

## カーボンニュートラル時代に向けた 部門間の熱バリューチェーンの提案

中垣 隆雄



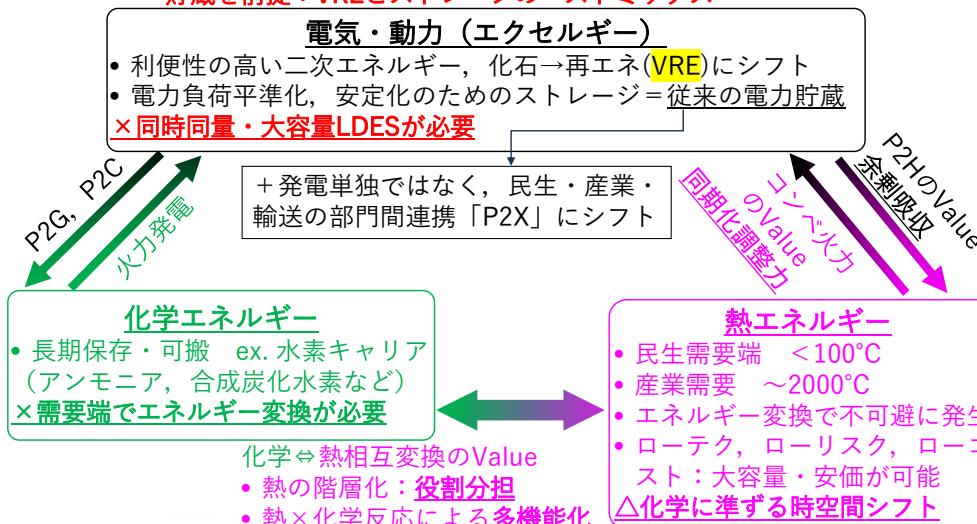
※当該資料に関するお問い合わせはtakao.nakagaki@waseda.jpへ

### 熱エネルギーの特性に基づくバリューチェーン

#### 時空を超えたエネルギー利用のための「電気」「化学」「熱」の相互変換

気まぐれなVREとの付き合い方

- ✓ 出力制御を前提：超大容量kW(採算度外視の低稼働率VRE) or
- ✓ 貯蔵を前提：VREとストレージのベストミックス



## CN時代に向けた熱エネルギーの役割

2025年8月7日 第34回日本エネルギー学会大会@東北大学  
新エネ・水素分野基調講演 異業種間の炭素／熱バリューチェーンを提案

#### ◆ CN達成目標の困難さの再認識

2050年まで残りたったの25年，“ニューメディア”水素普及に顕著な遅れ  
エネルギー→需要の電力化 & 電源の非化石化：ソリューションは明確  
物質生産→Cフローで1/10だがソリューションは多岐、コスト不透明  
✓ 技術面：エネルギーと物質生産のプロセスは不可分  
✓ 社会経済面：自給率は度外視？ 雇用は？ リスキリングの時間？  
→巨額の設備投資が必要なHtAものづくり産業の意思決定困難

#### CN到達はあきらめないが、以下の視点の必要性を再確認

- ✓ AffordableなTransition →コスト、時間：到達前に総崩れ
- ✓ Social Inertiaを見越す →意思決定困難で笛吹けど踊らず
- ✓ エネルギー消費の6割は熱需要 →熱とCO<sub>2</sub>のデカップリング

