考慮した遺伝的アルゴリズムによる最適化手法を採用することにした。フィッティングには、Kumagaiらが開発して公開している汎用ポテンシャル開発ソフトkPot~Kumagai Potential-making software [5-1]を用いる。関数型として、鉄の物性値の再現性に優れるFinnis-Sinclairタイプを採用し、水素の影響を取り入れた物性値にフィッティングを行いやすいように修正を加えたものを用いる。現在、上記の第一原理計算によって求めた弾性定数、凝集エネルギー、積層欠陥エネルギー、表面エネルギー、空孔エネルギーを用いて関数型とパラメータセットについて最適化を行っているところである。

参考文献

- [5-1] <http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/potenfit/>

(6) 転位と水素の干渉効果の推定

Robertson らは *in situ* で TEM 観察を行い、水素ガスを導入した際に試験片中の転位間距離が狭くなる様子を観察している[6-1]。この観察結果は HELP 説の論拠として知られている。Sofronis は HELP の理論的根拠として、転位間の相互作用力が減少することを弾性論に基づく解析によって導いている[6-2]。すなわち、金属内の水素によって転位間の弾性相互作用力が減少することで転位間距離が狭くなることが HELP の本質であるとしている。しかしながら Robertson の実験では転位間距離が狭まる現象は観察されているものの、その原因が相互作用力の減少によるのか、もしくはその他(例えば、転位の易動度の変化やガス環境による外力)の影響を受けた結果であるかは明らかでない。また Sofronis の解析では、弾性解析であるため転位芯の部分における水素の影響を評価できていない。そこで、原子モデルを用いることで α 鉄中の刃状転位の易動度に及ぼす水素の影響を、転位芯近傍での影響も含めて解析する。さらに転位間の相互作用力についても解析し、実験において観察されている転位間距離の減少の原因について検討する。

水素が転位の易動度に及ぼす影響を検討するために、刃状転位を有する解析モデルの転位芯中央部分に一つの水素原子を導入し、分子静力学法の一つである NEB (Nudged Elastic Band) 法[6-3]を用いて、初期状態から最終状態へ転位が $1b$ 運動する遷移過程のエネルギー変化(転位運動のエネルギー障壁)を求めた。解析は三つの場合について行った。すなわち、(a)水素を含まない場合、(b)転位芯に水素を含んだ転位が $1b$ 移動する場合、および(c) $1b$ だけ前方にある水素に転位が移動して転位芯に水素を含むようになる場合である。このときの転位線方向の単位長さあたりの水素原子数は 0.49nm^{-1} となる。解析結果を図.2.6.(6).1 に示す。図に示すように、水素がない場合には転位運動のエネルギー障壁は $2.65 \times 10^{-20}\text{J}$ であるが、水素が転位芯に存在する場合には、(b)の場合で $2.35 \times 10^{-20}\text{J}$ 、(c)の場合で $1.18 \times 10^{-20}\text{J}$ というように、水素の存在によって転位運動のエネルギー障壁が低下し、転位の易動度が増すことがわかる。

さらに、刃状転位間の相互作用力に及ぼす水素の影響を、弾性解が適用できない転位芯の領域まで含めて解析した。すなわち、刃状転位解析モデルの転位芯に水素を配置して、分子静力学法によりせん断応力分布を求めた。転位芯を含むすべり面から一原子離れた原子列におけるせん断応力分布を図.2.6.(6).2 に示す。転位芯近傍には水素を導入したことによってせん断応力分布に乱れが生じているが、十分離れた距離では滑らかな分布を示す。周期境界条件を与える z 軸方向の板厚を増加して、転位線方向の単位長さあたりの水素原子数を 7.35nm^{-1} まで増やしても、せん断応力の分布に有意な差は認められなかった。本解析条件においては転位芯の構造まで考慮に入れても、水素の存在によって転位間の相互作用力に差が生じないことがわかった。

以上より、水素濃度が低い本解析条件の場合(転位線単位長さあたりの水素原子の個数: 0.49nm^{-1})には、水素の導入によって転位運動のエネルギー障壁は低くなるが、すべり面近傍

に生じるせん断応力に有意な差は生じないことがわかった。したがって、水素存在下における転位の易動度の増加は、水素による転位運動のエネルギー障壁の低下に起因することが示唆された。

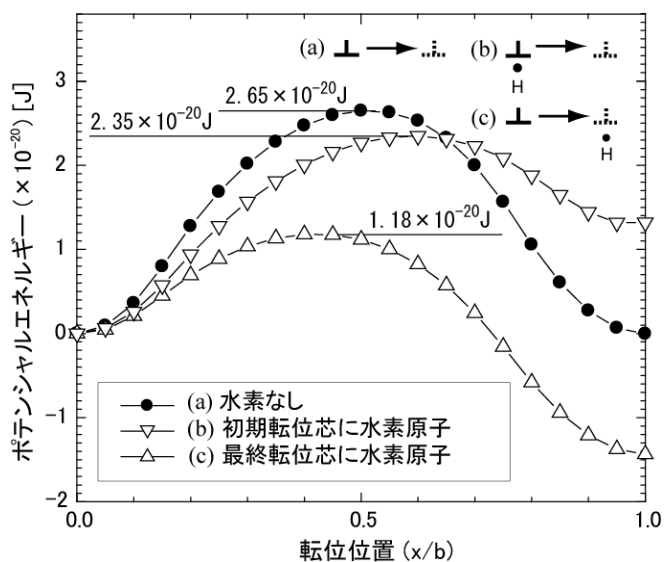


図 2.6.(6).1 α -Fe 中の転位の運動に要するエネルギー障壁に及ぼす水素の影響

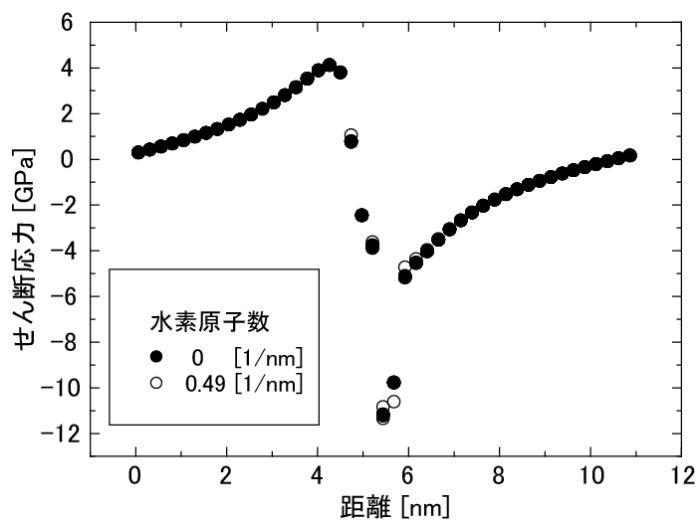


図 2.6.(6).2 刃状転位近傍のせん断応力分布におよぼす水素濃度の影響

参考文献

- [6-1] Ferreira P.J., Robertson I.M., Birnbaum H.K., Hydrogen Effects on the Character of Dislocations in High-purity Aluminum, *Acta Materialia*, Vol.47 No.10 (1999), pp.2991-2998.

- [6-2] Sofronis P., Birnbaum H.K., Mechanics of the Hydrogen-Dislocation-Impurity Interactions. 1. Increasing Shear Modulus, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol.43 No.1 (1995), pp.49-90.
- [6-3] Henkelman G., Jonsson H., Improved Tangent Estimate in the Nudged Elastic Band Method for Finding Minimum Energy Paths and Saddle Points, *Journal of Chemical Physics*, Vol.113 No.22 (2000), pp.9978-9986.

(7) き裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析

平成20年度、水素が材料強度に与える影響を調査するために平板の単軸引っ張りシミュレーションを行った。その結果、一様に入っているモデルでは起きにくいネッキング現象が、モデル中の一点に高濃度の水素が存在する場合には起こり、塑性変形しやすいことがわかった。平成21年度は、モデル中で水素が非一様に分布しうるかを数値的に検証した。多結晶塑性有限要素解析ソルバーZeBuLoNと研究室で開発した水素拡散解析コードを用いて結晶単位での弾塑性応力-水素拡散一方向連成解析を行った。その結果、初期段階で材料内に一様に分布していた水素が、応力がかかることにより、結晶同士の境界に集まることがわかった。すなわち、平成20年度行ったネッキング現象の解析の状況(水素の非一様分布)が起こりうるということがわかった。

マルテンサイトとオーステナイトの二相を含む材料内部の水素拡散を考えると、次の二つの違いに注意する必要がある。ひとつは、bcc構造のマルテンサイトはfcc構造のオーステナイトに比べて拡散係数のオーダーが3桁ほど大きい。もうひとつは、それぞれの相は異なる水素飽和度をもっていることである。EBSDで測定された情報を用いて結晶構造が異なるマルテンサイトとオーステナイトが混在する平板モデルにおいてこの二つの点を考慮した解析を行った。これにより、平成20年度までは初期段階のみであった拡散現象の再現性が、時間が経過した後の各相の飽和状況まで再現できるように改善された。

(8) 水素デバイス等の安全設計シミュレーション

水素デバイスの例として高圧タンク解析を継続し、平成19年度まで行ってきた斜交積層されたFRP部の異方性材料特性を考慮した3次元弾性解析を拡張して、金属ライナー部の塑性化を考慮したシミュレーションを行った結果、金属ライナーのタンクドーム部内部で弾性域を超える応力集中が確認された。また、き裂を有する配管や高圧タンクのような複雑な水素デバイスの弾塑性応力-水素拡散連成シミュレーションを可能とするために、研究実施項目(7)と連携する弾塑性解析システムの開発も進めた。

複雑構造となる水素デバイス等のシミュレーション作業工程で最も困難かつ時間を要するのは形状モデリングであるが、シミュレーション解析精度に大きく影響するため高精度なモデリングが必要となる。高精度な解析と作業工程の削減を実現するために、アセンブリモデリングに必要な部品間の接触面探索並びに多点拘束条件式生成システムを

開発した。これにより、複雑構造物のモデリングを可能とし、機器間の接続部などのモデリング時間が大幅に短縮され、シミュレーション実施回数をふやすことができた。

水素デバイスの例として高圧タンク解析を継続し、これまで開発してきた斜交積層されたFRP部の異方性材料特性を考慮した3次元弾塑性解析手法を拡張した。すでに形状モデリングのために、部品間の接触面探索並びに多点拘束条件式生成システムを用いた高精度な解析と作業工程の削減を実現するアセンブリモデリングを開発した。これにより複雑構造物のモデリングを可能とし、機器間の接続部などのモデリング時間が大幅に短縮され、シミュレーション実施回数をふやすことができた。平成21年度は、一方向強化/等角斜交積層板としてFRPをモデル化し、FRP層ごとに異なる繊維巻き付け手法の設定、自緊処理の考慮、数千万自由度規模の有限要素解析が可能となった。これを用いて今後、高圧水素タンクの疲労寿命予測や、高耐圧化・軽量化に向けた繊維巻き付け角度の最適化などを行う予定である。

(9) 原子シミュレーションによる欠陥と水素の相互作用に関する解析

水素脆化メカニズムの解明や、実使用における部材内の水素分布の予測のためには、材料中の様々な欠陥と水素の相互作用を知ることが重要である。まず、 α 鉄を対象として刃状転位、らせん転位、結晶粒界、原子空孔、積層欠陥、表面などの欠陥における水素トラップエネルギーを分子静力学法や第一原理計算といったナノレベルの電子・原子シミュレーションを用いて解析を行った。

bcc構造を有する α 鉄では、水素トラップエネルギーにせん断応力依存性が存在するために[9-1]、らせん転位においても刃状転位と同等の水素トラップエネルギーを有することが示された。粒界では、粒界特性(粒界エネルギー、フリーボリューム)と水素トラップ量に対応関係があることが明らかになった。すなわち、粒界エネルギーの低い粒界では水素トラップ量は少なく、粒界エネルギーが高い粒界では水素トラップ量は多くなる。また、分子動力学法を用いて動的な解析を行った結果、粒界近傍の強いトラップサイトにトラップされた水素の拡散係数は低くなり、容易には粒界面近傍の影響範囲から抜け出さないこともわかった。さらに、他の格子欠陥に対しても同様に水素との相互作用エネルギーを評価し、原子空孔が水素と強い相互作用を持つことがわかった。図2.6.(9).1に各格子欠陥のもつ最大トラップエネルギーを示す。これより、解析した欠陥のうち、自由表面がもっとも強いトラップエネルギーを示し、以下、高エネルギー粒界、原子空孔、転位芯、低エネルギー粒界、転位弾性ひずみ場、積層欠陥の順でトラップエネルギーが低くなることがわかる。しかしながら、それぞれの欠陥は幅広いトラップエネルギーを有していることから、大部分がオーバーラップしていることも示された。ここで求めた格子欠陥のトラップエネルギーと、Siverts則を用いて求まる水素環境下での格子間水素濃度を用いることで、各種格子欠陥の平衡状態における水素トラップ量を定量的に評価することが可能になった。

上記の結果から材料内部では、粒界、原子空孔、転位芯と水素との相互作用が特に重要であることがわかった。そこで、最初に粒界の強度が水素によってどのように変化する

るのかを評価した。高強度鋼の遅れ破壊は粒界割れを示す[9-2]ことから、水素による粒界の脆化説が根強く支持されている。結晶粒界の割れ易さを評価するため α 鉄中の粒界について粒界凝集エネルギーを用いる。ここで、粒界凝集エネルギーが小さいほど剥離に必要なエネルギーが小さくなる。様々な粒界の粒界凝集エネルギーを調べた結果、水素原子が粒界近傍にトラップされることで粒界は割れ易くなり、特に高エネルギー粒界でその影響が大きくなることが示された(図 2.6.(9).2)。しかしながら、その低下率はわずかであった。本結果から、 α 鉄では粒界への水素凝集の効果のみで粒界割れを促進するほどの影響は生じないと考えられる。

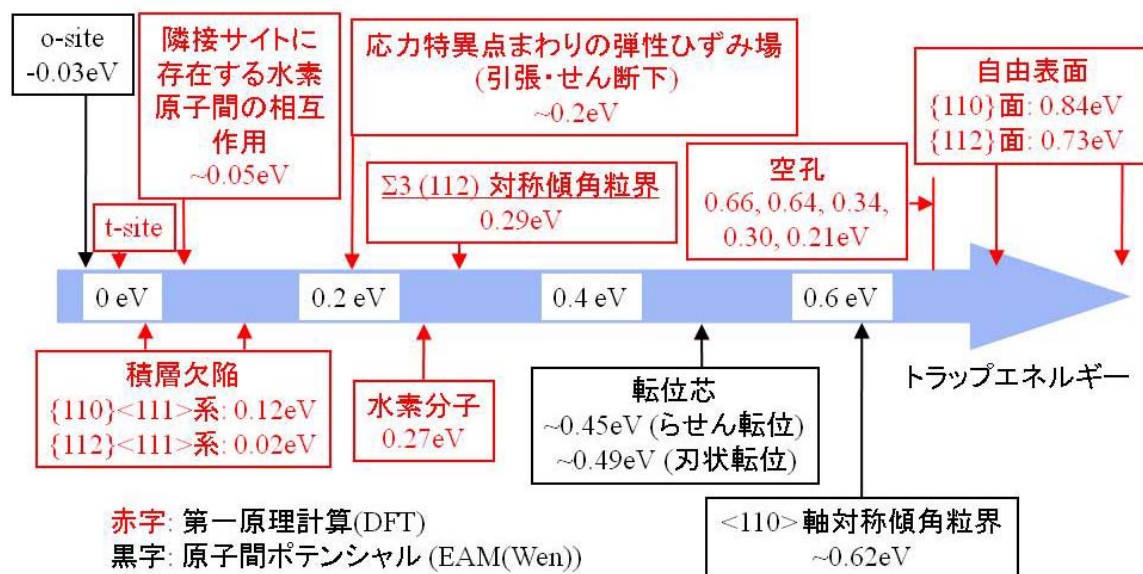


図 2.6.(9).1 α 鉄中の様々な格子欠陥の水素トラップエネルギーの比較

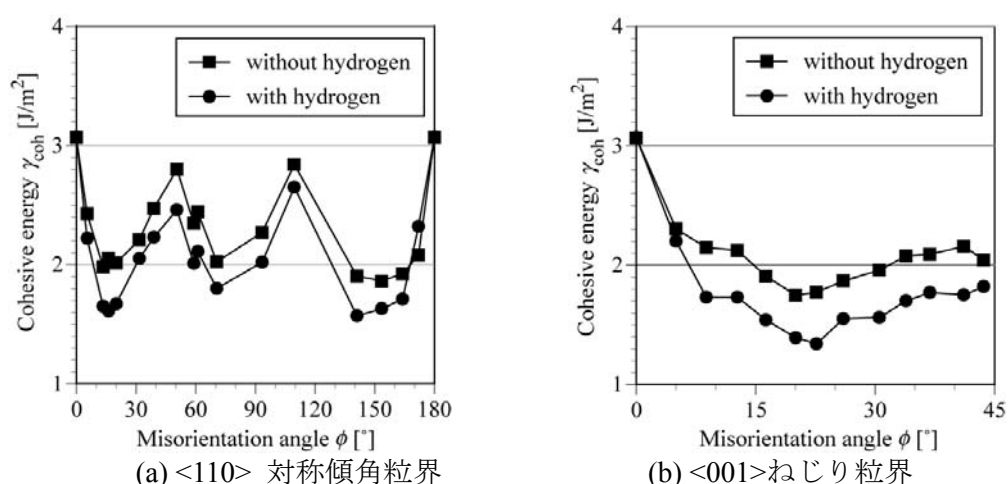


図 2.6.(9).2 粒界凝集エネルギーへの水素の影響 ($T = 300 \text{ K}$, $p = 70 \text{ MPa}$)

燃料電池システムなどで水素エネルギーの有効利用が注目されるようになり、そのた

めの研究開発が活発に行われている。水素関連機器においてもアルミニウム系材料が重要な材料の一つになってくることが考えられる。これは現在構造部材として用いられているステンレス鋼やクロムモリブデン鋼などに比べて比重が約 1/3 と軽量であり、結晶中への気体の侵入を拒むガスバリア性など、優れた性質を持つためである。実際に、車載用高圧水素タンクの内面に Al 合金の使用が検討され、実用化に向けて研究・開発が進められている。しかし、ガスバリア性は格子欠陥の種類や量に強く影響されることや、水素脆化現象が問題になることから、基礎的知見として水素と Al 中の様々な格子欠陥の相互作用挙動を知る必要がある。純アルミニウム中の格子欠陥（空孔、積層欠陥、表面）と水素のトラップエネルギー解析を第一原理計算解析ソフト VASP(Vienna Ab-Initio Simulation Package) [9-3, 9-4, 9-5]を用いて行った。

原子空孔では、水素 3 個までの範囲では水素トラップエネルギーに大きな差はなく、約 0.30 eV となる。また、{111}面上の<112>方向の積層欠陥では、積層欠陥と水素の相互作用は非常に小さく、水素トラップエネルギーは約 0 eV となる。Al の割れ面である(111)面上では最大で 0.45 eV の水素トラップエネルギーを有することが明らかとなった。これらの結果から、純アルミニウム結晶中の格子欠陥は、 α 鉄と比べて水素をトラップしないことがわかった (図 2.6.(9).3)。

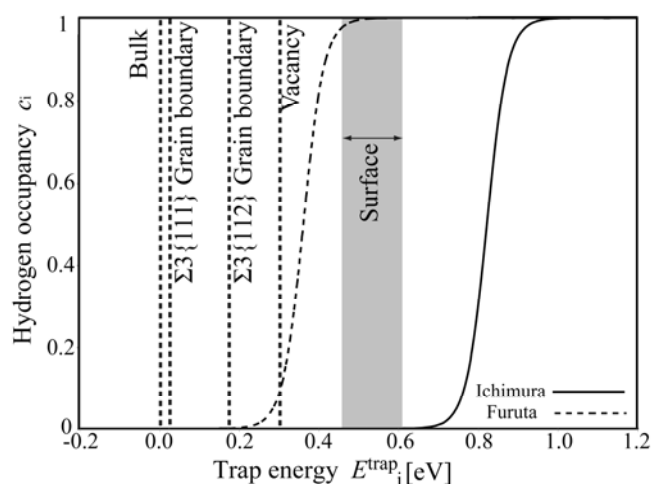


図 2.6.(9).3 純アルミニウム中の様々な欠陥の水素トラップエネルギーと水素ガス環境 ($T = 300$ K、 $p = 101,325$ Pa) における水素のトラップサイト占有率

参考文献

- [9-1] Matsumoto R., Inoue Y., Taketomi S., Miyazaki N., Influence of Shear Strain on the Hydrogen Trapped in Bcc-Fe: a First Principles-based Study, *Scripta Materialia*, Vol.60 No.7 (2009), pp.555-558.
- [9-2] Hinotani S., Terasaki F., Takahashi K., Hydrogen Embrittlement of High Strength Steel in High Pressure Hydrogen Gas at Ambient Temperature, *Zairyo-to-kankyo*,

Vol.64, No.7 (1978) pp.899-905.

- [9-3] Kresse G, Hafner J., Ab initio Molecular-dynamics for Open-shell Transition-metals, *Physical Review B*, Vol.48, No.17 (1993), pp13115-13118.
- [9-4] Kresse G, Furthmuller J., Efficient Iterative Schemes for Ab Initio Total-energy Calculations Using a Plane-wave Basis Set, *Physical Review B*, Vol.54, No.16 (1996), pp.11169-11186.
- [9-5] Kresse G, Furthmuller J., Efficiency of Ab-initio Total Energy Calculations for Metals and Semiconductors Using a Plane-wave Basis Set, *Computational Material Science*, Vol.6 No.1 (1996), pp.15-50.

(10) 原子シミュレーションによる HELP モデルの検証

HELP 機構は、転位の運動が局在化することによって発現する。したがって、転位と水素の相互作用が水素脆化機構に大きな役割を果たしていると考えられる。

まず、 α -Fe 中の刃状転位の運動に及ぼす水素の影響を調べた。項目(6)の成果から、 α 鉄中の刃状転位の転位芯に水素原子が存在する場合には転位の運動に要するエネルギー障壁が減少することが示されているが[10-1]、この解析では水素の拡散は考慮に入れていない。実際の転位と水素の運動を考えると、転位近傍の水素拡散を考慮する必要があり、転位と水素が相互作用を及ぼしあいながら、ともに運動すると考えられる。このような条件を明らかにするため、NEB 法[10-2]や分子静力学法を用いて転位の運動障壁と水素の拡散障壁の応力依存性を明らかにした。転位の運動も水素の拡散も熱活性化過程に従うと考え、アレニウスの式を用いて転位の運動と水素の拡散頻度を算出し、負荷せん断応力を変化させて比較した。その結果、負荷せん断応力と転位の運動速度の関係が図 2.6.(10).1 のように得られた。ここで、図中の赤点線は水素がない場合の転位速度で、青線が水素存在下での転位の運動速度である。本解析条件下では、負荷応力が低い場合には項目(6)で示した転位の運動障壁が、転位と水素の競合運動を律速し、水素の存在によって転位の運動速度は水素がない場合より上昇（軟化）することが示された。また、負荷応力が中程度の場合には水素の拡散速度が転位と水素の競合運動を律速し硬化に転じる。また、さらに高い応力が負荷されると転位は水素を振り切って運動してしまうため、速度は水素がない場合と同様になることが示された。

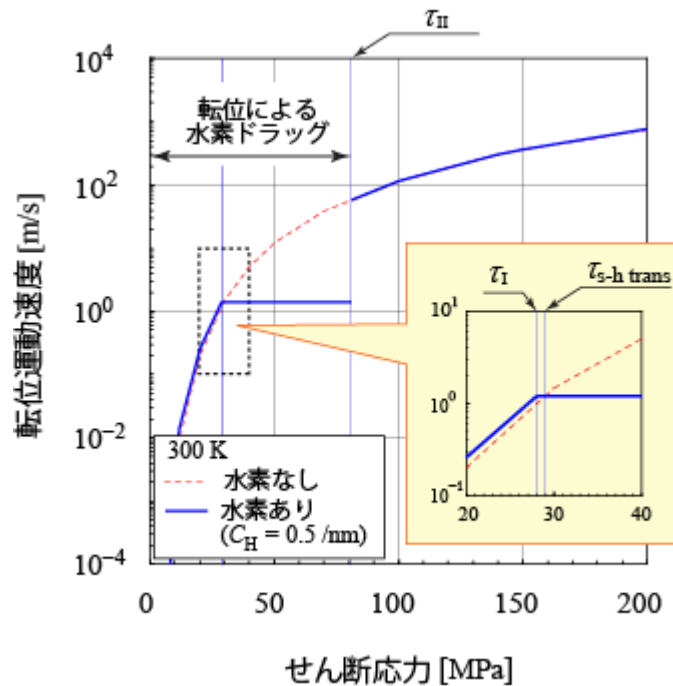


図 2.6.(10).1 負荷応力と転位の運動速度の関係；赤点線：水素がない場合、青実線：水素存在下（転位線単位長さあたりの水素濃度：0.5 /nm）

次に、 α -Fe 中き裂先端からの転位射出応力拡大係数に及ぼす水素の影響を、分子静力学法を用いて解析した。水素環境下では転位の射出が容易になることが実験的に観察されているが、原因は未だ明確にされていない。例えば水素による原子間結合エネルギーの減少[10-3]、もしくは弾性係数の減少[10-4]などが原因であると考えられている。本解析では、原子モデルを用いてモード II き裂まわりの変位の線形弾性解に従う強制変位増分を境界原子に与えることで、転位射出シミュレーションを行った。原子シミュレーションによって得られた転位射出応力拡大係数と、理論的に導かれる転位射出応力拡大係数を比較することで、積層欠陥エネルギーの減少によって、き裂先端からの刃状転位の射出が容易になることが示唆された。また、実際に使用が期待される水素ガス環境下における転位射出に及ぼす水素の影響を明らかにするため、熱平衡状態における現実的水素濃度下での転位射出応力拡大係数を調べた。水素ガス環境下の純鉄中の水素占有率が実験的に与えられており[10-5]、この占有率との平衡関係からき裂先端近傍の水素トラップサイトの水素占有率が見積もられる。この占有率を用いて水素ガス環境下での水素濃度を与えることで、転位射出応力拡大係数と水素濃度を比較したものを図 2.6.(10).2 に示す。本結果から、実用的水素ガス環境下でも転位射出が容易になることが示唆された。

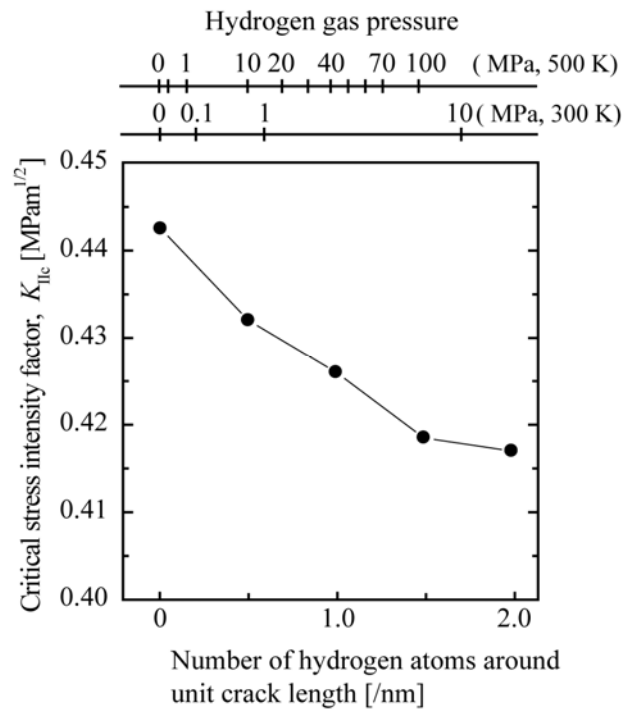
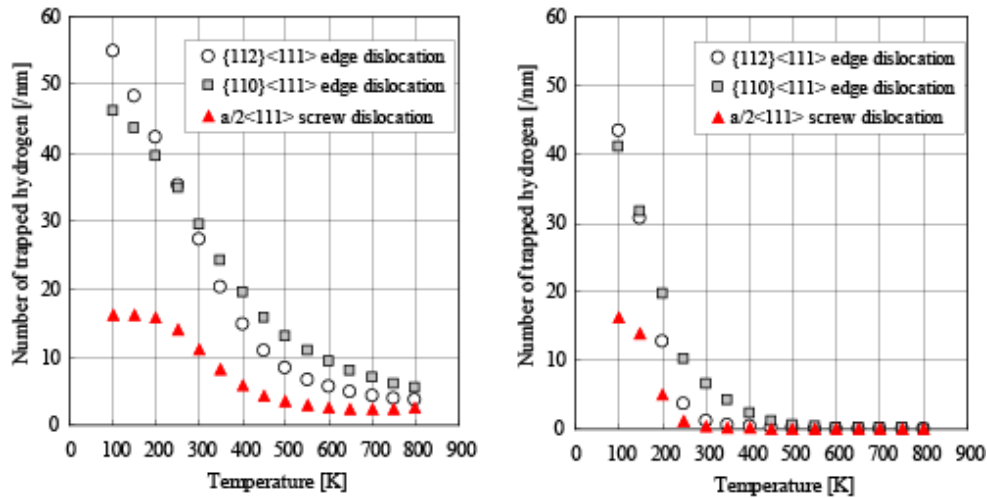


図 2.6.(10).2 き裂からの転位射出応力拡大係数に及ぼす水素濃度の影響

欠陥まわりの局所水素濃度は、実験的に測定することが非常に困難であるため、シミュレーションが有効になる。前述のき裂の問題と同様に、欠陥近傍の水素濃度は水素トラップエネルギーから算出できる。我々は項目(9)に示すように、 α -Fe中の各種欠陥近傍のトラップエネルギー分布を明らかにしている。ここでは、HELP機構において大きな役割を果たすと考えられている、転位まわりの水素濃度を明らかにする。 α -Fe中の $\{112\}\langle 111 \rangle$ 刃状転位、 $\{110\}\langle 111 \rangle$ 刃状転位、 $a/2\langle 111 \rangle$ らせん転位まわりの水素トラップエネルギー分布から、各トラップサイトにおける水素ガス環境下での熱平衡水素占有率を算出し、それらの総和をとることで転位近傍の平衡状態における水素原子数を明らかにした。結果を図2.6.(10).3に示す。転位近傍にトラップされる水素数は、らせん転位より刃状転位で多くなるが、温度と圧力の変化によって、それぞれの転位がトラップする水素原子数は大きく異なることが明らかになった。本解析で得られた水素濃度は、今後の欠陥の動力学解析で必要となる。



