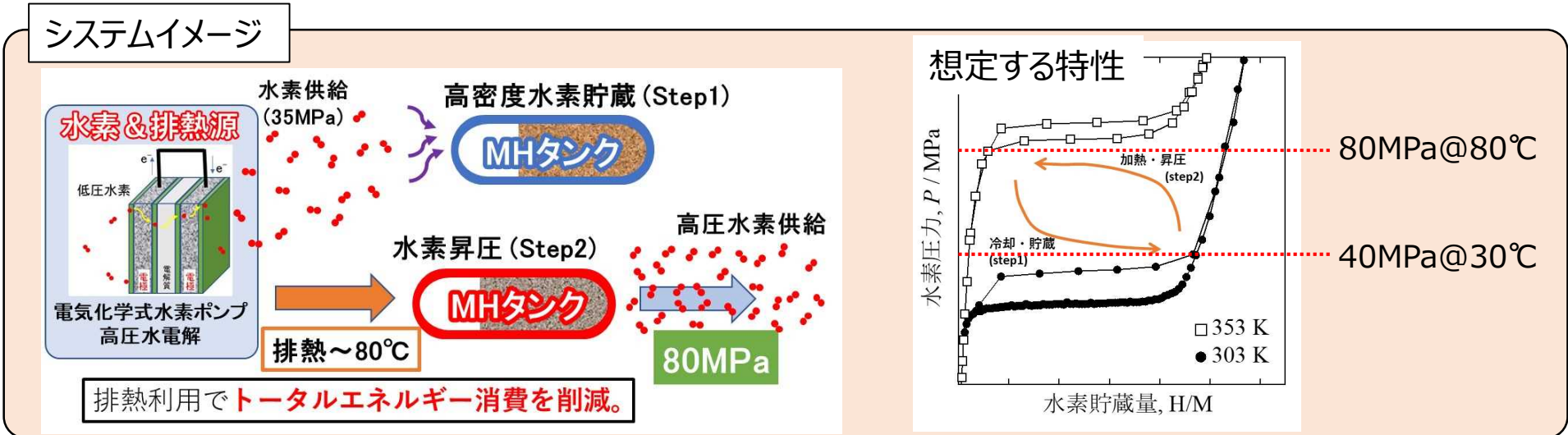


事業名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業/水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発/  
水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」  
発表者名：国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本重化学工業株式会社

○事業概要

研究目的：水素ステーションの整備費、運営費の削減を目指し、水素昇圧のために活用する排熱(作動温度)を80℃以下に絞った熱化学式昇圧システムの構築を行う。この昇圧システムを実用化するため、システムに適した材料特性を有する水素吸蔵合金の開発、その水素吸蔵合金の量産性の検討を実施するとともに、昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化に取り組む。



特徴：電気化学水素ポンプ等を水素供給源だけでなく、熱供給源として利用することで、シンプルで高効率な熱化学式水素昇圧システム

得られた成果

- ・初年度目標であった30℃において20MPa～35MPaの水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の開発に成功した。
- ・定常状態での熱通過率の計算から、1回/2時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計した。設計容器を用いた水素昇圧システムの熱マネージメントを再評価し、水電解装置の排熱で水素昇圧に必要な熱量をまかなえることを確認した。

連絡先：国立研究開発法人産業技術総合研究所  
E-mail: kouji.sakaki@aist.go.jp  
TEL: 029-861-3244

# テーマの概要： 水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発

## ①システムに適した水素吸蔵合金の開発

研究開発の目標(2020年度)