#### 具体的には何を？ “オールドメディア”によるバリューチェーン

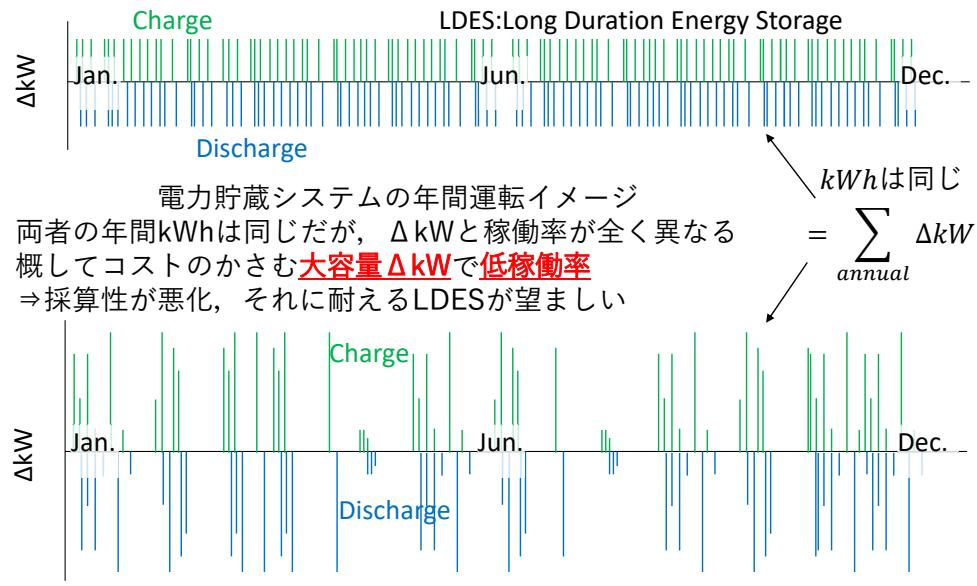
- ✓ 1社1業界だけではもはや無理→部門間・異業種連携
- ✓ 炭素/熱の介在による価値の連鎖=バリューチェーン

### 熱によるバリューチェーン ①

#### P2H

- ・大容量・AffordableなLDES
  - ・電力系統の同期化力/調整力の提供
- 蓄熱輸送**
- ・時空間シフト

# 低稼働率でも採算が取れるLDESが必要



引用：東京科学大学GXI VISION2050  
 「社会的慣性を見越したアフォーダブルな移行でカーボンニュートラルを達成」

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

5

## 大容量・安価な熱ストレージの例

Power to Heat to Power (P2H2P)  
 →コンベ火力の慣性力・同期化力提供



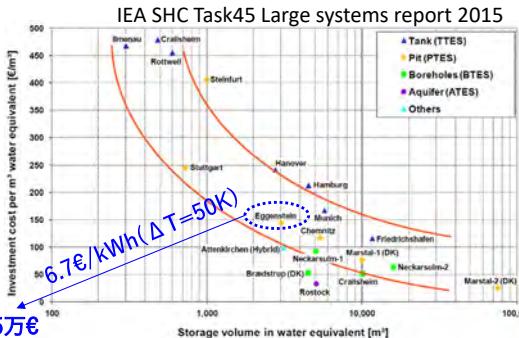
出所：エネ総工研



Filling up of the bottom with gravel to form the lower charging and discharging layer inside the storage.



Separation of the lower gravel layer from the middle sand layer by geotextile that enables water movement and protect the gravel from sand intrusion.



砂と砂利のPit storage(ドイツ)4500m<sup>3</sup>, 総額55万€

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

7

# エネルギー貯蔵技術の体積密度と往復効率

キャパシタ  
 高効率vs.高価・低密度

Handbook of Energy Storage, Springer

高効率・高密度

機械的貯蔵は  
 低密度・高効率

蓄熱は安価

比較的高効率

CB(往復)はこのあたり[400]

塩ドームストレージ  
 安価・高密度vs.低効率

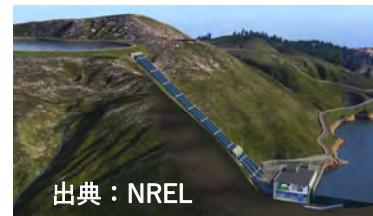
円の大きさ = [CAPEX €/kWh]