(a) 70 MPa 水素ガス

(b) 0.01 MPa 水素ガス

図 2.6.(10.3) 平衡状態における α -Fe 中の転位まわりの水素原子数と温度の関係 ; (a) : 水素ガス圧力 70 MPa、(b) : 水素ガス圧力 0.01 MPa

さらに、第一原理計算を用いて純アルミニウム中の転位近傍の水素トラップエネルギー分布を明らかにした。ここで、これまでの我々の研究から、転位芯を除く弾性ひずみ場における水素トラップエネルギーは、水素の溶解熱の弾性ひずみ依存性と転位周りの弾性ひずみ場の弾性解を用いることで評価することができることが明らかにされている[10-6]。同手法を用いて、純アルミニウム中の水素の溶解熱と弾性ひずみの関係を算出し、純アルミニウム中の刃状転位とらせん転位近傍の水素トラップエネルギー分布を評価した。転位近傍の弾性ひずみ場に相当する範囲 ($|e| \leq 0.05$) でひずみが増加した場合の溶解熱の変化を図2.5.(10.4)に示す。本結果から、せん断ひずみ依存性の方が、引張りひずみ依存性に比べて十分小さいことがわかる。ここで得られた溶解熱のひずみ依存性から、転位近傍弾性ひずみ場に重ね合わせて得られた転位近傍の水素トラップエネルギー分布を図2.6.(10.5)に示す。図2.6.(10.5(a)) に{111}<110>刃状転位を図2.6.(10.5(b))に{111}<110>らせん転位を示す。刃状転位においては、静水圧の大きな領域でトラップエネルギーが強くなっており、静水圧成分を持たないらせん転位では、非常に小さなトラップエネルギーしか存在しない。これらの結果は、bcc構造の純鉄 (α 鉄) の値と比べても、純アルミニウムは非常に小さなトラップエネルギーを持つこと、また、bcc構造と異なり、トラップサイトに異方性がないために、トラップエネルギーに及ぼすせん断ひずみの影響は小さく、静水ひずみの影響が大きくなることがわかる。

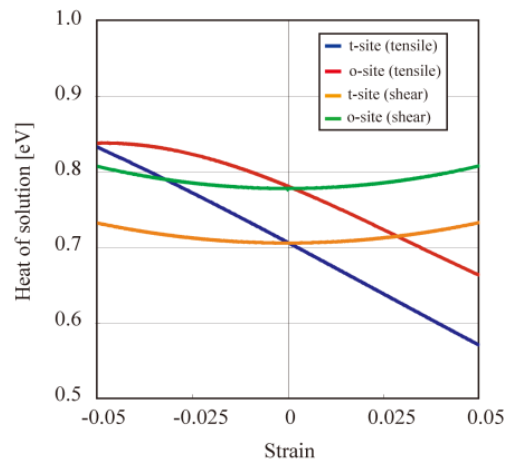


図 2.6.(10).4 純アルミニウム中への水素の溶解熱のひずみ依存性

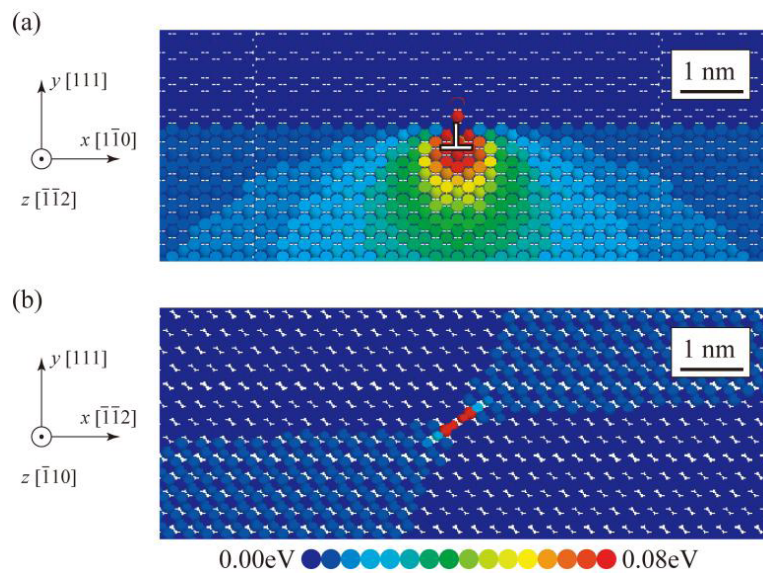


図 2.6.(10).5 純アルミニウム中の転位近傍の水素トラップエネルギー分布；
(a) : $\{111\}\langle 110\rangle$ 刃状転位、(b) : $\{111\}\langle 110\rangle$ らせん転位

また、これまでは水素脆化における反応の素過程に着目した解析を行ってきたが、より大きな空間スケールにおける水素脆化機構解明のための大規模シミュレーション手法に関する調査・検討を行い、サンディア国立研究所で開発されたオープンソースコードLAMMPS[10-7]を選定した。本解析コードにWenのEAMポテンシャルを実装し、鉄-水素系の様々な物性値を正しく計算できることを確認した。

参考文献

- [10-1] Taketomi S., Mtsumoto R., Miyazaki N., Atomistic Simulation of the Effects of Hydrogen on the Mobility of Edge Dislocation in Alpha Iron, *Journal of the Materials Science*, Vol.43 (2008), pp.1166-1169.
- [10-2] Henkelman G, Jonsson H., Improved Tangent Estimate in the Nudged Elastic Band Method for Finding Minimum Energy Paths and Saddle Points, *Journal of Chemical Physics*, Vol.113 No.22 (2000), pp.9978-9986.
- [10-3] Clum J.A., The Role of Hydrogen in Dislocation Generation in Iron Alloys, *Scripta Metalurgica*, Vol.9 No.1 (1975), pp.51-58.
- [10-4] Nibur K.A., Bahr D.F., Somerday B.P., Hydrogen Effects on Dislocation Activity in Austenitic Stainless Steel, *Acta Materialia*, Vol. 54, No.10 (2006), pp.2677-2684.
- [10-5] Hirth J.P., Effects of Hydrogen on the Properties of Iron and Steel, *Metallurgical Transactions A*, Vol.11, No.6 (1980), pp.861-890.
- [10-6] Matsumoto R., Inoue Y., Taketomi S., Miyazaki N., Influence of Shear Strain on the Hydrogen Trapped in Bcc-Fe: a First Principles-based Study, *Scripta Materialia*, Vol.60 No.7 (2009), pp.555-558.
- [10-7] <http://lammmps.sandia.gov/>

(11) 今後の課題

図 2.6.(11).1 に本研究開発項目のロードマップを、表 2.6.(11).1 に最終目標達成に向けた今後の研究課題を示す。

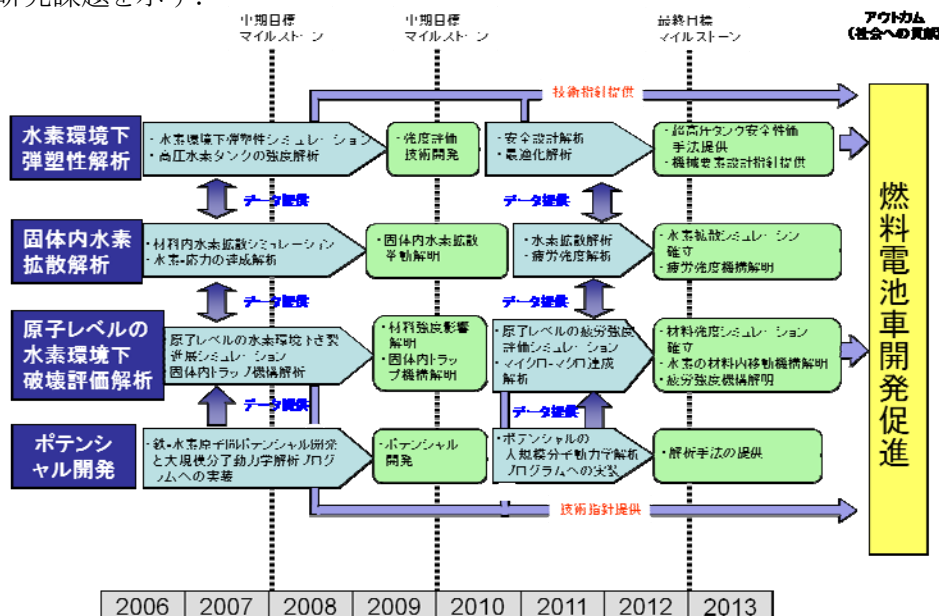


図 2.6.(11).1 本研究開発項目のロードマップ

表 2.6.(11).1 最終目標に向けた今後の課題

研究実施項目	最終目標達成に向けた、今後の課題
(7)き裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水素環境下でのき裂進展特性を模擬できるシミュレータを実装する。 2. 上記シミュレータ利用による他チームへの研究貢献の増大をはかる。 3. 上記プロセスを経て産業界へ貢献する。 4. 公開可能シミュレータを整備し提供する。
(8)水素デバイス等の安全設計シミュレーション	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水素環境下での疲労寿命予測システムを構築する。 2. 有明ステーションの実データ利用等による他チームへの研究貢献の増大をはかる。 3. 上記プロセスを経て産業界へ貢献する。 4. 公開可能シミュレーションシステムを整備し、産業界に提供する。
(9)原子シミュレーションによる欠陥と水素の相互作用に関する解析	<ol style="list-style-type: none"> 1. アルミニウム中の粒界析出物と水素の相互作用に関する第一原理計算を実施する。 2. α 鉄中の粒界への水素トラップ量に及ぼす添加水素の影響を第一原理計算を用いて検討する。 3. 前記2項目およびこれまでの研究成果をもとに欠陥(原子空孔、積層欠陥、転位、結晶粒界、自由表面、等)と水素の相互作用に関するデータベースとして整理して、水素材料特性研究チームに提供し、他チームへの研究貢献の増大をはかる。 4. 上記データベースを公開し、産業界へ貢献する。
(10)原子シミュレーションによるHELPモデルの検証	<ol style="list-style-type: none"> 1. これまでの研究で得られた、水素環境下での転位速度と負荷応力の関係式を用いて、転位動力学解析を実施し、水素存在下における転位群の運動を解析し、HELPメカニズムの検証をメグレレベルで行う。 2. 上記検討結果を水素材料特性研究チームに提供し、水素脆化メカニズムの理論的裏付けを与える。 3. 第一原理計算結果をベースとして水素の影響を考慮して作成した原子間ポテンシャルを実装した大規模分子動力学解析プログラムを開発して公開し、広く産業界で使用できるようにする。

IV. 実用化の見通しについて

1. 事業全体における実用化の見通しについて

本事業では、水素エネルギー社会に不可欠である「水素を長期間安全に利用するための学術的な基盤」を確立することを目的としている。また水素を取り扱う容器や機器における材料の水素脆化やトライボロジーなど、水素が関わる現象や挙動の基礎的メカニズムを解明するとともに、基礎的な水素物性のデータベースを構築することで関係産業界の誰もが、その成果を活用できるようにすることで水素利用技術の信頼性向上、安全性確立に資することを意図している。

具体的には、2008年7月に発表された燃料電池実用化推進協議会が描く「燃料電池自動車を2015年に一般ユーザーに普及開始」、「商用水素ステーションの設置開始」のシナリオに向けて、産業界と連携を取りながら必要なデータ、考え方を提示していく(図1)。2010年に予定される「商用水素ステーションの仕様決定」、「高圧容器および付属品の新基準発行」に関しては、産業界における設計、評価に資するために、各材料の疲労寿命を考えた使い方や設計方針を提言していく。さらに本事業の完了する2012年には、金属材料評価法の技術標準発行が予定されており、資するデータ取得に関して本事業に期待される部分は大きい。また、随時最新の高圧水素物性データベースを広く世に公開していくこと。金属材料だけでなく、バルブなど摺動材やOリングのようなシール材に関する水素環境下での疲労特性を明らかにしていくことを通して、水素インフラに使用する機器の設計手法構築や、構成部材の疲労寿命予測、メンテナンス指針を確立し、安全な水素社会を構築するための基盤となる知見を産業界に提供する。

2. 波及効果

基礎研究により技術的基盤を形成する過程において、研究の初期から海外の基準作成に影響のある研究者と一緒に考察・評価することにより、日本が国際標準の場に出遅れることなく、むしろ初めから同じ考え方に基づいた国際標準提案や国内基準整備等が行えるような研究体制とすることにより、結果として日本にとって技術的に有利になる産業界展開が可能となる。

また、産学官と地域が連携した水素エネルギー社会の実現に取り組む福岡水素エネルギー戦略会議(企業 459, 大学 109, 行政, 研究・支援機関 32)と連携し、研究成果の普及や定着のために若手技術者を対象とした水素人材育成セミナーを定期的で開催しており、さらに中小企業等の水素機器開発を支援するために設立された水素エネルギー製品研究試験センター(平成21年4月設立)に対して技術的なサポートを行うなど、人材育成や本技術分野の基礎・基盤技術の底上げを図り、近い将来、文字通り産業界で活躍する戦力となる技術者育成にも活用反映させている(図2)。

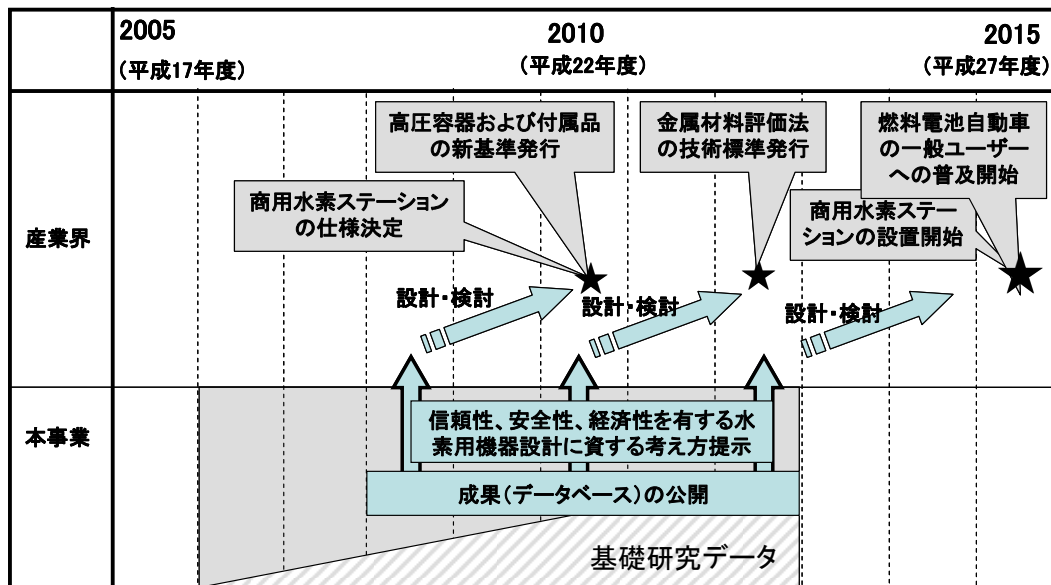


図1 事業全体における実用化の見通し



図2 産学官ならびに地域と連携した成果の波及効果

(付録) 特許、文献、発表リスト

【特許】

平成 18 年度 国内特許(1件)

発明の名称	出願番号	発明者名
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	特願 2007-022467	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二

平成 19 年度 国内特許(4件)

発明の名称	出願番号	発明者名
金属表面に四フッ化エチレン樹脂転移膜を形成する方法、及びそれを用いた摺動部材	特願 2007-139752	澤江 義則、中嶋 和弘、村上 輝夫、山口 晃
高圧水素タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	特願 2007-183739	村上 敬宜、山辺 純一郎
水素ガス中疲労試験方法	特願 2008-011048	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	特願 2008-049100	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦

平成 19 年度 外国特許(7件)

発明の名称	出願国	発明者名
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	PCT	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	アメリカ	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	カナダ	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	中国	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	インド	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	韓国	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	欧州	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、金崎 俊彦

平成 20 年度 国内特許(2件)

発明の名称	出願番号	発明者名
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	特願 2009-522691	村上 敬宜、山辺 純一郎
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素添加方法	特願 2008-202713	村上 敬宜、峯 洋二、金崎 俊彦

平成 20 年度 外国特許(21件)

発明の名称	出願国	発明者名
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	PCT	村上 敬宜、山辺 純一郎
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	アメリカ	村上 敬宜、山辺 純一郎
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	カナダ	村上 敬宜、山辺 純一郎
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	中国	村上 敬宜、山辺 純一郎

高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	インド	村上 敬宜、山辺 純一郎
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	韓国	村上 敬宜、山辺 純一郎
高圧タンクの損傷検知方法、及びそのための装置	欧州	村上 敬宜、山辺 純一郎
水素ガス中疲労試験方法	PCT	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
水素ガス中疲労試験方法	アメリカ	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
水素ガス中疲労試験方法	カナダ	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
水素ガス中疲労試験方法	中国	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
水素ガス中疲労試験方法	インド	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
水素ガス中疲労試験方法	韓国	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
水素ガス中疲労試験方法	欧州	松岡 三郎、村上 敬宜、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	PCT	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	アメリカ	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	カナダ	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	中国	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	インド	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	韓国	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	欧州	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦

平成 21 年度 国内特許(2件)

発明の名称	出願番号	発明者名
水素充填システムの水素用熱交換器	特願 2009-231123	高田 保之、Woodfield Peter、村上 敬宜
ゴム製品の検査方法及びゴム製品の検査装置	特願 2010-063164	山辺 純一郎、松本 隆志、西村 伸

平成 21 年度 外国特許(2件)

発明の名称	出願国	発明者名
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素添加方法	PCT	村上 敬宜、峯 洋二、金崎 俊彦
オーステナイト系ステンレス鋼、及びその水素除去方法	アメリカ	村上 敬宜、松岡 三郎、峯 洋二、 金崎 俊彦

【文献】

(1)「高圧水素物性の基礎研究」(水素物性研究チーム)

(2006 平成 18 年度 なし)

(2007 平成 19 年度 1 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.12	Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 67, No. 4, pp209-220	Numerical simulation for design of probe to measure hydrogen thermal conductivity at high pressure by the transient short-wire method	P.L.Woodfield, J.Fukai, M.Fujii, Y.Takata, K. Shinzato, et.al.

(2008 平成 20 年度 6 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.05	Heat Transfer-Asian Research	Enhancement of Heat Transfer in Hydrogen Storage Tank with Hydrogen Absorbing Alloy (Optimum Fin Layout)	Y. Mitsutake, M.Monde, K.shigetaka, S.Tsunokake, T.Fuura
2008.05	圧力技術	高圧水素の急速充電及び放出中の温度特性に関する無次元支配因子について	高野俊夫, 門出政則
2008.07	International Journal of Thermophysics, Vol. 29 (2008), pp1278-1298.	A Two-Dimensional Analytical Solution for the Transient Short-Hot-Wire Method,	P.L.Woodfield, J.Fukai, M.Fujii, Y.Takata, K.Shinzato
2008.07	International Journal of Thermophysics, Vol. 29 (2008), pp1299-1320.	Determining Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Low-Density Gases Using the Transient Short-Hot-Wire Method	P.L.Woodfield, J.Fukai, M.Fujii, Y.Takata, K.Shinzato
2008.11	熱物性	Numerical Simulation of Natural Convection in a Transient-Short-Hot-Wire Thermal Conductivity Cell	Woodfield Lloyd Peter, 深井潤, 藤井丕夫, 高田保之, 新里寛英
2009.03	International Journal of Thermophysics, Vol. 30 (2009), pp397-415.	Application of the Three-Omega Method to Measurement of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Hydrogen Gas	E. Yusibani, P.L.Woodfield, M.Fujii, K. Shinzato, X.Zhang, Y.Takata

(2009 平成 21 年度 13 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.04	International Journal of Thermophysics, Vol.30, No.2, pp397-415	Application of the Three-Omega Method to Measurement of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Hydrogen Gas	E. Yusibani, Peter L. Woodfield, M. Fujii, K. Shinzato, X. Zhang and Y. Takata
2009.06	Journal of Thermal Science and Technology, Vol.4, No.1, pp146-158	A Procedure for Application of the Three-Omega Method to Measurement of Gas Thermal Conductivity	E. Yusibani, Peter L. Woodfield, S. Moroe, K. Shinzato, M. Kohno and Y. Takata and M. Fujii

2009.06	International Journal of Thermophysics, Vol.30, No.3, pp796-809	An Accelerated Two-Dimensional Unsteady Heat Conduction Calculation Procedure for Thermal-Conductivity Measurement by the Transient Short-Hot-Wire Method	Peter L. Woodfield, J. Fukai, M. Fujii, Y. Takata
2009.06	International Journal of Thermophysics, Vol.30, No.3, pp833-850	End Effects in the Three-Omega Method to Measure Gas Thermal Conductivity	E. Yusibani, Peter L. Woodfield, M. Kohno, K. Shinzato, Y. Takata, M. Fujii
2009.06	Abstracts of the 17th Symposium on Thermophysical Properties, pp369-370	Thermal Conductivity Measurement of Hydrogen Gas using the Transient Short Hot-Wire Method	Shogo Moroe, Peter L. Woodfield, Koichi Kimura, Jun Fukai, Kan'ei Shinzato, Masamichi Kohno, Motoo Fujii and Yasuyuki Takata
2009.06	Abstracts of the 17th Symposium on Thermophysical Properties, pp370-371	PVT Measurements of Hydrogen at High Pressures	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2009.06	The Eleventh UK National Heat Transfer Conference (UKHTC2009)	Measurement of hydrogen thermophysical properties at high pressure	高田保之, Peter L. Woodfield, 迫田直也, 新里寛英, 藤井丕夫
2009.11	ICOPE-09	PVT MEASUREMENTS OF HIGH PRESSURE GAS BY THE BURNETT METHOD	Naoya Sakoda, Kenta Shindo, Kan'ei Shinzato, Masamichi Kohno, Yasuyuki Takata, Motoo Fujii
2009.12	International Journal of Thermophysics, Vol.30, No.6, pp1748-1772	Techniques for Accurate Resistance Measurement in the Transient Short-Hot-Wire Method Applied to High Thermal Diffusivity Gas	Peter L. Woodfield, Moroe Shogo, Fukai Jun, Motoo Fujii, Shinzato Kanei, Kohno Masamichi, Takata Yasuyuki
2009.12	水素エネルギーシステム, Vol.34, No.4, pp4-10, 2009	高圧水素の熱物性測定	高田保之, 迫田直也, 新里寛英, 藤井丕夫
2010.01	International Journal of Thermophysics, Published online	Review of the Thermodynamic Properties of Hydrogen Based on Existing Equations of State	N. Sakoda, K. Shindo, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata, and M. Fujii
2010.02	熱物性, Vol.24, No.1, pp21-28	高温高圧水素の粘性係数推算式の提案	Elin Yusibani, Peter L. Woodfield, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2010.02	熱物性, Vol.24, No.1, pp28-34	高圧水素用バーネット式PVT性質測定装置の開発	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫

(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(金属材料)」(水素材料強度特性研究チーム)

(2006 平成 18 年度 2 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006.12	日本金属学会誌,Vol.70,No.12	900MPa 級低合金鋼 SCM435 の引張特性に及ぼす水素の影響	松岡三郎, 福島良博, 村上敬宜, 他
2007.03	Vol.93, No.3, pp247-256	高圧水素ガス雰囲気暴露したオーステナイト系ステンレス鋼の疲労き裂進展挙動と水素侵入特性	峯 洋二, 金崎俊彦, 松岡三郎, 村上敬宜, 他

(2007 平成 19 年度 5 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.12	Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University Vol. 67, No. 4, pp191-197	”SIMS Analysis of Hydride in Commercially Pure Titanium”	Shigeru HAMADA and Katsu Ohnishi,et.al.
2007.12	日本機械学会論文集 (A 編),第 73 巻 736 号,pp1335-1342.	加工硬化したオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L の疲労特性に及ぼす水素の影響	早川正夫, 松岡三郎, 他
2007.12	日本機械学会論文集 (A編)73 巻 736 号 pp1358-1365	水素ステーション蓄圧器用 SCM435 鋼の疲労特性に及ぼす水素と繰り返し速度の影響	松岡三郎, 村上敬宜, 他
2008.03	TMS2008 Collected Proceedings,Vol.3, pp217-222,USA	EFFECTS OF LATTICE DEFECTS INDUCED BY HYDROGEN AND STRESS ON ENVIRONMENTAL DEGRADATION OF METALS	K.Takai ,et.al.
2008.03	材料,第 57 巻,第 3 号, pp255-261	ステンレス鋼 SUS304 および SUS316L の微小領域における塑性変形挙動に及ぼす水素の影響	峯 洋二, 松岡三郎, 村上敬宜, 他

(2008 平成 20 年度 19 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.04	International Journal of Hydrogen Energy, vol. 33 (2008), pp2604-2619.	Effects of Hydrogen on Fatigue Crack Growth Behavior of austenitic Stainless Steels	T. Kanezaki, C. Narazaki, Y. Mine, S. Matsuoka and Y. Murakami
2008.06	Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 39 (2008), pp1327-1339.	Hydrogen Embrittlement Mechanism in Fatigue of Austenitic Stainless Steels	Y. Murakami, T. Kanezaki, Y. Mine and S. Matsuoka

2008.06	日本金属学会誌, 第 72 巻- 6 号, pp448- 456.	Inconel 625とSUS 316Lの水素昇温脱離特性と電解チャージによる高圧水素ガス環境の模擬	高井健一, 村上耕太, 矢部宣明, 鈴木啓史, 萩原行人
2008.07	Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures(2008)	The effect of frequency on the giga-cycle fatigue properties of a Ti-6Al-4V alloy	E. Takeuchi, Y. Furuya, N. Nagashima and S. Matsuoka
2008.07	日本機械学会論文集 A 編, 第 74 巻-第 743 号 (2008), pp971-981.	10 MPa 水素ガス中で曝露したエチレンプロピレンゴムの水素侵入特性とブリスタ破壊に及ぼす充てん剤の影響	山辺純一郎, 中尾匡利, 藤原広匡, 西村伸
2008.07	日本機械学会論文集 A 編, 第 74 巻- 743 号(2008), pp1016- 1025.	1MPa 水素ガスパイプライン用炭素鋼 STPG370(0.19C-0.21Si-0.56Mn, mass%) の引張特性に及ぼす水素と予ひずみの影響	西口廣志, 福島良博, 松岡三郎, 村上敬宜
2008.08	日本機械学会論文集 A 編, 74 巻- 第 743 号 (2008), pp1164-1173.	0.1 MPa 水素ガスパイプライン用炭素鋼 SGP(0.078C-0.012Si-0.35Mn,mass%)の引張特性に及ぼす水素と予ひずみの影響	松尾尚, 本間紳浩, 松岡三郎, 村上敬宜
2008.08	Tribotest 2008; Vol.14 ,Issue 3, pp177-191	Fretting fatigue strength of SCM435H steel and SUH660 heat resistant steel in hydrogen gas environment	M. Kubota, Y. Tanaka and Y.Kondo
2008.09	日本機械学会論文集 A 編, 74 巻 745 号(2008), pp1249-1255	12Cr 鋼の遅れ破壊のき裂経路遷移に及ぼす応力変動の影響	近藤良之, 久保田祐信, 永末知広
2008.10	Acta Materialia, Vol.56(2008), pp5158-5167.	Lattice defects dominating hydrogen-related failure of metals	K. Takai, H. Shoda, H. Suzuki and M. Nagumo
2008.10	International Journal of Fatigue, Vol. 30, Issues 10-11, pp1978-1984	High-temperature fatigue properties of austenitic superalloys 718, A286 and 304L	K. Kobayashi, K. Yamaguchi, M. Hayakawa and M. Kimura
2008.10	日本機械学会論文集 A 編, 74 巻 746 号(2008), pp1358-1365	疲労限度以下の応力による2段2重変動応力下の疲労破壊に及ぼす微小切欠きの形状と水素の影響	近藤良之, 久保田祐信, 江田光
2008.10	日本機械学会論文集 A 編, 74 巻 746 号 (2008),pp1366-1372	微小疲労き裂の下限界近傍進展特性に及ぼす侵入水素の影響(低合金鋼, 炭素鋼, 析出強化型耐熱鋼 A286 についての検討)	近藤良之, 久保田祐信, 志々目佳子, 山口純一郎
2008.12	日本機械学会論文集 A 編, 74 巻 748 号(2008), pp1528-1537.	炭素量 0.08mass%の配管用炭素鋼鋼管の疲労き裂進展とストレッチゾーンに及ぼす水素の影響	松岡三郎, 堤紀子, 村上敬宜
2009.01	Scripta Materialia, Vol. 60, Issue 8, April (2009), pp717-720	High-voltage Electron-microscopic Observation of Cyclic Slip Behavior around a Fatigue Crack Tip in an Iron Alloy	Y. Takahashi, M. Tanaka, K. Higashida and H. Noguchi

2009.01	日本機械学会論文集 A 編, 75 巻 749 号(2008), pp93-102.	水素ステーション水素漏洩トラブルの解析と SUS316L フレキシブルホースの疲労寿命予測	村上 敬宜, 金崎 俊彦, 福島 良博, 田中裕之, 戸室仁一, 久保山孝治, 松栄雅樹, 伊藤義雄, 安藤晴彦
2009.02	International Journal of Hydrogen Energy Vol. 34-4(2009), pp1977-1989	Influence of fillers on hydrogen penetration properties and blister fracture of rubber composites for O-ring exposed to high-pressure hydrogen gas	J. Yamabe and S. Nishimura
2009.02	International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34 (2009), pp1097-1107.	Hydrogen transport in solution-treated and pre-strained austenitic stainless steels and its role in hydrogen-enhanced fatigue crack growth	Y. Mine, C. Narazaki, K. Murakami, S. Matsuoka and Y. Murakami
2009.03	圧力技術	クリープ疲労したフェライト系耐熱鋼 (12Cr-2W) のサブグレイン組織解析	早川正夫, 木村恵, 小林一夫

