

## 水素社会構築技術開発事業

## 大規模水素エネルギー利用技術開発

## 未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業

## 事業進捗状況の説明

技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構  
(HySTRA)

2020年12月4日

HySTRA 1/58

## 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2015年12月  
終了 : 2023年2月 (予定)

## 2. 目標

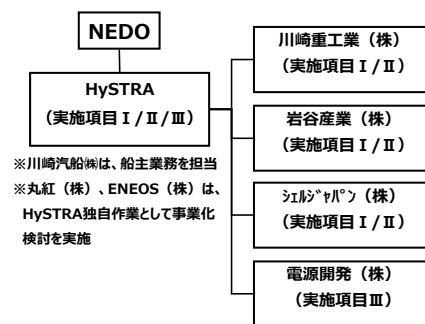
実施項目	目標
I : 液化水素の長距離 大量輸送技術の開発	・液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクの開発 ・商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
II : 液化水素荷役技術の開発	・液化水素荷役技術の開発 ・ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
III : 褐炭ガス化技術の開発	・褐炭ガス化技術の開発 ・商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得

## 3. 成果・進捗概要 (～2020年度)

実施項目	成果内容	自己評価
I : 液化水素の長距離 大量輸送技術の開発	<p>[c] 輸送用タンクの設計・製作・検査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2016年度までに実施した研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。</li> </ul> <p>[d] 実証試験の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>輸送用タンクシステムおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中である。</li> <li>船級 (日本海事協会) と実証試験の実施項目を確認中である。</li> </ul>	△ (2020/11)
II : 液化水素荷役技術の開発	<p>[a] 液化水素の陸上～海上間移送技術実証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>海上揺動環境下において目標流量および目標可動範囲を達成できるローディングアームシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。</li> </ul> <p>[b] 荷役基地におけるオペレーション技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設定した配管系およびオペレーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>目標蒸発量以下となる貯蔵タンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た。</li> <li>積荷および揚荷オペレーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンクおよび配管類の予冷システムの設計が完了した。</li> <li>船の輸送タンク当り200m<sup>3</sup>/h以上の荷役流量も目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。</li> </ul>	○
III : 褐炭ガス化技術の開発	<p>[a] EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討 (2t/d 豪州小型ガス化試験設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>豪州ラトロパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施し、豪州での据付を完了した。 (20t/d 若松小型炉試験設備)</li> </ul> <p>[b] 化学原料製造向けガス化技術の検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2t/dガス化炉でCO<sub>2</sub>搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となる設備とし、現在、プロセスシミュレーションのモデルを構築中である。</li> </ul> <p>[c] 豪州褐炭ガス化運用技術の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中である。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析を実施中である。また、褐炭を日本に輸送し、事前乾燥を実施中である。</li> </ul>	△ (2021/2)

※ ◎ : 大幅達成、○ : 達成、△ : 一部達成、× : 未達

## 4. 実施体制及び分担等



## 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

### 社会的背景

- 2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」にて水素利用が初めて大きく掲載される。
- 2014年6月、経済産業省は水素・燃料電池戦略ロードマップを策定し、「未利用褐炭からの水素製造」、「水素発電」が明記された。
- 2016年3月さらに2019年3月に経済産業省は水素・燃料電池戦略ロードマップを改定し、水素ステーション普及の目標明確化及び水素発電の取組の具体化などが図られた。



### 事業の目的

- 2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サプライチェーン（水素製造・液化水素貯蔵・液化水素海上輸送・水素の発電利用）の実現を見通すために、現状のLNG内航船と同規模の輸送用タンクによる①**液化水素の長距離大量輸送技術**、それに対応する②**液化荷役技術**、及び豪州の未利用エネルギーである褐炭を用いた③**褐炭ガス化技術**の研究開発を行う。

## 1. 事業の位置付け・必要性 (2) 国が支援する妥当性

CO2フリー水素サプライチェーン構築実証は、

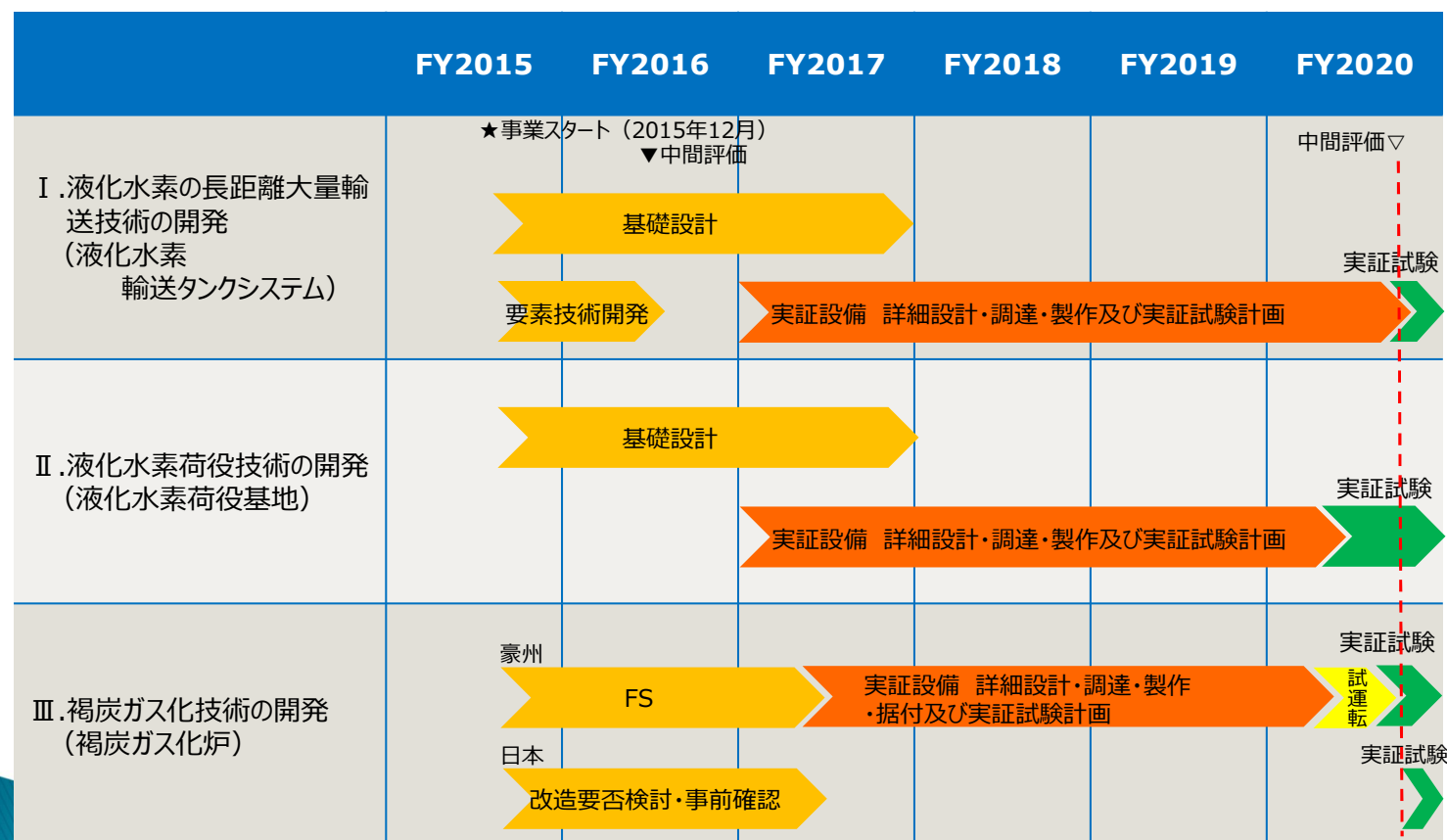
- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が高い
- CO2フリー水素サプライチェーン構築実証は、設備投資が大きく、事業化するまで時間を要することから民間単独では開発リスクが大きい

## 2. 研究開発マネジメントについて (1) 研究開発目標の妥当性

### ◆ 研究開発目標と根拠

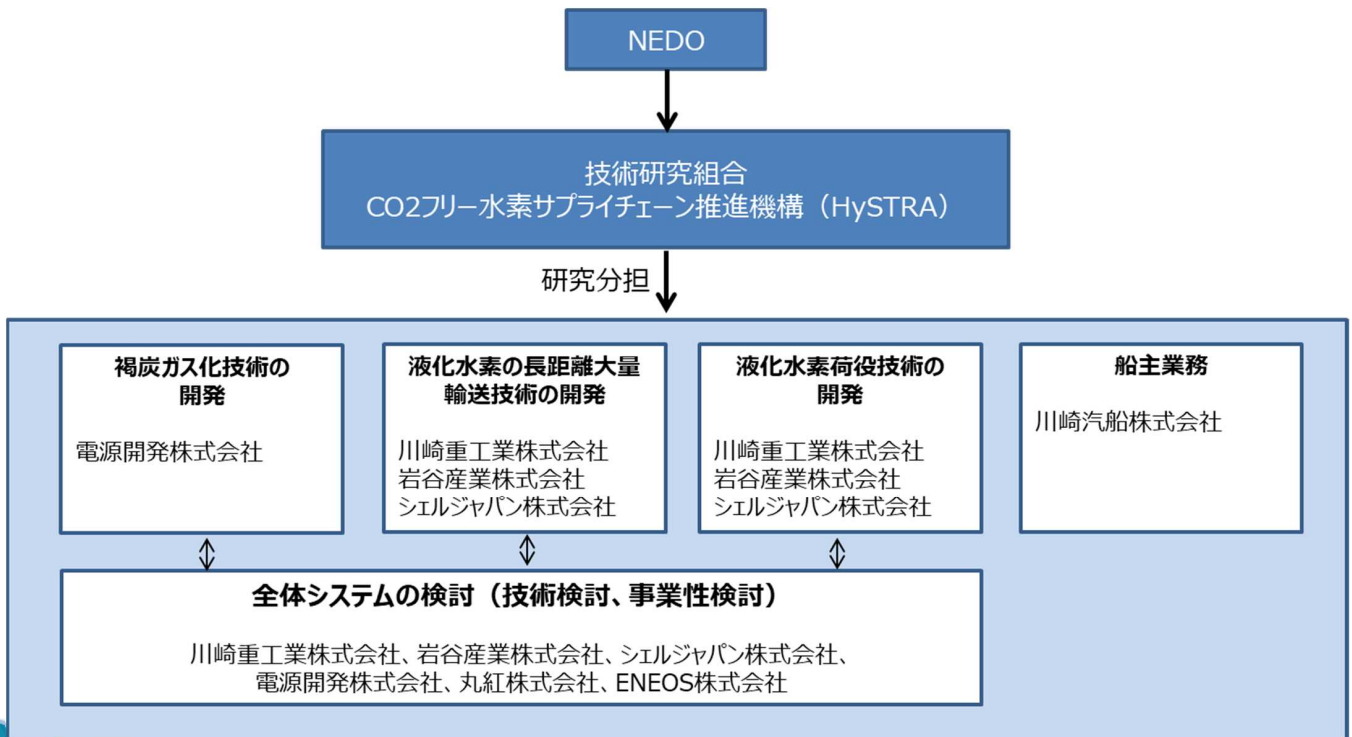
研究開発項目	研究開発目標	根拠
I: 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクシステムの開発</li> <li>商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得</li> </ul>	<p>川崎重工業(株)は、LNG運搬船の製造技術及び国内最大の液化水素貯蔵タンクの納入実績を有する。さらに液化水素海上輸送技術の開発を進めており、既に日本海事協会より世界初の基本承認を取得済みである。</p> <p>川崎重工業(株)はLNGの内航船の製造企業であり、同等サイズの液化水素用輸送タンクを製造することを目標に設定した。</p>
II: 液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>液化水素荷役技術の開発</li> <li>ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得</li> </ul>	<p>川崎重工業(株)は国内最大の液化水素貯蔵設備（JAXA殿 540m<sup>3</sup>×3基）の納入実績を有するほか、国内の液化水素貯蔵設備に大型タンク（300m<sup>3</sup>）及び輸送設備（40ftコンテナ）の納入実績を有する。</p> <p>岩谷産業(株)は、現在日本国内で液化水素の製造設備として3工場を運営しており、液化水素製造・貯蔵設備に関して運用実績のある会社である。</p> <p>また、川崎重工業(株)は、液化水素用ローディングシステムに関しても、概念検討を行っている。</p> <p>これらの実績を用いて、より大規模な海上輸送用の荷役技術を開発することを目標として設定した。</p>
III: 褐炭ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>褐炭ガス化技術の開発</li> <li>商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得</li> </ul>	<p>電源開発(株)は石炭ガス化EAGLEプロジェクトをNEDOと共同で実施しており、これまでに高い冷ガス効率を持ち幅広い炭種に適用可能な酸素吹石炭ガス化炉(以下、「EAGLE炉」)を開発すると共に、ガス化運転技術の確立を行ってきている。現在、中国電力(株)とともに大崎クールジェンプロジェクトを実施中であり、EAGLE炉の約8倍スケールアップしたガス化炉の実証を行っていくこととしている。</p> <p>これらの実績を踏まえて、褐炭ガス化技術を確立することを目標として設定した。</p>