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

6

## 100TWh/y余剰電力への量的寄与

出典：  
 Panasonic



出典：NREL

揚水発電 27GW >100%

日本の  
 年間電力需要  
 $\approx 1000\text{TWh}/y$

エコキュート 28%  
 累積1000万台普及済み



出典：次世代自動車振興  
 センター



出典：IEA  
 統系用蓄電池 10GWh

3.4%

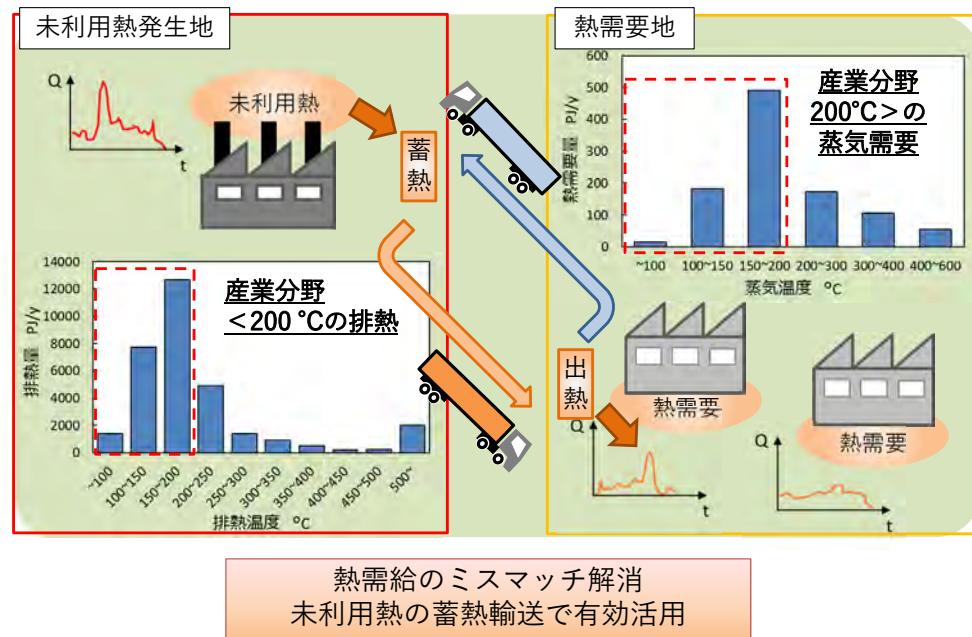
出典：SIEMENS GAMESA

岩石蓄熱発電  
 東京ドーム20個分 = 100%

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

8

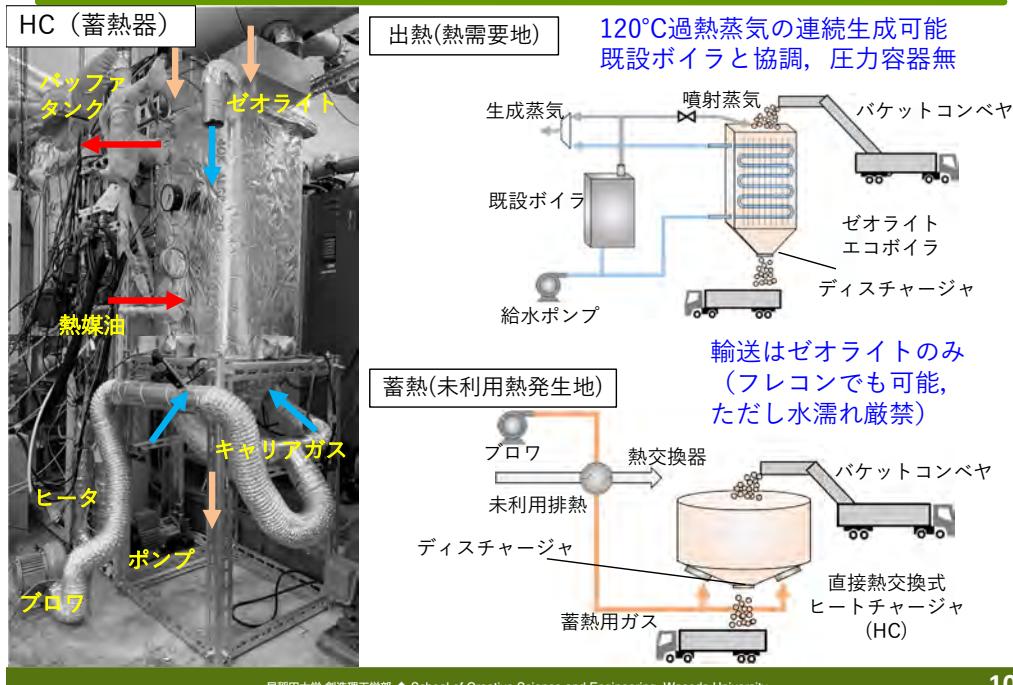
## 未利用熱は蓄熱輸送でバリューチェーン



早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

9

## 蓄熱輸送システムの徹底的な低成本化



早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

10

## 熱によるバリューチェーン ②

### 階層化と役割分担

- ・高効率化、省エネ
- ・高価なCN燃料消費低減  
⇒HtA産業のAffordableなCN移行

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

11

## Hard-to-abate産業 品質=温度

板ガラス製造 溶融1600°C

製銑工程

還元・  
溶融  
羽口は  
2300°C