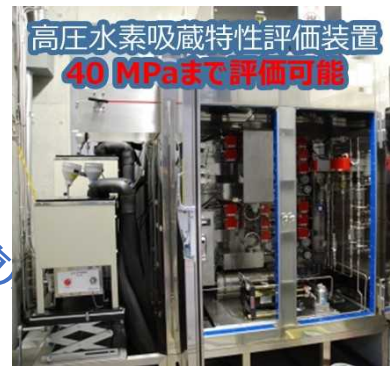
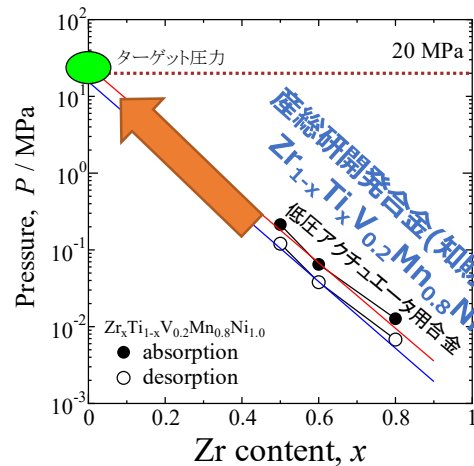
・30℃において20MPa～35MPaの水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、80℃における水素放出圧力を評価する。

課題①：80℃で水素放出圧力が80MPa以上の材料開発

課題②：低ヒステリシスおよび高耐久性の材料開発

課題③：高い圧縮比

$$P(T_H) / P_{abs}(T_L) = 80\text{MPa} / (20\sim 30\text{MPa}) = 2.7\sim 4$$



水素吸蔵特性評価装置

## ②昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化

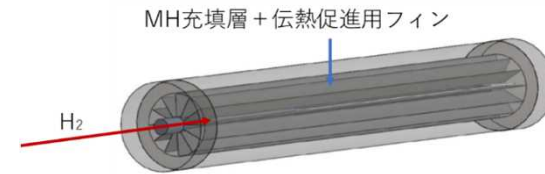
研究開発の目標(2020年度)

・1回/2時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計する。

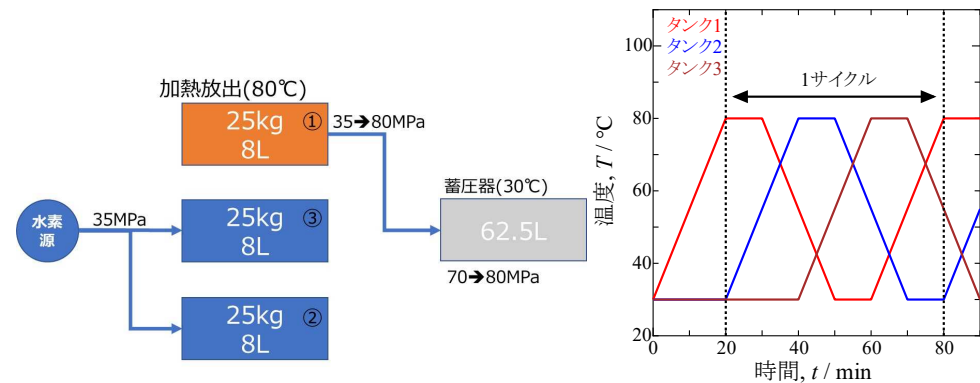
・上記評価から昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。

課題①：80MPaの耐圧性と熱交換性能の両立

課題②：システムコスト、昇圧効率



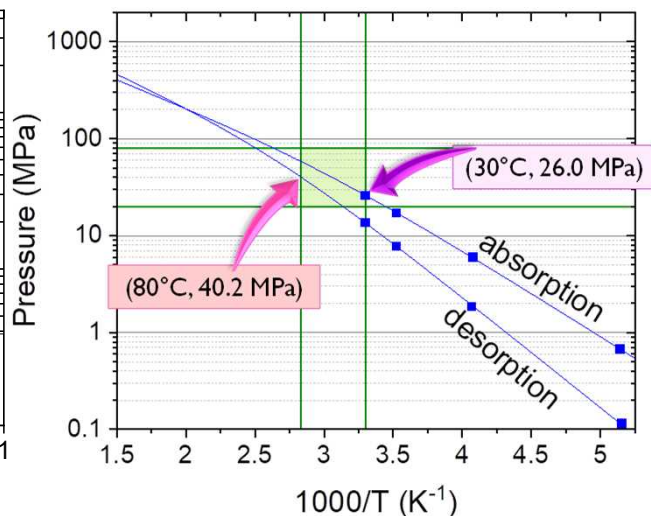
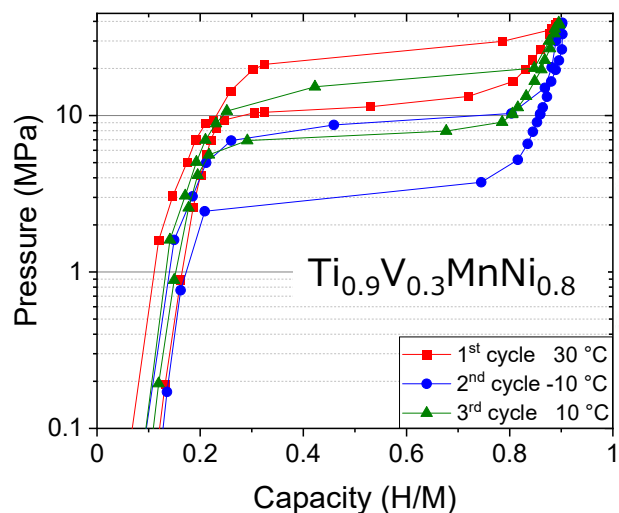
シェルアンドチューブタイプ型熱交換器を活用した水素吸蔵合金タンクイメージ