## 2. 研究開発マネジメントについて (2) 研究開発計画の妥当性



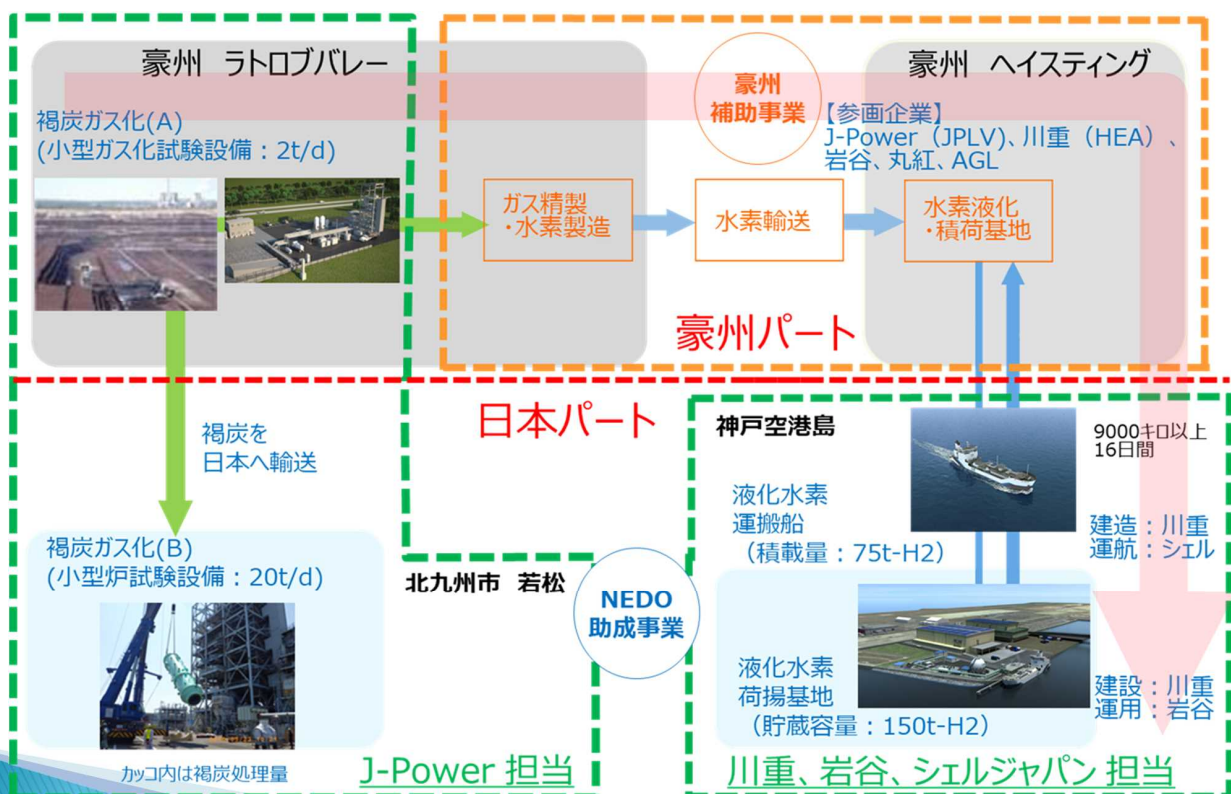
## 2. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発の実施体制の妥当性

### ◆ 研究開発の実施体制



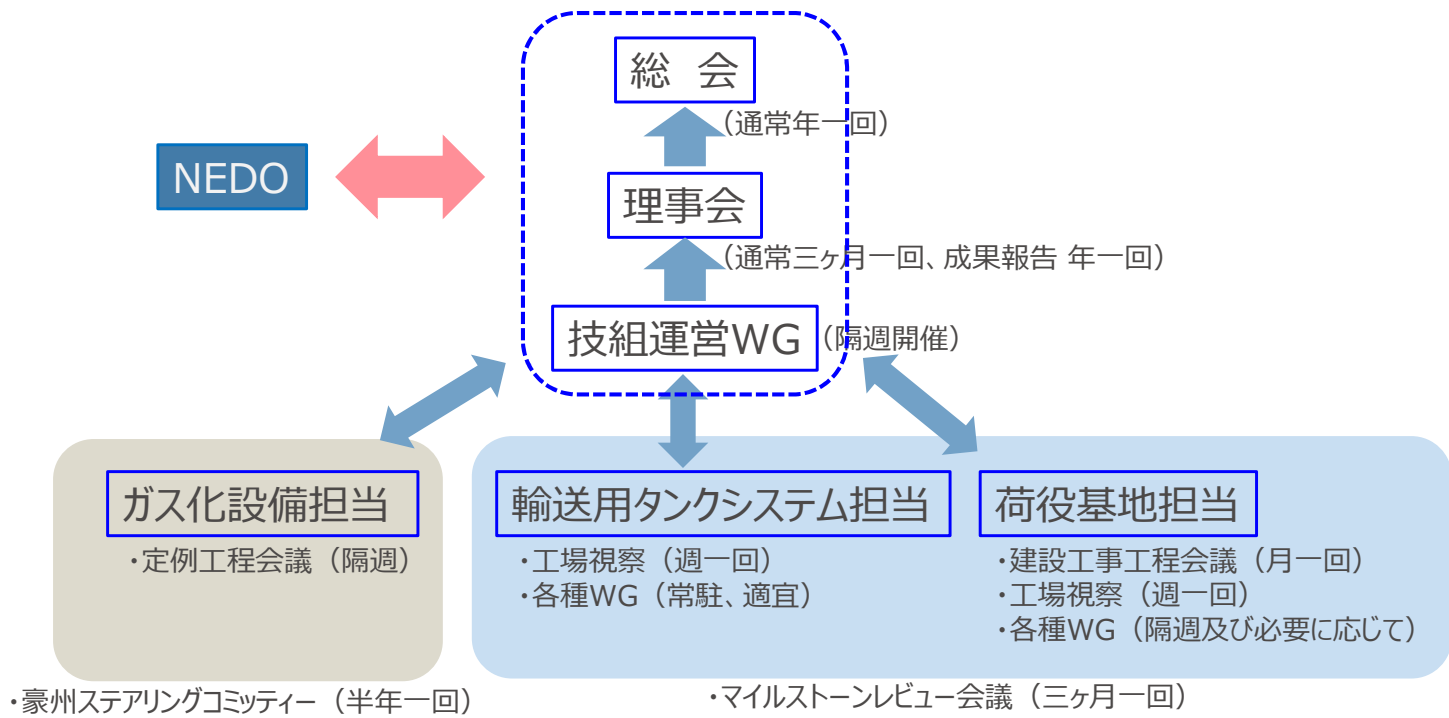
## 2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 研究開発の全体構成



## 2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 研究開発の進捗管理



## 2. 研究開発マネジメントについて (5) 知財権に関する戦略の妥当性

### ◆ 知的財産権等に関する戦略

実施項目	知的財産権等に関する戦略
I : 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	川崎重工業(株)の保有する小規模貯蔵用タンクの製作技術や特許、および液化ガス運搬船の製作技術や特許を活用し、他社が建造した実績のない液化水素向け長距離海上輸送用タンクを開発する。
II : 液化水素荷役技術の開発	川崎重工業(株)の保有する種子島宇宙センターの液化水素貯蔵基地の建設技術、液化水素設備の運用の蓄積を活用し、輸送用タンクとの荷役を可能とする液化水素荷役技術の開発を行う。
III : 褐炭ガス化技術の開発	電源開発(株)がこれまでEAGLEプロジェクト及び大崎クールジェンプロジェクトを通じて蓄積した石炭ガス化に関する特許・技術ノウハウを活用し、豪州褐炭に対応したガス化技術の開発を行う。

### 3. 研究開発成果について (1) 研究開発目的の達成度

#### 研究開発項目



#### (I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

#### (II) 液化水素荷役技術の開発

#### (III) 褐炭ガス化技術の開発

### 3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

#### 「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<b>c) 輸送用タンクの設計・製作・検査</b> 基本設計・詳細設計を元に、タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艦装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。	2016年度までに実施した研究開発項目「a)液化水素海上輸送システムの要素技術の開発」と「b)輸送用タンクシステムの開発」により開発された要素技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	 最速で 2020年 11月末予定	一部購入機器の不具合が見つかり、対処方法を検討中  2020年10月末には改めて見通しが明確になる見込み
	<b>d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。</li> <li>● 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 輸送用タンクおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。</li> <li>● 船級 (日本海事協会) と実証試験の実施項目を確認中。</li> </ul>	 最速で 2020年 12月末予定	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<b>c) 輸送用タンクの設計・製作・検査</b> 研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艤装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	△ 最速で2020年11月末予定	船級協会の認める設計・検査内容で以て大容量の輸送タンクが製造出来ることが確認された。
	<b>d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。</li> <li>● 船級 (日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。</li> </ul>	△ 最速で2020年12月末予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 世界水準の安全評価手法に則った設計手法を適用し、将来的に液化水素の大量海上輸送技術として、世界初の輸送実績を伴った設計技術として標準化していく見込みである。</li> <li>● また、世界で初めて液化水素の大量輸送を可能にするシステム全体の船級承認を取得と、実際の日豪間運用の実績を得られる見通しである。</li> </ul>

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 【開発項目】

c) 輸送用タンクの設計・製作・検査

#### 【目標】

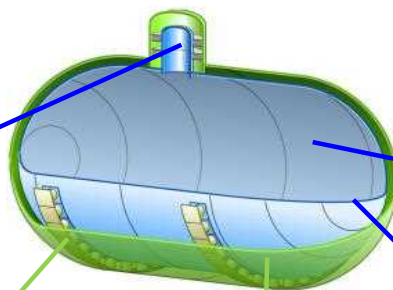
タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艤装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。

#### 【成果】

✓内槽ドーム組立(溶接)



✓内槽胴体組立(周溶接)



✓内槽鏡組立 (非破壊検査)



✓外槽胴板組立 (長手溶接)



✓外槽鏡板加工完了

### 3. 研究開発成果について（2）成果の意義

#### 【開発項目】

#### c) 輸送用タンク的设计・製作・検査

#### 【成果（前頁続き）】

2019年夏頃に内外槽一体化を完了し、真空槽の真空引きを実施。



(2019/5時点)

2020年3月に船体に輸送用タンクを搭載。



現在KHI神戸造船所内にて、貨物配管や各種貨物機器とのインテグレーション作業と試運転作業を実施中。

### 3. 研究開発成果について（2）成果の意義

#### 【開発項目】

#### d)-① 安全対策システムの開発

#### 【目標】

- 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。
- 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。

#### 【成果】

#### ア) 危険要因の把握

詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。

船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中。



## 研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

**(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発**

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 研究開発目標の達成度

#### 「(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素荷役技術の開発	<b>a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証</b> ●海上揺動環境下において、極低温(-253℃)液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カーゴタンク当り200m <sup>3</sup> /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること ●海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	特になし。今後は作成した実証試験の要領をもとに、液化水素の陸上-海上間輸送技術実証を行う。
	<b>b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発</b> 極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	●設定した配管系およびホレージョンを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ●目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、荷役基地におけるホレージョン技術の実証を行う。
	<b>b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発</b> 貯蔵タンク及び配管類の健全性を確保した予冷システムの設計が完了していること	積荷及び揚荷ホレージョンを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、予冷システムの実証を行う。
	<b>b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証</b> カーゴタンク当り200m <sup>3</sup> /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	カーゴタンク当り200m <sup>3</sup> /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した輸送設備を使用し、荷役流量の実証を行う。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 「(II) 液会水素荷役技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素荷役技術の開発	<b>a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証</b> 海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設置完了したローディングシステムにより、海上揺動環境下における液化水素荷役の実現性を検証することができ、世界初となる液化水素の陸上-海上間移送技術を開発することが可能になる。</li> <li>● 液化水素用ローディングシステムを備えた液化水素荷役技術の試験設備を用いた技術実証により、机上検討との相違を洗い出し、既往のLNG荷役基地との比較を行うことで、商用規模への拡大に向けた解析を進め、商用チェーンに向けて液化水素荷役基地建設の見通しを得ることが可能になる。</li> </ul>
	<b>b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 設定した配管系およびホーレションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した</li> <li>● 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発が可能になる。</li> <li>● 正確な蒸発量予測手法により、商用基地での蒸発損失を最小化する設計・オペレーション技術の獲得が可能になる。</li> </ul>
	<b>b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発</b> 積荷及び揚荷ホーレションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発が可能になる。</li> <li>● 予冷システムが最適化されることで、商用基地での蒸発損失最小化、ホーレション期間の短縮が可能になる。</li> <li>● 世界初の液化水素の陸上-海上間移送技術を有する設備であり、商用に向けた安全性評価手法の確立が可能になる。</li> </ul>
	<b>b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証</b> カーゴタンク当り200m <sup>3</sup> /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素の管内流動状況の検証を行うことが可能になる。</li> <li>● 管内流動状況を正確に把握することで、蒸発損失、圧力損失等を最適化し、効率的な商用基地の建設が可能になる。</li> </ul>

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 【開発項目】

a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

#### 【目標】

- 海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カーゴタンク当り200m<sup>3</sup>/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること
- 海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

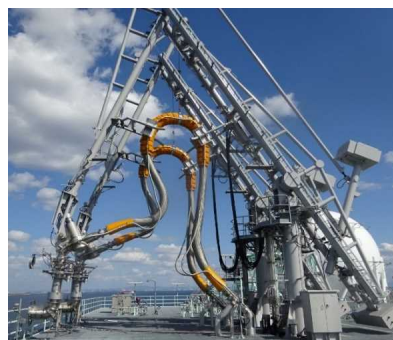
#### 【成果】

海上揺動環境下において下記性能を目標とするローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成

- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、必要設置エリア、アーム間隔等を検討の上、ローディングアームの詳細設計、製作、据付を実施、完了 (2020年3月)
- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、緊急離脱装置 (ERC) およびハイネット継手の設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)
- ✓ ローディングアームの可動範囲を設定の上、構造解析を行い、設定可動範囲を満足する設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)



ローディングアームシステム現地据付状況①



ローディングアームシステム現地据付状況②

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 【開発項目】

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

#### 【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

#### 【成果】

- 設定した配管系およびハレーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了（2020年3月）
- 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了（2020年5月）
  - ✓ 工場製作、現地建設が完了（2020年5月）
  - ✓ タンクの冷却、初期積荷を実施（2020年6月～8月）



