

一般社団法人ディレクトフォース講演会 2021年4月9日

水素エネルギーの現状と展望 日本のエネルギー政策から見る

内田 裕久

東海大学特別栄誉教授
株式会社ケイエスピー 代表取締役社長
国際水素エネルギー協会 (IAHE) フェロー・副会長











1

内容

- 日本のエネルギー政策と原子力発電
- 原子力とは何か？
- 炭素は悪者か？
- 水素の利活用, 水素貯蔵技術の必要性
- 水素吸蔵合金と利活用（ニッケル水素電池、再生可能エネルギーの貯蔵・変動制御、農業・陸上養殖）
- 新たな展開
 - 1) 人工光合成
 - 2) 水素医療 Hydrogen Health / Hydrogen Medicine



2

2011年3月11日、東京電力福島第一原発では何が起きたのか？



Tsunami attack



Melt down => Hydrogen explosions



U-debris still remain in the destroyed and contaminated plants



3

放射能汚染と公害






4

しかるべき事故調査もせずに日本政府は再稼働を決定



Prof. Kiyoshi KUROKAWA

Chairman of the National Diet Investigation
Commission on the Fukushima Nuclear Accident
Former Dean of medical School, Tokai University

"The accident is a man-made disaster"
事故は自然災害というよりも人災
国会は一度も調査報告書に基づく検討を
していない



Prof. Koichi KITAZAWA

Chairman of the Independent Investigation
Commission on the Fukushima Nuclear Accident
Rector of Tokyo City University

"NPP has too high social and environmental risk"
原発は社会的、環境的にもリスクが
高すぎる

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

5

フクシマの原発事故は
エネルギーについて再考する
a wake-up call (めざまし時計)



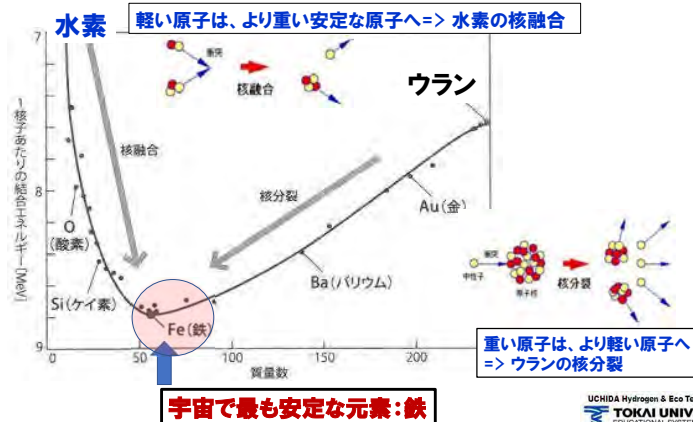
- エネルギー政策に対する日本人の意識が変わった
- 原発依存性を下げよ
 - 再生可能エネルギーの導入を加速せよ
 - 産業政策を水素社会へと変えよ
 - グローバルな地球環境政策に参加せよ
- Paris Agreement & SDGs => CO2 削減 & 地球温暖化防止へ*

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

6

軽い元素はより重く、重い元素はより軽く

→ 核融合・核分裂



7

原子力工学＝原発ではない

- 「原子力＝原子の力」を利用する技術
- 不安定な原子構造からより安定した原子構造に変化するとき
粒子または電磁波の形で放出されるのが放射線

- 1) 電磁放射線 X線 ガンマ線
- 2) 粒子放射線 アルファ線 ベータ線 中性子線

<利用技術>

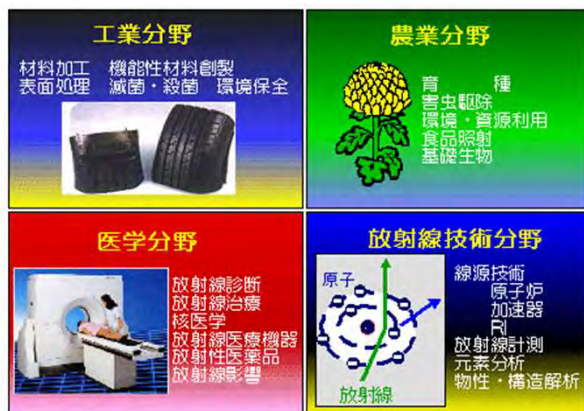
- 1) 発電(ウランの核分裂)=原子力発電(原発)・核兵器(高濃縮ウラン)
- 2) 医療・農業・工業・産業に利用
- 3) 宇宙開発における放射線防御