昇圧イメージ：3つのMHタンクによる連続式水素昇圧

# ①システムに適した水素吸蔵合金の開発

## 『Zr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>V<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>Ni系合金の探索』

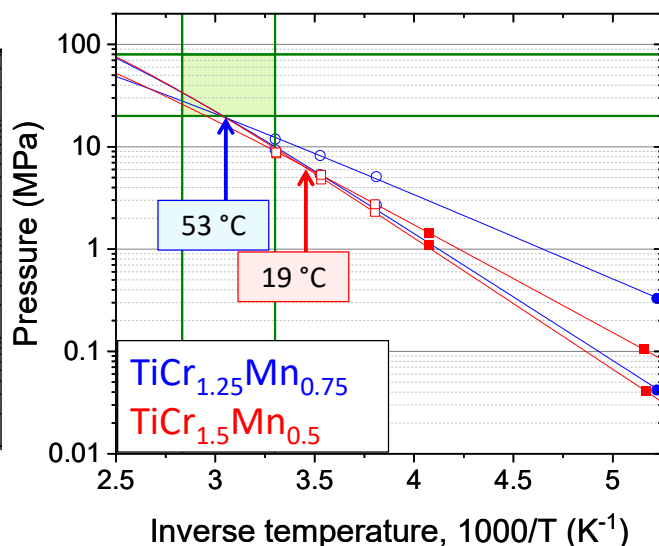
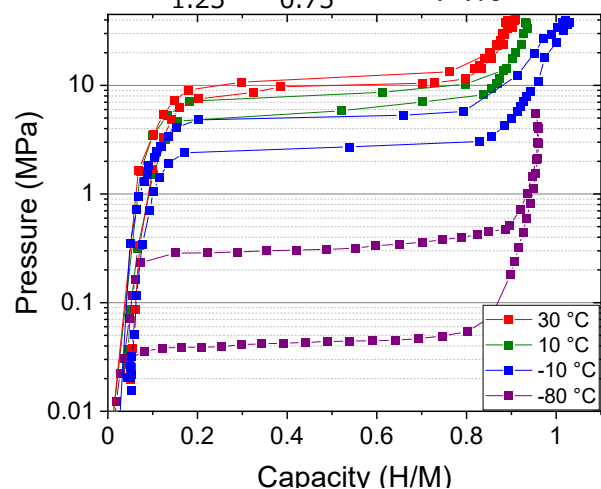


**水素吸蔵圧は初年度目標を達成：  
26.0MPa@30°C**

ヒステリシスが大きく圧縮比は  
目標を満たさなかった。  $C_p = \frac{40.2}{26.0} \approx 1.5$

## 『Ti<sub>1+y</sub>Cr<sub>2-x</sub>Mn<sub>x</sub>系合金の探索』

### TiCr<sub>1.25</sub>Mn<sub>0.75</sub>のPCT曲線



Nominal composition	Compression factor
TiCr <sub>1.5</sub> Mn <sub>0.5</sub>	<b>3.81</b>
Ti <sub>1.05</sub> Cr <sub>1.5</sub> Mn <sub>0.5</sub>	<b>4.28</b>
TiCr <sub>1.25</sub> Mn <sub>0.75</sub>	<b>2.84</b>
Ti <sub>1.05</sub> Cr <sub>1.25</sub> Mn <sub>0.75</sub>	<b>3.41</b>