液化水素貯蔵タンク現地据付状況①



液化水素貯蔵タンク現地据付状況②



液化水素貯蔵タンク現地据付状況③

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 【開発項目】

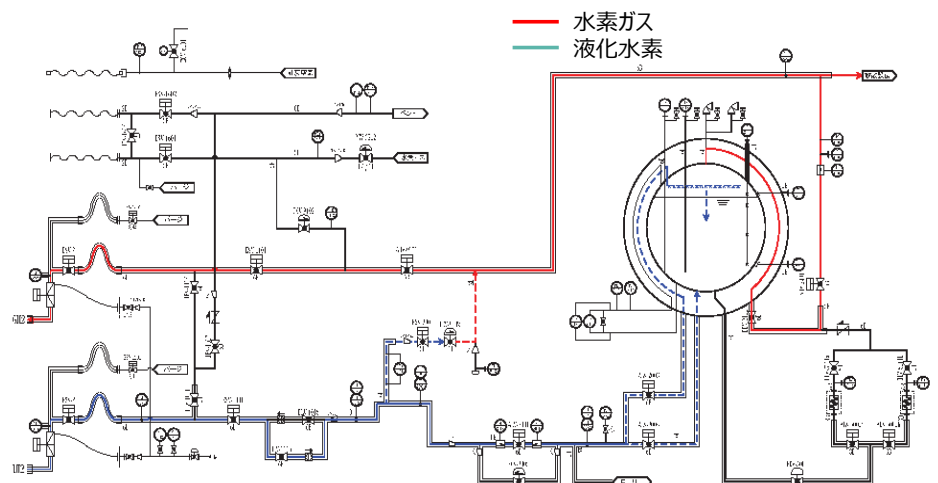
b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

#### 【目標】

積荷及び揚荷ハレーションを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了していること。

#### 【成果】

- ✓ 各ハレーションごとにP&IDを作成し、ハレーションの設定を行うとともに、安全性評価を実施（～2018年6月）



例：揚荷時オペレーションフロー

【開発項目】

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

カーゴタンク当り200m<sup>3</sup>/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了（2020年3月）し、実証試験実施の見通しを得た

ア) 配管口径

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管を分類し、それぞれに基本的な流速の目安を設定
- ✓ 検討に当たっては、LNG基地での実績をベースに、液化水素とLNGの物性の違い等を考慮



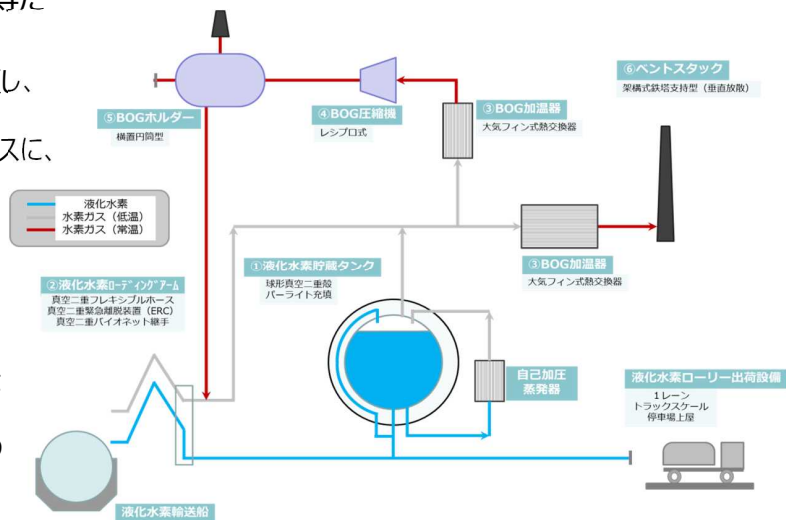
上記を根拠とし、各区分ごとに配管口径を決定

イ) 配管入熱

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管断熱を設定
- ✓ さらに配管径ごとに分類の上、100mあたりの入熱量を計算



上記をもとに算定した管内の流れの状態、蒸発量等の予測値は、実証試験での管内流動状況検証のベース



<現地据付工事>



据付工事全景



ベントスタック据付

<基地単独実証試験>

ア) 基地タンク ガス置換作業実施、完了（2020年6月）  
大型のタンクにおける窒素⇒水素へのガス置換作業が概ね机上検討通りに行えることを確認

イ) 基地タンク 予冷作業実施、完了（2020年7月）  
本構造のタンクにおける予冷に必要な液化水素量等の知見を獲得

ウ) 基地タンク 液化水素充填作業実施、完了（2020年8月）

エ) 基地タンク満載、静定後に蒸発率を計測し、目標蒸発率以下を達成（2020年9月）



ガスホルダー据付

## 研究開発項目

### (Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

## 3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

### 「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
褐炭ガス化技術の開発	<b>a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価</b> 以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確認する。 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・複数の褐炭についてガス化試験を行う。 ・1炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ヲトロパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・試験データを蓄積し、ガス化特性を評価する。  (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭でのガス化試験を行い、EAGLE炉での適用性(スラッグの排出性含む)を評価する
	<b>b) 化学原料製造向けガス化技術の検証</b> ガス化試験にてCO2搬送及びダイレクトクエンチの効果を確認すると共に、シミュレーションにて大型化に向けた見通しを得る。	・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	・実証試験において、特性データを取得し、大型化の見通しに向けた評価を行う。
	<b>c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討</b> ガス化試験結果を踏まえ、運用方法の検討を行い、大型化に向けた見通しを得る。	・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△ 最速で 2021年 2月末予定	・大型化の見通しに向けた課題の抽出、評価を行う。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
褐炭ガス化技術の開発	<b>a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価</b> (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトロパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験装置の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) これまで経験のない褐炭を使ったガス化プラントの設計を行い、据付を完了。今後本装置を使用して、複数の豪州褐炭によるガス化特性を取得することができる。 試験準備が整ったことで複数の豪州褐炭のガス化特性を評価することができ、課題抽出に向けて前進した。  (20t/d 若松小型炉試験設備) 事前準備作業を着実に進めることで、若松小型炉試験設備での確実な試験運転に繋げる事が可能となった。
	<b>b) 化学原料製造向けガス化技術の検証</b> ・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	必要な試験が可能となり、実試験データを取得することで、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化を図ることができる。 シミュレーションモデルを用いることで、大型化への見通しを得ることができる。 コストメリットに資する設備改造が完了し、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化に向け前進した。またプロセスシミュレーションのモデル構築により、大型化に向けた効率的なプロセス評価が可能となった。
	<b>c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討</b> ・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△	シミュレーションモデルを用いることで、ユーティリティ量の把握を含め、運用に関する大型化への課題抽出および評価が可能となった。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 【開発項目】

a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討

#### 【目標】

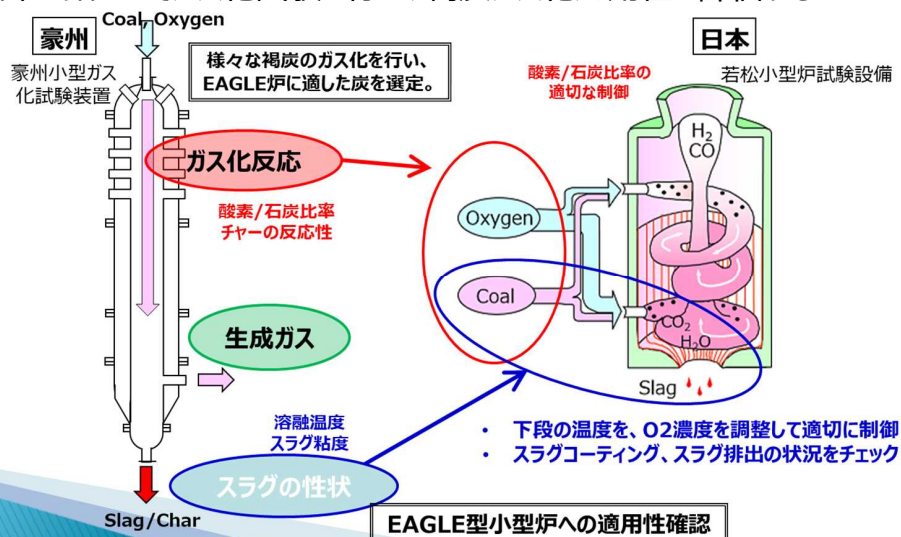
以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確立する。

(2t/d 豪州小型ガス化試験装置)

- ・複数の褐炭についてガス化試験を行う。
- ・1炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。

(20t/d 若松小型炉試験設備)

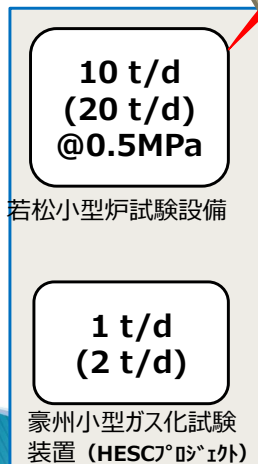
- ・2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。



### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

褐炭ガス化技術確立を行うことで、  
170t-H<sub>2</sub>/d 級のガス化炉まで  
見通すことができる。

石炭処理量は異なるが、  
ガス化圧力を下げて、炉  
径を同じとしている。



### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 【成果】

#### (2t/d 豪州での小型ガス化試験装置)

- プロセス、仕様の検討
  - ✓ 高水分褐炭に対応した乾燥粉碎技術の仕様決定
  - ✓ 豪州褐炭の性状分析および国内での事前ガス化試験により、豪州小型ガス化試験設備の設計用データ取得、反映
- HAZOPによる安全性評価を実施、設計に反映
- 豪州での設計規格適用、法規制対応
- 機器製作、輸送、据付、試運転
- ガス化運転によるガス化性能データ取得 (10月より開始予定)

#### (20t/d 若松小型炉試験設備)

- 豪州褐炭のガス化に必要な改造要否検討
- 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施。(10月より開始)
- 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施。(10月より開始予定)

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【成果 (前頁続き)】

豪州小型ガス化試験装置 設備概観 (2020.9 据付完了)



微粉炭機



ガス化炉



プラント全景 (2020.7.29撮影)

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

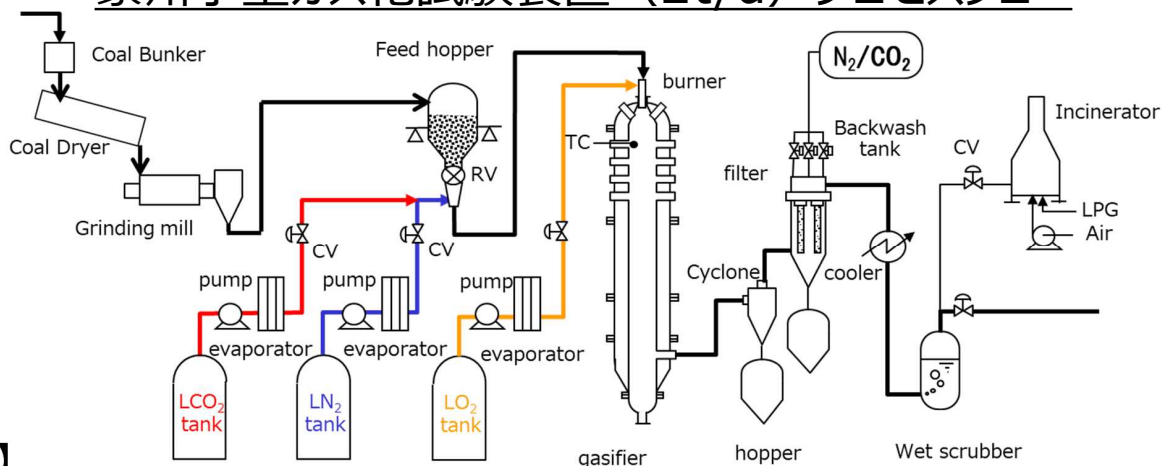
【開発項目】

b) 化学原料製造向けガス化技術の検討

【目標】

- 2t/dガス化炉でCO<sub>2</sub>搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。
- プロセスシミュレーションのモデル構築。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る

豪州小型ガス化試験装置 (2t/d) プロセスフロー



【成果】

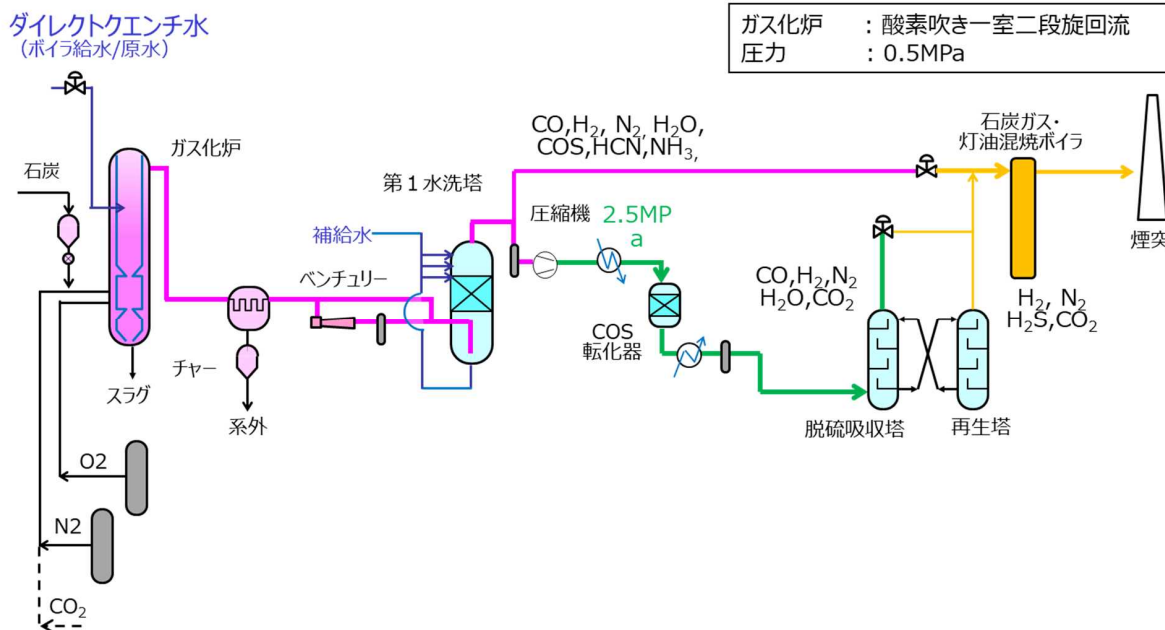
CO<sub>2</sub>搬送システムを試験設備の設計に反映

褐炭搬送において、従来はN<sub>2</sub>を使用するが、CO<sub>2</sub>搬送とすることで、  
 $\text{CO}_2 + \text{C} \Rightarrow 2\text{CO}$  のガス化反応により冷ガス効率の向上が期待される。



### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### 若松小型炉試験設備 (20t/d) プロセスフロー



#### 【成果】

#### ガス化炉はダイレクトクエンチの試験が可能な仕様

ダイレクトクエンチ方式とはガス化出口の高温ガスに直接水（蒸気）を噴霧してガス冷却する方式。設備の低コスト化を図ることが可能。

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

#### ●プロジェクト全体としての達成状況

- 研究テーマ毎の中間目標は達成及び達成見込みであり、プロジェクトとしての中間目標は概ね達成の見込みである。

#### ●意義

- 現在までの研究開発活動により、安全かつ十分な性能を発揮する世界初の液化水素用大量海上輸送タンクの試験設備、液化水素荷役基地及び褐炭ガス化設備を製作・据付けすることが可能になった。
- 液化水素を用いた技術実証により、商用規模サプライチェーンの実現に向けて、設計的知見を蓄積できた。今後、実証試験の完遂により安全評価手法及び運用手順へのノウハウを蓄積できる。

### 3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

#### ◆成果発表状況

		2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	計
論文発表 (査読付き)		0	0	1	1	1	0	3
受賞実績		0	0	0	0	0	1※2	1
外部発表	研究発表・講演	16	45	40	55	32	12	200
	新聞・雑誌等への掲載		3	28	19	17	12	79
	展示会への出展		1	2	2	1	(1)※1	6+(1)

※1 FC-EXPO2021に出展予定

2020年9月末現在

※2 ICFE 10 Innovation (2020/10)

### 3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

#### ◆特許出願及び取得状況

	2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	合計
特許出願数 (内; 国際出願)	1 (1)	1 (0)	8 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	14 (1)

No.	出願日	出願番号	発明名
1	2016/2/12	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク
2	2017/2/8	2017-021257	断熱構造
3	2017/6/6	2017-111749	ガス放出システム
4	2017/6/6	2017-111750	ガス放出システム
5	2017/6/6	2017-111751	液化ガス輸送船
6	2017/6/6	2017-111752	ガス漏洩検知システム及びガス漏洩検知方法
7	2017/10/16	2017-200327	二重殻タンクの隔壁構造
8	2018/3/2	2018-037207	船舶
9	2018/3/2	2018-037208	二重殻タンク及び液化ガス運搬船
10	2018/3/6	2018-039576	液化水素運搬船及び船体保護方法
11	2018/12/28	2018-247352	船舶
12	2020/3/30	2020-061456	液化ガス貯留船
13	2020/4/1	2020-072352	船舶
14	2020/5/25	2020-090259	ハントマスト
15	出願中		荷役配管のパージ

※2020年9月末現在

### 3. 研究開発成果について (4) 成果の普及

#### ◆ 成果の普及状況



【ポルトガル エネルギー副大臣一行】



【ノルウェー 水素協議会議長一行】

FCEXPO2020 (東京ビックサイト 2020/2/26~2/28)

※COVID19の影響のため、ブース出展のみとし、現地でのプレゼンは見送った。

ただし、事前予約のあった来訪者については現地にて技組職員による説明を実施した。

### 3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(I) 液化水素の 長距離大量 輸送技術の 開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査	研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管臓装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素のBORデータを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性をデータを蓄積する事で検証する。</li> <li>● 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。</li> </ul>	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。今後、航行試験を継続実施することにより様々な積付率及び航海条件下で「輸送タンクシステムに真空防熱性能」、「タンク状態制御方法」について評価をする。また、「輸送タンクシステム安全機構」及び貨物機器の長期運転後健全性」に関して評価を行う。
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中である。</li> <li>● 船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中である。</li> </ul>		

### 3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(II) 液化水素荷役 技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、荷役試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、「貯蔵タンク及び配管内の蒸発率」、「貯蔵タンク内部状況」及び「荷役流量と配管圧力損失の関係性」について評価を行う。また、鋼製ローディングアームの開発を実施する。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設定した配管系およびホレージョンを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した</li> <li>● 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。</li> </ul>	液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。	
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発	積荷及び揚荷ホレージョンを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。		
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証	カーゴタンク当り200m <sup>3</sup> /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。		

### 3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(III) 褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討	<p>(2t/d 豪州小型ガス化試験装置)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 豪州ラトロバレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。</li> <li>・ 豪州での試験設備の据付完了。</li> </ul> <p>(20t/d 若松小型炉試験設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始)</li> <li>・ 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)</li> </ul>	豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、褐炭-バイオマス混合体でのガス化試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、商用化へ向けた知見を得る。
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2t/dガス化炉でCO<sub>2</sub>搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。</li> <li>・ プロセスシミュレーションのモデル構築。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る。</li> </ul>		
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。</li> </ul>		
(IV) 液化水素の利活用	—	—	日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供給し、利用できることを実証する。	荷役基地の液水貯蔵タンクは、ローリー等に払出せる構造となっていることから、液化水素の利活用に使用することは問題ないとする。

### 3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<p><b>a) 輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価</b> 複数回の日豪航行を実施することで、液化水素の積付率及び海象条件（気温、揺動等）をパラメータとして蒸発率（BOR）データを取得し、長期連続運用時の液化水素輸送タンクシステムの真空防熱特性を評価する。</p> <p><b>b) タンク状態制御方法評価</b> 輸送タンクの揺動及び落圧時間が与える液化水素への温度影響を評価する。</p> <p><b>c) 代替揚荷手段の開発</b> 船側液化水素移送ポンプが故障した場合の代替揚荷方法として、基地側貯蔵タンクからの圧送による手法を実証する。</p> <p><b>d) 輸送タンクシステム安全機構の評価</b> GCU燃焼等の安全機構を使用し、その有効性及び周辺環境に与える影響を評価する。</p> <p><b>e) 貨物機器の長期運転後健全性評価</b> 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。</p>

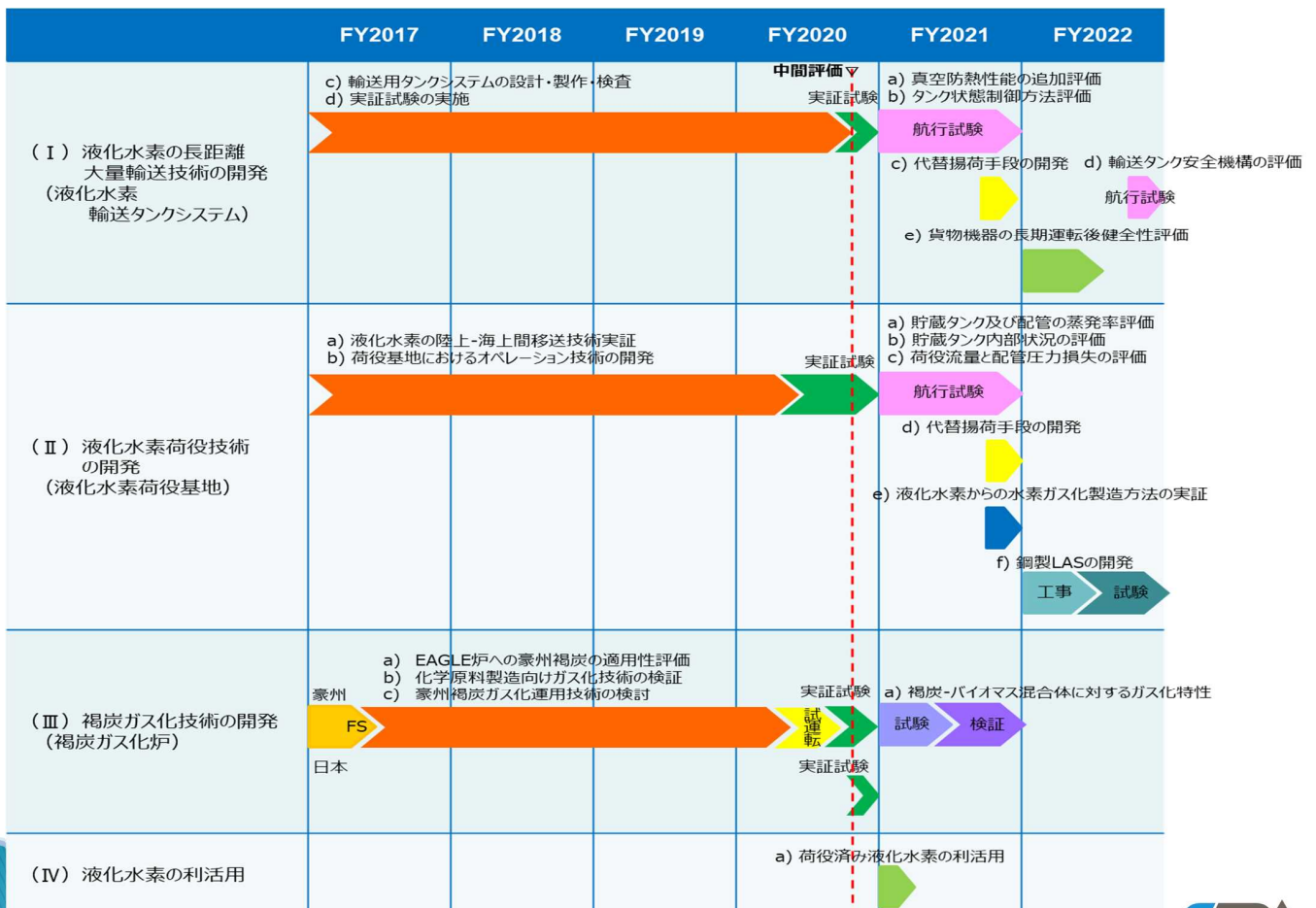
### 3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(II) 液化水素荷役技術の開発	<p><b>a) 貯蔵タンク及び配管内の蒸発率評価</b> 貯蔵タンク内の残液量をパラメータとした蒸発率を評価する。また、大口径配管内での蒸発率を評価する。</p> <p><b>b) 貯蔵タンク内部状況の評価</b> 貯蔵タンク内加圧時の液化水素温度に与える影響を評価する。</p> <p><b>c) 荷役流量と配管圧力損失の関係性評価</b> 荷役流量増加に伴う配管圧力損失との関係性を評価する。</p> <p><b>d) 代替揚荷手段の開発</b> 「液化水素の長距離大量輸送技術の開発 c)」と同様</p> <p><b>e) 液化水素からの水素ガス化製造方法の実証</b> 気化器を用いた水素ガス製造方法を実証する。</p> <p><b>f) 鋼製LASを使用した荷役技術の開発</b> 鋼製LASを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発する。</p>

### 3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発	<b>a) 褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価</b> 技術上不可避に発生する未回収CO <sub>2</sub> の排出を減少させるため、CO <sub>2</sub> ニュートラルであるバイオマス燃料を混焼することで、実質上（ネットとして）更なる低炭素化を目的とし、豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスと褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。
(Ⅳ) 液化水素の利活用	<b>a) 荷役済み液化水素の利活用</b> 日豪間輸送し、神戸荷役基地へ荷役貯蔵した液化水素に関して、基地貯蔵タンクから払出し、近隣の施設へ液化水素を燃料として搬送し、利活用を実証する。

### 3. 研究開発成果について (7) 2022年度までの試験研究計画(案)



## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆基本認識

本実証事業は6年計画の最終年度を迎え、要素技術開発等を行い、現在、設備製造・据付工事を行い、順次完工、実証試験を開始しつつある。実証試験を通して、最終目標達成の可能性は十分にあると考える。



エネルギー基本計画、水素・燃料電池戦略ロードマップ、次世代火力発電に係る技術ロードマップ等の政策方針やパリ協定の合意、民間事業者におけるCO2削減のための水素活用計画の活発化など、社会ニーズが高まってきており、特に欧州、豪州、中東などの資源国や国内におけるエネルギー企業を含む民間事業者の検討が随所で行われており、事業化の可能性が高まってきている。

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆実用化・事業化の時期

《2015年～2022年》

本プロジェクト（「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証事業」）を完遂  
※エネルギーのサプライチェーン構築では実績が重視される。

- ・水素の海外からのサプライチェーン構築について社会認知を得る。
- ・エネルギー事業者への実現性認知を得る。



《2020年代半ば》

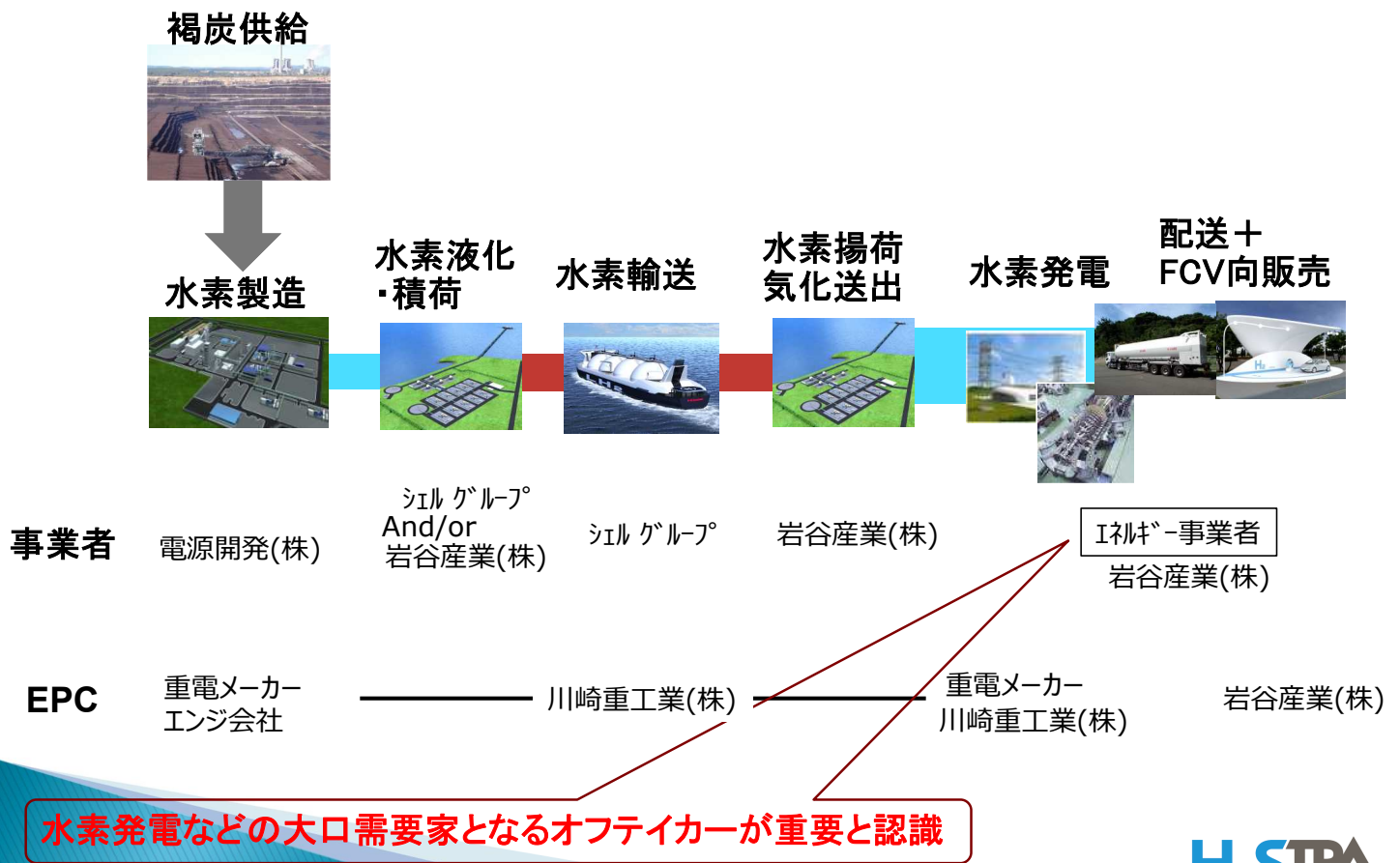
商用実証（大型化）を実施する。（技組内協議中）

《2030年～》

水素発電等が本格化し、大量低コストが期待される海外からの輸入水素が必要となる。商用サプライチェーンのための、水素製造、液化システム、貯蔵基地および運搬船の技術及び運用をシステム・パッケージ化し、商用化する。