DOI:10.1109/EPTC.2017.8277587

[http://www.jfe-21st-cf.or.jp/jpn/  
chapter\\_2/2d\\_2\\_img.html](http://www.jfe-21st-cf.or.jp/jpn/chapter_2/2d_2_img.html)

Source セメント(クリンカ)製造  
McKinsey & Company (2019)  
Laying the foundation for zero-carbon cement

熱分解 1500°C+石灰石からもCO<sub>2</sub>

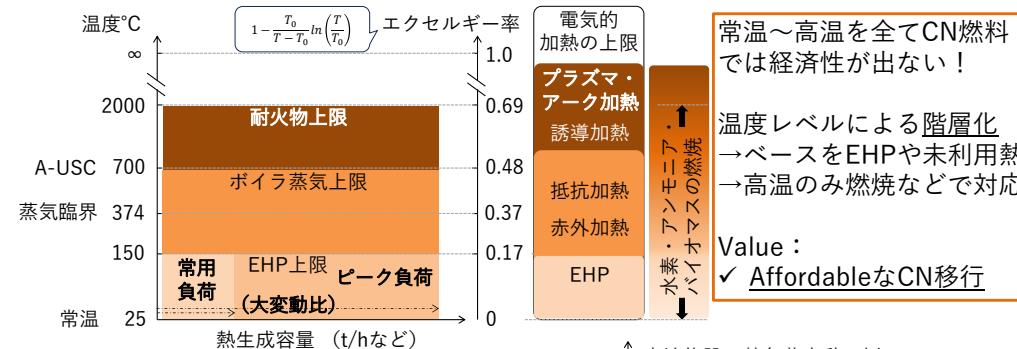
早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

12

引用：日本エレクトロヒートセンターホームページ

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

13

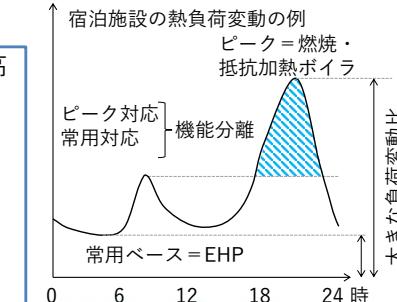


大変動比はEHPは苦手、台数制御はCAPEX高  
EHPは低負荷でCOPが著しく悪化

役割分担

→常用負荷に合わせたEHP定格容量選定  
→短時間のピークは燃焼などで対応

Value:  
✓ 高効率化, 省エネ, 経済性



早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

14

## 熱によるバリューチェーン ③

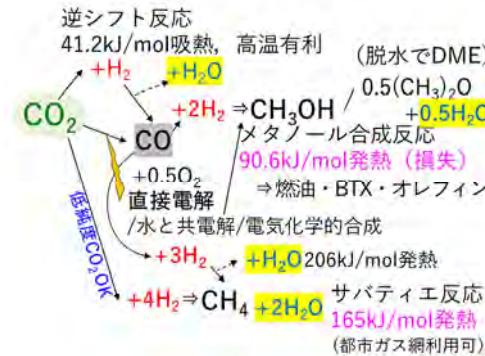
### 熱×化学反応による多機能化

- メタネーション熱補償
- 発生不可避な熱によるCO<sub>2</sub>回収  
(廃棄物焼却, データセンター)