### Cr置換効果

- ヒステリシスを低減 → 圧縮比 大
- 臨界温度を低減

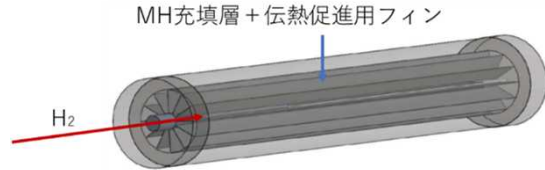
→ 良好な耐久性が期待

Zr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>V<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>Ni系合金の探索では初年度目標の水素吸蔵圧を、Ti<sub>1+y</sub>Cr<sub>2-x</sub>Mn<sub>x</sub>系合金の探索では目標とする圧縮比を達成した。

## ②昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化

試作容器の検討 (定常状態での熱通過率より、水素放出速度に必要となるdT、チューブ外径の関係調査)

80MPaの耐圧を考慮し、チューブ内にMHを充填し、チューブ外側を熱媒とするシェルアンドチューブ式容器を検討。



MHの有効吸蔵量を145(NL/kg)とし、1時間で吸蔵・放出すると2.5(NL/min・kg)

水素放出速度 NL/(min・kgMH)	外径 MH反応熱(W)	必要な温度差 ΔT		
		ΔT	ΔT	ΔT
		10.5	17.3	21.7
2	23.8	0.22	0.71	1.38
2.5	29.8	0.27	0.89	1.72
5	59.5	0.54	1.78	3.45
10	119.0	1.09	3.55	6.89
20	238.1	2.17	7.10	13.79
40	476.2	4.35	14.21	27.57
50	595.2	5.44	17.76	34.47

### 水素昇圧システムの熱マネージメントの試算

通常の水電解装置 (1Nm<sup>3</sup>/h)

$$\begin{array}{l} \text{排熱} \\ \text{約 1kWh/Nm}^3 \\ \text{(3600kJ/Nm}^3\text{)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{利用率} \\ 80\% \end{array} \times \begin{array}{l} \text{熱交換効率} \\ 70\% \end{array} = \begin{array}{l} \text{利用可能熱量} \\ \mathbf{2,016} \\ \text{kJ/Nm}^3 \end{array}$$

MHタンクの昇圧

$$\begin{array}{l} \text{吸熱反応の熱量} \\ 714 \text{ kJ/Nm}^3 \\ (\Delta H=16\text{kJ/mol}_{\text{H}_2}) \end{array} + \begin{array}{l} \text{合金昇温の熱量} \\ 125 \text{ kJ} \\ \text{合金量 6.9kg (1.4wt\%を仮定)} \\ \text{比熱 0.36 J/(g}\cdot\text{K)} \\ \text{温度差 : 50}^\circ\text{C} \end{array} = \begin{array}{l} \mathbf{839 \text{ kJ/Nm}^3} \end{array}$$

容器  
タンク昇温の熱量 : 975 kJ  
タンク重量 39kg  
比熱 0.499 J/(g·K)  
温度差 : 50°C

チューブ外径21.7mmとして再計算を実施。

$$\mathbf{1,814 \text{ kJ/Nm}^3}$$

$$\text{排熱熱量 } 2,016 \text{ kJ/Nm}^3 > \text{必要熱量 } 1,814 \text{ kJ/Nm}^3$$

電気化学式水素圧縮機での試算でも同様の傾向が報告。

C. Corgnale et al., ECS Transactions, 80 41-54 (2017)

・定常状態での熱通過率の計算から、1回/2時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計した。設計容器を用いた水素昇圧システムの熱マネージメントを再評価し、水電解装置の排熱で水素昇圧に必要な熱量をまかなえることを確認した。