(2009 平成 21 年度 33 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.04	SCRIPTA MATERIALIA , 60 巻 8 号 pp717-720	High-voltage electron-microscopic observation of cyclic slip behavior around a fatigue crack tip in an iron alloy	高橋 可昌, 田中 将己, 東田 賢二, 野口 博司
2009.04	Tribology International, Volume 42, Issue 9, pp1352-1359	The effect of hydrogen gas environment on fretting fatigue strength of materials used for hydrogen utilization machines	Masanobu Kubota, Yasuhiro Tanaka and Yoshiyuki Kondo
2009.04	圧力技術 , 47 巻 2 号 pp107-114	クリープ疲労したフェライト系耐熱鋼 (12Cr-2W) のサブグレイン組織解析	早川 正夫, 木村 恵, 小林 一夫
2009.06	Acta Materialia, 57 巻 10 号 pp2993-3002	Effect of hydrogen on martensite formation in austenitic stainless steels in high pressure torsion	峯 洋二, 堀田善治, 村上敬宜
2009.06	日本機械学会論文集 A 編, 75 巻 754 号 pp752-760	低合金鋼 SCM440H の長周期変動および静応力下の水素に助長されたき裂進展挙動	近藤 良之, 久保田 祐信 , 嶋田 勝也
2009.06	Proceedings of International Conference on Fracture 12, CD-ROM	Effects of Earthquake Loads and Absorbed Hydrogen on the Fatigue Strength Reduction of Notched Component	Yoshiyuki Kondo, Takashi Yamanouchi
2009.06	圧力技術, 47 巻 3 号 pp154-160	クリープ疲労特性に優れるフェライト系耐熱鋼(12Cr-2W)のサブグレイン組織解析	早川 正夫, 木村 恵, 小林 一夫
2009.07	SCRIPTA MATERIALIA , 61 巻 2 号 pp145-148	Hydrogen-induced slip localization around a quasi-brittle fatigue crack observed by high-voltage electron microscopy	高橋 可昌, 田中 将己, 東田 賢二, 野口 博司

2009.07	Proceedings of PVP2009 of ASME, 電子媒体	Effects of Gaseous Hydrogen on Fatigue Crack Growth Behavior of Low Carbon Steel	李 東善,西川 嗣彬,尾田 安司,野口 博司
2009.07	Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference - Effects of Hydrogen on Materials, pp105-112	Influence of Hydrogen and Prestrain on Tensile Properties of Type 316L Austenitic Stainless Steel	松尾尚,山辺 純一郎,松岡 三郎,村上 敬宜
2009.07	Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference - Effects of Hydrogen on Materials, pp373-380	The Effect of Residual Hydrogen on High-Cycle Fatigue Property of Welded Joints for Gas Pipeline steel	山岡鉄史,Sergiy Mikolayovich Stepanyuk,松岡 三郎
2009.07	Proceedings of the 12th International Conference on Fracture ,CD-ROM	Microscopic study on the effect of hydrogen on deformation process near Stage II fatigue crack tip	高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,野口 博司
2009.07	Proceedings of the 12th International Conference on Fracture , CD-ROM	Microscopic study on the effect of hydrogen on fatigue crack growth process in a chromium-molybdenum steel	山口慶悟,重長正人,高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,野口 博司
2009.07	Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference - Effects of Hydrogen on Materials , pp203-210	Effect of hydrogen on microscopic deformation process near Stage II fatigue crack tip	高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,野口 博司
2009.08	日本機械学会論文集 A編,75 卷 756 号 pp1082-1089	Fe-3.2wt.%Si 合金単結晶の疲労き裂先端における繰返しすべり挙動におよぼす水素ガスの影響	高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,山口慶悟,野口 博司
2009.08	Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Volume 32, Issue 9, pp736-743	Effect of Small Notch and Absorbed Hydrogen on the Fatigue Fracture in Two-step Stress Test within Fatigue Limit Diagram	Yoshiyuki Kondo, Hikaru Eda, Masanobu Kubota
2009.09	Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference - Effects of Hydrogen on Materials , pp131-138	Hydrogen-Induced Fatigue Crack Growth Acceleration and Martensitic Transformation of Austenitic Stainless Steels	金崎 俊彦,峯 洋二,松岡 三郎,村上 敬宜

2009.09	Eurocorr 2009 CD-R, p1-8	Effect of Enhanced Lattice Defect Formation on Hydrogen Degradation of Alloy 625 and Type 316L	Kenichi Takai and Hiroki Shoda
2009.09	Proceedings of Crack Paths 2009, CD-ROM	Crack Propagation Behavior of SCM440H Low Alloy Steel Enhanced by Hydrogen under Long-term Varying Load and Static Load	Yoshiyuki Kondo, Masanobu Kubota, Katsuya Shimada
2009.10	Journal of materials science, 44 卷 20 号 pp5692-5696	SIMS Analysis of Low Content Hydrogen in Commercially Pure Titanium	濱田 繁,大西 勝,西川 嗣彬,尾田 安司,野口 博司
2009.10	日本機械学会 論文集 A編,75 卷 758 号 pp1300-1308	水素ガス環境における高強度鋼の切欠き引張特性に及ぼす水素曝露の影響	鈴木裕一, 井藤賀久岳, 野口 博司
2009.10	日本機械学会 論文集 A編,75 卷 758 号 pp1440-1442	S10C における微小穴からの極低速度疲労き裂伝ば挙動に及ぼす水素ガス雰囲気の影響	李 東善,西川 嗣彬,尾田 安司,野口 博司
2009.11	日本機械学会 論文集 A編,第 75 卷 759 号, pp1608-1614	低合金鋼切欠き材における繰返し過大応力と水素侵入による疲労強度の低下	山之内隆志, 近藤良之
2009.11	日本機械学会 論文集 A編,75 卷 759 号 pp1615-1623	水素ガス中における低炭素鋼 S10C の疲労き裂伝ば挙動に及ぼす繰返し速度の影響*	西川 嗣彬,尾田 安司,野口 博司
2009.11	Proceedings of Asian Pasific Conference for Materials and Mechanics 2009, Flash memory	Effect of Absorbed and Environmental Hydrogen on Short Fatigue Crack Propagation Near Threshold in Low Alloy Steel	Yuta Ueda, Masanobu Kubota and Yoshiyuki Kondo
2009.11	Proceedings of Asian Pasific Conference for Materials and Mechanics 2009, Flash memory	Effect of Hydrogen Concentration on Fretting Fatigue Strength	Masanobu Kubota, Tsuyoshi Nishimura, Yoshiyuki Kondo
2009.12	日本金属学会誌(まとめ), 48 卷 12 号 p609	超高圧電子顕微鏡を用いた疲労き裂先端のすべり挙動解析	高橋 可昌,田中將己,東田 賢二,野口 博司,
2009.12	材料, 58 卷 12 号 pp1009-1016	軸受鋼のモード II 疲労過程における水素誘起組織変化	藤田慎治,峯洋二,松岡三郎,村上 敬宜
2009.12	日本機械学会 論文集 A編, 75 卷 760 号 pp1754-1762	水素ガス雰囲気中における低炭素鋼 S10C の疲労き裂粒界進展機構の検討	西川 嗣彬,尾田 安司,野口 博司
2010.12	鉄と鋼 95 卷 12 号, pp870-879	A New Inclusion Rating Method by the Tensile Test with Hydrogen-precharged Specimens	Shinji Fujita , Saburo Matsuoka, Yukitaka Murakami

2010.01	Acta Materialia, 58 巻 2 号 pp649-657	Effect of high-pressure torsion on hydrogen trapping in Fe-0.01 mass% C and type 310S austenitic stainless steel	峯 洋二,堀田善治,村上敬宜
2010.01	Materials Science and Engineering A	High pressure torsion of hafnium	Kaveh Edalati,堀田善治,峯 洋二
2010.02	日本機械学会論文集 A編,76 巻 762 号 pp251-253	Fe-3.2wt.%Si 合金単結晶の stage I 疲労き裂先端における繰返し変形の TEM 観察	高橋 可昌,坂本惇司,田中將己,東田 賢二,野口 博司,

(4)「高圧／液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(高分子材料)」(水素高分子材料研究チーム)

(2009 平成 21 年度 10 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.04	SAE Paper,2009-01-0999	A Study on Sealing Behavior of Rubber O-Ring in High Pressure Hydrogen Gas	山辺純一郎, 西村伸, 古賀敦
2009.05	日本機械学会論文集 A 編, 75 巻 753 号 pp633-643	高圧水素ガス環境下における EPDM のブリスト発生限界	山辺純一郎, 西村伸
2009.08	EFFECTS OF HYDROGEN ON MATERIALS, Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference, pp307-315	A Study on Blister Damages of Rubber O-ring by High Pressure Hydrogen Durability Tester	古賀敦, 中山純一, 徳光英之, 大塚雅也, 山辺純一郎, 西村伸
2009.08	EFFECTS OF HYDROGEN ON MATERIALS, Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference, pp389-396	Blister Fracture of Rubbers for O-ring Exposed to High Pressure Hydrogen Gas Effects of Hydrogen on Materials	山辺純一郎, 中尾匡利, 藤原広匡, 西村伸
2009.08	Semiconductor FPD World, pp45-47	燃料電池自動車普及のカギ 水素技術の最新動向	山辺純一郎, 西村伸
2009.08	日本機械学会論文集 A 編, 75 巻 756 号 pp1063-1073	高圧水素ガス圧力容器用ゴム製シール材の損傷解析	山辺純一郎, 西村伸, 藤原広匡
2009.09	高分子論文集, 66 巻 9 号 pp363-372	加硫アクリロニトリルブタジエンゴムの膨潤状態, 溶液および固体 ^1H , ^{13}C NMR による構造解析	藤原広匡, 山辺純一郎, 西村伸

2009.10	SAE International Journal of Materials & Manufacturing, 2 卷 1 号 pp452-460	A Study on Sealing Behavior of Rubber O-ring in High Pressure Hydrogen Gas	山辺純一郎, 西村伸
2009.11	日本機械学会論文集 A 編, 75 巻 759 号 pp1531-1541	Oリング用エチレンプロピレンゴム(EPDM)の静き裂 進展特性および下限界引裂きエネルギーに及ぼす架 橋剤と水素曝露の影響	山辺純一郎, 西村伸
2009.12	日本機械学会論文集 A 編, 75 巻 760 号 pp1726-1737	高圧水素ガス中で露したシリカ充填エチレンプロピ レンゴムのき裂発生限界	山辺純一郎, 西村伸

(5)「高圧水素トライボロジーの解明」(水素トライボロジー研究チーム)

(2006 平成 18 年度 なし)

(2007 平成 19 年度 なし)

(2008 平成 20 年度 なし)

(2009 平成 21 年度 14 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.05	月刊トライボロジー, 261 巻 pp16-19	高圧水素雰囲気におけるトライボロジー	澤江義則, 杉村 丈一
2009.06	Proceedings of ECOTRIB 2009, pp903-908	Sliding experiments in hydrogen and surface analysis of DLC coating films	田中宏昌, 杉村 丈一
2009.07	Tribology Online, 4 巻 4 号 pp82-87	New Experiment System for Sliding Tests in Hydrogen and Surface Analysis with Transfer Vessel	田中宏昌, 澤江義則, 福田 応夫, 山神成正, 森田健 敬, 和泉直志, 杉村 丈一
2009.08	Tribology Online, Vol.4, No.4, pp92-95	Molecular dynamic simulation of gas molecules dissolved in lubricant under shear	奥村哲也, 杉村 丈一
2009.09	トライボロジスト, 5 巻 9 号 pp637-641	ステライト 6B と SUS316 の摩擦摩耗に及ぼす雰 囲気中酸素濃度の影響	森田健敬, 和泉直志, 松隈 直樹, 杉村 丈一
2009.10	トライボロジスト, 54 巻 10 号 pp701-709	水素ガス雰囲気における DLC コーティング膜の摩 擦摩耗	田中宏昌, 和泉直志, 杉村 丈一
2009.10	トライボロジスト, 54 巻 10 号 pp710-718	水素雰囲気における無充てん PTFE の摩耗特性	澤江義則, 山口晃, 土井俊 一郎, 中嶋和弘, 村上輝 夫, 黒野好恵, 杉村 丈一
2009.10	Tribology Online, Vol.4, No.5, pp103-108	Effect of Residual Gas on Tribochemical Reactions of SUJ2 Steel in Vacuum and in Argon Gas Atmosphere	Hiroki Mano, Koji Miyake, Miki Nakano, Atsushi Korenaga, Takashi Murakami, Shinya Sasaki, Joichi Sugimura

2009.10	Tribology Online, Vol.4, No.5, pp109-114	Fretting Wear Tests of Steels in Hydrogen Gas Environment	和泉直志,三室日朗,森田健敬,杉村 丈一
2009.12	トライボロジスト,54 巻 12 号 pp848-856	DLC 膜に及ぼす 40MPa 水素ガス曝露の影響	田中宏昌,森田健敬,澤江義則,杉村 丈一
2010.01	トライボロジスト,55 巻 1 号 pp53-61	鋼の摩擦摩耗特性に及ぼす水素雰囲気中の微量不純物の影響	福田応夫,橋本正明,杉村丈一
2010.01	Materials Science Forum, Vols.638-642, pp3412-3417	Friction and Wear Properties of Ar and TiC-Based Cermet Specimens in a Hydrogen Gas Atmosphere	Takashi Murakami, Katsuo Kaneda, Hiroki Mano, Masayuki Hata, Shinya Sasaki, Joichi Sugimura
2010.01	Wear, Vol. 268, pp721-729	Friction and wear properties of zirconium and niobium in a hydrogen environment	Takashi Murakami, Hiroki Mano, Katsuo Kaneda, Masayuki Hata, Shinya Sasaki, Joichi Sugimura
2010.03	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J, Journal of Engineering Tribology	Effect of High-Pressure Hydrogen Exposure on Wear of PTFE Sliding against Stainless Steel	Kazuhiro Nakashima, Akira Yamaguchi, Yoshie Kurono, Yoshinori Sawae, Teruo Murakami, Joichi Sugimura

(6)「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」(水素シミュレーション研究チーム)

(2006 平成 18 年度 なし)

(2007 平成 19 年度 3 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.01	日本機械学会論文集 A 編,Vol.74, No.737 , pp28-36.	鈍化き裂まわりの非定常な水素拡散-弾塑性連成解析	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸, 他
2008.02	Journal of Materials Science,Vol.43, No.3 pp1166-1169.	Atomistic Simulation of the Effects of Hydrogen on the Mobility of Edge Dislocation in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI
2008.02	Theoretical and Applied Mechanics, Vol.56, pp389-400	Numerical Analysis of Hydrogen Diffusion Problems Using the Finite Element Method	Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO,Ryuji SHIOYA and Hiroshi KAWAI

(2008 平成 20 年度 6 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.08	International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 85, No.8 (2008), pp540-549.	Transient Hydrogen Diffusion Analyses Coupled with Crack-tip Plasticity under Cyclic Loading	Hirokazu KOTAKE, Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI

2008.08	材料, Vol. 57, No.8 (2008), pp768-773.	α 鉄における(112)[111]刃状転位芯近傍の水素占有位置に関する原子モデルを用いた研究	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2008.09	Acta Materialia, Vol. 56, No. 15 (2008), pp3761-3769.	Atomistic Study of Hydrogen Distribution and Diffusion around a $\{112\}\langle 111 \rangle$ Edge Dislocation in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI
2008.09	Journal of Computational Science and Technology, Vol. 2, No. 4 (2008), pp447-458.	A Stabilization Method for the Hydrogen Diffusion Model in Materials,	Stephane NDONG-MEFANE, Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO and M.F.El-AMIN
2008.11	Journal of Computational Vol. 2, No. 4 (2008), pp499-510.	Hydrogen Transport in a Coupled Elastoplastic-Diffusion Analysis near a Blunting Crack Tip	Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO, Reza MIRESMAEILI, Takuya NAKAGAWA and Takahiro TODA
2008.12	Memories of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 68, No. 4 (2008), pp151-161.	Finite Element Analysis of the Stress and Deformation Fields around the Blunting Crack Tip	Reza MIRESMAEILI, Masao OGINO, Ryuji SHIOYA, Hiroshi KAWAI and Hiroshi KANAYAMA

(2009 平成 21 年度 7 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.04	Scripta Materialia, Vol.60 Issue 7, pp555-558	Influence of Shear Strain on the Hydrogen Trapped in Bcc-Fe: A First-Principles-Based Study	松本龍介, 井上義規, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.07	Effects of Hydrogen on Materials, (Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference) pp663-670	Estimation of Hydrogen Distribution around Dislocations Based on First Principles Calculations	松本龍介, 井上義規, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.07	Effects of Hydrogen on Materials, (Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference) pp580-587	Finite Element Analysis of Hydrogen Diffusion in Materials	金山寛, Stephane Ndong-Mefane, 荻野正雄
2009.07	Effects of Hydrogen on Materials, (Proceedings of the 2008 International	Atomistic Study of Hydrogen Diffusion around Dislocations in Alpha Iron, Effects of Hydrogen on Materials	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸

	Hydrogen Conference) pp655-662		
2009.12	International Journal of Hydrogen Energy, Vol.34, Issue 23, pp9576-9784	Atomic Simulations of Hydrogen Embrittlement	松本龍介, 武富紳也, 松本壮平, 宮崎則幸
2009.12	Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol.69, No.4, pp149-161	Reconsideration of the Hydrogen Diffusion Model Using the McNabb-Foster Formulation	金山寛, Stephane Ndong-Mefane, 荻野正 雄, Reza Miresmaeili
2010.02	International Journal of Mechanical Science, Vol.52, pp334-338	Atomistic Study of the Effect of Hydrogen on Dislocation Emission from a Mode II Crack Tip in Alpha Iron	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸

【口頭発表・講演】

(1)「高圧水素物性の基礎研究」(水素物性研究チーム)

(2006 平成 18 年度 1 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006.10	第 27 回日本熱物性シンポジウム	超高压水素熱物性研究プロジェクト	藤井 夫, 高田保之, 藤井賢一, 新里寛英

(2007 平成 19 年度 8 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.08	Proceedings of the 8th Asian Thermophysical Properties Conference	Review of Thermophysical Properties of Hydrogen and the Related Work of HYDROGENIUS	Naoya SAKODA, Elin YUSIBANI, Peter Lloyd WOODFIELD, Kan'ei SHINZATO, Masamichi KOHNO, Yasuyuki TAKATA, and Motoo FUJII
2007.09	化学工学会第 39 回 秋季大会	高压下での水素溶解度測定装置の準備状況	伊藤衡平, 城田農, 高田保之, 藤井丕夫, 他
2007.09	Sixth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology, Potsdam Germany	Research Project of Hydrogen Thermophysical Properties at Ultra High Pressure	Y. Takata, N. Sakoda, K. Shinzato, K. Fujii and M. Fujii
2007.10	28th Japan Symposium on Thermophysical Properties	STUDY ON CHAPMAN-ENSKOG EQUATION TO ESTIMATE HYDROGEN GAS VISCOSITY IN THE LIMIT OF ZERO DENSITY,	Elin Yusibani, Peter L. Woodfield, Kan'ei Shinzato, Yasuyuki Takata and Motoo Fujii
2007.10	28th Japan Symposium on Thermophysical Properties,	Numerical simulation of natural convection in a transient-short-hot-wire thermal conductivity cell	P. L. Woodfield, J. Fukai, M. Fujii, Y. Takata, K. Shinzato
2007.11	九州伝熱セミナー in 由布院	高压水素熱物性の研究	迫田直也
2007.11	Japan-Korea Joint Seminar on Heat Transfer IV-Thermal Solutions for Renewable Development.	Hydrogen Thermophysical Properties at very High Pressure	M.Kohno, Y. Takata

2007.12	第27回水素エネルギー協会大会	On the Prediction of Hydrogen Gas Viscosity by Chapman-Enskog Theory,	Elin Yusibani, Peter L. Woodfield, Kan'ei Shinzato, Yasuyuki Takata and Motoo Fujii
---------	-----------------	---	---

(2008 平成 20 年度 24 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.05	第45回日本伝熱シンポジウム	非定常短細線法による気体の熱伝導率測定	諸江将吾, Woodfield Lloyd Peter, 深井潤, 藤井 丕夫, 河野正道, 高田保之, 新里寛英
2008.06	The 17th World Hydrogen Energy Conference	Estimation of Rarefied Gas Effects on Thermal Conductivity of Hydrogen in a Transient-Hot-Wire cell	P. L. Woodfield, J. Fukai, M. Fujii, Y. Takata, K. Shinzato
2008.06	第13回動力・エネルギー技術シンポジウム	高圧水素の充てん・放出時の水素の温度挙動を支配する無次元パラメーターについて	門出政則, 大井手竜二, 光武雄一
2008.06	第13回動力・エネルギー技術シンポジウム	水素の水に対する溶解度	城田農, 今田智之, 伊藤衡平, 村松秀隆, 高田保之, 藤井丕夫
2008.07	The 2nd JOINT SEMINAR KYUSHU UNIVERSITY BORDEAUX UNIVERSITY	Hydrogen Thermophysical Properties at Very High Pressure	M. Kohno
2008.09	KAIST-Kyushu University Joint Seminar 2008	Study on Thermal Conductivity Measurement of Fluids using Transient Short-Hot Wire Method	諸江将吾, Woodfield Lloyd Peter, 深井潤, 藤井丕夫, 河野正道, 高田保之, 新里寛英
2008.09	The 18th European Conference on Thermophysical Properties	Development of PVT Measurement Apparatus and Preliminary Measurements for Hydrogen	迫田直也, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2008.09	The Second International Forum on Heat Transfer	The Effect of Wire Heat Capacity in the Three-Omega Method Applied to Measurement of Thermal Conductivity of Hydrogen Gas	Yusibani Elin, Woodfield Lloyd Peter, Xing ZHANG, 新里寛英, 高田保之, 藤井丕夫
2008.09	The Second International Forum on Heat Transfer	Application of a Two-Dimensional Analytical Solution to the Transient Short-Hot-Wire Method for Determining Thermal Conductivities of Fluids	Woodfield Lloyd, 深井潤, 高田保之, 藤井丕夫, 新里寛英

2008.10	The 29th Japan Symposium on Thermophysical Properties	Hydrogen Gas Viscosity At High Temperature and High Pressure	Yusibani Elin, 大塚章, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2008.10	The 29th Japan Symposium on Thermophysical Properties	Three- Dimensional Numerical Simulation of Heat Conduction in a Short-Hot-Wire Thermal Conductivity Measurement Cell	Woodfield Lloyd Peter, 諸江将吾, 河野正道, 深井潤, 藤井丕夫, 高田保之, 新里寛英
2008.10	The 29th Japan Symposium on Thermophysical Properties	非定常短細線法による流体の熱伝導率測定	諸江将吾, Woodfield Lloyd Peter, 木村浩一, 深井潤, 藤井丕夫, 河野正道, 高田保之, 新里寛英
2008.10	第 29 回日本熱物性シンポジウム	An application of the thermophysical properties database for hydrogen	Odgerel Jambal, 山口朝彦, 赤坂亮, 桃木悟
2008.10	第 29 回日本熱物性シンポジウム	高圧水素用 PVT 測定装置の開発	迫田直也, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	固体高分子形燃料電池のその場計測 ―厚さ方向を中心に―	伊藤衡平
2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	高圧・高温における気体水素の粘性係数	Yusibani Elin, 新里寛英, 藤井丕夫, 大塚章, 河野正道, 高田保之
2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	高圧水素の熱物性測定	河野正道
2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	高圧水素用PVT測定装置の開発	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	質量分析による水に対する水素溶解度測定法	城田 農, 今田智之, 伊藤衡平, 藤井丕夫, 高田保之
2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	非定常短細線法による水素の熱伝導率測定	諸江将吾, Woodfield Lloyd Peter, 木村浩一, 深井潤, 新里寛英, 河野正道, 藤井丕夫, 高田保之

2008.10	第7回日韓熱流体工学会議プレセミナー	水素利用技術と熱物性	高田保之
2008.12	第28回水素エネルギー協会大会	高圧水素充てん中の容器内水素温度と容器壁温度特性について	大井手竜二, 門出政則, 光武雄一
2008.12	第28回水素エネルギー協会大会	水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵容器の熱特性	伊藤潤, 門出政則, 光武雄一
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Hydrogen Thermophysical Property Measurements and Database	Y. Takata

(2009 平成 21 年度 23 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.06	第46回日本伝熱シンポジウム	低温高圧域における露点測定と露点推算法	石田賢治, 門出政則
2009.06	第46回日本伝熱シンポジウム	遠隔操作機能を兼ね備えた高圧 PVT 測定装置の開発および水素の PVT 測定	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2009.06	第46回日本伝熱シンポジウム	Comparison of Calculation Methods for the Transient Short-Hot-Wire Thermal Conductivity Measurement Problem	Peter L. Woodfield, Shogo Moroe, Jun Fukai, Motoo Fujii, Yasuyuki Takata, Kanei Shinzato
2009.06	第46回日本伝熱シンポジウム	細管法による高圧水素ガスの粘性係数測定	Elin Yusibani, Peter L. Woodfield, Kanei Shinzato, Masamichi Kohno, Yasuyuki Takata, Motoo Fujii
2009.06	第46回日本伝熱シンポジウム	低圧水素ガスの熱伝導率測定	諸江将吾, ウッドフィールドドピーター, 木村浩一, 深井潤, 新里寛英, 河野正道, 藤井丕夫, 高田保之
2009.06	17th Symposium on Thermophysical Properties	PVT Measurements of Hydrogen at High Pressures	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2009.06	17th Symposium on Thermophysical Properties	Thermal Conductivity Measurement of Hydrogen Gas using the Transient Short Hot-Wire Method	Shogo Moroe, Peter L. Woodfield, Koichi Kimura, Jun Fukai, Kan'ei Shinzato, Masamichi Kohno, Motoo Fujii and Yasuyuki Takata.
2009.06	17th Symposium on Thermophysical Properties	An Application of Hydrogen Thermophysical Properties Database - All in One Live CD -	Satoru Momoki, Odgerel Jambal, Tomohiko Yamaguchi, Ryo Akasaka

2009.06	第14回動力・エネルギー技術シンポジウム	小型 NMR センサーによる高分子材料内の水素溶解度の計測—その場計測手法の開発—	伊藤衡平,村松秀隆,小川邦康
2009.06	The Eleventh UK National Heat Transfer Conference (UKHTC2009)	Measurement of hydrogen thermophysical properties at high pressure	高田保之, Peter L. Woodfield, 迫田 直也, 新里 寛英, 藤井 丕夫
2009.10	長崎講演会	高压水素の PVT 測定とビリアル係数	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2009.10	第30回日本熱物性シンポジウム	バーネット法による 200 °C, 100 MPa までの高压水素の PVT 測定	進藤健太, 迫田直也, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2009.10	第30回日本熱物性シンポジウム	PVT 実測値に基づく高压水素のビリアル係数	迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 河野正道, 高田保之, 藤井丕夫
2009.10	第30回日本熱物性シンポジウム	非定常細線法による水素異性体の熱伝導率	諸江将吾, ウッドフィールド ピーター, 木村浩一, 深井潤, 藤井丕夫, 河野正道, 高田保之, 新里寛英
2009.10	第30回日本熱物性シンポジウム	気体の粘性係数測定のための半円型振動細線法	Peter L. Woodfield, Elin Yushibani, Kanei Shinzato, Masamichi Kohno, Motoo Fujii, Yasuyuki Takata
2009.10	第30回日本熱物性シンポジウム	The Challenges for High-Pressure Hydrogen Gas Viscosity Measurement	Elin Yushibani, Peter L. Woodfield, Yosuke Nagahama, Kanei Shinzato, Masamichi Kohno, Motoo Fujii, Yasuyuki Takata
2009.10	第30回日本熱物性シンポジウム	水素物性データベースの開発 --物性計算インターフェースの改善--	ジャンバルオダゲレル, 桃木悟, 赤坂亮, 山口朝彦
2009.11	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2009	水素中の微量高沸点ガスの露点測定	高坂祐頭, 石田賢治, 門出政則
2009.11	ICOPE-09	PVT Measurement of High Pressure Gas by the Burnett Method	Naoya Sakoda, Kenta Shindo, Kan'ei Shinzato, Masamichi Kohno, Yasuyuki Takata, Motoo Fujii
2009.12	第29回水素エネルギー協会大会	バーネット法による高温高压水素の PVT 測定	河野正道, 迫田直也, 進藤健太, 新里寛英, 高田保之, 藤井丕夫

2009.12	第 29 回水素エネルギー協会大会	ゴム内に溶解した水素ガスの NMR 計測	村松秀隆, 栗屋大樹, 滝田千夏, 藤原広匡, 西村伸, 小川邦康, 高田保之, 伊藤衡平
2009.12	第 29 回水素エネルギー協会大会	水素物性データベースの開発 -既存の整理式を利用した熱物性値推算システム-	桃木悟, Jambal Odgerel, 赤坂亮, 高田保之
2009.12	第 29 回水素エネルギー協会大会	細管法による高温高圧水素ガスの粘性係数測定	Elin Yusibani, 新里寛英, Peter L. Woodfield, 藤井丕夫, 長浜洋輔, 河野正道, 高田保之

(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(金属材料)」(水素材料強度特性研究チーム)

(2006 平成 18 年度 7 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.02	International HydrogenEnergy Development Forum	Effects on Hydrogen on Metal Fatigue	Y. Murakami
2007.02	International HydrogenEnergy Development Forum	Influence of high pressure hydrogen charging on fatigue crack growth on a type304 stainless steel	J. M. Olive, Y. Mine and K. Murakami, et.al.
2007.02	International HydrogenEnergy Development Forum Workshop	Effects of hydrogen on high cycle fatigue properties-Torsional fatigue under cathodic polarization and fretting fatigue in hydrogen gas	Y. Kondo and, M. Kubota
2007.02	International HydrogenEnergy Development Forum Workshop	Effect of hydrogen on the tensile properties of 900-MPa-class JIS-SCM435 low-alloy steel for use in the storage cylinders of hydrogen station	S. Matsuoka, Y. Fukushima and Y. Murakami, et.al.
2007.03	日本機械学会九州学生会第 38 回学生員卒業研究発表講演会	水素による疲労強度低下機構への応力ひずみ特性の寄与	久保田祐信, 近藤良之, 他
2007.03	日本機械学会九州学生会・第 38 回学生員卒業研究発表講演会	ステンレス鋼のフレッティング疲労強度に及ぼす水素チャージの影響	久保田祐信, 近藤良之, 他
2007.03	日本機械学会九州支部第 60 期総会・講演会	微小疲労き裂進展下限条件に及ぼす水素の影響に対する材料組織因子の検討	久保田祐信, 近藤良之, 他