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

8

放射線利用分野

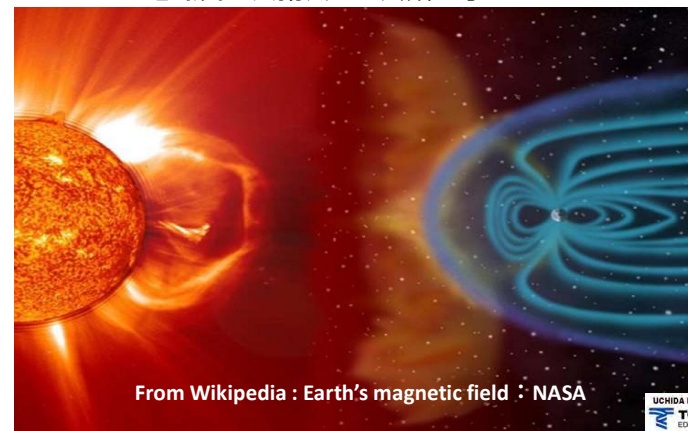
(財) 放射線利用振興協会



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

9

大量の放射線を含んだ太陽風が地球に吹き付けている
地磁気が太陽風から人類を守っている

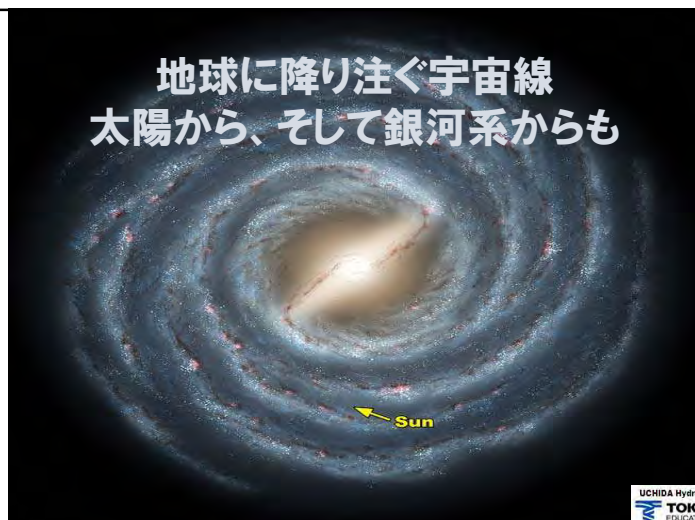


From Wikipedia : Earth's magnetic field : NASA

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

10

地球に降り注ぐ宇宙線
太陽から、そして銀河系からも



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

11



“2015 は日本の水素時代の始まり”
安部前首相

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

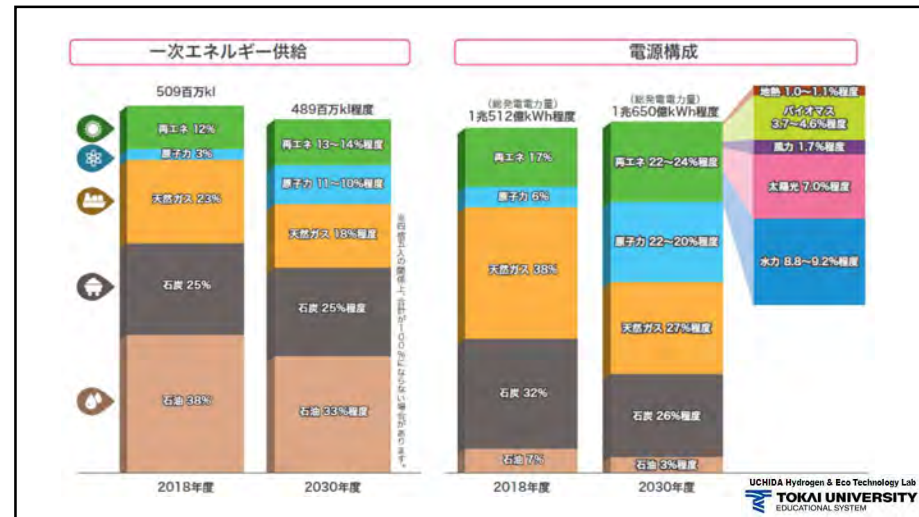
12

なぜ日本は活発に水素に取り組むのか？ =>ゼロカーボン2050を目指す

1. フクシマ原発事故と放射能公害
2. 悲慘な60年代から70年代に経験した公害問題
3. 新産業振興で経済活性化を狙う
4. 地球環境への強まる国際的規制（パリ協定/SDGs/ESG）

<政府レベル> => S+3E Policy : Safety + Energy-Security,
Economic Growth, Environmental Protection

<市民レベル> => 3R (Reduce/Reuse/Recycle) Actions



日本のエネルギー基本政策 電源構成 **Energy Mix Plan in 2030**

➤再生可能 22~24%

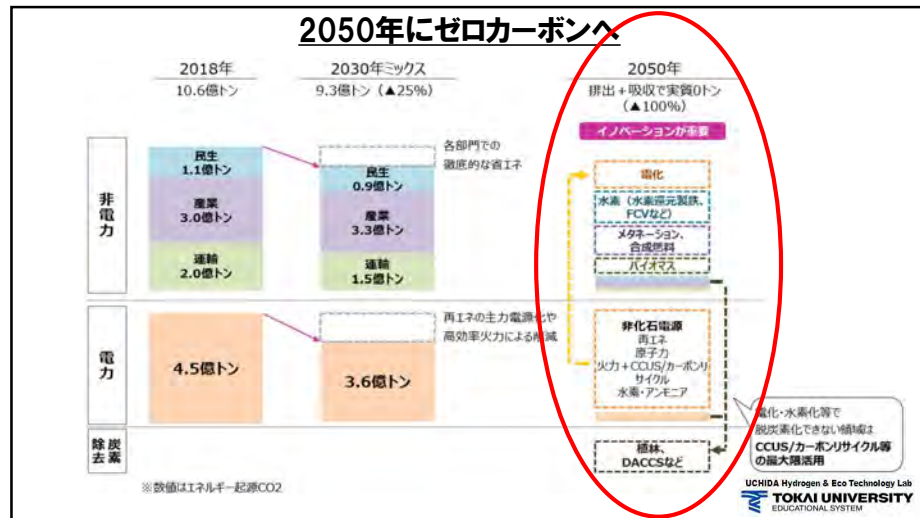
Geothermal: 1% + Biomass: 5% + Wind: 2% + Solar: 7% + Hydro: 9%

➤原子力発電 20~22% ?