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

15

### CO<sub>2</sub>→e-fuelで損失熱⇒H<sub>2</sub>再転換時の熱補償



e-メタン, e-メタノールの合成  
発熱反応により, カロリーロス課題

石油化学でも  
ナフサクラッカーの熱 = 3割  
(ATR, SMR)  
熱源の脱炭素化が課題

⇒再エネ・未利用熱による熱補償



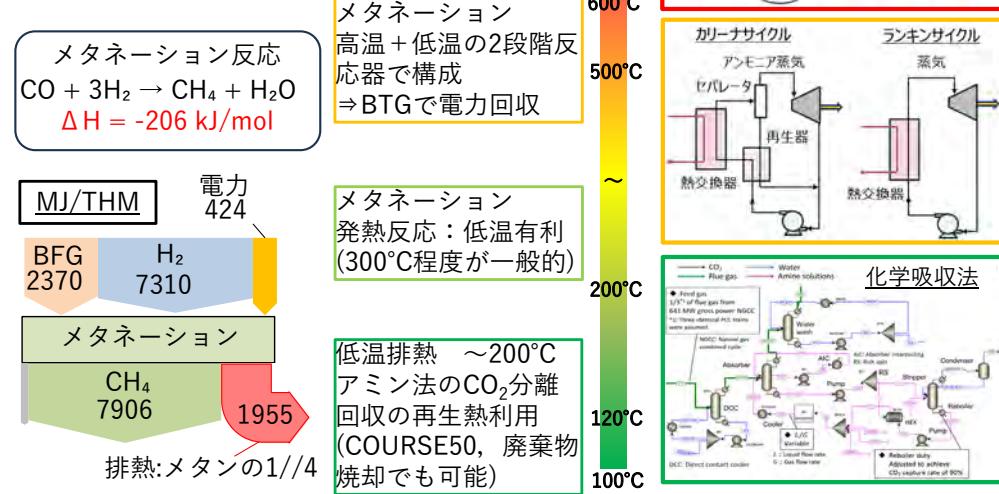
余剰再エネの蓄熱⇒改質反応温度に応じた化学再生による熱補償

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

16

# 炭素循環製鉄のメタネーション発熱利用

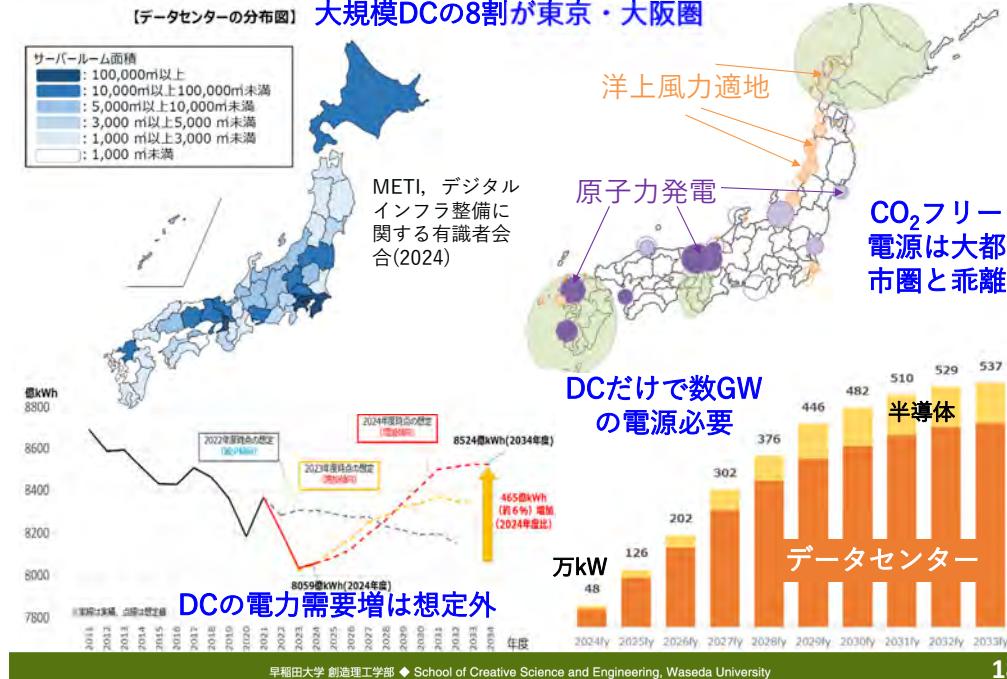
電炉では高級鋼  $\times$  ⇒ 高炉転炉法,  $\text{CO}_2 \times$   
水素還元: 吸熱反応  $\times$  ⇒ 炭素循環製鉄  
メタンを合成して吹き込み: 発熱損  $\times$   
発電・ $\text{CO}_2$ 回収でバリューチェーン