(2007 平成 19 年度 31 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.05	日本材料学会・第 56 期 通常総会・学術講演会	水素による疲労強度低下機構解明へのアプローチ	久保田祐信, 近藤良之, 他
2007.06	Materials Structure & Micromechanics of Fracture (MSMF-5)	Effect of Absorbed Hydrogen on the Near Threshold Fatigue Crack Growth Behavior of Short Crack	久保田祐信, 近藤良之, 他
2007.09	The 3rd International Scientific Conference on Environmental Degradation of Engineering Materials	Influence of High pressure Hydrogen Charging on Fatigue Crack Growth on JIS-SUS304 Austenitic stainless steel	J. -M. Olive, Y. Mine, Y. Murakami, et.al.
2007.09	日本機械学会・2007 年 度年次大会	応力振幅が疲労限度以下での切欠き材の2段2重 変動応力疲労	久保田祐信, 近藤良之, 他
2007.09	International conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2007 (ATEM' 07)	Effect of hydrogen on stress-strain behavior of materials used in hydrogen environment	久保田祐信, 近藤良之, 他
2007.09	International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2007	Effect of Hydrogen on Fatigue Crack Growth Behavior and Fracture Surface Morphology of Austenitic Stainless Steels	T.KANEZAKI, Y.MINE, S.MATSUOKA,Y.MURAKAMI, et.al.
2007.09	第 154 回日本鉄鋼協会 秋季講演大会	高強度鋼の格子欠陥生成促進と遅れ破壊に及ぼす 水素とひずみの影響	高井健一, 他
2007.09	第 154 回日本鉄鋼協会 秋季講演大会	加工硬化したオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L の疲労特性に及ぼす水素の影響	早川正夫, 松岡三郎, 他
2007.09	第 154 回日本鉄鋼協会 秋季講演大会	純鉄の弾性・塑性変形過程における水素の放出挙 動	高井健一, 他
2007.10	福岡水素エネルギー社 会近未来展 2007	SUS316L 鋼加工硬化材の疲労特性に及ぼす水素の 影響	早川正夫, 松岡三郎, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	オーステナイト系ステンレス鋼の疲労き裂先端の塑 性変形挙動に及ぼす水素の影響	峯 洋二, J-M.Olive, 松岡三郎, 村上敬宜, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	ガス配管用炭素鋼鋼管溶接継ぎ手の高サイクル疲 労特性に及ぼす水素の影響	S. M. Stepanyuk, 松 岡三郎, 村上敬宜, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	低炭素鋼の引張特性に及ぼす水素と予ひずみの影 響	松岡三郎, 村上敬宜, 他

2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	高応力比・低繰返し速度下における水素ガス蓄圧器 用SCM435 鋼の疲労き裂進展特性に及ぼす水素の 影響	松岡三郎, 村上敬宜, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	軸受鋼の動的ねじり-静的圧縮荷重下での疲労挙 動に及ぼす水素の影響	松岡三郎, 村上敬宜, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	炭素量 0.08mass%の低炭素鋼板の疲労き裂進展とス トレッチゾーンに及ぼす水素の影響	松岡三郎, 堤紀子, 村 上敬宜
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	純鉄の水素脆化に及ぼす格子欠陥の同定	高井健一, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	水素と応力の相互作用によるトラップサイト生成促進 と脆化への寄与	高井健一, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カ ンファレンス	析出硬化型マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS630 の疲労き裂進展挙動に及ぼす水素の影響	金崎俊彦, 峯洋二, 松 岡三郎, 村上敬宜, 他
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Workshop	Development of Hydrogen Measurement Method by SIMS	Shigeru HAMADA
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008	Basic Mechanism of Hydrogen Embrittlement and Its Application to Design and Structural Integrity	Y.Murakami
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Workshop	Acceleration of Lattice Defects Induced by Hydrogen and Strain on Hydrogen Degradation	K.T akai
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Workshop	Some aspects of the influence of internal hydrogen on fatigue crack growth in stainless steels	J-M.Olive,Y.Mine,他
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Workshop	Effects of Diffusible and Nondiffusible Hydrogen on the Mechanical Properties of Pipeline Steels Welded Joints	S.M.Stepanyuk,S.Matsu oka, et.al.
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Workshop	Hydrogen-induced Fatigue Crack Growth Acceleration and Martensitic Transformation in Austenitic Stainless Steels	T.KANEZAKI,Y.MINE, S.MATSUOKA,Y.MUR AKAMI
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Workshop	Blister Fracture of Rubbers for O-ring Exposed to High Pressure Hydrogen Gas	S.Nishimura,J.Yamabe

2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008, Kyushu University Ito Campus	“Development of hydrogen measurement method by SIMS”	Shigeru HAMADA, Katsu OHNISHI, Saburo MATSUOKA, et.al.
2008.03	日本機械学会九州支部 第61期総会・講演会	水素ガス環境中における高強度切欠き材の引張特性	井藤賀 久岳, 濱田 繁, 野口 博司, 他
2008.03	TMS2008	EFFECT OF LATTICE DEFECTS INDUCED BY HYDROGEN AND STRESS ON ENVIRONMENTAL DEGRADATION OF METALS	K.Takai, et.al.
2008.03	日本機械学会九州学生会・第39回学生員卒業研究発表講演会	微小疲労き裂進展下限界近傍のき裂開閉挙動に及ぼす水素の影響	久保田祐信, 近藤良之, 他
2008.03	日本機械学会九州支部・第61期総会講演会	高圧水素ガス暴露試験片のフレット疲労強度	久保田祐信, 近藤良之, 他

(2008 平成 20 年度 58 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.05	第57回高分子学会年次大会	Oリング用ゴム材料の100MPa水素雰囲気下における変形・破壊挙動	藤原広匡, 中尾匡利, 山辺 純一郎, 西村伸
2008.05	日本材料学会 第57期 学術講演会	10MPa水素ガス中で曝露したOリング用ゴム材料のブリスタ破壊と水素量に及ぼすカーボンブラックの影響	山辺純一郎, 中尾匡利, 藤原広匡, 西村伸
2008.05	日本材料学会 第57期 学術講演会	水素ガス中における過大荷重負荷後の切欠き材の疲労強度について	山口純一郎, 久保田祐信, 近藤良之
2008.06	日本化学会講演会	水素は、いかに材料の強度に影響するか	村上敬宜
2008.08	Summer school on Hydrogen organized by NEDO, Kyushu University, AIST, and Hydrogen Technology Research Center Cooperation, Fukuoka, 28 August 2008.	Research and development on Hydrogen in France and in Europ	Jean-Marc Olive
2008.08	日本機械学会 2008年度年次大会	高圧水素ガス環境中で曝露したゴム材料のブリスタ破壊と引張特性・水素侵入特性に及ぼす充てん剤の影響	山辺純一郎, 中尾匡利, 藤原広匡, 西村伸
2008.08	日本機械学会 2008年度年次大会	水素チャージしたIF鋼のナノインデンテーション	長島伸夫, 早川正夫, 竹内悦男
2008.08	日本機械学会 2008年度年次大会	高濃度に水素侵入させたステンレス鋼のフレット疲労強度	西村剛, 久保田祐信, 近藤良之

2008.09	(社)日本鉄鋼協会第 156回秋季講演会	水素による延性低下と格子欠陥生成促進との関係	生田裕樹, 鈴木啓史, 高 井健一, 萩原行人
2008.09	ECF17(17th European Conference on Fracture)	Effect of Hydrogen on Fatigue Crack Growth of Metals	Y. Murakami
2008.09	ECF17(17th European Conference on Fracture)	The decrease of tensile strength for the notched specimens in the hydrogen gas	H. Itoga, Y. Suzuki and H. Noguchi
2008.09	ECF17(17th European Conference on Fracture)	Effect of Hydrogen on Mode II Fatigue Behavior of Bearing Steel under Cyclic Torsion with Compressive Mean Stress	S. Fujita, S. Matsuoka and Y. Murakami
2008.09	ECF17(17th European Conference on Fracture)	Effect of Notch Shape and Absorbed Hydrogen on the Fatigue Fracture below Fatigue Limit	Y.Kondo, M.Kubota and H.Eda
2008.09	ECF17(17th European Conference on Fracture)	Fatigue Strength Reduction of Notched Component in Hydrogen Gas after Multiple Overloading	M. Kubota, J. Yamaguchi and Y. Kondo
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	Effect of hydrogen on microscopic deformation process near Stage II fatigue crack tip	K. Takahashi, M. Tanaka, K. Higashida and H. Noguchi
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	A Study On Blister Damages of Rubber O-ring by High Pressure Hydrogen Durability Tester	Koga, J. Nakayama, H. Tokumitsu, M. Otuka and J. Yamabe
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	Blister Fracture of Rubbers for O-ring Exposed to High Pressure Hydrogen Gas	J. Yamabe, M. Nakao, H. Fujiwara and S. Nishimura
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	Structural Materials Issues in Development of Hydrogen Energy Infrastructure in Japan	Y. Murakami
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	Hydrogen-Induced Fatigue Crack Growth Acceleration and Martensitic Transformation of an Austenitic Stainless Steel	T. Kanezaki, Y.Mine, S. Matsuoka and Y. Murakami
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	The effect of residual hydrogen on high-cycle fatigue property of welded joints for gas pipeline steel	T. Yamaoka, S. Stepanyuk, and S.Matsuoka
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	INFLUENCE OF HYDROGEN AND PRESTRAIN ON TENSILE PROPERTIES OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL JIS-SUS316L	T. Matuo, J. Yamabe, S. Matsuoka and Y. Murakami
2008.09	International Hydrogen Conference 2008	Lattice defect formation and degradation enhanced by hydrogen and strain of metals	K. Takai and H. Shoda
2008.09	第 57 回高分子討論会	高圧水素下における Oリング用ゴム材料の機械的 特性に対するフィラーの影響	藤原広匡, 中尾匡利, 山 辺純一郎, 西村伸

2008.09	日本機械学会 M&M2008 材料力学カ ンファレンス	低合金鋼の微小疲労き裂進展及びき裂開閉口挙動 に及ぼす水素の影響	植田祐太, 久保田祐信, 近藤良之
2008.09	日本機械学会 M&M2008 材料力学カ ンファレンス	Oリング用ゴム材料の機械的性質に及ぼす高圧水 素ガス曝露の影響	中尾匡利, 藤原広匡, 山 辺 純一郎, 西村伸
2008.09	日本機械学会 M&M2008 材料力学カ ンファレンス	高強度鋼 SCM435 切欠き材の引張強度に及ぼす水 素の影響	鈴木裕一, 井藤賀久岳, 濱田繁, 野口博司
2008.09	日本機械学会 M&M2008 材料力学カ ンファレンス	加工硬化したオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L の疲労特性に及ぼす水素の影響	竹内悦男, 早川正夫, 長 島伸夫, 古谷佳之, 松岡 三郎
2008.09	日本鉄鋼協会「構造材 料の組織と破壊」フォー ラム	低炭素オーステナイト系ステンレス鋼の加工硬化材 の組織と強度解析	長島伸夫, 早川正夫
2008.09	日本鉄鋼協会第 156 回 秋季講演大会	550°Cで焼き戻した炭素鋼 S45C の疲労特性に及ぼ す水素の影響	竹内悦男, 早川正夫, 長 島伸夫, 松岡三郎
2008.10	3rd EPRI Expert Workshop on Creep-Fatigue Damage Interaction	The Effect of Compressive Strain Hold on the Low Cycle Fatigue Life of Various Materials at Elevated Temperature	M. Hayakawa, K. Kobayashi and M. Kimura
2008.10	Proceedings of Materials Science & Technology 2008, MS&T'08 CD-ROM, pp.1348-1358(2008).	Role of Vacancies and Dislocations in Hydrogen Degradation	K.Takai and H.Shoda
2008.10	Proceedings of the 3rd International Conference on Material and Processing	Mechanism of Reduction of Fretting Fatigue Limit in Hydrogen Gas Environment	M. Kubota, Y. Tanaka, K. Kuwada and Y. Kondo
2008.10	水素エネルギー協会第 126 回定例研究会	ブリスタに強いゴム材料	西村伸
2008.10	水素エネルギー先端技 術展 2008 燃料電池・ 水素エネルギー専門技 術セミナー	高圧水素環境下におけるOリング用ゴム材料の破壊 ・変形挙動	山辺純一郎
2008.11	Welding and Related Technologies Into the Third Millennium	Effects of Hydrogen on Mechanical Properties of Welded Joints of STPG370 and SGP Pipe Steels	S. M. Stepanyuk, T. Yamaoka, S. Matsuoka, H. Nishiguchi and Y. Murakami
2008.11	日本機械学会 第21回 計算力学講演会	疲労破壊と引張破壊メカニズムに及ぼす水素の影 響	松岡三郎
2008.11	日本機械学会 第21回 計算力学講演会	金属材料中の水素存在状態と水素脆化	高井健一

2008.11	日本材料学会 第29回 疲労シンポジウム	高圧水素ガスに曝露した 1900MPa 級高強度鋼の疲労き裂進展挙動	松本拓哉, 藤田慎治, 福島良博, 松岡三郎, 村上敬宜
2008.11	日本材料学会 第29回 疲労シンポジウム	70MPa 水素ステーション蓄圧器用 SNCM439 鋼の疲労特性に及ぼす水素の影響	矢野大樹, 本間紳浩, 福島良博, 松岡三郎, 村上敬宜
2008.12	2008 年度高分子の崩壊と安定化研究討論会	Oリング用ゴム材料の高圧水素による劣化挙動	藤原広匡, 中尾匡利, 山辺純一郎, 西村伸
2008.12	第 20 回エラストマー討論会	高圧水素ガスシール用ゴム材料の変形・破壊挙動 (2) -ブリスタ発生・進展のメカニズム-	山辺純一郎, 中尾匡利, 藤原広匡, 西村伸
2008.12	第 20 回エラストマー討論会	高圧水素ガスシール用ゴム材料の変形・破壊挙動 (1) -水素量とブリスタ破壊の関係-	藤原広匡, 中尾匡利, 山辺純一郎, 西村伸
2008.12	日本ゴム協会トライボロジー研究会	ブリスタに強いゴム材料	西村伸
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Fatigue Crack Growth Mechanism in Hydrogen : For the Safe Design of Hydrogen Infrastructure	S. Matsuoka
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009 Symposium of HYFROGENIUS Research Team	Sealing Behavior of Rubber O-ring for High Pressure Hydrogen Gas	S. Nishimura and J. Yamabe
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009 Symposium of HYFROGENIUS Research Team	The Effect of Hydrogen and Test Frequency on Fatigue Crack Growth in Austenitic Stainless Steels	T. Kanazaki, Y. Mine, S. Matsuoka and Y. Murakami
2009.02	水素セミナー2009 in SAGA	水素エネルギー実用化に向けた課題と HYDROGENIUS の取り組み	西村伸
2009.03	(社)日本鉄鋼協会第 157 回春季講演会	安定および準安定オーステナイトステンレス鋼の昇温脱離プロファイルと水素脆化	高井健一, 廣瀬貴規, 鈴木啓史, 萩原行人
2009.03	日本機械学会九州学生会 第 40 回学生員卒業研究発表講演会	SCM435 鋼の疲労き裂伝ばの微視的機構におよぼす水素ガス雰囲気の影響	重長正人, 山口慶悟, 高橋可昌, 野口博司
2009.03	日本機械学会九州学生会 第 40 回学生員卒業研究発表講演会	疲労き裂伝ば速度に及ぼす雰囲気水素と材料内水素の影響	堀内優, 西川嗣彬, 尾田安司, 野口博司
2009.03	日本機械学会九州学生会 第 40 回学生員卒業研究発表講演会	連続水素チャージ条件下の低合金鋼の破壊靱性	山之口和輝, 久保田祐信, 近藤良之

2009.03	日本機械学会九州学生会 第40回学生員卒業研究発表講演会	過大荷重による疲労強度低下に及ぼす水素の影響	佐久間亨, 久保田祐信, 近藤良之
2009.03	日本機械学会九州支部 第40回総会・講演会	高濃度水素を含むステンレス鋼のフレット疲労強度	西村剛, 久保田祐信, 近藤良之
2009.03	日本機械学会九州支部 第40回総会・講演会	地震による過大荷重を考慮した水素利用機器部材の疲労設計基準に関する研究	山口純一郎, 久保田祐信, 近藤良之
2009.03	日本機械学会九州支部 第62回総会・講演会	SCM435 鋼の疲労き裂伝ばの微視的機構におよぼす水素の影響	山口慶悟, 重長正人, 高橋 可昌, 田中将己, 東田賢二, 野口博司
2009.03	日本機械学会九州支部 第62回総会・講演会	低炭素鋼 S10C の疲労き裂伝ば特性に及ぼす水素ガスの影響	李東善, 西川嗣彬, 尾田安司, 野口博司
2009.03	日本機械学会九州支部 第62回総会・講演会	水素ガス中での疲労き裂進展速度に及ぼす繰返し速度の影響	西川嗣彬, 藤嶋正博, 尾田安司, 野口博司
2009.03	日本機械学会九州支部 第62回総会・講演会	水素ガス中におけるステンレス鋼のフレット疲労強度低下機構	桑田喬平, 久保田祐信, 近藤良之

(2009 平成 21 年度 35 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.05	日本材料学会 第58期 学術講演会	軸受鋼のモードII 疲労き裂の発生・進展挙動に及ぼす水素の影響	藤田慎治, 松岡三郎, 村上敬宜
2009.05	日本材料学会 第58期 学術講演会	シリコン鉄合金中の疲労き裂先端におけるすべり挙動の透過型電子顕微鏡観察	高橋 可昌, 東田 賢二, 野口 博司, 田中将己
2009.05	日本材料学会 第58期 学術講演会	SUS316L の過大荷重による疲労強度低下に及ぼす水素の影響	佐久間亨, 山口純一郎, 久保田祐信, 近藤良之
2009.06	International Conference on Fracture 12	Effects of Earthquake Loads and Absorbed Hydrogen on the Fatigue Strength Reduction of Notched Component	Yoshiyuki Kondo, Takashi Yamanouchi
2009.07	12th International Conference on Fracture	Loading-Frequency Effects on Fatigue Crack Growth Behavior of a Low Carbon Steel in Hydrogen Gas Environment	西川 嗣彬, 尾田 安司, 野口 博司
2009.07	12th International Conference on Fracture	Hydrogen exposure effect on tensile strength of high strength steel sharp notched specimen	鈴木 裕一, 井藤賀久岳, 野口 博司
2009.07	12th International Conference on Fracture	Characterization of Subgrains for Ferritic Heat-Resisting Steels with Different Creep-Fatigue Susceptibility	早川 正夫, 木村 恵, 小林 一夫

2009.07	12th International Conference on Fracture	Microscopic study on the effect of hydrogen on fatigue crack growth process in a chromium-molybdenum steel	山口慶悟,重長正人,高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,野口 博司
2009.07	日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス	炭素鋼 S45C の疲労特性に及ぼす水素の影響	竹内 悦男,早川 正夫,長島 伸夫,松岡 三郎
2009.07	日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス	ナノインデンテーション法による鋼の塑性変形開始点挙動に及ぼす水素の影響評価	長島 伸夫,早川 正夫,竹内 悦男
2009.07	日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス	TEM 法による疲労き裂先端のすべり挙動におよぼす水素の影響評価	高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,野口 博司
2009.07	PVP2009 conference of ASME	Effects of Gaseous Hydrogen on Fatigue Crack Growth Behavior of Low Carbon Steel	李 東善,西川 嗣彬,尾田 安司,野口 博司
2009.09	Crack Paths 2009	Crack Propagation Behavior of SCM440H Low Alloy Steel Enhanced by Hydrogen under Long-term Varying Load and Static Load	Yoshiyuki Kondo, Masanobu Kubota, Katsuya Shimada
2009.09	7th EUROMECH Solid Mechanics Conference (ESMC2009)	Effect of Crosshead speed on tensile strength in high pressure hydrogen gas environment for high strength steel	井藤賀 久岳,野口 博司,濱田 繁
2009.09	機械学会年次大会	疲労き裂伝ばの微視的機構におよぼす水素の影響	高橋 可昌,田中 將己,東田 賢二,野口 博司
2009.09	日本鉄鋼協会第 158 回 秋季講演大会	電解チャージを施した純鉄の水素存在状態変化と力学特性との関係	種市直紀,鈴木啓史,高井健一,萩原行人
2009.09	日本鉄鋼協会第 158 回 秋季講演大会	焼戻しマルテンサイト鋼の水素脆化感受性に及ぼす温度とひずみ速度の影響	伊藤博史,鈴木啓史,高井健一,萩原行人
2009.09	日本鉄鋼協会第 158 回 秋季講演大会	純鉄および伸線パーライト鋼の水素とひずみの相互作用により促進された格子欠陥の同定	宮下友徳,生田裕樹,鈴木啓史,高井健一,萩原行人,平出哲也
2009.09	第 56 回材料と環境討論会	高強度鋼の水素脆化特性に及ぼす水素存在状態と水素ひずみ誘起格子欠陥の影響	土信田知樹,鈴木啓史,高井健一,萩原行人
2009.09	第 56 回材料と環境討論会	応力下における安定および準安定オーステナイトステンレス鋼の水素存在状態変化と水素脆化特性	廣瀬貴規,鈴木啓史,高井健一,萩原行人
2009.10	第 53 回日本学術会議 材料工学連合講演会	微細結晶粒ステンレス鋼 SUS304 の引張特性に及ぼす水素の影響	橘 和孝,峯 洋二,堀田善治,村上敬宜
2009.10	日本材料学会	高圧水素ガス中におけるき裂を有する高強度鋼の引張強度のひずみ速度依存性	井藤賀 久岳,野口 博司
2009.10	水素エネルギー先端技術展 2009	SUS304 鋼の水素ガス中プレッティング疲労における疲労限度低下機構と水素量の影響	久保田祐信
2009.10	水素エネルギー先端技術展 2009	耐水素疲労設計法構築のための部品・部材の強度評価	近藤良之,久保田祐信

2009.11	日本ばね学会	パーライトバネの疲労破壊メカニズム特性	井藤賀 久岳,野口 博 司
2009.11	第17回機械材料・材料 加工技術講演会 (M&P2009)	SUS304 鋼の水素ガス中におけるフレタイング疲労 限度低下機構の検討	久保田祐信,田中康宏, 桑田喬平,近藤良之
2009.11	Asian Pacific Conference for Materials and Mechanics APCMM2009	Effect of Absorbed and Environmental Hydrogen on Short Fatigue Crack Propagation Near Threshold in Low Alloy Steel	植田裕太,久保田祐信, 近藤良之
2009.11	Asian Pacific Conference for Materials and Mechanics APCMM2009	Effect of Hydrogen Concentration on Fretting Fatigue Strength	久保田祐信,西村剛,近 藤良之
2010.03	日本機械学会 九州学 生会 第41回学生員卒 業研究発表講演会	高圧水素ガス配管溶接継ぎ手の疲労強度特性	松本圭純,久保田祐信, 近藤良之
2010.03	日本機械学会 九州学 生会 第41回学生員卒 業研究発表講演会	多量に水素侵入させた SUS304 鋼の水素ガス中フレ ッタイング疲労強度	白石悠貴,久保田祐信, 近藤良之
2010.03	日本機械学会 九州支 部 第63期総会講演会	ステンレス鋼の二段多重変動応力疲労に及ぼす水 素の影響	荻原 龍,久保田祐信, 近藤良之
2010.03	日本機械学会 九州支 部 第63期総会講演会	低合金鋼の破壊じん性に及ぼす水素と負荷速度の 影響	池宮 秀也,久保田祐 信,近藤良之
2010.03	日本機械学会 九州支 部 第63期総会講演会	微小疲労き裂の進展挙動に及ぼす侵入水素, 周囲 環境および応力比の影響	植田 祐太,久保田祐 信,近藤良之
2010.03	日本機械学会 九州支 部 第63期総会講演会	切欠き材の疲労強度に及ぼす過大荷重と水素の影 響	佐久間亨,久保田祐信, 近藤良之
2010.03	日本鉄鋼協会第159回 秋季講演大会	冷間伸線パーライト鋼の水素脆化感受性と格子欠 陥形成促進との関係	土信田知樹,鈴木啓史, 高井健一,萩原行人

(4)「高圧／液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(高分子材料)」(水素高分子材料研究チーム)

(2009 平成 21 年度 19 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.04	SAE World Congress 2009	A Study on Sealing Behavior of Rubber O-Ring in High Pressure Hydrogen Gas	山辺純一郎, 西村伸, 古賀敦
2009.05	日本材料学会学術講 演会	高圧水素ガスシール用ゴム材料のプリスタ発生限界 の推定	山辺純一郎, 西村伸
2009.05	日本ゴム協会年次大会	高圧水素ガス圧力容器用ゴムシール材料の損傷解 析	山辺純一郎, 西村伸, 藤原広匡

2009.05	日本ゴム協会年次大会	高圧水素ガス曝露によるゴムシール材料の劣化評価	西村伸, 山辺純一郎, 藤原広匡
2009.05	日本ゴム協会年次大会	高圧水素耐久試験機によるゴムシール材料の破壊評価	古賀敦, 山辺純一郎, 西村伸
2009.05	高分子学会年次大会	固体 NMR を用いた高圧水素ガスシール用ゴム材料中の水素量評価	藤原広匡, 山辺純一郎, 西村伸
2009.09	高分子学会高分子討論会	Oリング用ゴム材料の高圧水素ガスによるプリスタ破壊現象	西村伸, 山辺純一郎, 藤原広匡
2009.10	The 1st FAPS Polymer Congress (Federation of Asian Polymer Societies)	Influence of Fillers on Decompression Failure of Rubber Composites for O-Ring Exposed to High Pressure Hydrogen Gas	山辺純一郎, 西村伸, 藤原広匡
2009.10	The 1st FAPS Polymer Congress (Federation of Asian Polymer Societies)	The Influence of High Pressure Hydrogen Gas on Rubber Material for Pressure-Resistant Vessels Sealing -The Evaluation of Hydrogen Contents in Rubber Material Using Solid State NMR Spectroscopy	藤原広匡, 山辺純一郎, 西村伸
2009.10	第 14 回破壊力学シンポジウム	水素曝露した未充填およびシリカ充填エチレンプロピレンゴム EPDM のき裂発生限界の破壊力学的検討	山辺純一郎, 西村伸
2009.11	NMR 討論会	高圧水素ガスシール用ゴム材料中に溶解した水素の固体 NMR による解析	藤原広匡, 山辺純一郎, 西村伸
2009.12	日本ゴム協会エラストマー討論会	高圧水素ガス環境中で曝露した O リング用ゴム材料の引張特性	中尾匡利, 藤原広匡, 山辺純一郎, 西村伸
2009.12	日本ゴム協会エラストマー討論会	L18 直交実験によるゴム O リングのプリスタ破壊の要因解析	古賀敦, 山辺純一郎, 西村伸
2009.12	日本ゴム協会エラストマー討論会	高圧水素ガス中で曝露したエチレンプロピレンゴムのプリスタ発生限界	山辺純一郎, 西村伸
2009.12	日本ゴム協会エラストマー討論会	水素ガスシール用エチレンプロピレンゴムの 70MPa 水素ガス環境中での水素透過特性とプリスタ損傷	山辺純一郎, 西村伸, 古賀敦
2009.12	The 11th Pacific Polymer Conference	The Influence of High Pressure Hydrogen Gas on Rubber Composite Materials for O-rings of High Pressure Hydrogen Vessels	西村伸, 山辺純一郎, 藤原広匡
2009.12	Osaka University Macromolecular Symposium on Chemistry, Physics, and Biology in Macromolecular Science(OUMS'09)	A Study on Rubber Composites as Sealing Materials for High-pressure Hydrogen Gas Vessels	西村伸, 山辺純一郎, 藤原広匡

2010.02	第12回機械・構造物の強度設計, 安全性評価のシンポジウム(日本材料学会)	高圧水素ガス圧力容器用ゴム製 Oリングの損傷解析	山辺純一郎, 西村伸, 藤原広匡
2010.03	第1回 日本複合材料合同会議(日本材料学会, 日本複合材料学会)	高圧水素ガス中で曝露したフィラー充填エチレンプロピレンゴムのプリスタ損傷と水素透過特性に及ぼすカーボンブラック粒径の影響	山辺純一郎, 西村伸

(5)「高圧水素トライボロジー」(水素トライボロジー研究チーム)

(2006 平成 18 年度 1 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.02	International Hydrogen Energy Development Forum	Hydrogen in Tribology	杉村丈一

(2007 平成 19 年度 17 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.09	34th Leeds-Lyon Symposium on Tribology	Novel Acoustic Emission Measurement for Evaluation of Rolling Bearing's Lubricating Condition	間野 大樹, 佐々木 信也, 他
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	金属の摩擦摩耗に及ぼす水素の影響	福田応夫, 杉村丈一
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	水素雰囲気におけるシール用樹脂材料の摩擦・摩耗	澤江義則, 中嶋和弘, 村上輝夫, 杉村丈一, 他
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	軸受鋼の転がり疲れに及ぼす水素雰囲気の影響	田中宏昌, 橋本正明, 杉村丈一
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	各種雰囲気中における SUJ2 及び SUS440C の摩擦特性	橋本正明, 田中宏昌, 杉村丈一
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	各種雰囲気におけるバルブ摺動材料の摩擦摩耗	森田健敬, 杉村丈一, 他
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	水素雰囲気による金属摩擦表面の変化と摺動特性への影響	間野 大樹, 村上 敬, 佐々木 信也, 杉村丈一, 他
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	鋼系材料の各種雰囲気中における摩耗特性の温度依存性	村上 敬, 間野 大樹, 佐々木 信也, 福田応夫, 杉村丈一, 他
2007.09	トライボロジー会議 2007 秋 佐賀	せん断場における潤滑剤バルクの分子動力学シミュレーション	奥村哲也, 他