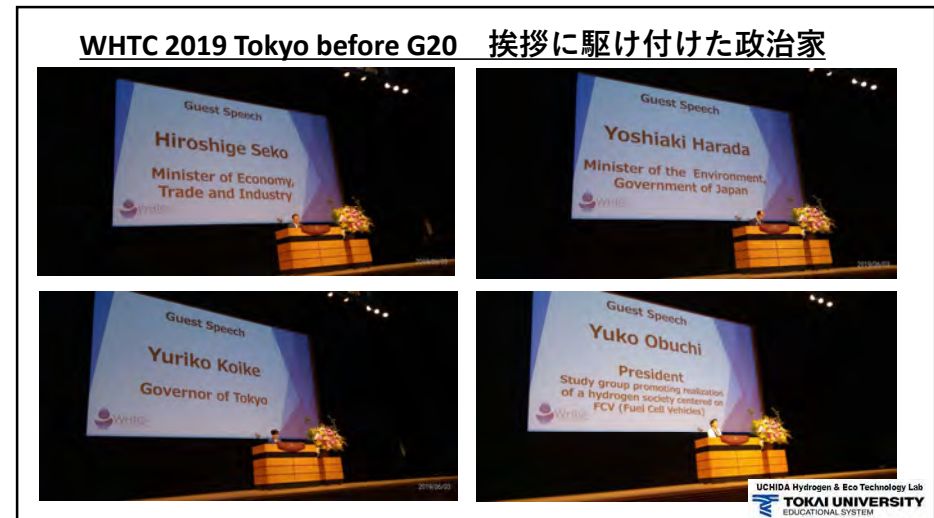
*)国内の原発施設を再稼働するならば、40年以上の古いシステムを使う必要が出てくる **非現実的だが。。。**

➤化石燃料 (LNG・石炭・石油) 56%

LNG: 27% + Coal: 26% + Oil: 3% => **CO2 should be recycled with H2**
“カーボンリサイクル”へ



17



18



19



20

国内水素ステーションは約130か所を超えたところ



Data from Kanagawa
Prefecture, Japan

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

21

HONDA Small H2 Supply System

September 2014



H2 Production rate:
60 kWh + H2O => 1 kgH2
1.5kgH2 per day
Storage capacity: 18kgH2

From HP of HONDA

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

22

HONDA Smart Hydrogen Station Easy Setting Up within a Day

1日で設置できる「スマート水素ステーション」



From HP of HONDA

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

23

燃料電池自動車の生産台数、販売台数 韓国がトップ

- ・2020年1～9月に世界で販売された水素で走る燃料電池車（FCV）
6664台のうち、韓国・現代自動車の製品は4917台で、
シェア73.8%を記録し



- 2位はトヨタシェア11.5%（767台）
- 3位はホンダシェア2.8%（187台）

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

24

パリではトヨタ、エアリキッドなどが連携した FCVタクシーを普及へ

- トヨタの仏合弁、パリで水素タクシー 1 万台目指す
- 2024 年五輪までに



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

25

Le Mann 24h RaceでもFCV部門が



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

26

燃料電池トラックが世界で普及へ



メルセデスベンツ



ヒュンダイ

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

27

米国ニコラモータFCV



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

28

日野トヨタFCV



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

29

水素と二酸化炭素(炭素) 炭素(二酸化炭素)は悪者か？

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

30

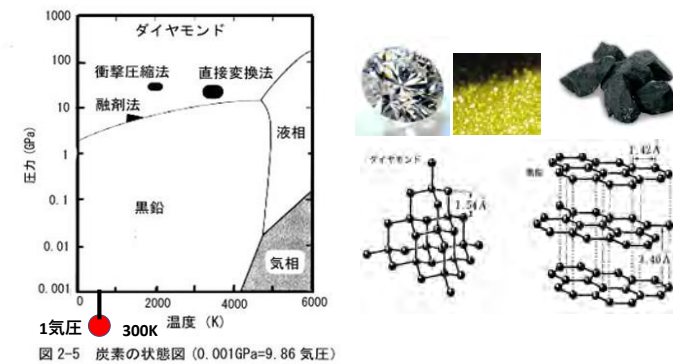
代表的な水素製造方法

1. Fossil Processing (Oil, LNG) **Blue/Grey H₂ + CO₂** ↑
2. Byproduct of Steel/Chemical Processing
Blue/Grey H₂ + CO₂ ↑
3. Renewable => H₂O => **Green H₂** No CO₂
4. Biomass => **Green H₂** No CO₂ (recycled) ?