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆想定する事業イメージ



## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

#### 【グローバル企業の動き (Hydrogen Council)】

- エネルギー・運輸・製造業・商社・銀行等の世界的なリーディングカンパニー92社で構成：ステアリング会員41社、協賛会員44社、金融グループ7社
- 日本企業：トヨタ、ホンダ、川崎重工<sup>注</sup>、岩谷産業、JXTGエネルギー、豊田通商、三菱商事、三井物産、丸紅、住友商事、三菱重工、日本特殊陶業、SMBC、伊藤忠、日本郵船
- 水素を利用した新エネルギー移行に向けた共同のビジョンと長期的な目標を 提唱するグローバル・イニシアチブ (活動体)
- 水素がエネルギー移行にもたらす役割の認識のもと、政府や主要なステークホルダーと共に、効果的な実行計画を作り出すことを目指す

注：赤字は2017年発足時13社の中の日本企業





## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

#### 【政治的視点】

- ・ 日本政府の政策動向と合致している。また、豪州政府も連邦首相含めた協力姿勢を示している。

#### 【経済的視点】

- ・ ロードマップ記載のプラント引渡し水素価格 30円/Nm<sup>3</sup>及び発電コスト 17円/kWhは、水素ST価格100円/Nm<sup>3</sup>や再生可能エネルギーFIT価格との比較で価格競争力のある価格。

#### 【社会的視点】

- ・ 「トヨタ環境チャレンジ2050」などにみられるとおり、CO<sub>2</sub>フリー水素の民間ニーズが顕在化。

#### 【技術的視点】

- ・ 石炭IGCC、ロケット射点設備、液化水素製造、LNG運搬船・荷役設備などの技術蓄積がある。
- ・ 本NEDO事業においてチェーン実現に不可欠で技術開発要素の高い機器システム開発に優先的に取り組み、世界に先駆けて実証が実現できる。

➡ 技術実証によって、「実用化・事業化」が更に高まると考える。

HySTRA 49/58

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆技術実証による、「社会認知」向上の例

2019年12月10日 川崎重工業（株）神戸工場にて約4,000名の来賓、一般市民、近隣幼児などが参加のもと、命名・進水式が行われた。日経、日経産業、産経、フジサンケイビジネスアイ、毎日、読売、朝日、神戸、日刊工業、化学工業日報、電気新聞、海事プレスなど各紙にての報道、NHK、テレビ東京系列などの放送で広く知られる状況となった。



2020年6月12日 神戸空港島 神戸荷役実証ターミナル（愛称：Hytouch神戸）にて安全祈願祭実施後実証試験スタートをHySTRA WEBサイトにて発表。

※コロナ禍において行事は行わず、WEBサイト発表のみとした。

<http://www.hystra.or.jp/news/article.html#news07>



「Hy touch 神戸」(兵庫県 神戸空港島)にて、液化水素を-253℃のまま移送する「ローディングームシステム」や「液化水素貯蔵タンク」などの製造・搬付を完了し、実証試験がスタートしました。今後、世界初の、液化水素運搬船への荷役試験実証に取り組みしていきます。(写真：実証、安全祈願祭)

STRA 50/58

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆ オフテイク候補

エネルギー事業者を含む民間企業の動向  
三大都市圏において、地域で水素を利活用する（ポテンシャル含む）ための協議会が発足し、HySTRA組合員各社、豪州ポーション企業などが参加  
エネルギー事業者などオフテイクへの実現性認知・事業創出を得る場として有効

#### ① 中部圏水素利用協議会（2020年3月6日設立）

参画企業：出光、岩谷、ENEOS、住商、中電、  
東邦ガス、トヨタ、エアリキ、DBJ、SMBC、  
三菱ケミカル、中部国際空港

#### ② 神戸・関西圏水素利活用協議会（2020年8月20日設立）

参画企業：岩谷、ENEOS、川汽、川重、シエル、電発、  
丸紅、大林、関電、三菱パワー、神鋼、  
オブザーバー：神戸市、NEDO、経産省

#### ③ 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会（2020年6月2日設立）

幹事団体：旭化成、岩谷、ENEOS、鹿島建設、産総研、東ガス、  
東大、東電、東芝、日産、日鉄、日立、三井不動産  
会員：101社



## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆ 外部環境の事実認識

#### 【民間動向】

- ・トヨタはFCV（燃料電池自動車）「MIRAI」新型を近秋にも発売開始と報道されるなど、2020年以降のFCV販売 3万台/年以上を計画している。
- ・併せて水素ステーション整備も進められていく。
- ・トヨタは全工場のCO2排出ゼロを目指す「環境チャレンジ2050」を発表している。
- ・RE100、ESG投資などの高まりから「水素」利活用についての機運が高まっている。

#### 【政府関連】

##### ① 日本

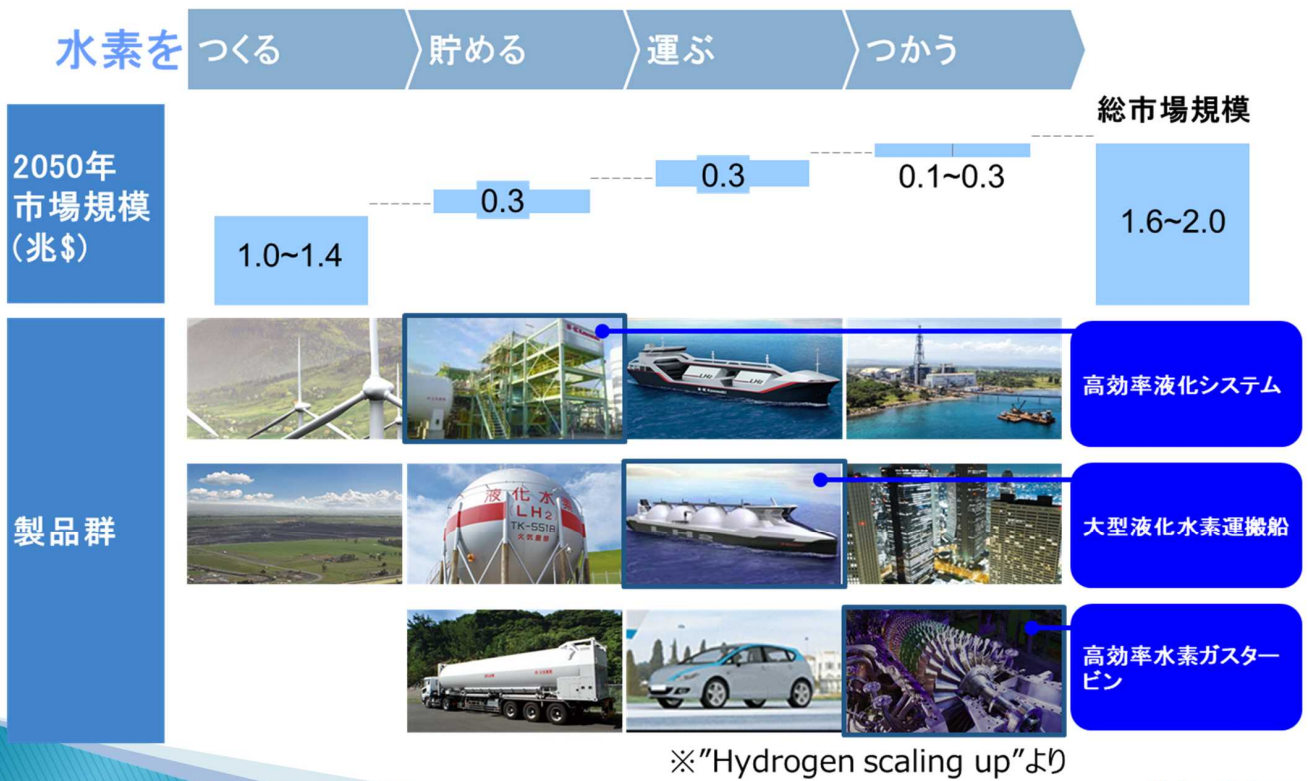
- ・第五次エネルギー基本計画において、「水素社会実現に向けた取組の抜本強化」が謳われ、再生可能エネルギーとの組み合わせ、化石燃料の水素への転換を含めた「水素社会」の実現への期待感が増している。
- ・COP21採択をうけ、日本政府（経産省・環境省）は温暖化対策計画を閣議決定。2030年までにCO2排出量26%削減とするため、電力会社に対しCO2フリー電源（原子力と再生可能エネルギー）の電力量に占める比率を44%以上とすることを求めている。
- ・次世代火力発電に係る技術ロードマップに「水素発電」が位置づけられている。

##### ② 豪州

2020年7月に安倍首相（当時）・モリソン首相が日豪首脳テレビ会談を行い、コロナ禍においても「ビクトリア州の水素エネルギーサプライチェーン・パイロットプロジェクトを通じたエネルギー転換が、回復に向けた戦略の一部」であることを認識した。

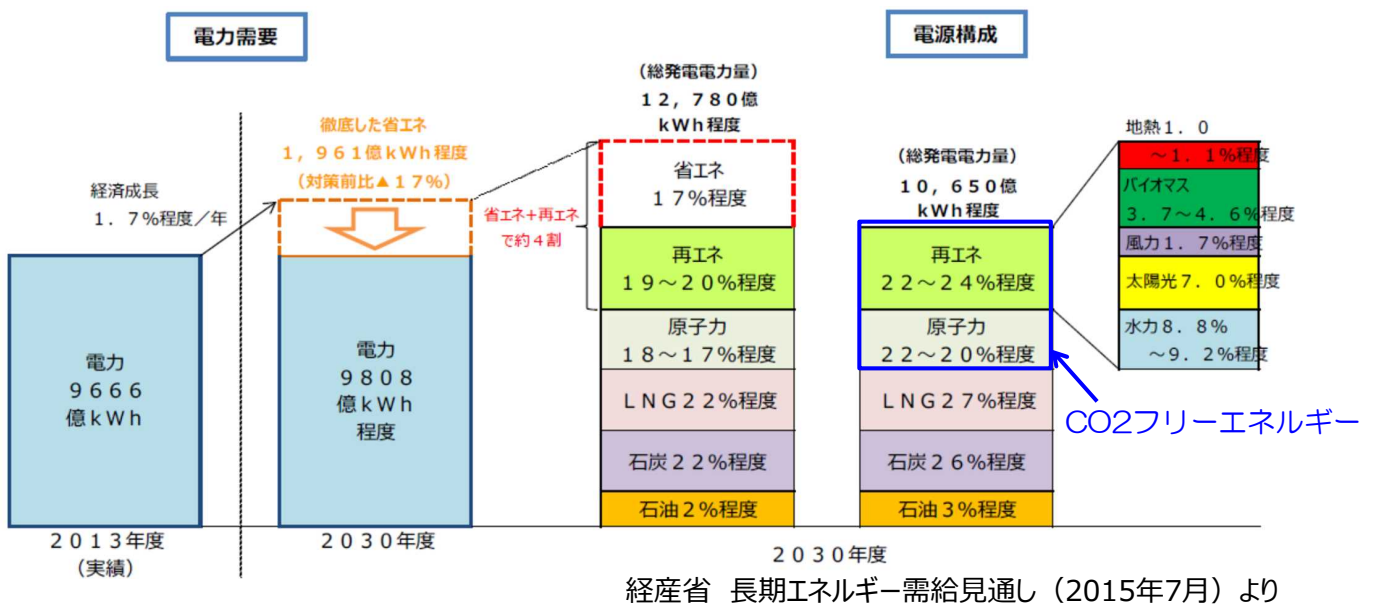
# 4. 実用化・事業化の見通しについて

## ◆事業化時の市場規模と事業規模



# 4. 実用化・事業化の見通しについて

## ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方



- ◆ CO2フリーエネルギーとして4,700億kWh/年の市場規模
- ◆ 発電電力量のシェア0.5~1%=約50~100億kWh/年とすると売上800~1,600億円/年 (電力事業として)