2007.10	福岡水素エネルギー社会近未来展 2007	水素トライボロジーの課題	澤江義則
2007.10	International Joint Tribology Conference 2007	Effects of Hydrogen Atmosphere on Wear Behavior of PTFE Sliding against Austenitic Stainless Steel	澤江義則, 中嶋和弘, 村上輝夫, 杉村丈一, 他
2007.11	日本機械学会第 15 回機械材料・材料加工技術講演会	水素雰囲気中のフレッチング摩耗試験	和泉直志, 三室日朗, 森田健敬, 杉村丈一
2008.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2008	Behavior of hydrogen in tribosystems	杉村丈一
2008.02	Hydrogen Tribology Workshop	Influences of Hydrogen on Some Pure Metals in Dry Friction	福田応夫
2008.02	Hydrogen Tribology Workshop	Development of Tribometer for Measuring in Hydrogen Gas at Low Temperature	村上敬
2008.02	Hydrogen Tribology Workshop	Wear and Friction of Polymeric Sealing Material in Hydrogen Environment	中嶋和弘
2008.02	Hydrogen Tribology Workshop	Friction Test and Analysis System with Transfer Vessel	田中宏昌

(2008 平成 20 年度 27 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	シール用樹脂材料の摩擦・摩耗に対する高圧水素曝露の影響	中嶋和宏, 山口晃, 澤江義則, 村上輝夫, 杉村丈一
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	各種雰囲気における SUS316L の摩擦面上の酸化膜形成	山神成正, 橋本正明, 田中宏昌, 杉村丈一
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	トランスファーベッセルを用いた摩擦試験・表面分析システム	田中宏昌, 澤江義則, 福田応夫, 山神成正, 森田健敬, 和泉直志, 杉村丈一
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	摩擦力と試験片変位の面内分布を用いた水素雰囲気における摩擦摩耗現象解析	福田応夫, 森田健敬, 杉村丈一
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	鋼のトライボロジー特性に及ぼす水素雰囲気とその純度の影響	福田応夫, 長野清翔, 田中宏昌, 橋本正明, 杉村丈一
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	金属の摩擦摩耗に及ぼす水素の影響 その2	福田応夫, 長野清翔, 杉村丈一
2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	水素雰囲気中のフレッチング摩耗試験 (第 3 報)	和泉直志, 三室日朗, 森田健敬, 山神成正, 杉村丈一

2008.05	トライボロジー会議 2008 春東京	各種雰囲気におけるバルブ摺動材料の摩擦摩耗 (第2報)	森田健敬, 松隈直樹, 山神成正, 杉村丈一
2008.08	日本機械学会年次大会	ジルコニウム系合金の水素ガス中におけるトライボロジー特性	村上敬, 間野大樹, 佐々木信也, 杉村丈一
2008.09	35th Leeds-Lyon Symposium on Tribology	Effect of High Pressure Hydrogen Exposure on Wear of PTFE Sliding against Stainless Steel	K.Nakashima, A.yamaguchi, Y.Sawae, T.Murakami, J.Sugimura
2008.09	35th Leeds-Lyon Symposium on Tribology	Behaviour of gas at tribo-interface in hydrogen environment	J.Sugimura, K. Fukuda, H.Tanaka, Y.Sawae, N.Izumi
2008.09	トライボロジー会議 2008 秋 名古屋	水素雰囲気中におけるジルコニウム-ニオブ系材料 の摩擦・摩耗特性	村上敬, 間野大樹, 金 田克夫, 畑政行, 佐々 木信也, 杉村丈一
2008.09	トライボロジー会議 2008 秋 名古屋	シール用樹脂材料の摩擦・摩耗に対する高圧水素 曝露の影響(第二報)	中嶋和弘, 澤江義則, 村上輝夫, 杉村丈一
2008.09	トライボロジー会議 2008 秋 名古屋	気体分子を溶存した潤滑剤バルクの分子動力学シミュレーション	奥村哲也, 杉村丈一
2008.09	トライボロジー会議 2008 秋 名古屋	PTFE の転移膜形成と摩耗量に及ぼす水素雰囲気 の影響	澤江義則, 中嶋和弘, 土井俊一郎, 山口晃, 村上輝夫, 杉村丈一
2008.09	トライボロジー会議 2008 秋 名古屋	金属の摩擦摩耗に及ぼす水素の影響 その3	福田応夫, 杉村丈一
2008.10	STLE/ASME International Joint Tribology Conference 2008	Sliding properties of pure metals in hydrogen environment	K. Fukuda, J.Sugimura
2008.10	STLE/ASME International Joint Tribology Conference 2008	Wear behavior of polymeric sealing material in gaseous hydrogen	Y.Sawae, A.Yamaguchi, K.Nakashima, T.Murakami, J.Sugimura
2008.10	水素エネルギー先端技 術展 2008 燃料電池・ 水素エネルギー専門技 術セミナー	水素中の摩擦摩耗試験	和泉直志
2008.10	水素エネルギー先端技 術展 2008 燃料電池・ 水素エネルギー専門技 術セミナー	シール用樹脂材料の摩耗に及ぼす高圧水素ガスの 影響	中嶋 和弘, 山口 晃, 澤江 義則, 村上 輝 夫, 杉村 丈一
2008.12	2nd International Conference on Advanced Tribology 2008 (iCAT 2008)	Tribological properties of zirconium alloys in a hydrogen gas atmosphere	T.Murakami, H.Mano, K.Kaneda, S.Sasaki, J.Sugimura

2009.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Sliding friction and wear of DLC coating films in hydrogen environment	H.Tanaka, J.Sugimura
2009.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Tribological properties of Zr and Nb disk specimens in various gas atmospheres	T.Murakami, H.Mano, K.Kaneda, K.Miyake, M.Hata, S.Sasaki, J.Sugimura
2009.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Wear of polymer composite in hydrogen	Y.Sawae, K.Nakashima, D.Yamamoto, Y.Kurono, S.Doi, T.Murakami, J.Sugimura
2009.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Fretting wear tests of steels exposed to high pressure hydrogen	N.Izumi, T.Morita, N.Mimuro, J.Sugimura
2009.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Effects of small amount of water on tribological behaviors in hydrogen	K. Fukuda, M.Hashimoto, J.Sugimura
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Tribosurfaces exposed to high pressure hydrogen	J.Sugimura

(2009 平成 21 年度 32 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.05	トライボロジー会議 2009 春東京	水素雰囲気における鋼の摩擦摩耗	橋本正明, 福田応夫, 杉村 丈一
2009.05	トライボロジー会議 2009 春東京	水素雰囲気における純鉄の摩擦摩耗	福田応夫, 杉村丈一
2009.05	トライボロジー会議 2009 春東京	コバルト基合金の摩擦摩耗に及ぼす雰囲気ガスの影響	森田健敬, 福田応夫, 杉村 丈一
2009.05	トライボロジー会議 2009 春東京	PTFE 複合材の水素雰囲気における摩耗特性	澤江義則, 山本大智, 中嶋和弘, 黒野好恵, 村上輝夫, 杉村 丈一
2009.06	2nd European Conference on Tribology (ECOTRIB 2009)	Sliding experiments in hydrogen and surface analysis of DLC coating films	田中宏昌, 杉村 丈一
2009.08	THERMEC 2009(International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials)	Friction and wear properties of zirconium and niobium disk specimens in a hydrogen gas atmosphere	Takashi Murakami, Katsuo Kaneda, Hiroki Mano, Masayuki Hata, Shinya Sasaki, Joichi Sugimura

2009.09	36th Leeds-Lyon Symposium on Tribology	Tribological Properties and Trace Impurities in Gaseous Environment	福田応夫,杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	New Challenges to Tribology in Hydrogen	杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Friction and Wear of Ferrous Materials in Hydrogen Gas Environment	福田応夫,杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Wear Characteristics of PTFE and PTFE Based Composites in Gaseous Hydrogen	澤江義則,山本大智,中嶋和弘,黒野好恵,土井俊一郎,村上輝夫,杉村丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Fretting wear tests of steels in hydrogen gas environment	和泉直志,三室日朗,森田健敬,杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Evaluation of tribo-coatings in hydrogen atmosphere	間野大樹,村上敬,畑政行,佐々木信也,杉村丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Influence of water vapor in hydrogen gas on the friction and wear of cobalt-based alloy	森田健敬,岩尾拓也,福田応夫,杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Simple Experiment on Permeation of Hydrogen into Steel in Contact	大津 健史,田中宏昌,杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Sliding Friction and Wear of DLC Coating Films in Hydrogen Environment	田中宏昌,杉村 丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Effect of Moisture Content on Wear of PTFE in Hydrogen	中嶋和弘,黒野好恵,澤江義則,村上輝夫,杉村丈一
2009.09	World Tribology Congress 2009	Molecular dynamics simulations of dissolved hydrogen molecules under shear condition	奥村哲也,杉村 丈一
2009.10	日本機械学会長崎講演会	水素雰囲気における PTFE の摩擦・摩耗特性に及ぼす転移膜形成の影響	中嶋和弘,野田博敬,澤江義則,黒野好恵,Carlos Morillo,村上輝夫,杉村 丈一
2009.10	日本機械学会長崎講演会	水素曝露された材料の表面特性と摩擦挙動	坂井伸朗,松尾智弘,澤江義則,中嶋和弘,村上輝夫,杉村 丈一
2009.10	日本機械学会長崎講演会	PTFE 複合材の水素雰囲気における摩耗特性	澤江義則,山本大智,中嶋和弘,黒野好恵,土井俊一郎,村上輝夫,杉村丈一
2009.10	日本機械学会長崎講演会	Co 基合金の摩擦摩耗に及ぼす各種雰囲気気体としゅう動条件の影響	森田健敬,長野清翔,杉村 丈一
2009.10	日本機械学会長崎講演会	水素雰囲気中微量不純物が SUS316L の摩擦摩耗に与える影響	福田応夫,松尾幸浩,三室日朗,杉村 丈一

2009.10	日本機械学会長崎講演会	Oリングの水素雰囲気中微小振幅摩耗試験	和泉直志, 九十九慧輔, 森田健敬, 杉村 丈一
2009.10	2009 STLE/ASME International Joint Tribology Conference	Effects of High Pressure Hydrogen on Wear of PTFE and PTFE Composite	澤江義則, 中嶋和弘, 土井俊一郎, 村上輝夫, 杉村 丈一
2010.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2010	Progress in Hydrogen Tribology in Hydrogenius	Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Effects of exposure to high pressure hydrogen on DLC films	Hiroyoshi Tanaka, Takehiro Morita, Yoshinori Sawae and Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Evaluation of tribo-coatings in hydrogen atmosphere	Shinya Sasaki, Takashi Murakami, Koji Miyake, Hiroki Mano, Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Influence of high-pressure hydrogen gas on microstructure of metallic surface analyzed by AFM and SEM	Nobuo Sakai, Tomohiro Matsuo, Yoshinori Sawae, Hiroyoshi Tanaka, Teruo Murakami, Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Chemical characterization of polymer transfer film formed on stainless steel surface in hydrogen	Carlos Morillo, Yamamoto Daichi, Yoshie Kurono, Kazuhiro Nakashima, Yoshinori Sawae, Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Permeation of hydrogen into steels in simple contact experiments	Takefumi Otsu, Hiroyoshi Tanaka, Katsu Ohnishi, Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Tribology in a practical hydrogen environment - Influence and control of trace impurities -	Kanao Fukuda, Joichi Sugimura
2010.02	Hydrogenius Tribology Symposium	Experimental characterization of friction and wear in gaseous hydrogen at pressure up to 40 MPa	Yoshinori Sawae, Eiichi Miyakoshi, Kanao Fukuda, Shunichiro Doi, Hideki Watanabe, Kazuhiro Nakashima, Yoshie Kurono, Joichi Sugimura

(6)「材料内の水素挙動シミュレーション研究」(水素シミュレーション研究チーム)

(2006 平成 18 年度 5 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.01	International Seminar “Simulation Technology towards the Hydrogen Use World” 2007	Finite Element Analysis of Hydrogen Diffusion in Materials and Related Topics	Hiroshi KANAYAMA (Kyushu Univ.)
2007.02	International Hydrogen Energy Development Forum	Applications of Molecular Dynamics Method to Strength of Materials (Toward Studying Hydrogen Effects)	Noriyuki MIYAZAKI, Ryousuke MATSUMOTO, Kenji NISHIMURA , et.al.
2007.03	第 56 回理論応用力学 講演会	安定化有限要素法を用いた移流拡散現象の数値解 析	金山寛, 他
2007.03	日本機械学会関西支 部第 82 期定時総会講 演会	分子動力学法による水素が α 鉄中のき裂進展挙動 に与える影響の検討	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸, 他
2007.03	日本機械学会関西支 部第 82 期定時総会講 演会	有限要素法によるき裂まわりの応力-水素拡散連 成シミュレーション	松本龍介, 宮崎則幸, 他

(2007 平成 19 年度 30 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.05	日本材料学会第 12 回 分子動力学シンポジウ ム	原子モデルによる α 鉄中の転位の可動性に及ぼ す水素の影響	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸, 他
2007.06	IIASA-Kyoto University The Forth Joint International Seminar on Applied Analysis and Synthesis of Complex Systems	Molecular Dynamics Simulation of Hydrogen Related Fracture of Iron	Ryosuke MATSUMOTO
2007.06	日本材料学会塑性力 学分科会(主催)・日本 機械学会計算力学部 門 A-TS01-15 研究会 (協賛), 個々の転位挙 動に基づく材料強度評 価のためのマルチスケ ール解析	金属材料の水素による強度劣化機構に関する原子 論的・転位運動論的検討	松本龍介
2007.06	日本機械学会関西支 部材料力学談話会	原子モデルを用いた金属材料の破壊挙動解析(水 素脆化機構および鉄ナノ多結晶体の破壊挙動につ いての検討)	松本龍介

2007.07	9th US National Congress on Computational Mechanics	Effects of Hydrogen Atom on Dislocation Mobility in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI
2007.10	日本機械学会九州支部・四国支部合同企画沖縄講演会講演論文集	ADVENTURE システムによる CFRP 圧力容器の 3 次元弾塑性有限要素解析	荻野正雄, 塩谷隆二, 金山寛河合浩志, 他
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カンファレンス	分子動力学法を用いた α 鉄中の刃状転位近傍の水素拡散挙動解析	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2007.10	日本機械学会 M&M2007 材料力学カンファレンス	原子モデルを用いた水素による滑り面での破壊機構に関する考察	松本龍介, 武富紳也, 松本壮平, 宮崎則幸
2007.11	日本機械学会第 20 回計算力学講演会 (CMD2007)	材料内の水素拡散の有限要素解析	金山 寛, 荻野 正雄, 塩谷 隆二
2007.11	日本機械学会第 20 回計算力学講演会	水素と転位の相互作用が bcc 鉄単結晶中のモード I き裂進展に与える影響の検討	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸, 他
2007.11	日本機械学会第 20 回計算力学講演会(ポスター)	き裂に繰り返し負荷が作用するときの非定常水素拡散解析	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸, 他
2007.11	日本機械学会第 20 回計算力学講演会	第一原理計算による Fe と Fe-H 系の基本物性と原子間ポテンシャルの評価	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸, 他
2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS10-1 "Simulation Technology towards the Hydrogen Use World", 2007	Numerical Analysis of Hydrogen Diffusion Problems in Materials Using the Finite Element Method	Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO and Ryuji SHIOYA ,et.al.
2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS10-1 "Simulation Technology towards the Hydrogen Use World", 2007	Modeling of the Hydrostatic Stress and Equivalent Plastic Strain Distributions around the Blunting Crack Tip in Impure Iron	Masao OGINO, Ryuji SHIOYA, Hiroshi KAWAI and Hiroshi KANAYAMA, et.al.

2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS10-1 "Simulation Technology towards the Hydrogen Use World", 2007	Unsteady Hydrogen Diffusion-Elastoplastic Coupling Analysis near the Crack Tip during Cyclic Loading	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI ,et.al.
2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS31-4, 2007	Atomistic Study of Hydrogen Effects on the Fracture Behavior of Bcc-Fe	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI, Noriyuki MIYAZAKI , et.al.
2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS10-2 "Simulation Technology towards the Hydrogen Use World", 2007	Molecular Dynamics Study of Hydrogen Diffusion around an Edge Dislocation in Bcc-Fe	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI
2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS10-2 "Simulation Technology towards the Hydrogen Use World", 2007	First Principle Estimation of the Basic Physical Properties of Fe and Fe-H Systems and Evaluation of Interatomic Potentials	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI, et.al.
2007.12	APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI, Session MS10-2 "Simulation Technology towards the Hydrogen Use World", 2007	Molecular Dynamics Simulations Effects of Hydrogen on Mode I Crack Growth Behavior in Alpha-Iron Single Crystals	Sohei MATSUMOTO, Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008	Hydrogen Diffusion Analysis in Materials	Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO and Ryuji SHIOYA ,et.al.
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008	Simulation of Hydrogen-Plasticity Interactions. The Effect of Microstructure	Jean-Marc OLIVE, Hiroshi KANAYAMA , et.al.

2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008	A CFRP Tank Simulation for High Pressure Hydrogen Gas Storage	Ryuji SHIOYA, Masao OGINO, Hiroshi KAWAI
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008	Dynamic Analysis of H:Fe by Molecular, Dynamics and First Principal Calculation	K.KAKIMOTO, et.al.
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008, Fukuoka	Introduction of MD Research at AIST	Kenji NISHIMURA
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008, Fukuoka	Molecular Dynamics Study of Hydrogen Effects on Mode I Crack Growth Behavior in Bcc-Fe	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIZAKI
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008, Fukuoka	Transient Hydrogen Diffusion Analyses with Crack-tip Plasticity	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI,et.al.
2008.02	International Hydrogen Energy Development Workshop 2008, Fukuoka	Molecular Statics Study of Hydrogen Occupation Sites around a (112)[111] Edge Dislocation in Bcc-Fe	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI
2008.03	International Conference on Computational & Experimental Engineering and Science (ICCES'08), Honolulu	Application of Computational Mechanics to Hydrogen Embrittlement	Noriyuki MIYAZAKI, Ryosuke MATSUMOTO and Shinya TAKETOMI
2008.03	International Conference on Computational & Experimental Engineering and Science (ICCES'08), Honolulu,	Molecular Dynamics Study of Hydrogen Effects on the Fracture Behavior of bcc-Fe Single Crystals	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI,et.al.
2008.03	International Conference on Computational & Experimental Engineering and Science (ICCES'08)	Molecular Dynamics Study of Hydrogen Diffusion around a (112)[111] Edge Dislocation in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO, Noriyuki MIYAZAKI

(2008 平成 20 年度 27 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.04	第 52 回材料強度と破壊総合シンポジウム	水素脆化現象評価に関わるナノからマクロレベルシミュレーション	宮崎則幸, 松本龍介, 武富紳也
2008.05	第 13 回日本計算工学講演会	材料内水素拡散現象の有限要素解析	金山寛, 塩谷隆二, 荻野正雄, 富田隆浩, 中川拓也
2008.05	第 13 回分子動力学シンポジウム	き裂先端まわりの水素分布と転位射出応力拡大係数に関する原子モデルによる検討	武富紳也, 松本龍介, 松本壮平, 宮崎則幸
2008.05	第 13 回分子動力学シンポジウム	原子モデルにもとづく刃状転位芯近傍水素トラップエネルギー解析	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2008.05	第 13 回分子動力学シンポジウム	弾性ひずみによる水素トラップに関する検討 (転位芯まわりとき裂先端での水素濃度分布)	松本龍介, 井上義規, 武富紳也, 松本壮平, 宮崎則幸
2008.05	第 13 回分子動力学シンポジウム	粒界特性が水素拡散挙動に与える影響の分子動力学解析	陸茉莉花, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2008.05	第 13 回分子動力学シンポジウム	第一原理計算による弾性ひずみが水素の溶解熱に及ぼす影響の評価	井上義規, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2008.06	8th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) in Conjunction with 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), Venice, Italy	Atomistic Study of Interaction between Hydrogen Atoms and Dislocations around Mode I Crack Tip	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI, Sohei MATSUMOTO, Yoshinori INOUE and Noriyuki MIYAZAKI
2008.06	8th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) in Conjunction with 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), Venice, Italy	Effect of Hydrogen on (110)[111] Edge Dislocation Mobility in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI

2008.06	8 th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) in Conjunction with 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), Venice, Italy	Finite Element Analysis of Hydrogen Diffusion Problems in Materials	Hiroshi KANAYAMA, Stephane NDONG-MEFANE, Masao OGINO, and Takuya NAKAGAWA
2008.06	8 th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) in Conjunction with 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), Venice, Italy	Molecular Dynamics Study on Dislocation Activities in Iron Specimens Including Hydrogen	Kenji NISHIMURA, Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI and Noriyuki MIYAZAKI
2008.06	8 th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) in Conjunction with 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), Venice, Italy	Numerical Simulation of the Crack Tip Elastic-Plastic State	Reza Miresmaeili, Masao Ogino, Ryuji Shioya, Hiroshi Kawai, Hiroshi KANAYAMA
2008.09	2008 International Hydrogen Conference Wyoming USA, September (2008)	Atomistic Study of Hydrogen Diffusion Around a Dislocation in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI
2008.09	2008 International Hydrogen Conference Wyoming USA, September (2008)	Estimation of Hydrogen Distribution Around Dislocations Based on First Principle Calculations	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI, Yoshinori INOUE and Noriyuki MIYAZAKI
2008.09	2008 International Hydrogen Conference, Wyoming USA, September (2008)	Finite Element Analysis of Hydrogen Diffusion in Materials	Hiroshi KANAYAMA, Stephane NDONG-MEFANE, Masao OGINO

2008.10	水素エネルギー先端技術展 2008 燃料電池・水素エネルギー専門技術セミナー	材料内の水素拡散現象の数値解析	金山寛
2008.11	日本機械学会第 21 回計算力学講演会	Phase-field 法を用いたステンレス鋼のマルテンサイト変態下での水素拡散解析	小竹広和, 高木知弘, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2008.11	日本機械学会第 21 回計算力学講演会	α 鉄における $\{112\}\langle 111 \rangle$ 刃状転位射出応力拡大係数に及ぼす水素の影響の考察	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2008.11	日本機械学会第 21 回計算力学講演会	原子モデルを用いた格子欠陥への水素トラップ状態に関する検討	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2008.11	日本機械学会第 21 回計算力学講演会	原子モデルを用いた粒界特性と水素トラップ量の関係の検討	陸茉莉花, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2008.11	日本機械学会第 21 回計算力学講演会	第一原理計算と原子間ポテンシャルを用いた応力特異点まわりの水素トラップエネルギー分布の評価	井上義規, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2008.11	日本機械学会第 21 回計算力学講演会	材料内の水素拡散の有限要素解析	金山 寛, NDONG-MEFANE BORIS STEPHANE, 中川 拓也, 荻野 正雄
2008.12	5th International Symposium on Advanced Fluid Solid Science and Technology in Experimental Mechanics	Atomistic Simulations of Hydrogen Embrittlement	Noriyuki MIYAZAKI, Ryosuke MATSUMOTO and Shinya TAKETOMI
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Computational Mechanics Simulations for Hydrogen Embrittlement : Nano to Macro-Scale Simulations	Noriyuki MIYAZAKI, Ryosuke MATSUMOTO and Shinya TAKETOMI
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Reconsideration of the McNabb and Foster Formulation for Hydrogen Diffusion in Materials	Hiroshi KANAYAMA, Stephane Boris NDONG-MEFANE, Reza MIRE SMAELI and Masao OGINO
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Interaction between Hydrogen and Lattice Defects in Alpha Iron	Ryosuke MATSUMOTO, Shinya TAKETOMI, Yoshinori INOUE and Marika RIKU
2009.02	International Hydrogen Energy Development Forum 2009	Effect of Hydrogen on Edge Dislocation Emission from Mode II Crack Tip in Alpha Iron	Shinya TAKETOMI, Ryosuke MATSUMOTO and Noriyuki MIYAZAKI

(2009 平成 21 年度 38 件)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009.05	第 14 回 計算工学講演会	材料内水素拡散現象の有限要素法による双方向連成解析	小柿啓嗣, 中川拓也, 荻野正雄, 金山寛
2009.05	第 14 回分子動力学シンポジウム	電子・原子レベル解析を用いた格子欠陥の水素トラップエネルギーの評価	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.05	第 14 回分子動力学シンポジウム	第一原理計算を用いた AI 中の格子欠陥と水素の相互作用エネルギーの評価	榎本龍博, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.05	第 14 回分子動力学シンポジウム	水素環境下の α 鉄における粒界凝集エネルギーに関する原子モデル解析	陸茉莉花, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.05	第 14 回分子動力学シンポジウム	水素による原子空孔の増殖機構に関する原子モデル解析	西口直, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.05	第 14 回分子動力学シンポジウム	α 鉄中の転位及び水素の運動に要するエネルギー障壁に関する研究	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2009.06	応用解析セミナー	流れ問題のための特性曲線有限要素スキームとその応用	野津裕史
2009.06	日本材料強度学会平成 20 年度総会学術講演会・シンポジウム	α 鉄中の転位及び水素の競合運動に関する原子モデルを用いた研究	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2009.07	10th US National Congress on Computational Mechanics	A Coupled Elastoplastic-Transient Hydrogen Diffusion Analysis to Simulate the Onset of Necking in Tension by Using the Finite Element Method	Reza Miresmaeili, 荻野正雄, 中川拓也, 金山寛
2009.07	10th US National Congress on Computational Mechanics	Atomistic Study of Hydrogen Effect on Cohesive Energy of Grain Boundaries in Alpha Iron	松本龍介, 陸茉莉花, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.07	10th US National Congress on Computational Mechanics	Atomistic Study of the Effect of Hydrogen on Dislocation Emission from Crack Tip in Alpha Iron	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2009.07	12th International Conference on Fracture	Atomistic Study of Hydrogen Distribution around Lattice Defects and Defect Energies under Hydrogen Environment	松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.07	12th International Conference on Fracture	Hydrogen Effect on Dislocation Emission from a Crack Tip in Alpha Iron	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2009.07	12th International Conference on Fracture	Transient Hydrogen Diffusion Analyses of a Surface Crack in a Three-Dimensional Body	宮崎則幸, 小竹広和, 松本龍介, 武富紳也
2009.07	偏微分方程式セミナー	流れ問題のための特性曲線有限要素スキームと材料内の水素拡散問題への応用	野津裕史

2009.09	応用数理学会	保存型特性曲線有限要素法を用いた多結晶金属内の水素拡散解析	野津裕史, 田端正久, Reza Miresmaeili I, Nicolas Saintier, Jean-Marc Olive, 金山寛
2009.09	産業技術数理解析センター第7回ワークショップ 水素利用社会の実現に向けた数値解析からの貢献	応力誘起マルテンサイト層を含むオーステナイト系ステンレス鋼内の水素拡散有限要素解析	野津裕史, Reza Miresmaeili, 中川拓也, Jean-Marc Olive, 荻野正雄, 金山寛
2009.09	産業技術数理解析センター第7回ワークショップ 水素利用社会の実現に向けた数値解析からの貢献	A One-Way Coupled Crystalline Plasticity-Transient Hydrogen Diffusion Analysis to Simulate the Effect of the Heterogeneity of Stress-Strain States on Hydrogen Distributions in Microstructure	Reza Miresmaeili, Nicolas Saintier, 野津裕史, Jean-Marc Olive, 金山寛
2009.09	産業技術数理解析センター第7回ワークショップ 水素利用社会の実現に向けた数値解析からの貢献	水素が空孔の生成と拡散挙動に及ぼす影響に関する原子モデル解析	松本龍介, 西口直, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.09	産業技術数理解析センター第7回ワークショップ 水素利用社会の実現に向けた数値解析からの貢献	α 鉄中の刃状転位と水素の相互作用に関する原子モデルを用いた研究	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2009.10	水素エネルギー先端技術展 九大・産総研 専門セミナー 九州大学・産総研における最新の研究動向	材料内の水素拡散を考慮した弾塑性解析	金山寛
2009.10	水素エネルギー先端技術展 九大・産総研 専門セミナー 九州大学・産総研における最新の研究動向	応力誘起マルテンサイト層を含むオーステナイト系ステンレス鋼内の水素拡散解析	野津裕史, Reza Miresmaeili, Nicolas Saintier, Jean-Marc Olive, 金山寛
2009.10	第22回計算力学講演会	A One-Way Coupled Crystalline Plasticity-Transient Hydrogen Diffusion Analysis to Simulate the Effect of the Heterogeneity of Stress-Strain States on Hydrogen Distributions in Microstructure	Reza Miresmaeili, Nicolas Saintier, 野津 裕史, Jean-Marc Olive, 金山寛
2009.10	第22回計算力学講演会	A Finite Element Analysis of Hydrogen Diffusion in a Stainless Steel Containing Strain-Induced Martensite	Reza Miresmaeili, 野津 裕史, 中川拓也, Jean-Marc OLIVE, 荻野正雄, 金山寛
2009.10	日本機械学会 第22回計算力学講演会	繰り返し荷重下における材料内の水素拡散問題の有限要素解析	野津裕史, 荻野正雄, 金山寛

2009.10	日本機械学会第22回計算力学講演会	水素が α -Fe中の空孔濃度に及ぼす影響に関する原子モデル解析	西口直, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.10	日本機械学会第22回計算力学講演会	第一原理計算に基づく水素ガス環境下におけるAl中の格子欠陥まわりの水素占有率の評価	榎本龍博, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.10	日本機械学会第22回計算力学講演会	水素ガス環境下の α 鉄における粒界凝集エネルギーに関する電子・原子シミュレーション	陸茉莉花, 松本龍介, 武富紳也, 宮崎則幸
2009.10	日本機械学会第22回計算力学講演会	α 鉄における刃状転位芯近傍の水素拡散障壁に関する検討	武富紳也, 松本龍介, 宮崎則幸
2009.11	加速法ワークショップ	材料内の水素拡散現象に現れる制約付き最小化問題の解法について	野津裕史, Reza Miresmaeili, 中川拓也, Jean-Marc Olive, 荻野正雄, 金山寛
2009.11	研究集会:「数値解析の現状と展望」-九州大学数値解析セミナーとその協力者からの発信-	特性曲線有限要素法と材料内の水素拡散問題	野津裕史, Reza Miresmaeili, Nicolas Saintier, Jean-Marc Olive, 金山寛
2010.02	研究集会「数値シミュレーションの理論と実践」	材料内の水素拡散問題への特性曲線有限要素法の適用	野津裕史, Reza Miresmaeili, 荻野正雄, 金山寛
2010.02	水素先端世界フォーラム	Hydrogen Diffusion Analysis in an Austenitic Stainless Steel Including a Strain Induced Martensite	野津裕史
2010.02	水素先端世界フォーラム	One-Way Coupled Crystal Plasticity-Hydrogen Diffusion Analysis to Simulate the Effects of Stress and Strain Heterogeneities on Hydrogen	Reza Miresmaeili
2010.02	水素先端世界フォーラム	Atomistic Study of Hydrogen Effects on Vacancy Concentration in α -Fe	松本龍介, 西口直, 武富紳也, 宮崎則幸
2010.03	KSME-JSME Joint Symposium on CM & CAE 2010	An Uncoupled Crystal Plasticity-Transient Hydrogen Diffusion Analysis to Investigate the Effect of Crystallographic Orientation on Hydrogen Redistributions	Reza Miresmaeili, 野津裕史, Nicolas Saintier, Jean-Marc Olive, 金山寛
2010.03	日本機械学会九州支第63期総会・講演会	有限要素法を用いた材料内水素拡散解析	金山寛, 荻野正雄, 野津裕史, 中川拓也
2010.03	日本機械学会九州支部第63期総会・講演会	繰り返し荷重下におけるき裂を含む材料内の水素拡散解析	金山寛, 荻野正雄, 野津裕史, 瀬戸島敏宏