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

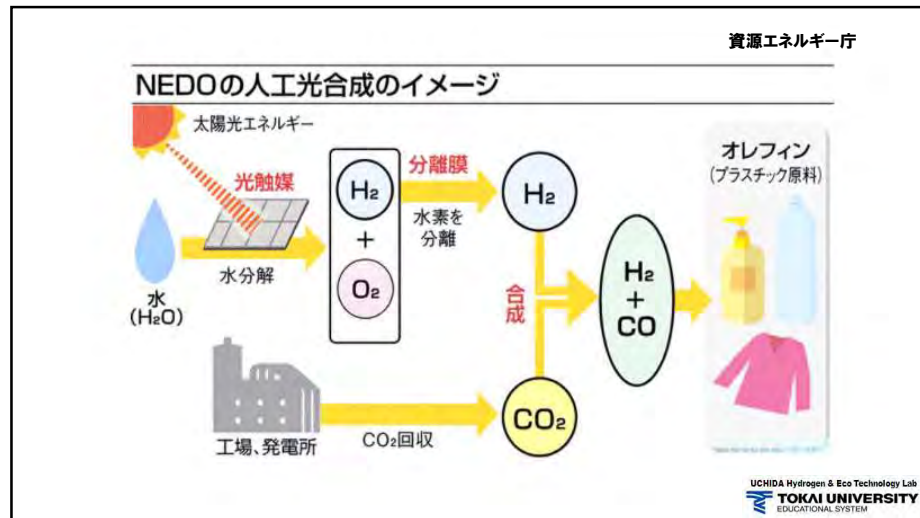
31

ダイヤモンドも炭素=>燃えます 高圧・高温から出てきたダイヤは安定？

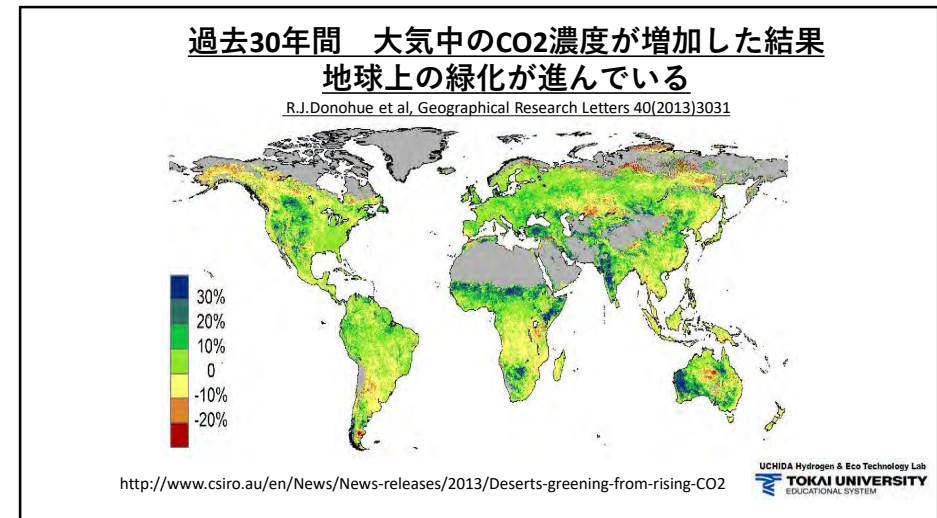


UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

32



37



38

水素の貯蔵と利用技術

1. 高圧ガス 700～800気圧
2. 液体水素 -253℃に冷却
3. 有機水素化物(ケミカルハイドライド) メチルシクロヘキサン等
4. 水素吸蔵合金(MH) 室温 低圧/高圧制御自由
MH=Metal Hydride 金属水素化物