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆ 競合技術との優位性

#### 【環境性】

海上長距離輸送を含めてCO2排出なしが可能

#### 【コスト】

発電燃料：CO2フリーエネルギーの中では比較的安価

燃料電池：高純度で精製不要で供給可能

#### 【セキュリティー】

自主開発エネルギー、既存化石燃料とは異なる供給源

#### 【安全性】

既存燃料と同等

#### 【その他】

冷熱利用で付加価値

利用側で追加エネルギー不要（空気・水で加温）

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆ 成果の実用性・事業化の見通し

#### ● 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実証試験により断熱性能、タンク構造が所定の性能をもつことを確認する。

事業化に向けて適正なタンク規模を明確にするとともに、大型タンクの開発を進める。

#### ● 液化水素荷役技術の開発

実証試験により荷役流量、蒸発率及び緊急遮断機構が所定の性能をもつことを確認する。

事業化に向けてより効率的な運用方法を具体化するとともに、より高度なLNGに適用されているローディングアームジョイント手法の適用を進める。

#### ● 褐炭ガス化技術の開発

実証試験により前処理設備を含んだ褐炭ガス化適用性を確認する。

事業化に向け実証試験結果を踏まえた運用方法の検討を行い、大型化に向け検討を進める。

#### ● 規格・基準類の整備

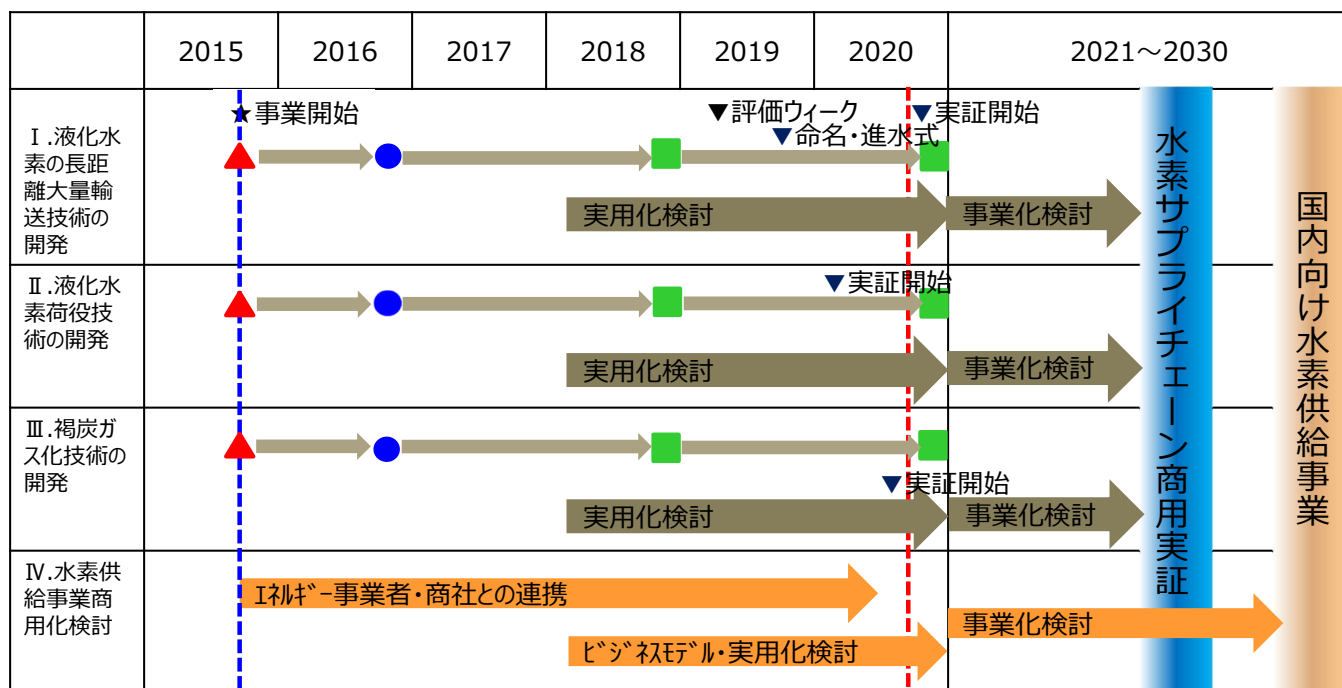
液化水素運搬船、荷役基地、ローディングアーム等の規格・基準類の整備に取り組む。

#### ● 商用化検討の推進（今後に向けて）

発電事業者、エネルギー商社などとビジネスモデルの精緻化を図ると共に、産官連携による水素発電事業成立の環境醸成を推進する。

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

### ◆ 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み



- ※ ▲ : 要素技術確立、調査、仕様検討、安全検討  
 ● : FS、基本設計  
 ■ : 実証設備製作、技術実証

# ご清聴ありがとうございました

## クリーンで持続可能なエネルギーを開拓する

# 「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術開発 有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来 水素サプライチェーン実証」(中間評価)

## プロジェクトの概要 (公開)

### 次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

2020年12月4日

1/56

#### 事業概要

##### 1. 期間

開始 : 2015年7月

終了(予定) : 2021年3月

●実施体制および分担等

NEDO

AHEAD

##### 2. 最終目標

実施項目	最終目標(2020年度)
①水素化プラント	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発</li> <li>✓ 上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証</li> <li>✓ 商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討</li> </ul>
②脱水素プラント	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発</li> <li>✓ 上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証</li> <li>✓ 商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討</li> </ul>
③サプライチェーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 水素サプライチェーンの商業運用を可能とする基盤技術の開発</li> <li>✓ 構築された水素サプライチェーンの性能検証</li> <li>✓ 商業サプライチェーンを設計・構築・運用するためのノウハウ・知見の蓄積</li> </ul>

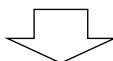
##### 3. 成果・進捗概要

実施項目	成果内容	自己評価 (2020.10末時点)
①	水素化反応器スケールアップ、不純物除去設備仕様の項目について、シミュレーション・実験により商業規模プラントでの設計手法もしくは技術基盤を確立。	△ (2021.3に達成予定)
②	脱水素反応器スケールアップ、負荷追従性、水素純度、触媒商業生産の項目について、シミュレーション・実験により商業規模プラントでの設計手法もしくは技術基盤を確立。	△ (2021.3に達成予定)
③	商用トルエン運転、サプライチェーン検討、発電燃料供給仕様の項目において、シミュレーション・実験により実用性・信頼性を備えたサプライチェーン構築に資する技術基盤を確立。	△ (2021.3に達成予定)

2/56

### 社会的背景

水素は、クリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。また、様々な形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。以上のことから、水素は環境的観点、エネルギーセキュリティの観点からも大いに寄与できると考えられ、大量消費を可能とする大量貯蔵・大量輸送技術が求められている。



### 事業の目的

水素発電の導入時の水素需要に対応可能な、安定的な大規模水素供給システムの確立を最終ゴールとし、海外の未利用資源から製造した水素を、有機ケミカルハイドライド法により消費地まで輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。

⇒商業ベースの大規模水素チェーン構築に備えた技術基盤の確立

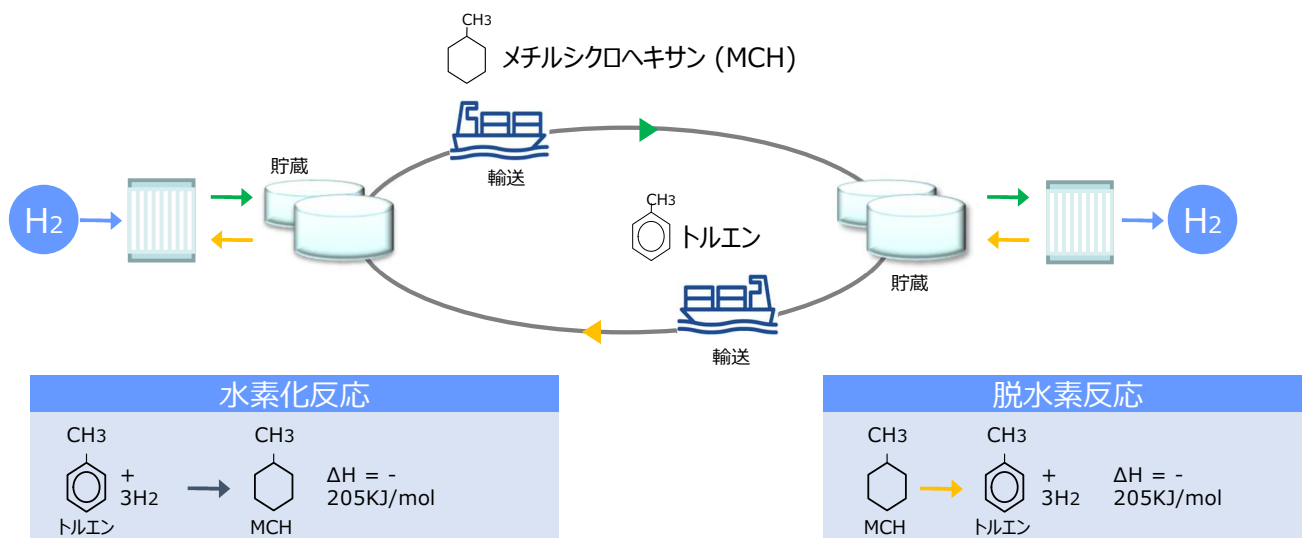
有機ケミカルハイドライド法による水素サプライチェーン構築は

- 水素の長距離大量輸送・長期間貯蔵を可能とし、水素エネルギーの利用拡大への貢献が期待でき、社会的必要性が大きい
- 水素の長距離大量輸送・長期間貯蔵により、エネルギー輸入ソースの多様化が実現、エネルギーセキュリティの向上につながる
- 国境を跨ぐ新しいエネルギーインフラ構築を進めるために、官民の協働が必要不可欠
- 2次エネルギーの長距離・大量輸送という、市場が成立していない事業に向けた技術開発であり 民間単独では開発リスクが大きい
- 石油・石化製品の流通インフラの転用が可能で、わが国の産業ストックの有効活用・高度利用につながる

# 1. 事業の位置付け・必要性 ～ 参考資料 (有機ケミカルハイドライド法)

水素をトルエンに化学的に結合させ、メチルシクロヘキサン (MCH) を生成し、常温常圧の状態  
で輸送・貯蔵

- 水素供給地にてトルエンに水素を化学的に結合 (水素化反応)
  - 水素を需要地にてMCHより取り出し供給 (脱水素反応)
- ⇒ 常温常圧で液体のためハンドリングが容易、また、石油・石化製品の輸送に  
使用される既存インフラ(ケミカルタンカー、タンク等)の利用が可能



# 1. 事業の位置付け・必要性 ～ 参考資料 (実証チェーン概要)

設備能力210トン/年 (燃料電池自動車フル充填 約4万台相当) の水素サプライ  
チェーンを2020年3月～12月にわたり実証運用

設備能力	フル稼働時 210 トン/年
チェーン 運用期間	2020年3月 - 12月
水素 供給源	LNGプラントのプロセス発生ガスから 水蒸気改質により水素製造 (ブルネイ・ダルサラーム国)
水素 供給先	火力発電設備の燃料用途等 (川崎臨海部)
輸送方法	ISO タンクコンテナ (定期コンテナ船 / トレーラー輸送)





## 2. 研究開発マネジメントについて（1）研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠		
研究開発項目	研究開発目標	根拠
① 水素化プラント	<ul style="list-style-type: none"> <li>商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発</li> <li>上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証</li> <li>商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討</li> </ul> 個別テーマ例⇒ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立 不純物除去設備の設備仕様の明確化等	以下の最終ゴールの実現に向けて、水素サプライチェーン構築に必要な3要素（水素化プラント、脱水素プラント、サプライチェーン）について、それぞれ商業化が可能な技術基盤の確立・検証が必要  最終ゴール 「水素発電の導入時の水素需要に対応可能な、安定的な大規模水素供給システムの確立」
② 脱水素プラント	<ul style="list-style-type: none"> <li>商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発</li> <li>上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証</li> <li>商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討</li> </ul> 個別テーマ例⇒ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立 需要変動への対応方法の明確化等	
③ サプライチェーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素サプライチェーンの商業運用を可能とする基盤技術の開発</li> <li>構築された水素サプライチェーンの性能検証</li> <li>商業サプライチェーンを設計・構築・運用するためのノウハウ・知見の蓄積</li> </ul> 個別テーマ例⇒ 商用トルエンによるチェーンオペレーションの検討 最適な設備構成を検討する手法の確立等	

7/56

## 2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール						
作業	1期		2期			
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
水素化プラント	基盤技術検証	反応器スケールアップ検証 不純物除去設備の仕様検討				
	プラント設計、設計検証		水素化プラント設計・設計検証			
	水素化プラント個別運転検証		機器資材調達	工事	試験計画立案	試験運転
脱水素プラント	基盤技術検証	反応器スケールアップ検証 脱水素触媒の商業規模生産課題抽出 /脱水素プラントの負荷追従性向上 等				
	プラント設計、設計検証		脱水素プラント設計・設計検証			
	脱水素プラント個別運転検証		機器資材調達	工事	試験計画立案	試験運転
サプライチェーン	基盤技術検証	商用トルエンを用いたデモプラント運転検証 発電燃料としての仕様明確化 等	発電燃料としての仕様明確化（追加分）			
	サプライチェーン運用設計			サプライチェーン設計（実証）		
	総合実証運用		トルエン調達、輸送・保管設備手配	試験計画立案		チェーン実証運用
				運転・運用データ分析、成果・知見取り纏め		