【受賞実績】

平成19年度（7件）

受賞年月	学会賞名	受賞者
2007.05	日本機械学会論文賞	近藤 良之, 栄 中, 久保田 祐信, 北原 寛樹, 柳原 一智
2007.05	日本伝熱学会学術賞	Peter Woodfield
2007.05	The 3rd International Scientific Conference on Environmental Degradation of Engineering materials EDEM 2007, Silver Medal and Special Award	Jean-Marc Olive
2007.10	日本機械学会創立 110 周年記念会員功労者表彰	宮崎 則幸
2007.10	日本熱物性学会奨励賞	迫田 直也
2007.12	APACM Award for Computational Mechanics	宮崎 則幸
2007.12	JACM Award for Computational Mechanics	宮崎 則幸

平成 20 年度（6件）

受賞年月	学会賞名	受賞者
2008.	鉄鋼協会学術記念賞	高井 健一
2008.	Metallurgical Transactions A で Important Paper に選定	村上 敬宜他
2008.	日本機械学会熱工学部門研究功績賞	門出 政則
2008.	日本機械学会奨励賞	松本 龍介
2008.05	日本伝熱学会学術賞	藤井 丕夫
2008.05	日本材料学会論文賞	近藤 良之, 久保田 祐信

平成 21 年度（4件）

受賞年月	学会賞名	受賞者
2009.04	日本機械学会九州支部フェロー賞	桑田 喬平
2009.	JACM Award for Young Investigators in Computational Mechanics	松本 龍介
2009.05	日本トライボロジー学会論文賞	杉村 丈一/塩見/牧野
2009.06	第 8 回産学官連携推進会議、産学官連携功労者表彰、日本経済団体連合会会長賞	村上 敬宜、(麻生 渡 福岡県知事)

平成 22 年度（5件）

受賞年月	学会賞名	受賞者
2010.05	日本伝熱学会学術賞	伊藤 衡平
2010.05	CERI 若手奨励賞	山辺 純一郎
2010.05	日本材料学会論文賞	藤田 慎治, 峯洋二, 松岡三郎, 村上敬宜
2010.09	日本機械学会機械材料・加工部門 部門一般表彰 (優秀講演論文部門)	久保田 祐信, 田中 康博, 桑田 喬平, 近藤 良之
2010.	日本機械学会熱工学部門研究功績賞	高田 保之

平成 22 年 6 月、福岡水素エネルギー戦略会議の「水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE)」優秀リーダーシップ賞受賞に貢献

【シンポジウム等の開催】

平成 18 年度 (1件)

開催年月	名称
2007.02	水素先端世界フォーラム(福岡市)

平成19年度 (3件)

開催年月	名称
2007.10	水素エネルギー社会近未来展(北九州市)
2007.12	水素材料先端科学研究センター実験棟開所式(福岡市)
2008.02	第 2 回水素先端世界フォーラム(福岡市)

平成 20 年度 (2件)

開催年月	名称
2008.10	水素エネルギー先端技術展(北九州市)
2009.02	水素先端世界フォーラム 2009(福岡市)

平成 21 年度 (4件)

開催年月	名称
2009.09	第 4 回世界トライボロジー会議(京都市)
2009.10	水素エネルギー先端技術展(北九州市)
2009.10	高圧水素物性データベース、水素物性推算ツール活用セミナー(東京)
2010.02	水素先端世界フォーラム 2010(福岡市)

【展示会等への出展】

平成19年度 (2件)

開催年月	名称
2007.10	第 2 回新エネルギー世界展示会(千葉市)
2008.02	FC EXPO2008(東京)

平成 20 年度 (4件)

開催年月	名称
2008.06	NEDO 成果報告シンポジウム(東京)
2008.07	第 3 回新エネルギー世界展示会(東京)
2008.10	産総研オープンラボ(つくば市)
2009.02	FC EXPO2009(東京)

平成 21 年度 (4件)

開催年月	名称
2009.06	第 8 回産学官連携推進会議(京都市)
2009.07	NEDO 成果報告シンポジウム(東京)
2009.10	産総研オープンラボ(つくば市)
2010.02	FC EXPO2010(東京)

九州大学は平成 22 年 7 月、文部科学省の「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」の拠点としての採択を受け、「カーボンニュートラルエネルギー研究拠点」として採択されており、こうした事業とも連携することで、本 NEDO 事業の成果を広く発信することが可能となる。

エネルギーイノベーションプログラム基本計画

1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。以下に 5 つの政策の柱毎に目的を示す。

1 - . 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

1 - . 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

1 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

1 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO₂を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

1 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

2. 政策的位置付け

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画
5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

3. 達成目標

3-1. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

3-2. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

3-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

3-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

3-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

4．研究開発内容

4 - . 総合エネルギー効率の向上

4 - - . 共通

(1) エネルギー使用合理化技術戦略的開発（運営費交付金）

概要

省エネルギー技術開発の実効性を高めるために、シーズ技術の発掘から実用化に至るまで、民間団体等から幅広く公募を行い、需要側の課題を克服し得る省エネルギー技術開発を戦略的に行う。

技術目標及び達成時期

中長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を構築し、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され技術開発が促進されるよう、超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の技術群に重点化して、省エネルギー技術戦略に沿った技術開発を戦略的に推進する。

研究開発時期

2003年度～2010年度

(2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業（運営費交付金）

概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

研究開発期間

2000年度～

(3) 研究開発型中小企業挑戦支援事業（スタートアップ支援事業）

概要

省エネルギー対策に資する中小企業の優れた技術シーズ、ビジネスアイデアの事業化による創業・新事業展開を促進するため、実用化研究開発に要する経費（原材料費、直接人件費、機械装置費、知的財産取得費等）の一部を補助するとともに、補助事業を行う中小・ベンチャー企業等に対して中小企業基盤整備機構によるビジネスプランの具体化・実用化に向けたコンサルティング等を一体的に実施

する。

技術的目標及び達成時期

中小企業の技術開発を推進し、産業におけるエネルギー使用合理化技術の利用を図り、もって、中小企業の振興と経営の安定を促進する。

補助事業期間終了後2年後の採択企業の研究開発成果の事業化率50%を目標とするとともに、省エネルギー技術開発の高度化を戦略的に推進する。

研究開発期間

2004年度～

(4) 地域イノベーション創出エネルギー研究開発

概要

地域において新産業の創出に貢献し得るような最先端の技術シーズを基に、企業、公設試、大学等の研究開発資源を最適に組み合わせて形成された共同研究体が行うエネルギー使用の合理化並びに非化石エネルギーの開発及び利用に寄与する実用化研究開発の実施。

技術的目標及び達成時期

研究開発終了後3年後における成果の事業化達成率30%以上を目標とする。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(5) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

(6) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 超燃焼システム技術

(1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO₂排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

研究開発期間

2008年度～2017年度

(2) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発(運営費交付金)

概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、

カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(3) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

i) 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

研究開発期間

2002年度～2009年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト

概要

大量の電力を必要とする従来のバッチ処理方式のチタン製錬法(クロール法)を、エネルギー効率の高い連続処理方式へ転換する抜本的なプロセス改善のための技術を開発する。また、併せて、成形性の高いチタン合金設計技術及び成形プロセス技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに省エネ型チタン新製錬プロセスの基盤技術を開発し、2010年までに実用化を目指す。また、本製錬技術により得られるチタンをベースとして、加工性、強度等をさらに向上させた合金設計・成形プロセス技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(7) 革新的分離膜技術の開発

概要

河川水等の浄水工程における、微量の有害物質、微生物等の除去に係る水処理技術のうち、分離膜方式による高効率(省エネ)な分離技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2013年度末までに、現行の分離膜に比較して単位処理水量当たり50%のエネルギー削減を図る技術を確立する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(8) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス (モノ作り) の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する (バイオリファイナリー) ための基盤技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御 (デザイン化) することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(9) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学産業はそれ自身が裾野の広い産業というだけでなく、自動車、IT機器等の川下製品の部材として産業界・国民生活の様々な分野に深く関連している。従って化学業界において、省エネポテンシャルの大きい有望な技術シーズがありながら民間だけでは十分な研究開発投資が行われていない技術について、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品、他産業においてエネルギー効率の改善を促進する。

技術的目標及び達成時期

2007年度までに、化学分野の生産プロセスや、製品等に関する環境に配慮した省エネルギー技術の革新に向けて、国内・国際市場の創出・拡大も見据えつつ、将来の発展が有望な技術に関する研究開発を行うことにより、化学産業のみならず、我が国の省エネルギー対策に一層寄与する。

研究開発期間

2004年度～2010年度

(10) 高効率酸化触媒を用いた環境調和型化学プロセス技術開発プロジェクト

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、N-オキシ系触媒等の炭素ラジカル創生触媒を化学反応プロセスに適用し、製造工程の短縮や製造効率の向上を図ることで、温暖化効果ガスの排出抑制や省エネルギー効果など総合的なプロセスコストを低減させるため要素技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2008年度までにカルボン酸、アルコール、ケトンなどの含酸素化合物製造プロセスに対し、N-オキシ系触媒を適用していくため、現状の触媒活性・選択性の向上、触媒の安定性・寿命の改善、触媒分離プロセスの効率化等を開発する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、以下の開発を行う。

炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発

廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発

排水処理における余剰汚泥の減容化技術開発

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

VOC含有廃棄物の溶剤回収及び再利用処理技術の開発

研究開発期間

2005年度～2009年度

(12) 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発（運営費交付金）

概要

所用動力が少なく、汚泥発生も少ない嫌気性処理の利点と、良好な水質が得られる好気性処理の利点の双方の特長を生かし、かつ双方の欠点を克服した、省エネルギー性に優れた廃水処理技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、既存技術で廃水処理を行った際に発生する汚泥量の70%削減を実現し、廃水処理に要するエネルギーの70%削減を実現する廃水処理システムを開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(13) 高効率ガスタービン実用化技術開発

概要

省エネルギー及びCO₂削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%～56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%～51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO_x燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

(14) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技術開発(運営費交付金)

概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO₂排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大いことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

研究開発期間

2005年度～2010年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

従来の活性炭電極では不可能な高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを実現するため、高度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いたキャパシタ電極の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体酸化物形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (13) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

- (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展により、ネットワークを流れるデータ量が大幅に増加する中で、IT機器による消費電力量の大幅な増大に対応し、環境調和型IT社会の構築を図るため、個別のデバイスや機器に加え、ネットワーク全体での革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレークスルーしうる技術シーズを抽出する。

技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確認する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発(運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確認する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原

理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(8) 高環境創造高効率住宅用VOCセンサ等技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅における換気負荷を最小化することによって省エネルギーを達成するため、VOCセンサ及びモニタリング併用型換気システム等を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、VOCに対して高選択性・高感度性・即応性を有するVOCセンサ及びVOCセンサを用いたモニタリング併用型換気システム等を開発する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(9) 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、我が国鉄鋼業の約50%を占める建設市場において、建築物のメインフレームに高強度鋼を用いることで、鉄鋼部材の軽量化(リデュース)とそれに伴う輸送効率の向上、高強度化、非溶接化に伴う部材のリユース促進、製造・施工の省エネ・省力化等を図る。

同時に、柔剛混合構造(高強度鋼とダンパーの組み合わせ)技術の確立、関連法規への対応等により、震度7にも耐えうる新構造システム建築物の建設が可能となり、我が国で大きなリスクである大規模地震災害から国民を守り、安心安全社会の実現に寄与する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、最大規模の地震(震度7)に対しても倒壊・損壊しない建築物を高強度鋼(800N/mm²級鋼材)とダンパーの組み合わせによる柔剛混合構造により実現を図るものであり、国土交通省や民間企業と連携してこの建築物のメインフレームに必要な高強度鋼部材、接合法等の開発を行う。主な研究開発目標は以下の通りである。

・震度7弾性新構造システム開発

- ・高強度部材の製造技術開発
- ・超高強度接合部品開発
- ・高強度部材の接合技術開発

研究開発期間

2006年度～2008年度

(10) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . 先進交通社会確立技術

(1) エネルギーITS（運営費交付金）

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資するITS技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにプローブ情報を利用した信号制御機能の実用化を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 革新的次世代低公害車総合技術開発（運営費交付金）

概要

大気環境・地球温暖化・エネルギー問題の同時解決に向けて、次世代の低公害車の技術開発を実施する。

特に、都市間の輸送に用いられる「都市間トラック・バス」を中心とした分野における要素技術の開発を自動車技術・燃料技術の両面から実施していく。

技術目標及び達成時期

平成20年度において、都市間の輸送に用いられる「都市間バス・トラック」を中心とした分野における次世代低公害車の要素技術を確立する。具体的には、以下のとおり。

- ・燃費向上率

貨物車 現行基準値に対して10%

乗用車 2015年基準値に対して20%

・排出ガス

貨物車 NOx：ディーゼル重量車のポスト新長期（挑戦目標）規制値

PM：ディーゼル重量車のポスト新長期規制値

乗用車 NOx：ガソリン車のポスト新長期規制値

PM：ガソリン車のポスト新長期規制値

研究開発時期

2004年度～2008年度

(3) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRP）の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、熱可塑性CFRP加工技術を開発する。

研究開発時期

2008年度～2012年度

(4) 次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代航空機用）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

研究開発期間

2003年度～2012年度

(5) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

(6) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の低コスト化技術等の研究開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ低コストであり、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM(バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を低コストで確保する技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2008年度～2013年度

(7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

4 - - . 次世代省エネデバイス技術

(1) パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーを進めるために、シリコンよりも材料特性に優れたワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス機器システムの基盤技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、ワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(2) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)

概要

窒化物系化合物半導体は日本が強みを有し、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、今後のIT社会を支えとなることを期待されている分野である。しかし、既存のバルク単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。

これを突破するため、大学あるいは研究所を拠点に材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して、窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等の革新を図り、これらデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減の実現を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

- ・ 基板技術（GaN、AlNバルク結晶作製技術）
 - 口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。
- ・ エピ技術（エピタキシャル成膜及び計測評価技術）
 - 低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
 - 高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
 - 高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発（MIRAI）(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード（微細化レベル）45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク（半導体素子製造過程で用いる原板）の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクスの位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

(4) 半導体アプリケーションチッププロジェクト（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、情報通信機器、特に、情報家電の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーション

チップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発(CASMAT2)(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術(統合的材料ソリューション提案技術)を確立する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以降の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術を中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . その他

(1) 希少金属等高効率回収システム開発

概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されている

ため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法（乾式製錬）で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現（省エネルギー効果：原油換算で約78万kl/年削減）
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上（インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%）

研究開発期間

2007年度～2010年度

（2）次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代衛星基盤）

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、次世代の衛星技術として期待されている、準天頂衛星システム（移動中の利用者等に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にする新システム）の構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、航空機、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計のための基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

（3）高効率重金属処理剤研究開発

概要

重金属等によって汚染された土壌、飛灰、ばいじん、排水・廃液等を安全かつ経済的に処理する技術開発として、少量の使用で重金属等を安定的かつ効率的に捕捉できる複合金属汚染土壌のオンサイト処理に適した高性能の無機系重金属等処理剤及び自然環境への負荷が少ない新規有機系処理剤を開発する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、飛灰における金属選択性が高く安価な重金属等処理・回収剤及び排水中における亜鉛や6価セレンなどを処理できる重金属等処理剤を開発する。

研究開発期間
2003年度～2008年度

4 - . 運輸部門の燃料多様化

4 - - . 共通

- (1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . G T L等の合成液体燃料

- (1) 革新的次世代低公害車総合技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)
- (4) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)

- C．2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D．電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E．PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F．風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。
- また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G．我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H．バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)
- I．世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国S B I R制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

技術目標及び達成時期

- A．2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B．2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。

- C．2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D．2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E．2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F．2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題（風車耐久性等）を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。
また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G．2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H．2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を開発するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I．潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

（2）新エネルギー技術フィールドテスト事業（運営費交付金）

概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A．新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。（太陽光発電新技術等フィールドテスト事業）
- B．新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。（太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業）
- C．広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱

利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)

- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) イノベーション実用化補助金(運営費交付金)

概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

研究開発期間

2000年度～

(4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

研究開発期間

2000年度～

4 - - . 太陽・風力

(1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

概要

新たな電力供給方式として地上において様々な用途への応用が見込まれ、また、長期的には将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核的技術として応用可能な太陽光発電無線送受電技術を確立するため、安全性等を確保しつつ、太陽エネルギーを効率良く伝送するための要素技術等について研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに高効率半導体増幅回路の開発、複数フェーズドアレイパネルの統合による精密ビーム制御技術の開発、高効率受電整流回路の開発を目指すことにより、無線送受電技術の高効率化を図る。

研究開発期間

2008年度～2010年度

4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

(1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(2) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(3) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

(1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用の資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - - . 燃料電池

(1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能

化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)

概要

ユビキタス社会に対応する燃料電池の実用化・普及拡大を図るため、小型可搬電源となり得る小出力燃料電池等の安全性確保等を目的とする基準・標準化研究開発及び燃料電池の用途開拓のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年までに、燃料電池の新利用形態、使用環境の拡がり等を考慮した高出力特性等の性能特性向上によって必要となる燃料容器等の周辺機器を含めたシステムの安全・環境基準の設定・標準化、規制緩和に資する試験データの取得、試験方法の開発及びこれらの規格・標準化に準じた新利用携帯用燃料電池技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 高耐久性メンブレン型LPガス改質装置の開発(運営費交付金)

概要

高耐久性の水素透過型メンブレン(膜)を開発し、家庭用LPガス供給システムから高純度の水素を供給可能な高効率LPガス改質装置を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、家庭用LPガス供給システムから燃料電池へ高純度の水素を供給する高効率かつ低コストでコンパクトなメンブレン型LPガス改質装置を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(5) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) セラミックリアクター開発(運営費交付金)

概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証(出力性能2kW/部等)を行う。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(7) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)

概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(8) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)

概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原則、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(9) 水素先端科学基礎研究事業(運営費交付金)

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原則の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原則の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(10) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(11) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池(SOFC)の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題

抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

(12) 定置用燃料電池大規模実証事業(運営費交付金)

概要

定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実用化開発を支援するため、量産技術の確立と実用段階に必要なデータ収集を行う大規模実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、定置用燃料電池を大規模かつ広域的に設置し、実使用条件下における耐久性等の運転データを取得・分析、コストダウンに向けた課題抽出を行い、製品改良へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(13) 燃料電池システム等実証研究

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

4 - - . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

(1) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプ

ラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度（見直し）

< プルサーマルの推進 >

(2) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

< 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

(3) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

< ウラン濃縮技術の高度化 >

(4) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胴遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

< 回収ウラン >

(5) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機の設計を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

< 共通基盤技術開発 >

(6) 革新的実用原子力技術開発費

概要

原子力発電及び核燃料サイクルに関する革新的かつ基盤的技術であって実用化につながる研究開発テーマを競争的環境の下で広く提案公募方式により募集し、将来の原子力技術の発展及び技術の多様化につながる研究開発を行う。

なお、実施に当たっては、研究開発の特性に応じて既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野の3分野を設け事業を実施する。

技術目標及び達成時期

2012年まで、既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

なお、既存技術分野は2008年度で終了となる。

研究開発期間

2000年～2010年（見直し）

4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

(1) 発電用新型炉等技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必

要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守技術の試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発(4 - - 参照)

4 - - . 放射性廃棄物処理処分

(1) 地層処分技術開発

概要

) 地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技术として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

) 地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素14の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術開発

）地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

T R U廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術開発

概要

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とT R U廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

(1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたS M E S、電力ケー

ブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

4 - - . その他電力供給安定化技術

(1) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)

概要

大規模風力発電所等の普及拡大時において懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、蓄電システムの併設による出力安定化技術を開発し、実態に応じたシステム稼働データの抽出や当該システムの有効性の検証を行う。

技術目標及び達成時期

長期実証運転を強いられた大容量システムの耐久性や信頼性を評価するため解体分析調査を行うことにより、当該技術の有効性を検証するとともに、そのシステムを確立する。

研究開発期間

2003年度～2008年度

(2) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

(イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。

(ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。

(ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。

(ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A．系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B．次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A．2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B．2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。また、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

従来の金属材料と比べ耐食性、耐久性、加工性などの飛躍的な向上が期待できる超高純度金属材料の発電プラント部材としての実用化を目指し、低コスト・量産化製造プロセス、及び加工・溶接技術等の開発を行い、部材としての実用特性の評価・検証を行う。

また、実用化に向けたフィージビリティ調査を行い経済性の評価等を実施するとともに、材料特性に関するデータベースの整備及びそれに必要な試験研究を行う。

技術目標及び達成時

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って

発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

(1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型ノ特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

(2) 石炭生産技術開発(クリーン・コール・テクノロジーの研究開発の一部)

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、低品位炭の有効利用、石炭生産性の向上のための研究開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、インドネシアにおいて低品位炭の有効利用を図ることを目標に、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を確立する。

研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセット

を完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

(5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

PALSARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化(アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等)を図る。

研究開発期間

1993年度～2010年度

(7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ(ASTER)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化(ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等)を図る。

研究開発期間

1987年度～2010年度

4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

(1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術(自着火燃焼(着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある))に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

研究開発期間

2002年度～2011年度

(2) 石油精製高度機能融合技術開発

概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO₂排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(3) 将来型燃料高度利用技術開発

概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

研究開発期間

2008年度～2010年度

(4) 革新的次世代石油精製等技術開発

概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサー（COセンサー・メタンセンサー）を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジーおよびMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性（数百PPM以下の故障率）、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

(6) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験（運営費交付金）

概要

天然ガスの供給手段が存在せず（パイプラインはもとよりサテライト供給でも採算が合わないため）石油等の燃料に依存している地方都市部の中小規模の天然ガス需要に対し、天然ガスハイドレートを利用した、新たな輸送技術を確認する。

技術目標及び達成時期

従来のLNGチェーンによる供給に係る投資コストに対し、そのコストを約1/4に低減する事が可能な天然ガスハイドレート（NGH）供給システムを2008年度までに確立する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(7) 天然ガスの液体燃料化（GTL）技術実証研究（運営費交付金）

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO₂を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO₂を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO₂除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究（500バレル/日）を行い、商業規模でのGTL製造技術を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (8) 高耐久性メンブレン型 L P ガス改質装置の開発 (運営費交付金) (4 - - 参照)
- (9) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型 / 特別研究 (運営費交付金) (4 - - 参照)
- (1 0) 高効率ガスタービン実用化技術開発 (4 - - 参照)

4 - - . オイルサンド等非在来化石資源の利用技術

(1) メタンハイドレート開発促進委託費

概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2 0 1 6 年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

研究開発期間

2 0 0 1 年度 ~ 2 0 1 6 年度

(2) 革新的次世代石油精製等技術開発 (4 - - 参照)

4 - - . 石炭クリーン利用技術

(1) 革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電 (I G F C) の開発実証
- ・ 化学吸収法による C O 2 の分離・回収技術の実証
- ・ C O 2 を輸送するための船舶の設計
- ・ C O 2 を貯留するための発生源近傍における貯留ポテンシャルやコストの評価
- ・ 石炭ガス化から CCS まで一貫したトータルシステムの設計等を行う。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化については、2 0 0 9 年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスから C O 2 の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3 炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。また、C C S については、2 0 1 6 年度頃から C O 2 地中貯留の実証試験に着手する。

研究開発期間

2 0 0 7 年度 ~ 2 0 1 2 年度

(2) 国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

概要

石炭火力発電から排出されるCO₂の削減技術について諸外国との実証普及事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、ゼロエミッション型石炭火力発電の実証プロジェクト(Future Genプロジェクト)への参画を通じた石炭ガス化・発電技術、CO₂分離回収技術、CO₂輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。また、将来のCO₂の地中貯留に際しては、国民の正しい理解が不可欠であり、これを念頭においたゼロエミッション型石炭火力発電に係る普及啓蒙活動を積極的に実施する。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO₂を分離する装置が不要であることから、比較的低コストで極めて大きなCO₂削減効果が期待できる。

研究開発期間

2007年度～2016年度

(3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電(USC)は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術(A-USC)の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレイス需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

(4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)(クリーン・コール・テクノロジーの

研究開発の一部)

概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭ガス化、無灰化技術による転換効率向上に資する技術や石炭からの水素製造技術等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、

- ・ 石炭から合成ガスや軽質オイルを併産する高効率な石炭部分水素化プロセス技術を20t/日のパイロットプラント規模で確立する(石炭部分水素化熱分解技術の開発)

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発)

研究開発期間

1995年度～2008年度(2008年度見直し)

- ・ 戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度
- ・ 石炭部分水素化熱分解技術 2003年度～2008年度

(5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

研究開発期間

1999年度～2009年度

(6) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . その他共通

(1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 燃料電池先端科学研究 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 新利用形態燃料電池技術開発 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 高耐久メンブレン型 L P ガス改質装置の開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 水素社会構築共通基盤整備事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 水素先端科学基礎研究事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 固体酸化物形燃料電池実証研究 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (13) 定置用燃料電池大規模実証事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (14) 燃料電池システム等実証研究 (4 - - 参照)

5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 事業者支援補助金等による初期需要創出
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

(エネルギーイノベーションプログラム)

「水素先端科学基礎研究事業」基本計画

燃料電池・水素技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高く、燃料電池実用化戦略研究会（経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置）において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組んでいる。

また、2002年5月に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係各省庁の緊密な連携のもとで燃料電池実用化に必要な安全性確保のための燃料電池・水素インフラ等に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検をはじめとする規制・技術基準の整備及び標準化が進展している。さらに第3期科学技術基本計画（2006年3月）においては「先進燃料電池システムと安全な革新的水素貯蔵・輸送技術」が戦略重点科学技術として選定され、新・国家エネルギー戦略（2006年5月）では燃料電池自動車に関する技術開発の推進が記され、経済成長戦略大綱（2006年7月）において運輸エネルギーの次世代技術開発が重点分野として位置付けられている。エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年5月）においても燃料電池および燃料電池普及のために必要となる水素技術開発の重要性が述べられ、さらには、Cool Earth 50－エネルギー革新技術に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられている。

このように、官民挙げて燃料電池の導入・普及に積極的に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を液化又は高圧化した状態で輸送・貯蔵する等水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、いまだ世界的にも知見の集積が乏しく、特に、これらの状態における容器や機器で使用する材料の水素脆化（水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象）のメカニズム解明は、水素を長期間、安全に利用するために早

急に確立しなければならない重要な基礎的科学的知見である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の集積を行い、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、①液化・高圧化した状態における水素物性の解明、②液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。本プロジェクトの実施により、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境下での材料特性に関わる基礎研究が進展し、水素エネルギー社会構築に向け、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための水素エネルギー・燃料電池の実用化技術の進展及び安全の確保、標準化、研究開発及び利用を支える優秀な人材の養成・確保等に大きく貢献することが期待される。

(2) 研究開発の目標

- ・燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築（例えば、輸送コスト：圧縮水素7円/Nm³、液体水素3円/Nm³、水素車載量7kg を実現する）に必要な水素物性・材料特性に係るデータ取得、材料劣化等の基礎的な研究及びメカニズム解明を行う。
- ・基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料又は劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

(3) 研究開発の内容

上記の目標を達成するため、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

なお、本事業の推進にあたっては、水素社会構築共通基盤整備事業の進捗や規制再点検及び国際標準化の必要なテーマに対応する水素物性、材料特性データの取得を行う等国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら基礎研究を実施する。なお、今後の展開如何によって追加の必要が生じた項目については、逐次、追加的に実施する。

〔委託事業、共同研究事業（NEDO 負担率：2/3）〕

- 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 液化・高圧化状態における長期使用および加工（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

平成22年6月に実施する追加公募については、(i) 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業、又は(ii) 試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込

めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、(i)については、上記以外のもの(※1)は、共同研究事業[NEDO負担率:2/3]として実施する。

※1 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、単独又は複数の企業、大学の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。)から公募によって研究開発実施者を選定後、業務委託契約等を締結する研究体制を構築し、委託により実施する。

研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが指名するプロジェクトリーダー 独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター長 村上敬宜氏の下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会や技術検討会等において外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者が一堂に会する報告会を開催し、情報共有、共通認識を図る。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成18年度～平成24年度の7年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果などについて、外部有識者による研究開発の中間評価を平成20年度及び22年度に、事後評価を平成25年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等適宜必要に応じて前倒しする等の見直しを行うものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 研究成果の普及

本事業により得られた成果は、NEDO及び実施者ともに水素社会に向けた燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素インフラ等の普及に資する企業等における材料開発及び国際標準形成に必要不可欠な基礎的科学的知見としてその普及に努めるものとする。

②知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2)基本計画の変更

NEDOは、研究開発の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3)根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハ及び七号に基づき実施する。

(4)その他

本事業により得られた成果の普及や定着のために、近い将来を担う産業界若手技術者等の人材育成活動を実施し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図る。

6. 基本計画の改訂履歴

(1)平成18年2月、制定。

(2)平成20年3月、プロジェクトリーダーの設置に伴い研究開発の実施体制、人材育成活動に関する事項を記入し、その他重要事項を各々変更して改訂。

(3)平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。

(4)平成22年3月、研究内容の拡充(追加公募)にともなう改訂。

(別紙)研究開発計画

研究開発項目：

- 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 液化・高圧化状態における長期使用および加工(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