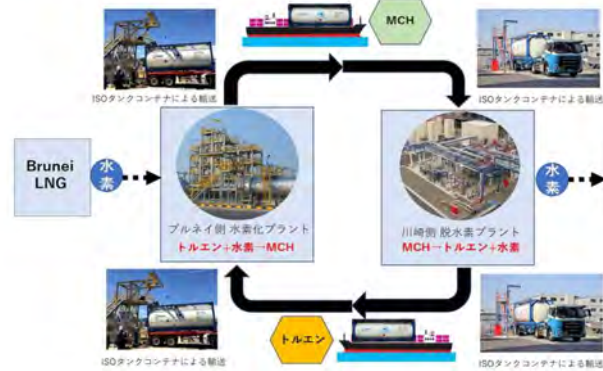
39



40

千代田化工が長年取り組んできた トルエンの水素化・脱水素化＝メチルシクロヘキサン

2014 IAHE Jules
Verne Award 受賞

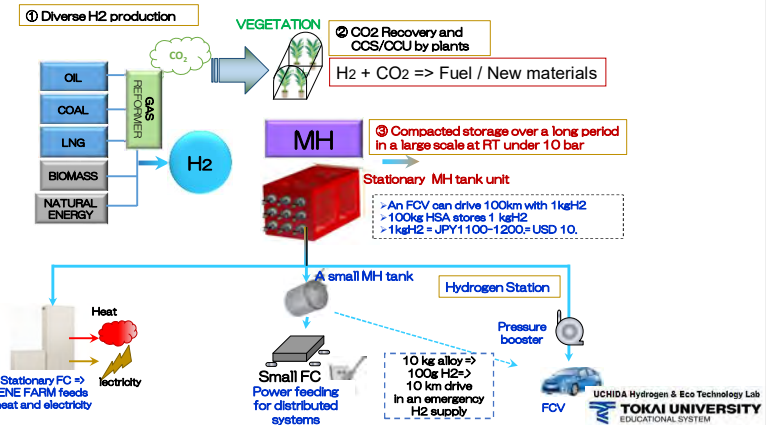


千代田化工建設株式会社、三菱商事株式会社、三井物産株式会社、日本郵船株式会社

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

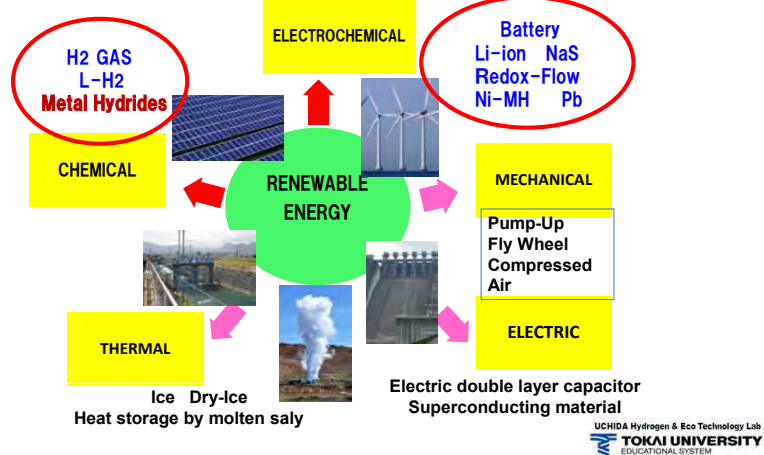
41

高圧ガスタンク・低温液体水素ではなく 水素吸蔵合金(MH)中に低圧で長期間安全貯蔵



42

MHによる再生可能エネルギー貯蔵



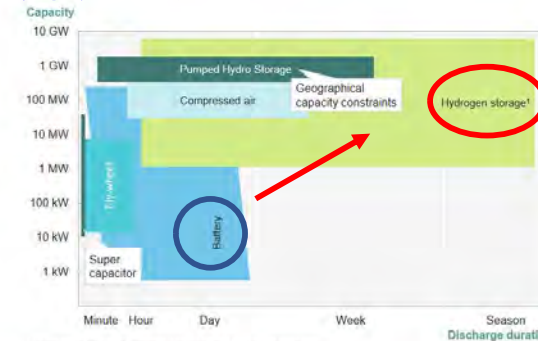
43

World Economic Forum Annual Meeting

17-20 January 2017
Davos Klosters, Switzerland

Figure 4: Hydrogen is most promising for long-term carbon-free seasonal storage
Technology overview of carbon-free energy storage technologies

世界経済フォーラム Davos Conference 2017



1 GW (approximate) due to recent developments in scaling up existing 'Pumped Hydro Storage' (PHS) technology.

Source: S.A. Energy Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells (2015), IEA (2015), and Energy Storage (2015).

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

44

Hydrogen Council January 2021

World Economic Forum, Davos, Switzerland 109 companies from more than 20 nations



45



Toshiba H2One
Stationary and
Mobile use
on rail and road



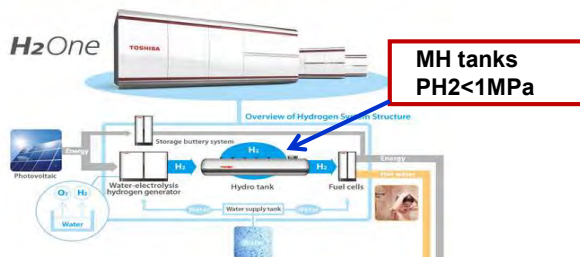
UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

46

TOSHIBA Stand Alone Hydrogen Energy Supply System

H2One

Independent Hydrogen Energy Supply System H2One



Generated electricity and heat support about 300 people for a week

Photovoltaic power generation	30kW	Hydrogen storage	Storage capacity 273Nm ³	Hydrogen electrical power storage capacity	350kWh
Heat water supply	60L/h	Power generation (combined)	30kW	Hydrogen electrical power storage capacity (combined)	350kWh

Gymnasium

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

47



48

Hard experience with severe pollutions at Kawasaki



1960s



2016

Kawasaki city as well as other industrial areas in Japan overcame heavy pollution problems. This is driving Japan to developing clean energy and environmental technologies and to realizing a hydrogen society.

The World First's Hydrogen Hotel operated by **TOSHIBA FC System H2Rex** since 30 May 2018



- Output= 100 kW covering 30% demand of the hotel
- Heat supply= 60°C hot water
- Electric power generation use >50%
- Total power utility > 95%
- Start-up < 5min
- H₂ supply by a 5 km pipe line from an incinerator (waste plastics for NH₃ and H₂ gas) of Showa Denko
- => using MH storage by DAIWA HOUSE

Topics : Waste Plastic => Hydrogen

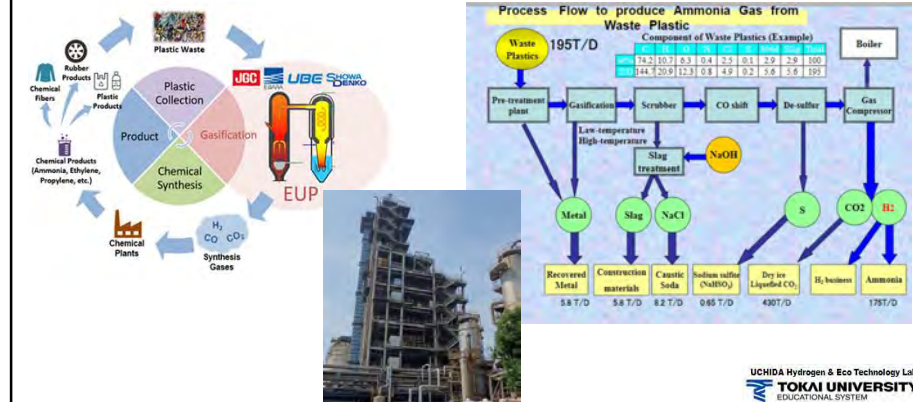


United Nations



MSN

Showa Denko K.K. produces H₂ from Waste Plastic at Kawasaki This is becoming a new business