早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

17

# DXが牽引するGX ワット・ビット連携の必要性

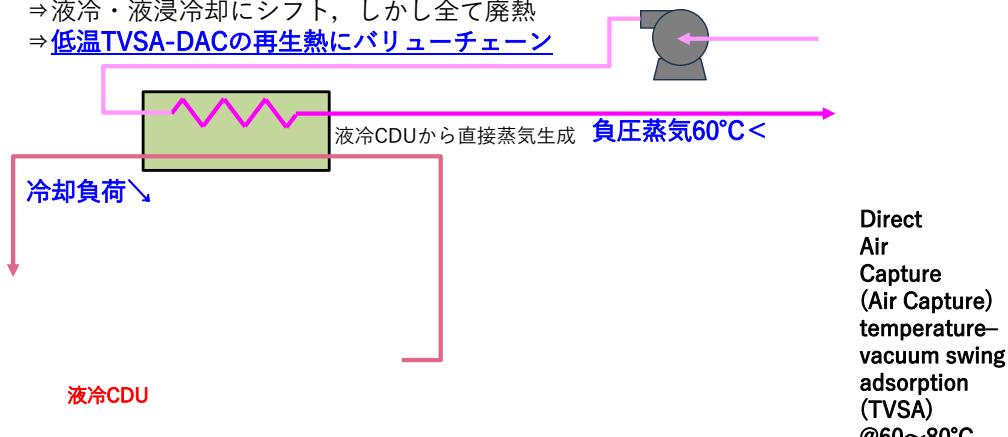


18

# さらにワット・ビット+ジュールの連携

## データセンターの冷却課題

- 増え続ける消費電力
- 20kW/ラックを超えると空冷では間に合わない!
- Power Usage Efficiency(PUE) = DCルーム全体消費 / IT機器消費 ≈ 1.5程度
- 電力需要の約半分は空調で消費
- METIベンチマーク制度 PUE ↓ 2030年目標
- ⇒ 液冷・液浸冷却にシフト, しかし全て廃熱
- ⇒ 低温TVSA-DACの再生熱にバリューチェーン



19

# 熱のバリューチェーンのまとめ

- Social Inertiaを見越したAffordableなTransition
- エネルギー消費の6割は熱需要
- 一社・一業種では最早無理, 部門間連携が必要
- ✓ 熱を介在したバリューチェーン
- ◆ P2Hと蓄熱輸送でVRE導入アシスト
  - 大容量・AffordableなLDES = P2Hで電力系統の同期化力/調整力の提供
  - 蓄熱輸送で時空間シフト
- ◆ 階層化と役割分担で高効率化と省エネの価値提供
  - 電力化 + 最低限のCN燃料利用で役割分担
  - 品質 = 温度, HtA産業の一足飛びのCN達成の困難さを見越した移行
- ◆ 熱×化学反応による多機能化
  - メタネーション熱補償 発電と化学再生
  - 発生不可避な熱による $\text{CO}_2$ 回収 (廃棄物焼却, データセンター)

早稲田大学 創造理工学部 ◆ School of Creative Science and Engineering, Waseda University

20

## 謝辭

- 本発表は、JST COI-NEXT「ビヨンド・“ゼロカーボン”を目指すCo-JUNKANプラットフォーム」の成果を含みます。
  - 東京科学大学「GXI VISION 2050」、日本動力協会誌「エネルギーと動力」No.300、ボイラ協会誌「ボイラ研究」No.443から引用しています。
  - 本年8月7日東北大で開催された第34回日本エネルギー学会大会での基調講演の内容を含みます。
  - この他、日本機械学会 動力エネルギーシステム部門「CNに向けたエネルギー貯蔵技術研究会」での議論から、本発表に多くの示唆をいただきました。関係者各位に心より感謝申し上げます。