1. 研究開発の必要性

燃料電池及び水素技術開発の進展により、更に高い圧力の圧縮水素、液体水素等より、より多くの水素を貯蔵・輸送するための水素貯蔵容器・材料の普及が見込まれている。これに伴って、さらに高圧化した場合の安全性等を確保しながら、低コストで、長期使用できる材料が求められる。具体的には、液化・高圧化した状態における水素物性の解明及び液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を基本とする基礎研究が不可欠である。

さらに、当該分野における我が国の国際競争力確保のためには、水素社会構築に向けた標準化に必要なデータを取得し、世界に先駆けた高度な国際標準提案を行う必要がある。このため、高圧水素や液体水素などを利用する燃料電池自動車やインフラなどでの関連機器で使用する材料の試験データ取得や基礎的なメカニズム解明を行う必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

研究開発の具体的内容は、次の通り。なお、各研究開発の成果をより実効的に普及・定着させるために、近い将来を担う産業界若手技術者等の人材育成活動(成果を活用した講義を含む)にも活用し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図る。

① 高圧水素物性の基礎研究

より高い圧力状態や、液体状態にある水素の基本的な挙動を解明する。水素圧力100 MPa、温度400°CまでのPVTデータ、粘性係数、熱伝導率などの水素基礎物性値を測定し、データベースを構築する。これらの物性値情報は、水素熱流動系の機器設計や各種のシミュレーションに活用することができる。

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

より高い圧力状態や、液体状態にある水素が、その環境下にある材料の水素が与える影響を解明する。例えば、材料の相転移などの構造変化(マルテンサイト転移)や材料中の異種介在物の関与、材料中の水素拡散の影響などを明らかにして、水素脆化による材料の劣化メカニズムを解析する。これにより、水素インフラなどに利用できる新規材料の設計方針に寄与する提案を行う。

③ 液化・高圧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

燃料電池自動車や水素インフラで実使用する材料は、長期に使用され、水素環境下にある。また、実際に材料が利用される時は、加工（成形、溶接、表面修飾）が成されてから利用される。そこで、材料に施される加工の水素脆化に与える影響を解明する基礎研究を実施する。さらに、加速劣化試験方法など、材料の劣化を簡易に短期間で評価できる方法を提案する。

④ 高圧水素トライボロジーの解明

燃料電池自動車や水素インフラでは、水素環境下で動作する機器が不可欠であるが、水素環境下では、大気中とは異なる材料表面が形成され、特異な摩擦挙動が予想される。水素環境下でのトライボロジーのメカニズムを解明し、水素環境下で作動する機器の確実な動作を確保するのに資する。

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

水素環境下に長期に使用される材料中の水素拡散や、機器のシール材からの漏洩をシミュレーションして、材料や機器の設計方針を提案する。

3. 達成目標

本事業の実施により、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するために、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で、必要となる水素物性、材料特性に関わる基礎研究が進展し、燃料電池の実用化及び標準化、国際競争力の確保に大きく貢献するものとする。国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、水素社会構築の進捗や規制再点検及び国際標準化の必要なテーマに対応する水素物性、材料特性データを取得し、提供する。

具体的には、燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築（例えば、輸送コスト：圧縮水素7円/Nm³、液体水素3円/Nm³、水素車載量7kg を実現する）に必要とされる水素物性、材料特性に係るデータ取得等と材料劣化などの基礎的な研究とメカニズム解明する。また、基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料、または、劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

研究開発項目毎の個別研究開発テーマの開発目標（中間目標・最終目標）及び実施内容の詳細については、採択が決定した後、NEDOと委託先との間で協議の上、基本計画に追加的に定めるものとする。

追加として定めた中間目標及び最終目標は以下に示す通り。

(1) 中間目標（平成19年度末）

水素高圧状態下における水素の物性や水素機器材料中の水素挙動等基礎的メカニズム解明等に必要となる研究体制（人材招聘を含む）、研究設備や評価機器など研究環境を整備し、基礎的考察・評価を進めるための手法を検討・導出するとともに、当該分野における今後の研究開発の方向性等が有効である目処付けを行う。

① 高圧水素物性の基礎研究

PVTデータ、粘性係数、物質に対する水素の溶解度等水素物性に関する測定環

境を整備し、精度良く計測できる手法(例えば、温度、圧力および密度測定装置用シンカーの校正等)を検討・導出する。

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

高圧又は液化水素環境下における金属材料等に発生する水素脆化メカニズムや水素疲労メカニズムを解明するための試験・分析・解析環境を整備し、基礎的考察や評価を進めるための手法(例えば、材料中の水素濃度測定法やき裂先端近傍の組織・強度測定法等)を検討・導出する。

③ 液化・高圧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

液化・高圧化状態に曝される材料、部品等の加工(成形・表面修飾)等の影響について、上記②における科学的知見も鑑み、考察・評価を進めるための具体的な試験や分析等に必要となる環境を整備し、例えば、ステンレス鋼、低合金鋼並びに部品・部材等加工品における水素侵入特性や、加工品に生じる加工ひずみや欠陥の差異が材料疲労強度に及ぼす影響について明らかにする。

④ 高圧水素トライボロジーの解明

高圧水素環境下における軸受け、バルブ摺動材料、締結部材料、シール材料等について、滑り摩擦試験、フレッティング摩擦試験、摺動試験等トライボロジー基礎物性データを測定できる環境を整備し、精度良く計測できる手法を検討・導出する。

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

高圧または液化水素環境下における金属材料等に発生する水素脆化メカニズムや水素疲労メカニズムを理論的に裏付けるための材料内水素拡散挙動に関するシミュレーターに関する基本設計を行い、解析ツールを整備するとともに、実験結果との照合を行い、基礎的考察やシミュレーション技術開発のための方向性等が有効であるめど付けを行う。

(2) 中間目標(平成21年度末)

水素高圧状態下における水素の物性や水素機器材料中の水素挙動等基礎的メカニズム解明等に関し、具体的な試験、分析、解析、評価等を重ね、理論的考察を進めるとともに、科学的裏付けとなる検証データを取得・蓄積し、自ら導出した仮説・提案・指針等内容を精査・強化する。

① 高圧水素物性の基礎研究

PVTデータ、粘性係数、物質に対する水素の溶解度等水素物性(20年度から熱伝導率を追加)について、具体的な試験、解析、評価を重ね、その有効性について、理論的考察を進めるとともに、測定精度や信頼性向上に向けた検討に基づき、校

正技術を確立する。

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

高圧または液化水素環境下における金属材料等に発生する水素脆化メカニズムや水素疲労メカニズムを解明するために、具体的な材料に対する各種試験、分析、解析、評価等を重ねるとともに、水素脆化の基本原理に関する考察を深める。また、発生した現象を科学的に裏付ける検証データを取得・蓄積し、自ら導出した仮説・提案・利用のための管理指針等の内容を精査・強化する。

③ 液化・高圧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

液化・高圧化状態に曝される材料、部品等の加工（溶接等）プロセスや同プロセスにおける温度等の影響について、上記②における科学的知見も 鑑み、例えば、溶接材の疲労強度に及ぼす水素の影響について明らかにするとともに、炭素鋼のような低コスト材料における水素の影響評価手法について検討・導出する。

④ 高圧水素トライボロジーの解明

高圧水素環境下における軸受け、バルブ摺動材料、締結部材料、シール材料等について、具体的な材料を用い、滑り摩擦試験、フレッティング摩擦試験、摺動試験等の試験、分析、解析、評価等を重ね、理論的考察を進めるとともに、発生した現象を科学的に裏付ける検証データを取得・蓄積し、自ら導出した仮説・提案・材料利用のための設計指針等の内容を精査・強化する。

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

例えば、機械システム全体も考慮した流体及び機械構造内の水素拡散挙動（有限要素法によるき裂先端応力場と水素拡散の連成現象等）を考慮した水素漏洩評価に関するシミュレーターに関する基本設計拡張を行い、解析ツールを整備するとともに、繰り返し実験結果との照合を行い、基礎的考察やシミュレーション技術開発の有効性を評価する。

(3) 最終目標（平成24年度末）

燃料電池自動車や水素ステーションなど、高圧または液体状態の水素を利用する際に重要となる、水素高圧状態下における水素の物性、水素を取り扱う容器や機器における材料の水素脆化やトライボロジーなど、水素が関わる現象や挙動の基礎的メカニズムなどを解明するとともに、基礎的な水素物性のデータベース構築など学術的な基盤を確立し、関係産業界が水素を利用する際の技術の信頼性向上や安全性の確立に資する。

① 高圧水素物性の基礎研究

PVTデータ、粘性係数、熱伝導率、比熱、物質に対する水素の溶解度等水素物

性について、具体的な計測値及び理論的考察に裏付けられたデータを元に、水素物性データベースを纏め、関係産業界に提供するとともに、更なる測定精度や信頼性向上のための校正技術を纏める。

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

高圧または液化水素環境下における金属材料等に発生する水素脆化メカニズムや水素疲労メカニズムについて、具体的な計測値及び理論的考察に裏付けられたデータを元に、水素環境下における組織・強度変化予測手法や疲労き裂進展挙動予測手法を纏め、関係産業界に提供し、関係産業界が水素を利用する際の材料に関する信頼性向上や安全性の確立に資する。

③ 液化・高圧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

液化・高圧化状態に曝される材料、部品等の加工（成形・溶接・表面修飾）プロセスや同プロセスにおける温度等の影響について、上記②における科学的知見も含めて、水素材料データベース、最適水素材料探索指針、耐水素ゴム・樹脂創製指針を纏め、関係産業界に提供するとともに、水素用機械要素設計法や材料劣化判断・健全性評価法等を提供し、関係産業界が水素を利用する際の材料に関する信頼性向上や安全性の確立に資する。

④ 高圧水素トライボロジーの解明

高圧水素環境下における軸受け、バルブ摺動材料、締結部材料、シール材料等について、具体的な計測値及び理論的考察に裏付けられたデータを纏め、関係産業界に提供するとともに、高圧水素トライボシステムや使用する材料に関する設計指針や管理指針等を提供し、関係産業界が水素を利用する際の摺動材料やシール材料に関する信頼性向上や安全性の確立に資する。

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

水素を用いた機械システム全体も考慮した流体及び機械構造内の挙動を考慮した水素拡散挙動・漏洩評価に資するシミュレーターを開発・整備するとともに、同基礎的考え方やシミュレーション手法を関係産業界に提供し、水素を利用する際の水素材料や水素機械の信頼性向上や安全性の確立に資する。

平成 1 8 年度実施方針

燃料電池・水素技術開発部

1. 件名：プログラム名 新エネルギー技術開発プログラム
(大項目) 水素先端科学基礎研究事業

2. 根拠法：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 1 5 条第 1 項第一号ハ

3. 背景及び目的・目標

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題（CO₂）・交通量の多い都市部等における地域環境問題（NO_x、PM等）の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性や性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。政府の科学技術基本計画（2001年3月閣議決定）、エネルギー基本計画（2003年10月閣議決定）等においても、燃料電池を含む新エネルギー技術は重点分野として位置付けられている。本事業は、このような背景のもと、新エネルギー技術の開発等によってエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題（CO₂）等地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等を図ることを目的とする「新エネルギー技術開発プログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、新産業創造等に資する水素エネルギー社会の構築に向けたキーテクノロジーとしてその実用化への期待が高く、燃料電池実用化戦略研究会（経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置）において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組んでいる。

また、2002年5月に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係各省庁の緊密な連携のもとで燃料電池実用化に必要な安全性確保のための燃料電池・水素インフラ等に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検をはじめとする規制・技術基準の整備及び標準化が進展している。

このように、官民挙げて燃料電池の導入・普及に積極的に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を液化又は高圧化した状態で輸送・貯蔵する等水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、いまだ世界的にも知見の集積が乏しく、特に、これらの状態における容器や機器で使用する材料の水素脆化（水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象）のメカニズム解明は、水素を長期間、安全に利用するために早急に確立しなければならない重要な基礎的科学的知見である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）は、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の集積を行い、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、①液化・高圧化した状態における水素物性の解明、②液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。

本プロジェクトの実施により、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境下での材料特性に関わる基礎研究が進展し、水素エネルギー社会構築に向け、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための水素エネルギー・燃料電池の実用化技術の進展及び安全の確保、標準化等に大きく貢献することが期待される。

＜研究開発の目標＞

- ・燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築（たとえば、輸送コスト：圧縮水素7円/Nm³、液体水素3円/Nm³、水素車載量7kgを実現する）に必要とされる水素物性、材料特性に係るデータ取得等と材料劣化などの基礎的な研究とメカニズム解明を行う。
- ・基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料、または劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

4. 事業内容

(1)平成18年度実施内容

基本計画に基づき公募によって実施者を選定し、研究体制を構築したうえで委託契約（NEDO技術開発機構負担率100%）を行って研究開発を開始する。なお、効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名して研究開発を実施する。

① 高圧水素物性の基礎研究

高圧または、液体化した特殊環境下での水素の特性・挙動を検討する。

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

高圧または、液体化した特殊環境下での水素が材料に与える影響を検討し、金属や炭素系などの材料等の水素脆化に関する基本原理の解明及び対策検討を行う。

③ 高圧/液化状態における長期使用および加工（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

高圧または、液体化した特殊環境下での水素が材料に与える影響を検討する。特に、長期間使用することによる影響、機器製作時の材料加工（成形・溶接・表面修飾など）、および、使用時の温度（-20℃～150℃程度）が与える影響を検

討する。

④ 高圧水素トライボロジーの解明

開閉弁や昇圧器などのように、高圧または、液体化した特殊環境下で、機器の駆動により材料間で摩擦が生じるような状態における水素が材料に与える影響等を検討し、水素環境下でのトライボロジー機構を解明する。

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

長期使用を念頭にした材料中の水素拡散やシール材の内外での水素漏洩などにおける水素挙動をシミュレーションなどの活用により解明する。

(2) 平成18年度事業規模

石特会計（エネ高） 1,666百万円（新規）

（注）事業規模については、多少の変動があり得る。

5. その他重要事項

(1) 運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会や技術検討会等において外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、情報共有、共通認識を目的に、本事業の実施者を一堂に会する報告会を開催する。更に、効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDO技術開発機構が委託先決定後に指名するプロジェクトリーダーを置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

(2) 複数年度契約の実施

平成18～19年度の複数年度契約を行う。

(3) 年間スケジュール	：	平成18年2月23日	部長会
		2月28日	運営会議
		3月下旬	公募開始
		3月下旬	公募説明会
		4月下旬	公募〆切
		6月中旬	契約・助成審査委員会
		6月中旬	採択決定

なお、応募総数が多い場合等、特段の事情がある場合を除き、公募締め切りから原則45日以内での採択決定を行う。

平成 19 年度実施方針

燃料電池・水素技術開発部

1. 件名：プログラム名 新エネルギー技術開発プログラム
(大項目) 水素先端科学基礎研究事業

2. 根拠法：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第一号ハ

3. 背景及び目的・目標

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題（CO₂）・交通量の多い都市部等における地域環境問題（NO_x、PM等）の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性や性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。政府の科学技術基本計画（2001年3月閣議決定）、エネルギー基本計画（2003年10月閣議決定）等においても、燃料電池を含む新エネルギー技術は重点分野として位置付けられている。本事業は、このような背景のもと、新エネルギー技術の開発等によってエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題（CO₂）等地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等を図ることを目的とする「新エネルギー技術開発プログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、新産業創造等に資する水素エネルギー社会の構築に向けたキーテクノロジーとしてその実用化への期待が高く、燃料電池実用化戦略研究会（経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置）において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組んでいる。

また、2002年5月に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係各省庁の緊密な連携のもとで燃料電池実用化に必要な安全性確保のための燃料電池・水素インフラ等に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検をはじめとする規制・技術基準の整備及び標準化が進展している。

このように、官民挙げて燃料電池の導入・普及に積極的に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を液化又は高圧化した状態で輸送・貯蔵する等水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、いまだ世界的にも知見の集積が乏しく、特に、これらの状態における容器や機器で使用する材料の水素脆化（水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象）のメカニズム解明は、水素を長期間、安全に利用するために早急に確立しなければならない重要な基礎的科学的知見である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO 技術開発機構」という。）は、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の集積を行い、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、①液化・高圧化した状態における水素物性の解明、②液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。

本プロジェクトの実施により、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境下での材料特性に関わる基礎研究が進展し、水素エネルギー社会構築に向け、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための水素エネルギー・燃料電池の実用化技術の進展及び安全の確保、標準化等に大きく貢献することが期待される。

<研究開発の目標>

- ・燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築（たとえば、輸送コスト：圧縮水素 7 円 / Nm³，液体水素 3 円 / Nm³、水素車載量 7 kg を実現する）に必要とされる水素物性、材料特性に係るデータ取得等と材料劣化などの基礎的な研究とメカニズム解明を行う。
- ・基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料、または劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

4. 実施内容及び進捗状況

平成 18 年度は、公募により選定された実施者にて以下の研究開発を実施した。
（実施体制：独立行政法人産業技術総合研究所、国立大学法人九州大学一再委託国立大学法人佐賀大学、一再委託国立大学法人長崎大学、一再委託国立大学法人京都大学）

① 高圧水素物性の基礎研究

高圧域における水素物性の測定技術を開発し、同物性データを取得することを目的として、バーネット式 PVT データ測定装置、細管式水素粘性係数測定装置、溶解度測定装置の設計及び製作を行った。

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と材料強度特性に関する研究

オーステナイト系ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼材料における疲労き裂進展等に及ぼす水素の影響を調査し、同疲労破面や同引張破面をマイクロレベルで解析した結果、水素脆化は、格子脆化・脆性破壊ではなく、すべり集中による延性破壊を示唆するデータを得た。

③ 液化・高圧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

高圧水素研究における実験環境を整備すると共に、高圧水素ガス雰囲気中の材料

への最大水素侵入量に関する評価方法（水素侵入評価法）を開発した。またオーステナイト系ステンレス鋼の水素による疲労き裂進展は、加工（成形・溶接・表面修飾等）誘起マルテンサイト変態、き裂の直線化、すべりの局在化等で引き起こされるあるいは加速されることを見いだした。加えて、フレット疲労、溶接継手疲労に関する試験技術・評価法の開発にも着手した。

④ 高圧水素トライボロジーの研究

関連技術の国内外動向を調査し、水素トライボロジーに関する技術課題を整理した。また常圧水素雰囲気中における軸受、バルブ、シール等摺動材料の基礎データを取得した。

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

水素雰囲気中の材料の疲労強度劣化メカニズムを解明するために、分子動力学法による解析を実施した結果、水素の存在有無に応じ、き裂進展挙動に差異が生じることが確認できた。

	18年度
実績額推移（百万円）：	1,649
石特会計（エネ高）	
特許出願件数（件）	1
論文発表数（報）	10
フォーラム（件）	3

5. 事業内容

(1) 平成19年度実施内容

本研究開発では、効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDO技術開発機構が指名した研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の元、研究開発を実施する。

（実施体制：独立行政法人産業技術総合研究所、国立大学法人九州大学一再委託国立大学法人佐賀大学、一再委託国立大学法人長崎大学、一再委託国立大学法人京都大学）

① 高圧水素物性の基礎研究

バーネット式PVT測定装置、水素粘性係数測定装置、溶解度測定装置を各々高圧仕様（～100MPa）に改造し、同高圧下での水素の特性や挙動を調査する。また振動線式水素粘性係数測定装置、熱伝導率測定装置、露点測定装置の設計及び取得データとの相関を確認する。

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と材料強度特性に

関する研究

高圧水素ガス環境下における疲労き裂発生・進展試験や分析等による疲労き裂先端での水素集中状況の映像化、ミクロ破面観察を行い、高圧水素ガス環境下における水素脆化の発生メカニズムは、すべり延性破壊であることを検証する。

③ 液化・高圧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

高圧水素ガス環境下における疲労き裂進展の加速メカニズムを明らかにしていくと共に、フレット疲労、切欠き材・溶接継手の疲労等部品・接合部材に関する研究やゴム等非金属の損傷劣化に関する研究を加速する。

④ 高圧水素トライボロジーの研究

平成18年度に開発導入した装置を用いて、水素トライボロジーに関するデータを取得すると共に、メカニズム解明を進める。

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

平成18年度成果について、実験結果との対比を重ね、解析精度を向上させると共に、水素拡散解析や拡散係数の推定についての精度向上を検討する。

(2) 平成19年度事業規模

石特会計（エネ高） 1,632百万円（継続）

（注）事業規模については、多少の変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 運営管理

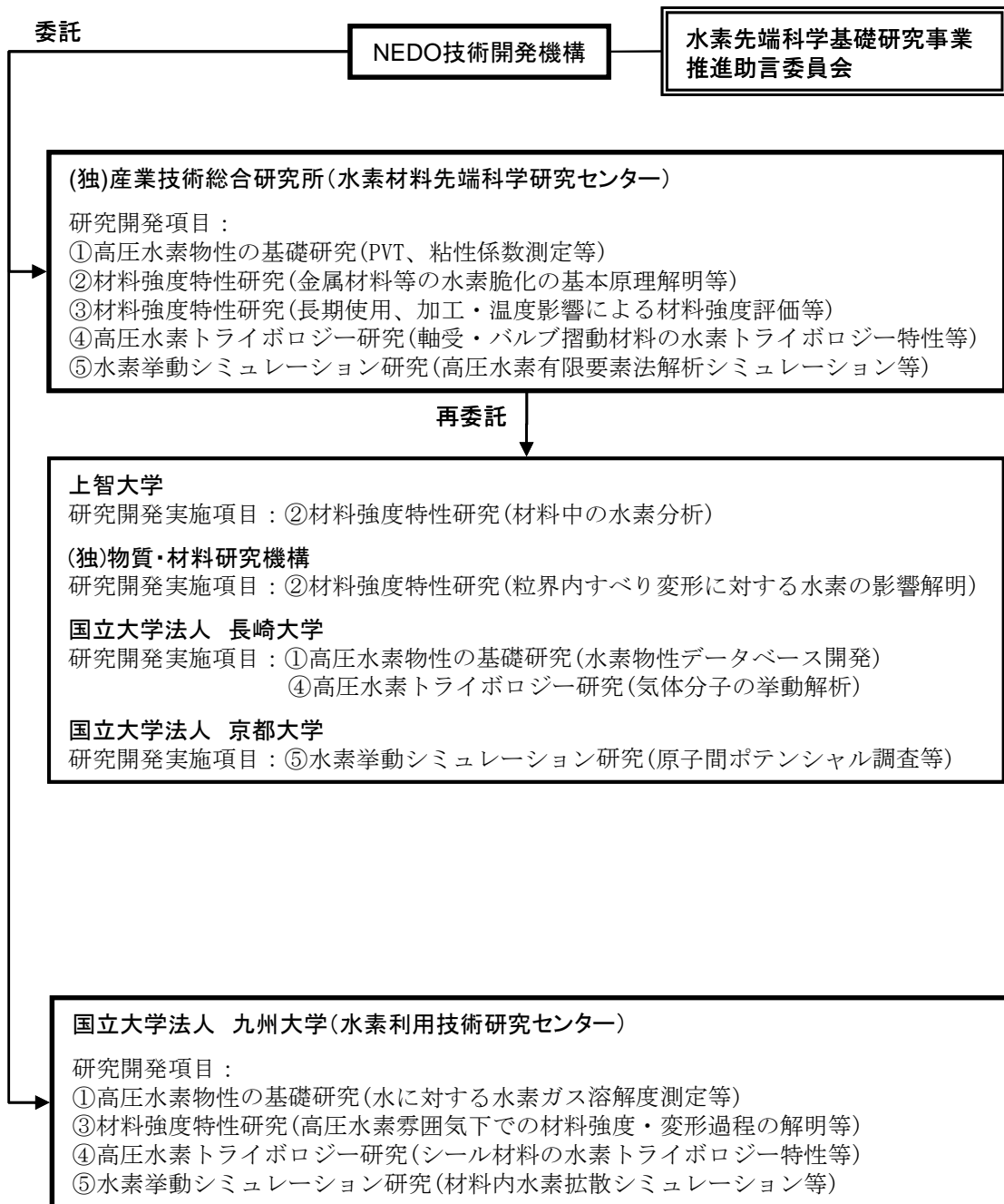
研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会や技術検討会等において外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、情報共有、共通認識を目的に、本事業の実施者を一堂に会する報告会を開催する。更に、効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDO技術開発機構が指名したプロジェクトリーダーの下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

(2) 複数年度契約の実施

平成18～19年度の複数年度契約を行う。

(3) 年間スケジュール：平成19年3月8日 部長会

(別紙) 事業実施体制の全体図



平成20年度実施方針

燃料電池・水素技術開発部

1. 件名：プログラム名 エネルギーイノベーションプログラム
(大項目) 水素先端科学基礎研究事業

2. 根拠法：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハ
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第十号

3. 背景及び目的・目標

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、新産業創造等に資する水素エネルギー社会の構築に向けたキーテクノロジーとしてその実用化への期待が高く、燃料電池実用化戦略研究会（経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置）において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組んでいる。

また、2002年5月に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係各省庁の緊密な連携のもとで燃料電池実用化に必要な安全性確保のための燃料電池・水素インフラ等に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検をはじめとする規制・技術基準の整備及び標準化が進展している。

このように、官民挙げて燃料電池の導入・普及に積極的に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を液化又は高圧化した状態で輸送・貯蔵する等水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、いまだ世界的にも知見の集積が乏しく、特に、これらの状態における容器や機器で使用する材料の水素脆化（水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象）のメカニズム解明は、水素を長期間、安全に利用するために早急に確立しなければならない重要な基礎的科学的知見である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）は、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の

集積を行い、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、①液化・高圧化した状態における水素物性の解明、②液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。本プロジェクトの実施により、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境下での材料特性に関わる基礎研究が進展し、水素エネルギー社会構築に向け、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための水素エネルギー・燃料電池の実用化技術の進展及び安全の確保、標準化等に大きく貢献することが期待される。

<研究開発の目標>

- ・燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築(例えば、輸送コスト:圧縮水素7円/Nm³、液体水素3円/Nm³、水素車載量7kgを実現する)に必要とされる水素物性、材料特性に係るデータ取得等と材料劣化などの基礎的な研究とメカニズム解明を行う。
- ・基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料、または劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター長 村上敬宜氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4.1 平成19年度(委託)事業内容

世界最先端の高圧水素材料研究設備の整備を実施するとともに、研究開発項目ごとに以下の研究開発を実施した。

(実施体制:独立行政法人産業技術総合研究所、一再委託国立大学法人長崎大学、一再委託国立大学法人京都大学、一再委託先NOK株式会社、一再委託学校法人福岡大学、国立大学法人九州大学)

① 高圧水素物性の基礎研究

平成18年度に開発したPVT、粘性係数、溶解度測定装置を用いて、1MPa以下の低圧領域における測定を開始し、既存の文献値や理論値と比較することにより計測精度を確認した。併せて、測定装置の遠隔操作システムを付加し、次年度以降に実施予定の高圧環境下における物性値測定が可能であることを確認した。さらには、次年度から実施予定の熱伝導率測定のための数値シミュレーションおよび予備実験を実施した。

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と材料強度特性に関する研究

平成18年度に引き続いて、き裂先端近傍をはじめとした材料中の水素濃度測定法を開発するとともに、新たに、き裂先端近傍の組織・強度測定法を開発した。さらにそれを疲労き裂進展に及ぼす水素の影響を分析する研究に応用し、水素脆化の基本メカニズムを

検討した(水素脆化の発生メカニズムが、基本的には、すべりの局所集中による延性破壊である仮説を導出できた)。

③液化・高圧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

ステンレス鋼、低合金鋼の水素による疲労き裂進展加速は、加工誘起マルテンサイト変態、すべりの局在化、荷重負荷速度が重要因子であることを見出した。部品・部材を念頭に、水素環境中の疲労特性に及ぼす加工ひずみ、切欠きの影響を評価したほか、非金属材料(ゴム・樹脂)の試験環境を整備した。

④高圧水素トライボロジーの研究

平成18年度に引き続いて水素雰囲気中のトライボロジーに関する国内外の技術動向を調査し、技術課題の整理・抽出を纏めた。また低圧水素雰囲気中での軸受、バルブ、シール等摺動材料の基礎データを蓄積するとともに試験条件の妥当性を確認した。

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

平成18年度に引き続いて、材料内のき裂進展における水素の影響を再現するプログラムを開発、適用するシミュレーションモデルを構築するとともに、3次元水素拡散シミュレーションを実施し有効に起動することを確認した。

	18年度	19年度
実績額推移(百万円):	1,649	1,665
高度化勘定		
特許出願件数(件)	1	6
論文発表数(報)	10	13
フォーラム(件)	3	70

5. 事業内容

独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター招聘研究員 村上敬宜氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

なお、今年度に中間評価を実施する。

また、今年度より、研究開発の成果をより実効的に普及・定着させるために、近い将来を担う産業界若手技術者等の人材育成活動を実施し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図る。

(1)平成20年度(委託)事業内容

① 高圧水素物性の基礎研究

これまでに整備した高圧水素物性測定装置を用いて、100MPa、200°Cまでの水素のPVT、粘性係数データを測定する。さらに、水素の異性体の存在比による熱物性

値の差異を明らかにするため、パラ水素発生装置を導入し、熱伝導率を測定する。併せて、次年度以降に実施予定の500℃までの測定に向けた装置開発および手法検討に着手・整備する。

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と材料強度特性に関する研究

透過型電子顕微鏡を用いて水素と転位の相互作用を映像化できる技術を開発し、原子レベルにおける水素脆化の基本原理を解明する研究を開始する。また、高圧水素環境下における材料評価環境の整備を進め、実用的な試験技術を開発する。

③ 液化・高圧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

ステンレス鋼、低合金鋼並びに部品・部材の長時間疲労特性に及ぼす水素の影響評価を実施する。また、炭素鋼のような低コスト材の水素侵入特性、疲労特性に及ぼす水素の影響を評価する。高圧水素ガスにおけるゴム・樹脂のブリストー現象を解明する研究に着手する。

④ 高圧水素トライボロジーの研究

次年度以降に実施予定の40MPa 級の高圧水素環境中における摩擦試験に備え、軸受・バルブ摺動材料及びシール材料における5MPa までの水素雰囲気下における摩擦試験技術を確立し、データ蓄積を開始する。

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

これまでに構築したシミュレーションモデルを拡張し、有限要素法によるき裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析の数値安定性と解析時間を改善する。また、分子動力学法をはじめとする原子シミュレーション技術を用いて、材料中の欠陥周辺に存在する水素の分布状況を明らかにする。