水素吸蔵合金

製造・利用

53

(1)再生可能エネルギーの貯蔵・
出力制御に利用して
CO₂発生を抑制する

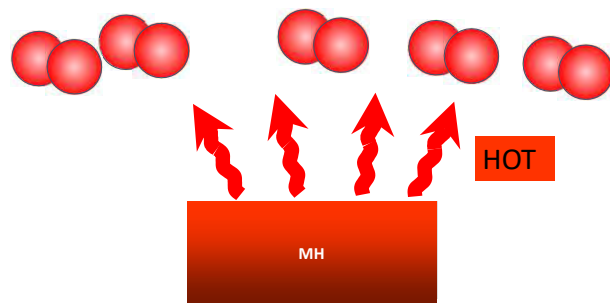
環境省プロジェクト



54

Hydrogen Storage Alloy?

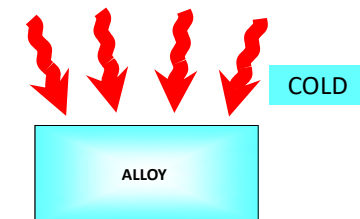
On H₂ absorption (uptake)



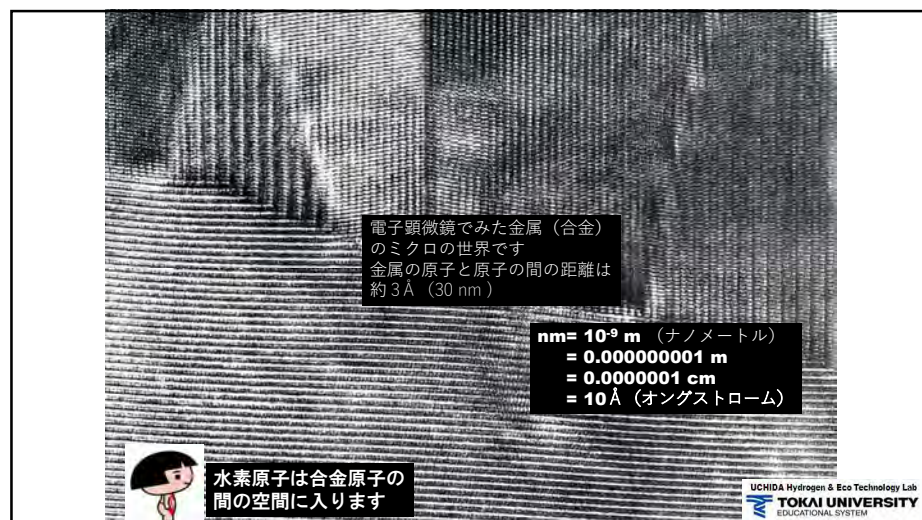
55

Hydrogen Storage Alloy?

On H₂ desorption (release)



56



57

速い可逆的な水素吸収・放出反応

水素貯蔵反応

$$M(HSA) + H_2 (H^+) \Rightarrow MH + Q : \text{発熱}$$

水素放出反応

$$M(HSA) - H_2 (H^+) \Leftarrow MH - Q : \text{吸熱}$$

液体水素よりも高密度で、室温で水素貯蔵できる

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

58

水素吸蔵合金の新しい製法

ナノ構造化FeTi
メカニカルアロイング法
Mechanical Alloying (MA)

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

59

ボールミミシステム 300kg n-FeTi Alloy

Rotor
Φ2m x 2m

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

60

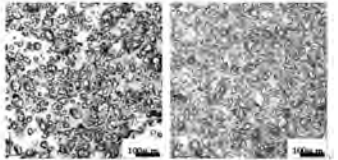
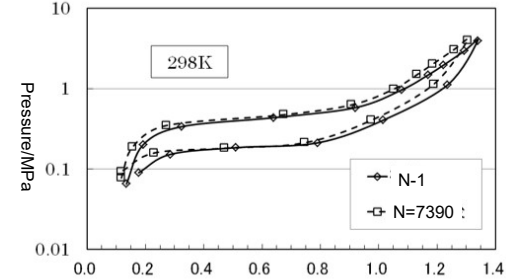
ボールミシシステム 300kg n-FeTi Alloy



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

61

PCT characteristics of n-FeTi by mass production



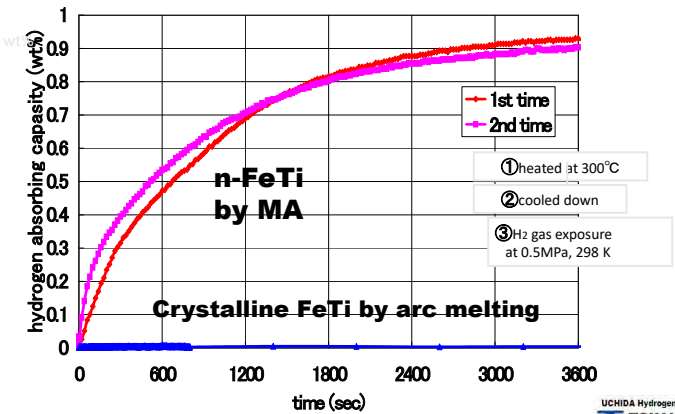
Change in alloy particle size after N=7390

NASU

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

62

Comparison of the rate of initial activation



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

63

Nano-structured FeTi Hydrogen Storage Alloy :
The commercialized n-HSA for market



Int. J. MATERIAL RESEARCH (Z. Metallkunde) 99(2008)507-512.