8/56

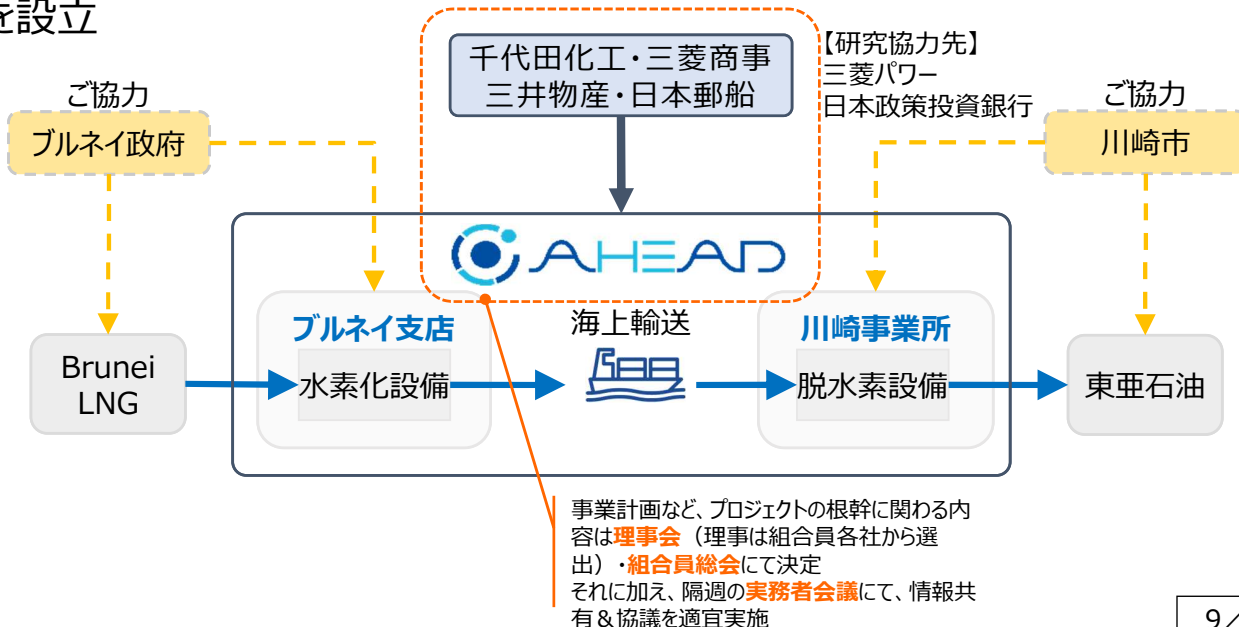
## 2. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発の実施体制の妥当性

### ◆ 研究開発の実施体制

2017年8月 千代田化工建設、三菱商事、三井物産、日本郵船にて、  
**「次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合」**

(**AHEAD** : **A**dvanced **H**ydrogen **E**nergy Chain **A**ssociation for Technology **D**evelopment)

を設立



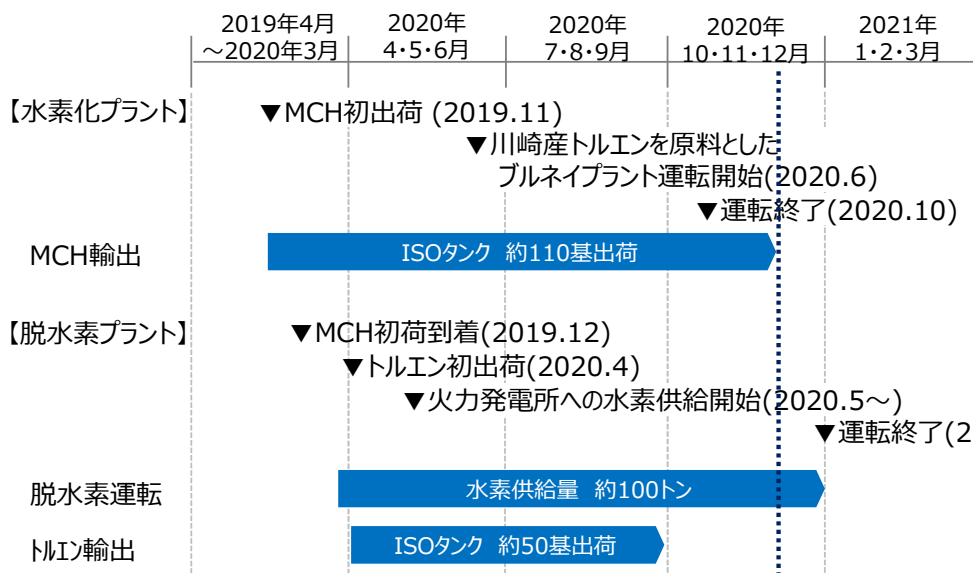
9/56

## 2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 研究開発の進捗管理

**水素化プラント** : 2019年10月～2020年10月まで水素化運転でMCHを生産

**脱水素プラント** : 2020年 3月～2020年12月まで脱水素運転し水素ガスを供給



ブルネイ水素化プラント



川崎脱水素プラント

10/56

◆ 知的財産権等に関する戦略

- ✓ 有機ケミカルハイドライド法の基本特許は取得済
- ✓ 本実証事業では、実用化に向けたノウハウの蓄積に注力
- ✓ 上記状況より、実証事業においては知財の取得は一義的な目的とは位置づけていないが、研究を通じて新規性のある知見が得られた場合には適宜知財化をはかる

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (1/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 水素化反応器 スケールアップ	商用規模の水素化設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	○	-
①-2 不純物除去設備の 仕様	大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。	①蒸留設計のパラメーターチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。
②-1 脱水素反応器 スケールアップ	商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	△ (2020年度達成予定)	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了し、Shell側構造を最適化する。
②-2 負荷追従性 向上策検討	想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	△ (2020年度達成予定)	①実証運転での負荷変動運転を実施。運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。
②-3 水素純度向上策	想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	○	-
②-4 触媒商業生産 課題	商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒概ねと同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能を検証し、転化率が目標値以上であることを確認する。

### 3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

#### ◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (2/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③-1 商用トルエン運転 検証	商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、デモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。
③-2 サブライチェーン 検討	最適な設備構成を検討する手法の確立。	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	○	-
③-3 発電燃料供給 チェーンとしての 設備仕様・オペレー ション要件	①ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。 製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。	○	-
	②脱水プラントと発電タービンの熱インテグレーション効果試算。	②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性が示唆された。	○	-
新規 反応器運転モード の最適化	経済性向上に資する運転方法の試行。	実証運転にて、転化率抑制(転化率一定)の運転を継続中。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、X未達

13/56

### 3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

#### ①-1:水素化反応器スケールアップ検討

#### 成果

##### 実施内容

✓商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして水素化反応器の流動解析を実施

##### 解析結果

#### 流動解析結果例 (定格ロード時の触媒管体積流量偏差)

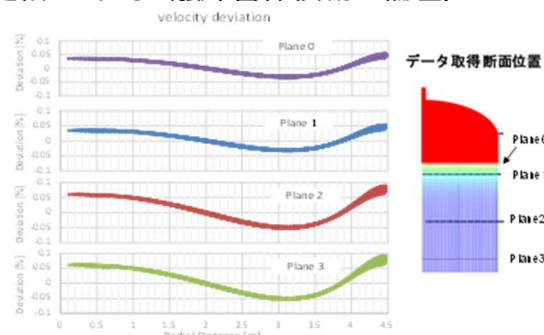


図2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

#### ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード(40%)共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値(±5%)以内に収まることが確認できた。

##### 成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の水素化反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模水素化反応器へのスケールアップが可能となった。

14/56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

今後の課題

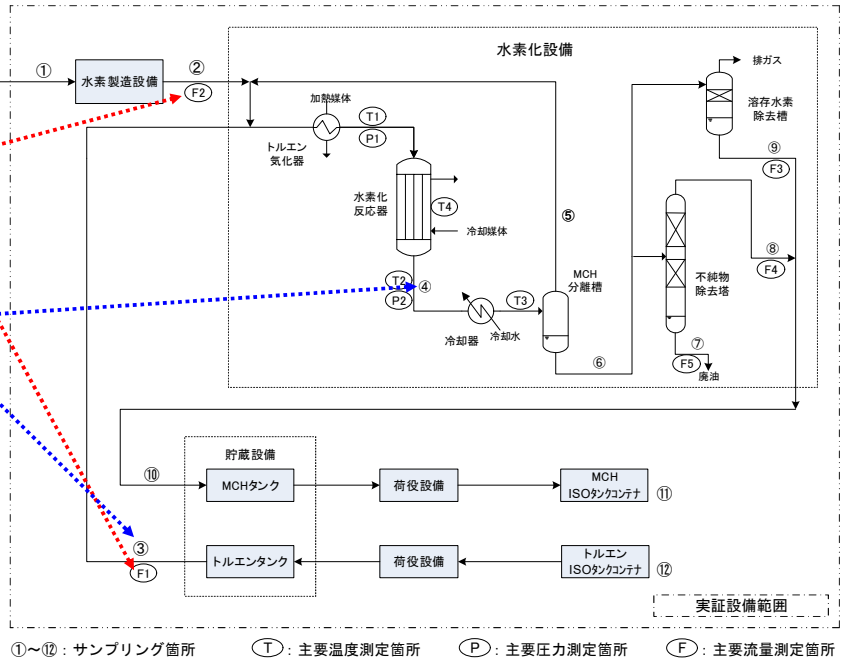
課題 Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

原料水素流量(F2)及び原料トルエン流量(F1)をターンダウン時の流量に調整。

ターンダウン運転時に水素化反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所③④)し、トルエン/MCH濃度を分析

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。



期待される成果 ターンダウン運転での、水素化反応のトルエン転化率・MCH選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

成果

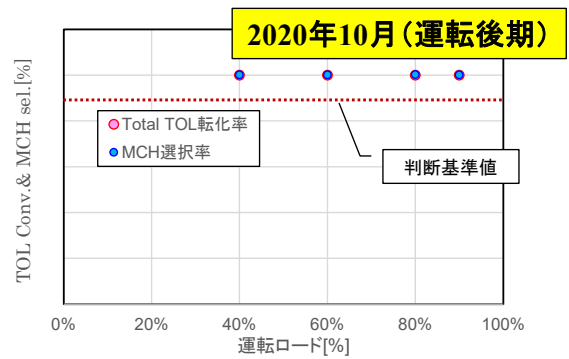
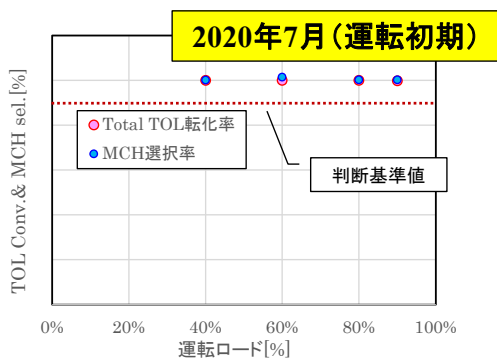
運転データ収集途中経過

実施内容

✓Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無を検証するために、原料水素流量及び原料トルエン流量をターンダウン時の流量に調整し、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析

試験結果

ターンダウン運転結果 (測定負荷 40%、60%、80%)



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。  
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

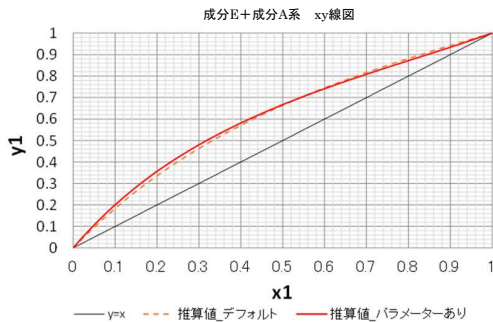
実施内容

- ✓ 蒸留設備設計に影響を与える不純物を特定し、必要な2成分系気液平衡データをラボスケール測定器により測定し、蒸留設計に使用するプロセスシミュレーターの気液平衡推算パラメータをチューニング
- ✓ 技術実証プラントの不純物含有トルエンを用い、商業装置での蒸留設備を模擬した試験を実施。この試験結果を上述のパラメータチューニングを実施したシミュレーターにより解析検証

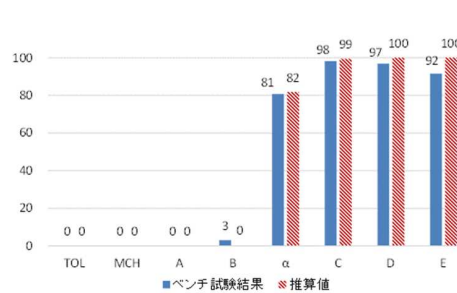
試験/解析結果

- ✓ パラメータチューニング前後（推算パラメータ/気液平衡シミュレーション結果）は図1
- ✓ 蒸留試験結果とパラメータチューニング後のシミュレーション結果との比較例は図2

シミュレーション結果との比較例 (パラメータチューニング前後)



蒸留試験結果とシミュレーション結果比較例



成果

- ✓ パラメータチューニング及び蒸留試験から、蒸留設備の設計手法の精度を向上出来たと共に、現状の蒸留設備の設計仕様が妥当であることが確認され、商用規模での蒸留設計が可能となった。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-2:不純物除去設備の仕様検討

今後の課題

課題

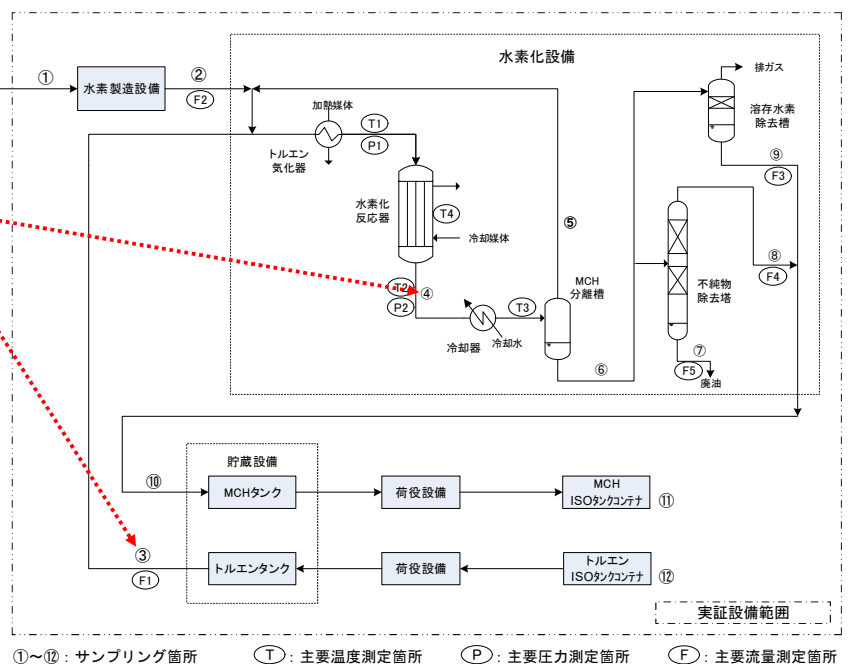
実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証