(2) 平成20年度事業規模

高度化勘定 1,620百万円(継続)

事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会や技術検討会等において外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者が一

堂に会する報告会を開催し、情報共有、共通認識を図る。

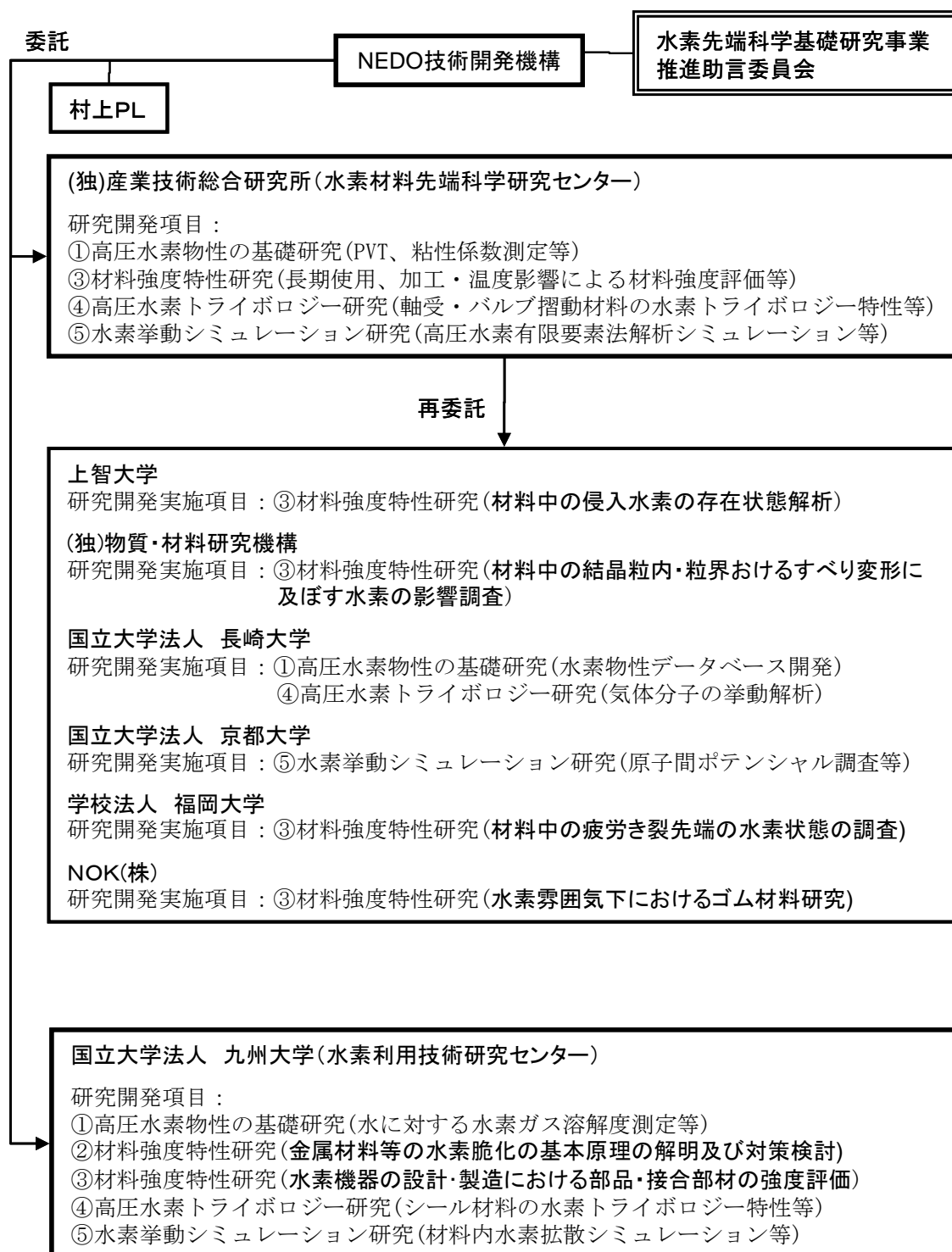
(2) 複数年度契約の実施

平成18～19年度の複数年度契約を平成20年度まで延長して実施する。

(3) 年間スケジュール

平成20年3月上旬 部長会

(別紙) 事業実施体制の全体図



平成21年度実施方針

燃料電池・水素技術開発部

1. 件名：プログラム名 エネルギーイノベーションプログラム
(大項目) 水素先端科学基礎研究事業

2. 根拠法：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハ
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第七号

3. 背景及び目的・目標

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、新産業創造等に資する水素エネルギー社会の構築に向けたキーテクノロジーとしてその実用化への期待が高く、燃料電池実用化戦略研究会（経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置）において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組んでいる。

また、2002年5月に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係各省庁の緊密な連携のもとで燃料電池実用化に必要な安全性確保のための燃料電池・水素インフラ等に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検をはじめとする規制・技術基準の整備及び標準化が進展している。

このように、官民挙げて燃料電池の導入・普及に積極的に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を液化又は高圧化した状態で輸送・貯蔵する等水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、いまだ世界的にも知見の集積が乏しく、特に、これらの状態における容器や機器で使用する材料の水素脆化（水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象）のメカニズム解明は、水素を長期間、安全に利用するために早急に確立しなければならない重要な基礎的科学的知見である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）は、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の集積を行い、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、①液化・高圧化した状態

における水素物性の解明、②液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。本プロジェクトの実施により、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境下での材料特性に関わる基礎研究が進展し、水素エネルギー社会構築に向け、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための水素エネルギー・燃料電池の実用化技術の進展及び安全の確保、標準化等に大きく貢献することが期待される。

<研究開発の目標>

- ・燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築(例えば、輸送コスト:圧縮水素7円/Nm³、液体水素3円/Nm³、水素車載量7kgを実現する)に必要とされる水素物性、材料特性に係るデータ取得等と材料劣化などの基礎的な研究とメカニズム解明を行う。
- ・基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料、または劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター長 村上敬宜氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4.1 平成20年度(委託)事業内容

世界最先端の高圧水素材料研究設備を本格的に稼働させ、研究開発項目ごとに以下の研究開発を実施した。

(実施体制:独立行政法人産業技術総合研究所、一再委託国立大学法人長崎大学、一再委託国立大学法人京都大学、一再委託NOK株式会社、一再委託学校法人福岡大学、国立大学法人九州大学)

① 高圧水素物性の基礎研究

高圧水素物性測定装置を用いて、100MPa、160℃までの水素のPVTデータの計測に成功した。粘性係数および熱伝導率においても低圧において既存の文献値に近い値が得られ、測定法および測定装置の妥当性が確認できた。水に対する水素の溶解度を質量分析装置により測定し、所定の目標範囲である29MPaまでのデータを取得した。既存の状態方程式や推算式による水素熱物性データベースのプロトタイプを開発した。

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と材料強度特性に関する研究

透過型電子顕微鏡 TEM を用いて水素と転位の相互作用を映像化できる技術を開発するとともに、単結晶金属の疲労き裂先端を TEM で観察し、水素による疲労き裂進展加速がすべりの局在化で引き起こされることを原子レベルで明らかにした。100MPa 疲労試験機を移管し、SM490B では0.1MPaと90MPa 水素ガス中の疲労き裂進展加速はほぼ同じであることを明らかにした。また、120MPa 疲労試験機 2 台の 21 年度導入に着手した。

③ 液化・高圧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

SUS316L の疲労き裂進展は低荷重負荷速度で水素によって加速することを発見したことに続き、SUS316L の製造時に侵入する数 ppm の水素が疲労き裂進展を加速することを発見した。強度の異なる低合金鋼では、材料固有の応力拡大係数の限界値を境にして急激なき裂進展加速が生じることを発見した。2002 年製造の霞ヶ関水素ステーションの蓄圧器と 1975 年製造の輸送用蓄圧器の健全性評価に関する報告書を公開した。

また高圧水素ガスによるゴム材料のプリスタ現象について、ゴム試験片のサイズを検討した結果、現象を再現することが出来た。この結果に基づき、プリスタ現象をモデル化し、プリスタ発生条件を把握した。

④ 高圧水素トライボロジーの研究

軸受、バルブ、シール等摺動材料の低圧水素雰囲気中でのトライボロジーについて、水素の影響を明確に捉えるために水素ガス中の不純物の測定と制御を可能として、基礎データの蓄積を行うとともに、高圧（40MPa）での摩擦試験へ向けて試験装置を導入し、雰囲気圧力 5MPa までの摩擦試験を開始した。

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

これまでに構築したシミュレーションモデルを発展させ、有限要素法によるき裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析の高い数値安定性を確立した。また、分子動力学法をはじめとする原子シミュレーション技術を用いて、材料中の欠陥周辺に存在する水素の分布状況、水素と転位の干渉効果を明らかにした。

また、これらに加え、研究開発の成果をより実効的に普及・定着させるために、近い将来を担う産業界若手技術者等の人材育成活動を平成20年度から実施し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図った。

4. 2 実績推移

	18年度	19年度	20年度
実績額推移（百万円）：	1, 592	1, 718	1, 620
需給勘定			
特許出願件数（件）	1	6	6
論文発表数（報）	10	13	30
フォーラム（件）	3	70	0

5. 事業内容

独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター招聘研究員 村上敬宜氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成21年度(委託)事業内容

平成21年度より、「液化・高圧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」を担当する水素材料強度特性研究チーム(九州大)を、金属材料を担当する「水素材料強度特性研究チーム」と高分子材料を担当する「水素高分子材料研究チーム」に分け、それぞれ専門分野に特化して研究加速を図る。

① 高圧水素物性の基礎研究

定容積式 PVT 測定装置を開発し、500°Cまでの高温域の測定精度の確保と、高圧化への課題抽出を行う。磁気式密度計を用いた予備測定を開始し、100MPa、200°Cまでのバーネット法による測定結果と比較することにより、トレーサビリティの確保とデータの信頼性の向上を目指す。粘性係数の測定範囲の拡大、熱伝導率についてはパラ水素の濃度依存性を明らかにする。NMR を用いて高分子内の水素の溶解度の測定を本格化する。露点計測および音速測定の本格化を目指す。水素熱物性データベースのデータと機能を充実させる。

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と材料強度特性に関する研究

TEM ホルダーを用いた超高圧 TEM その場観察によって、き裂先端で作動する転位源の種類に及ぼす水素の影響、負荷とともにき裂先端に形成される転位組織に及ぼす水素の影響を明らかにする。70MPa 燃料電池自動車の開発を支援する目的で、100MPa 水素疲労試験機(1台)と120MPa 水素疲労試験機(2台)を用い、オーステナイト系ステンレス鋼、アルミニウム合金の90MPa 水素ガス中の引張特性、疲労き裂進展特性等を評価する。

③ 液化・高圧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(金属材料)

ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼、アルミ合金並びに部品・部材の長時間疲労特性に及ぼす水素の影響評価、高圧水素ガス中で材料内に侵入する水素の測定を継続する。これらの結果をまとめ、水素強度データベース、侵入水素データベースのプロトタイプを作る。また、有明ステーションの実証試験で使用された部品・部材の調査を水素トライボロジーチーム、水素高分子材料チーム、水素シミュレーションチームと共同で行う。

④ 液化・高圧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(高分子材料)

高圧水素ガスによるゴム材料のマクロに観察されるブリスタ破壊現象とゴム材料の組成や化学構造などのゴム材料のミクロな構造変化との相関を明らかにすることにより高圧水素に対する耐性に優れたゴム材料の設計指針を得る。また、NMR、IRなどの手法を用いたゴム材料中の水素定量、化学劣化の分析手法を確立する。

⑤ 高圧水素トライボロジーの研究

軸受、バルブ、シール等摺動材料について、40MPa までの高圧水素中での試験方法を

確立して、低圧・高圧のデータ蓄積を進め、支配的因子の抽出を行って、水素トライボロジ基礎特性のデータベース(トライボアトラス)を構築する。特にシール材料の研究比重を高める。また、実材料の信頼性評価方法を検討する。

⑥ 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

有限要素法によるき裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析精度向上と解析時間短縮が可能なソフトを開発する。また、分子動力学法をはじめとする原子シミュレーション技術を用いて、材料中の欠陥周辺に存在する水素の分布状況、転位の運動に及ぼす水素の影響をさらに解明する。

他の研究チームとの連携をこれまで以上に密にし、また他のシミュレーションの専門家との意見交換、異分野の水素研究者との連携等も視野に入れ研究の促進を図る。

加えて、研究開発の成果をより実効的に普及・定着させるために、近い将来を担う産業界若手技術者等の人材育成活動を実施し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図る活動を継続する。

5.2 平成21年度事業規模

需給勘定 1,069百万円(継続)

事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会や技術検討会等において外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者が一堂に会する報告会を開催し、情報共有、共通認識を図る。

(2) 複数年度契約の実施

平成18～20年度の複数年度契約を平成22年度まで延長して実施する。

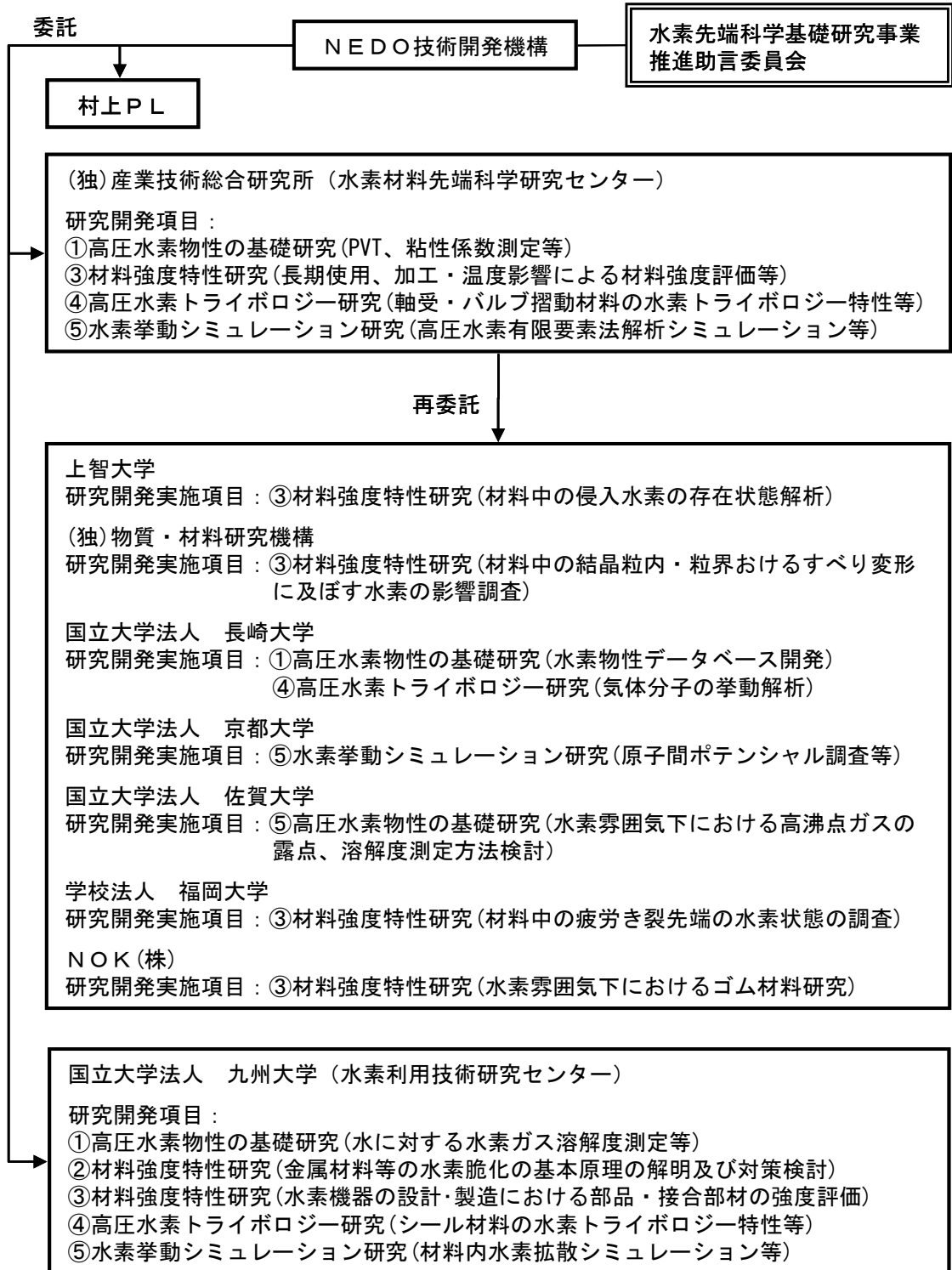
7. 年間スケジュール

平成21年3月上旬 部長会

8. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成21年3月 制定

(別紙) 事業実施体制の全体図



平成22年度実施方針

燃料電池・水素技術開発部

1. 件名：プログラム名 エネルギーイノベーションプログラム
(大項目) 水素先端科学基礎研究事業

2. 根拠法：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハ
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第七号

3. 背景及び目的・目標

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、新産業創造等に資する水素エネルギー社会の構築に向けたキーテクノロジーとしてその実用化への期待が高く、燃料電池実用化戦略研究会（経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置）において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組んでいる。

また、2002年5月に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係各省庁の緊密な連携のもとで燃料電池実用化に必要な安全性確保のための燃料電池・水素インフラ等に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検をはじめとする規制・技術基準の整備及び標準化が進展している。

このように、官民挙げて燃料電池の導入・普及に積極的に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を液化又は高圧化した状態で輸送・貯蔵する等水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、いまだ世界的にも知見の集積が乏しく、特に、これらの状態における容器や機器で使用する材料の水素脆化（水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象）のメカニズム解明は、水素を長期間、安全に利用するために早急に確立しなければならない重要な基礎的科学的知見である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の集積を行い、水

素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、①液化・高圧化した状態における水素物性の解明、②液化・高圧化による材料の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。本プロジェクトの実施により、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境下での材料特性に関わる基礎研究が進展し、水素エネルギー社会構築に向け、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための水素エネルギー・燃料電池の実用化技術の進展及び安全の確保、標準化等に大きく貢献することが期待される。

<研究開発の目標>

- ・燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築(例えば、輸送コスト:圧縮水素7円/Nm³、液体水素3円/Nm³、水素車載量7kgを実現する)に必要とされる水素物性、材料特性に係るデータ取得等と材料劣化などの基礎的な研究とメカニズム解明を行う。
- ・基礎的研究を踏まえ、水素環境下で長期使用に使用できる材料、または劣化評価方法や運用方法などの提案を行う。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター長 村上敬宜氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 平成21年度(委託)事業内容

世界最先端の高圧水素材料研究設備を本格的に稼働させ、研究開発項目ごとに以下の研究開発を実施した。

(実施体制:独立行政法人産業技術総合研究所、一再委託国立大学法人長崎大学、一再委託国立大学法人京都大学、一再委託NOK株式会社、一再委託学校法人福岡大学、国立大学法人九州大学)

① 高圧水素物性の基礎研究

圧縮機などの機器や水素ステーションなどの設備を設計する際に不可欠な水素熱物性データの体系的なデータベース化に取り組んだ。

- ・NMRを用いた高分子内の水素の溶解度の測定系を完成させた。定容積式 PVT 測定装置(100MPa、500°C)、露点計測および音速測定装置の設計を完了した。
- ・密度、粘性係数の測定範囲を拡大、また熱伝導率のパラ水素の濃度依存性を確認した。
- ・水素熱物性データベースのプロトタイプによる公開セミナーを実施。水素関連のNEDO 事業参画研究者からのデータベースに対する意見聴取を実施した。

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と材料強度特性に関する研究

金属材料の水素脆化メカニズムを解明することを目指し、ナノ・メゾレベルにおける強度・変形過程の解明、高圧ガス水素下における疲労き裂発生と伝ば機構の解明に取り組んだ。

- ・応力印可時のき裂先端の状態の直接観察を可能とするため、透過型電子顕微鏡 (TEM)ホルダーを用いた超高圧 TEM その場観察を実施。き裂先端に形成される転位組織に及ぼす水素の影響を明らかにした。
- ・オーステナイト系ステンレス鋼、アルミニウム合金の 90MPa 水素ガス中の引張特性、疲労き裂進展特性等を実施し、燃料電池自動車およびインフラの開発、基準策定のためのデータ提供を実施した。
- ・広範な条件における水素による材料劣化を評価するため 120MPa 疲労試験機を開発、2 台を完成させた。今後の研究加速に資する予定。

③ 液化・高圧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(金属材料)

設計指針、使用基準策定に資するデータの提供を行うことを目的に、水素機器への使用が検討されている各種組成、加工形態の金属材料の強度評価を実施した。また、実際に水素機器に使用された材料の健全性及び強度評価のための材料回収を実施した。

- ・ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼、アルミ合金並びに部品・部材について、長時間疲労特性に及ぼす水素の影響評価、高圧水素ガス中で材料内に侵入する水素の測定、水素の影響データ取得を実施した。
- ・これらのデータを基に水素強度データベース、侵入水素データベースのプロトタイプを作成した。
- ・「燃料電池システム等実証研究」で使用された有明ステーションの部品・部材を回収した。平成 22 年度に評価を行う予定。

④ 液化・高圧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(高分子材料)

高圧水素に対する耐性に優れたゴム材料の設計指針策定を目指し、ゴム材料のブリスタ破壊現象とゴム中のミクロな構造変化、及びその因子の解明を目指して、以下を実施した。

- ・高圧水素ガス環境下のゴム材料のマクロなブリスタ破壊現象を目視観察できる系を構築した。
- ・NMR、IR を用いてゴム材料中の水素の定量、ゴム材料の組成や化学構造など、ゴム材料のミクロな構造や変化の測定を可能とした。
- ・これらの開発によりゴム材料のミクロな構造とマクロなブリスタ破壊現象との相関を得た。

⑤ 高圧水素トライボロジーの研究

水素環境下で用いる機械装置設計に必須と考えられる水素トライボロジーのデータベース(トライボアトラス)の構築を目指し、以下を実施した。また、産業界からの要望にこたえ、実用部材の信頼性試験方法の検討を実施した。

- ・軸受、バルブ、シール等摺動材料について、40MPaまでの高圧水素中でのトライボロジー評価試験装置を本格稼働させ、これまでの低圧水素環境下に加え高圧水素環境下のデータ蓄積を進めた。
- ・トライボロジー支配的因子の抽出を試み、水素トライボロジー基礎特性のデータベース(トライボアトラス)を構築中。
- ・バルブシール摺動部材料について、産業界(バルブメーカ)からの課題提供を受け、実材料の信頼性評価を開始した。

⑥ 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

分子動力学法をはじめとする原子シミュレーション技術を用いて、材料中の欠陥周辺に存在する水素の分布状況、転位の運動に及ぼす水素の影響を推算し、実験チームの結果と合わせて水素脆化メカニズムを解明することを目指した。

- ・有限要素法によるき裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析精度向上と解析時間短縮が可能なソフトを開発した。
- ・原子シミュレーション技術を用いて、材料中の欠陥周辺に存在する水素の分布状況、転位の運動に及ぼす水素の影響を推算し、材料チームが提唱している金属材料の水素脆化メカニズム(き裂先端でのすべりの局在化が鋼材の水素脆化の本質であるとする)を支持する結果を得た。

また、これらに加え、研究開発の成果をより実効的に普及・定着させるために、平成20年度から実施している、産業界等の若手技術者の人材育成活動を継続実施し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図った。

4.2 実績推移

	18年度	19年度	20年度	21年度
実績額推移(百万円):	1,649	1,665	2,220	1,020
高度化勘定				
特許出願件数(件)	1	8	8	8
論文発表数(報)	10	13	58	72
フォーラム(件)	3	70	110	126

5. 事業内容

独立行政法人産業技術総合研究所水素材料先端科学研究センター招聘研究員 村上敬宜氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成22年度(委託、2/3共同研究)事業内容

平成22年度より、産業技術総合研究所からの再委託先となっていた5大学、1公的研究機関、1民間企業をNEDOからの直接委託先に変更し、責任体制をより明確にするとともに情報の横通しを強化し、研究加速に繋げる。加えて産業界におけるニーズを的確に把握し、研究成果を効率よく展開することを狙い、平成22年度上期中に民間企業等実施者の公募を実施する。

① 高圧水素物性の基礎研究

圧縮機などの機器や水素ステーションなどの設備を設計する際に不可欠な水素熱物性データの体系的なデータベース化を進める。

- ・100MPa、500°Cを測定範囲とする測定装置の開発を実施し、広範囲な高精度PVTデータの取得を図る。また密度、粘性係数等のデータ拡充につとめる。
- ・高分子材料チームと連携しNMRによるゴム材料への水素溶解特性(拡散特性)データを拡充する。
- ・これらを反映させ水素物性データベースのデータと機能を充実させる。

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と材料強度特性に関する研究

金属材料の水素脆化メカニズムの解明を目指し、提唱中の脆化機構(き裂先端でのすべりの局在化が鋼材の水素脆化の本質と考える)を確認強化するため、ナノ・メゾレベルにおける強度・変形過程、高圧ガス水素下における疲労き裂発生と伝ぱ機構の計測を継続する。

- ・SIMSによる転位の移動、水素のき裂先端への移動の観察結果を用いて、耐水素材料評価指針、予ひずみ材の水素強度指針を作成する。
- ・TEMホルダーを用いたHVTEMその場観察を継続し、き裂先端に形成される転位組織形成に及ぼす水素の影響データの拡充を図る。
- ・遅れ破壊・疲労破壊のその場観察結果とTEM観察結果により、水素による伝ぱ速度の加速と転位モデルを提案する。
- ・SCM435材の破壊じん性値に及ぼす、水素ガス圧、ひずみ速度、温度、水素曝露の影響を統一的に表わせる水素パラメータを提案する。

③ 液化・高圧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(金属材料)

産業界からの要望に応じて、各種組成、加工形態の金属材料の強度評価を継続し、設計指針、使用基準策定に資するデータの提供を行う。また、水素機器に使用された材料の健全性及び強度評価を実施する。

- ・メスバウアー分光装置による金属の原子間の結合に及ぼす水素の影響、低温昇温脱離分析装置による鋼中の正確な水素固溶度の把握を実施する。
- ・オーステナイト系ステンレス鋼の強度評価を継続実施する。評価対象材料、評価方法について産業界、関連NEDO事業との協議を行い、詳細実施事項を決定する。

- ・速い繰返し速度での水素ガス中疲労試験が可能な10MPa水素ガス中高サイクル疲労試験機を導入し、部品の疲労強度設計線図の策定に際して必要となる高サイクル疲労領域(107回まで)のS-Nデータが取得できる体制を整える。

④ 液化・高圧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(高分子材料)

高圧水素に対する耐性に優れたゴム材料の設計指針策定を目指し、種々のゴム材料分析を進める。

- ・専用の高分解能固体NMRおよび赤外線分光光度計を導入し、ゴム材料中の水素定量、水素位置特定の精度を向上させる。
- ・ゴム材料機械特性変化、透過特性の測定精度を向上させ、水素の存在とゴム物性との相関検討をさらに進展させる。
- ・シール材(ゴム)に加え、タンクライナー材(樹脂)の評価を進展させる。

⑤ 高圧水素トライボロジーの研究

水素環境下で用いる機械装置設計に必須と考えられる水素トライボロジーのデータベース(トライボアトラス)の構築を目指し、以下を実施する。

- ・軸受、バルブ、シール等摺動材料について、低圧・高圧のデータ蓄積を進め、支配的因子の抽出を行う。
- ・産業界との連携を深め、特にシール実材料の研究比重を高める。
- ・実材料の信頼性評価方法の提案を行う。

⑥ 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

水素脆化メカニズムの解明、耐水素材料開発指針の確立を目指し、他の研究チームと連携により実測との比較による精度検証、実測が不可能な条件での結果予測提供を行い相互の研究加速を図る。

- ・引き続き計算精度向上、計算時間短縮の取り組みを実施する。
- ・有限要素法によるき裂先端応力場と水素拡散の連成現象の再現ならびに、分子動力学法等による材料中の欠陥周辺に存在する水素の分布状況、転位の運動に及ぼす水素の影響のシミュレーションを実施する。

加えて、研究開発の成果をより実効的に普及・定着させるために、近い将来を担う産業界若手技術者等の人材育成活動を実施し、本技術分野における基礎・基盤技術の底上げを図る活動を継続する。

5.2 平成22年度事業規模

需給勘定 950百万円(継続)

事業規模については、変動があり得る。

6. 事業の実施方式

6.1 公募

(1) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Rad ポータルサイト」で行う。

(2) 公募開始前の事前周知

公募開始の1ヶ月前にNEDOホームページで行う。本事業は、e-Rad 対象事業であり、e-Rad 参加の案内も併せて行う。

(3) 公募時期・公募回数

平成22年6月上旬に1回行う。

(4) 公募期間

原則30日間とする。

(5) 公募説明会

東京地区近郊にて1回開催する。

6.2 採択方法

(1) 審査方法

e-Rad システムへの応募基本情報の登録は必須とする。

委託事業者の採択・審査は、公募要領に合致する応募を対象に NEDO が設置する審査委員会(外部有識者で構成)で行う。審査委員会(非公開)にて本事業の目的の達成に有効と認められる委託事業者を選定した後、NEDO はその結果を踏まえて委託事業者を決定する。

応募者に対して、必要に応じてヒアリング等を実施する。

審査委員会は非公開のため、審査経過に関する問合せには応じない。

(2) 公募締切から採択決定までの審査等の期間

45日間とする。

(3) 採択結果の通知

採択結果については、NEDOから応募者に通知する。なお不採択の場合は、その明確な理由を添えて通知する。

(4) 採択結果の公表

採択案件については、応募者の名称、研究開発テーマの名称・概要を公表する。

7. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDOは、技術的および政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意識並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年8月頃に実施する。

(2) 運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDOに設置する委員会や技術検討会等において外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者が一堂に会する報告会を開催し、情報共有、共通認識を図る。

(3) 複数年度契約の実施

平成18～20年度の複数年度契約を平成22年度まで延長して実施する。また、追加採択する案件については原則として単年度契約を行う。

8. 年間スケジュール

平成22年6月上旬 委託先追加公募

平成22年8月 中間評価委員会

9. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成22年3月 制定

(別紙) 事業実施体制の全体図

(委託、2/3 共同研究)