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

64



65



66

ナノ構造化鉄チタン水素吸蔵合金 (n-FeTi) の メカニカルアロイングによる大量生産方法

二酸化炭素削減を目指した水素吸蔵合金による 再生可能エネルギーの研究開発

With CO₂ Reduction Assessment by Life Cycle Assessment

**Ministry of the Environment, Japan
from 2017 to 2019 (2020年最終報告)**

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

67



68



環境省プロジェクト

Since 2018 at Ashikaga University,
Tochigi Prefecture

40 kW wind turbine
10 kW solar cells

Electricity storage and fluctuation response
by n-FeTi hydrogen storage alloy tanks
are being tested.

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

69

(2) ニッケル水素電池として



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

70



充電できる新電池
東海大が開発に成功

金属水素化物物を使用
1000回以上の充電可能
2倍の電気とれる

**水素吸蔵合金を利用した
ニッケル水素電池**

1988年6月21日
1000回充放電可能を実証
企業が Ni/MH電池のR&Dを開始
プリウスなどのハイブリッド車開発へ

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

71

ニッケル水素電池はトヨタプリウスに搭載 その後、利用が普及した



➤ニッケル水素電池は、安定性、安全性で、リチウム電池を圧倒する。
大容量のリチウム電池は消防法の対象
➤次世代プリウス・FCV・MIRAI にもニッケル水素電池が搭載

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

72

ニッケル水素蓄電池の反応

- Reversible Hydrogen Reactions -



VW TOYOTA Hybrid Vehicles

Hydrogen absorption => Charge 充電
 $M(\text{HAS Electrode}) + \text{H}^+ \text{ from } \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{MH}$

Hydrogen desorption => Discharge 放電
 $\text{MH} \Rightarrow M(\text{HAS Electrode}) - \text{H}^+ \text{ into } \text{H}_2\text{O}$

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
 TOKAI UNIVERSITY
 EDUCATIONAL SYSTEM

73

(3) 反応熱を利用して 冷凍・冷水を製造する

世界初西条市水素プロジェクト

- ・農業＝水素イチゴ
- ・水産業＝陸上養殖



西条市



経済産業省
 Ministry of Economy, Trade and Industry

JSW

日本製鋼所



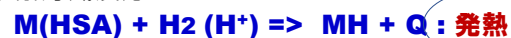
TOKAI

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
 TOKAI UNIVERSITY
 EDUCATIONAL SYSTEM

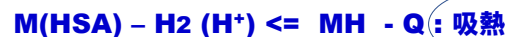
74

速い可逆的な水素吸収・放出反応

水素貯蔵反応



水素放出反応



熱反応に注目すると

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
 TOKAI UNIVERSITY
 EDUCATIONAL SYSTEM

75

一次エネルギーの**60%**は
排熱として大気中、排水中へ
捨てられている

(例) 川崎市臨海工業地帯
6.3GW以上の発電 (原発6基分)

3GW (原発3基分) 以上は排熱
 として捨てている！！

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
 TOKAI UNIVERSITY
 EDUCATIONAL SYSTEM

76

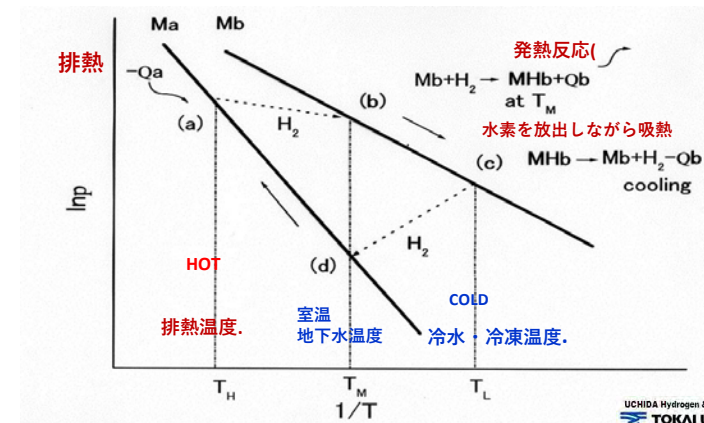
排熱を利用したい=>水素吸蔵合金

<水素を消費しない技術>
水素吸蔵合金 + 排熱

特徴 大きな省エネ効果
大きなCO₂削減効果
80%以上

77

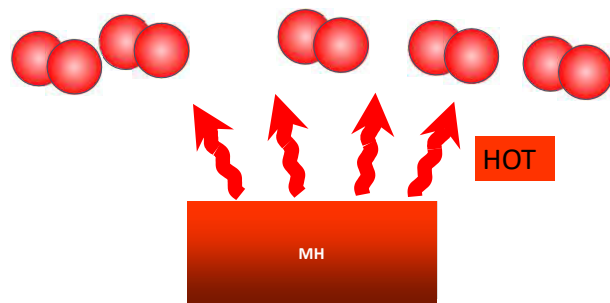
水素冷凍・冷蔵システムの熱力学的動作原理



78

Hydrogen Storage Alloy?

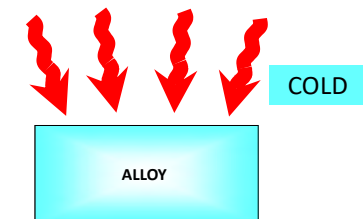
On H₂ absorption (uptake)



79

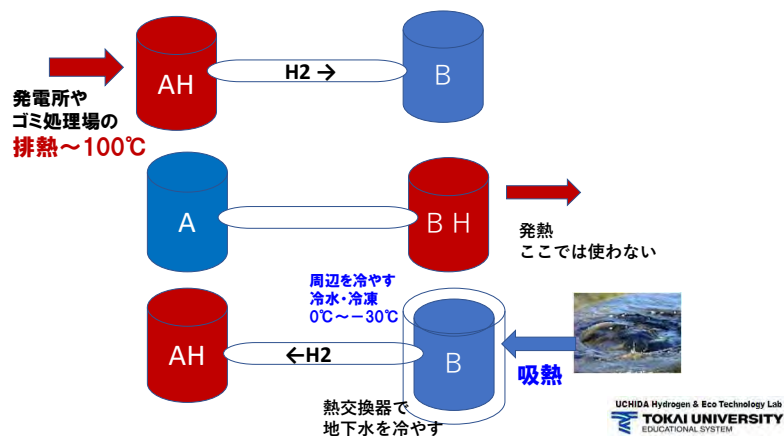
Hydrogen Storage Alloy?

On H₂ desorption (release)



80

水素と排熱を利用した冷水製造・冷凍システム



81

水素吸蔵合金のイチゴ栽培・ 陸上養殖への応用

愛媛県西条市

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

82

1000m² 水素イチゴ栽培ビニールハウス

真夏でも、0-5℃の冷水がイチゴの苗を冷やしています。

特許公開：2014-178061,178062,176336,176337,176338,176339.

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

83



Hydrogen Strawberry

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

84



85



86



87



88

Applications of MH Reaction Heats Utilization for Hydrogen Strawberry Cultivation & Fish Breeding



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

89

新しい動き＝水素と健康・医療

➤慶応大学医学部 筑波大学医学部

<例>

- ・水素吸入療法は、この体温管理療法に加えて、水素ガスを酸素に加えて吸入していただくものです。爆発の危険のない、2%水素を18時間だけ吸っていただきます。心停止後症候群の社会復帰がさらに増えることを期待しています。

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

90

水素吸入効果は先進医療として2018年に認可



suisonewsjapan @suisonewsjapan · Jul 7, 2018

2016.12.14 厚生労働省が、「水素ガス吸入」の効果に対して、「先進医療B」と認可。『心肺停止後の水素ガスの供与が有効である』として、酸素ガス8:2水素ガスの混合ガスを救急車に設置。
#水素 #ガス #医療 #効果 #認可 #厚労省



UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

91

水素を分子H₂で吸引することが基本



Hydrogen Generator

水素発生器

SPE/PEM Type の水電解スタックと水素発生装置を提供しています。

KENCOSI



株式会社アクアバンク

株式会社エノア

再生可能エネルギー
貯蔵・変動制御用



Water Server
水素水をご家庭で

UCHIDA Hydrogen & Eco Technology Lab
TOKAI UNIVERSITY
EDUCATIONAL SYSTEM

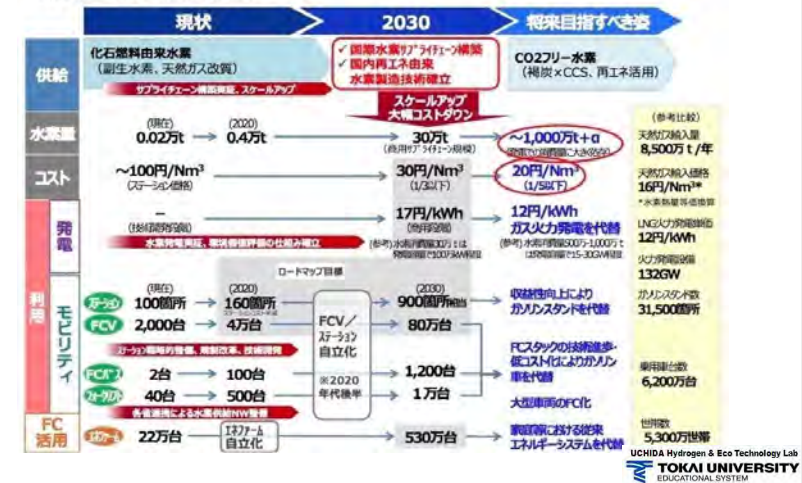
92

まとめ1/2

➤水素をとりまく最近の動き

- 2年前まで水素技術開発では世界トップだった日本が欧州、中国、韓国に後れを取り始めた。なぜか？
- 日本は各企業の魅力的な技術的成果を集めて成果、戦略としている。国家としての水素ビジョンがなく、社会に浸透していない。（次頁図参照）
- ドイツを中心に欧州では、**ゼロエミッション、脱カーボン、CO2削減**という方向性を示して、**水素をく運輸、化学プロセス、発電、熱利用**という社会の構成分野に導入している。
- 「水素社会は欧州での実現可能性が大」

水素基本戦略のシナリオ



まとめ2/2

- 日本の政界、産業界の動きが遅い。なぜか？
- 日本の政府、産業界、社会は、地球環境問題、人間環境問題、SDGsに本気で取り組もうとしているのか？
- 国家としての方向性を示す明確なビジョンがない。
- 気候変動は政治的に扱われている。太陽系の中にある地球系という大自然の変動に対して、私たち人類は謙虚であるべきだろう。