実施内容

【水素化プラント】  
水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリング（水素化プラントサンプリング箇所③④）し組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族/環状炭化水素/触媒劣化に影響する成分/許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析を実施。

軽質不純物蓄積傾向について、運転期間中の変動を確認。



期待される成果

運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

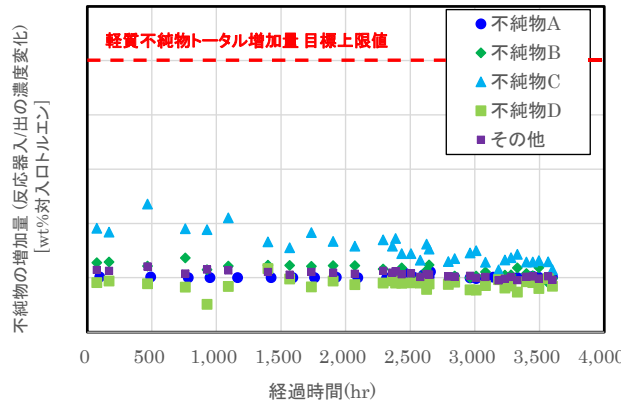
運転データ収集途中経過

実施内容

✓ 実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証として、水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリングし組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族/環状炭化水素。触媒劣化に影響する成分/許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

試験結果

✓ 不純物の生成量算出結果  
(川崎側のトルエン/MCH中の不純物量と比較し、分析結果の妥当性は定量的に確認済み)



判断基準

不純物生成速度限度目標値：水素化反応器を一回通過した際の軽質不純物トータル増加量が目標上限値\*以内

(\*商用トルエン実証運転終了時、約1500時間での軽質不純物のトータル増加量を基準に決定)

成果

✓ 軽質不純物トータル増加量が目標上限値以内を確認。  
✓ 運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、これを商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる

19/56

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

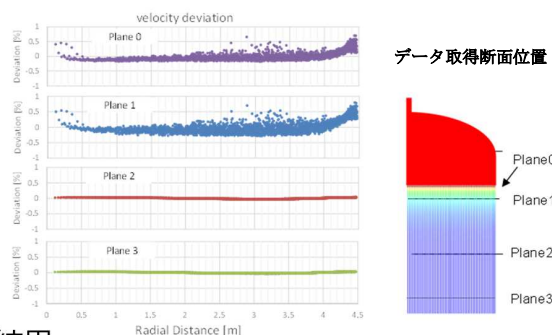
成果

実施内容

✓ 商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして脱水素反応器の流動解析を実施

解析結果

流動解析結果例（定格ロード時の触媒管体積流量偏差）



ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の脱水素反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模脱水素反応器へのスケールアップが可能となった。

20/56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

今後の課題

課題

Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

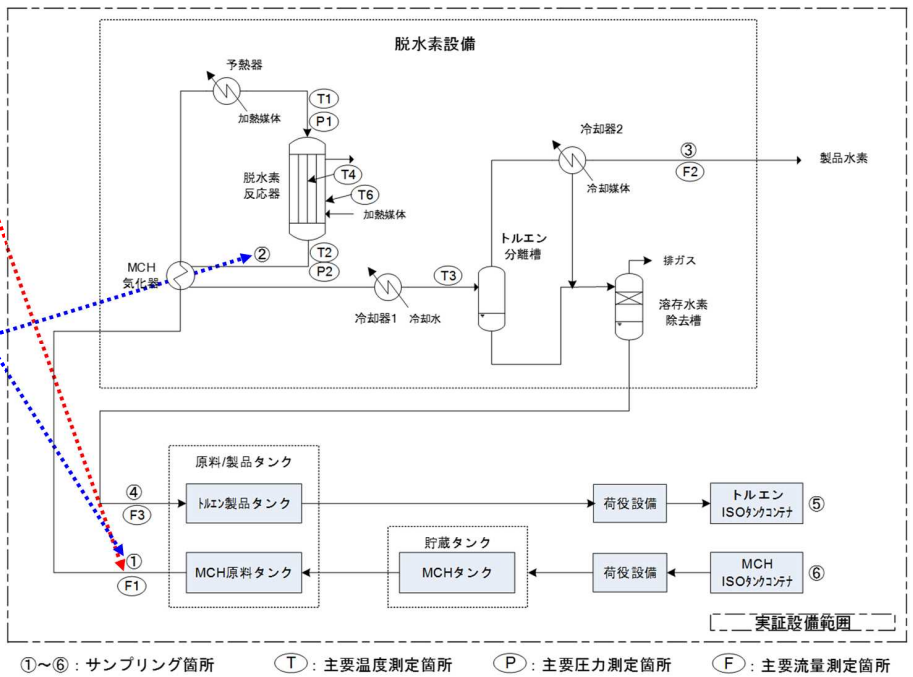
原料MCH流量(F1)をターンダウン時の流量に調整

↓

ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)し、トルエン/MCH濃度を分析

↓

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。



期待される成果

ターンダウン運転での、脱水素反応のMCH転化率・トルエン選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

成果

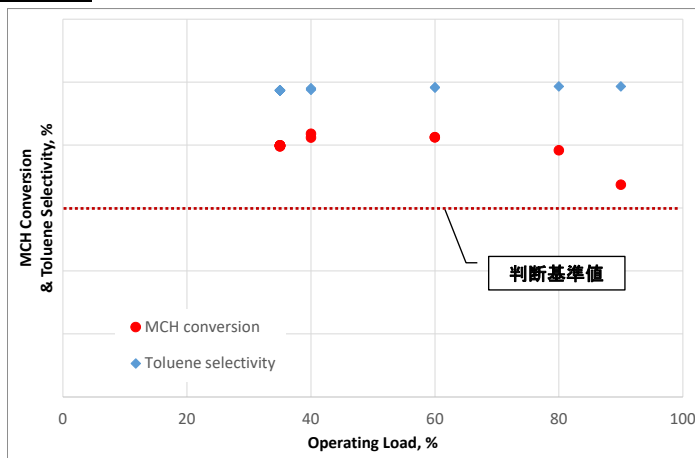
運転データ収集途中経過

実施内容

✓Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証するために、ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析

試験結果

ターンダウン運転結果 (35%、40%、50%、80%)



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。  
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への脱水素反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2: 負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

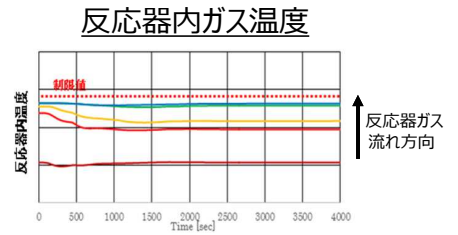
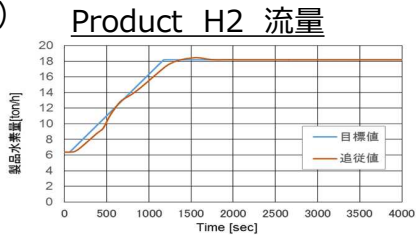
以下の条件にて脱水素設備を試設計し、これをモデル化したダイナミックシミュレーションを実施。  
 脱水素プラントの負荷追従性、これを向上するための設備構成や制御システムについて検討した。  
 ✓水素需要としてガスタービン発電を想定し、脱水素設備目標負荷追従速度を3.5%/minと設定  
 ✓水素専焼発電を想定し、脱水素設備規模を20万Nm<sup>3</sup>/h（最大規模反応器2系列）と想定

解析結果

一連のケーススタディの主要な結果

- i. 脱水素設備出口にバッファとなる水素ガスホルダーを設置することにより、目標とした負荷追従性を確保出来る。
- ii. 脱水素設備の内、脱水素反応器を加熱するための熱媒加熱炉の負荷追従性向上により、ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認

シミュレーション結果例（ロードアップ、加熱炉が目標とした負荷追従性を持ちガスホルダー無しとした場合）



成果

✓水素ガスホルダーを設けることにより、ガスタービン発電の要求負荷変動に追従出来ることを確認  
 ✓熱媒加熱炉の負荷追従性向上することにより、必要な水素ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2: 負荷追従性向上策検討

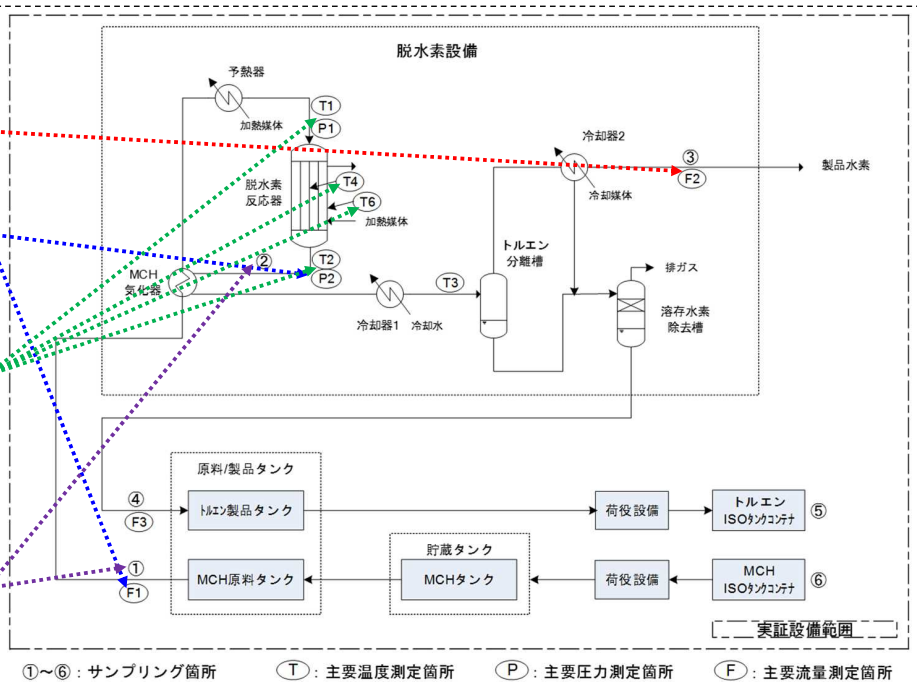
今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン/ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

実施内容

- 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。
- 反応器出口圧力(P2)の変動を検知し、フィードMCH量(F1)を自動調整。
- 負荷変動時の反応器入口温度・圧力(T1,P1)、反応器出口温度・圧力(T2,P2)、触媒管温度分布(T4)、熱媒温度(T6)の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。
- 脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成を分析する。脱水素反応のMCH転化率及びトルエン選択率を算出し、定格運転時のデータと比較し負荷変動操作が脱水素反応へ与える影響の有無を確認する。



期待される成果

実証設備での負荷変動追従性の結果を、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映できる。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2: 負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集  
 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、  
 反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。  
 負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、  
 適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

負荷変動試験の条件や操作手順を検討し、詳細な試験計画を策定した。  
 これに基づき負荷変動試験を実施し、取得データを整理、分析中。

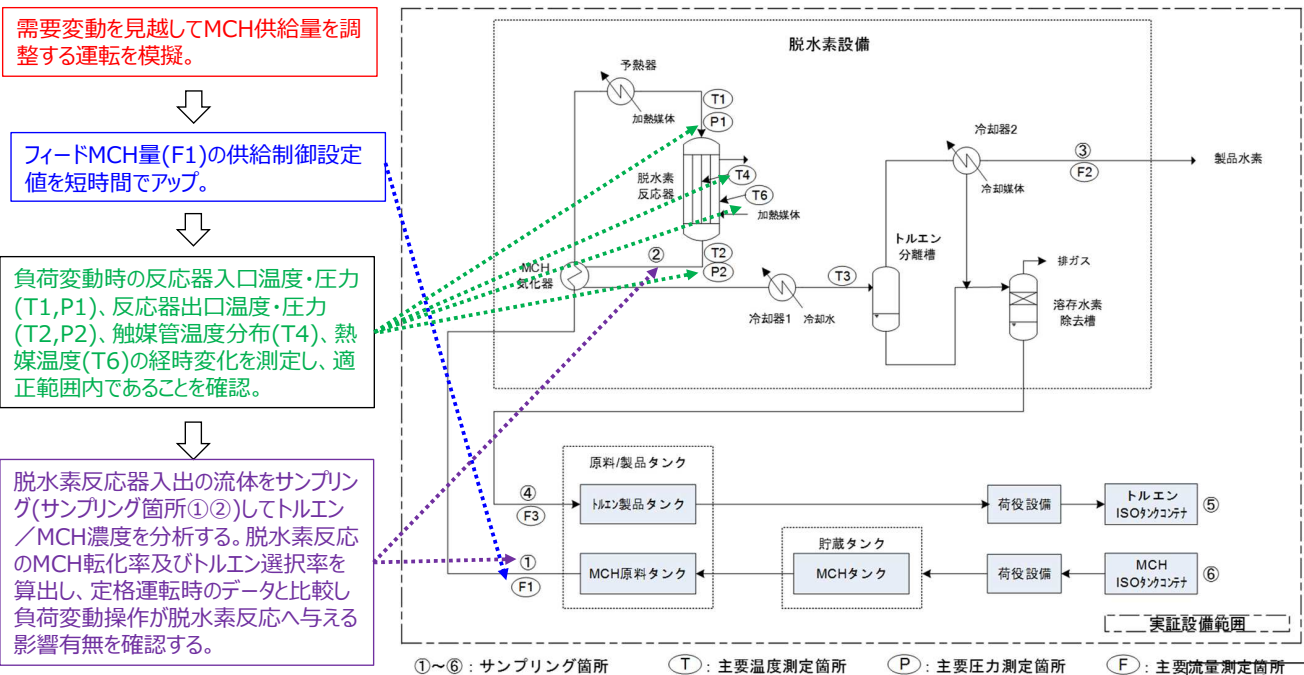
成果

✓期待される成果

負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2: 負荷追従性向上策検討

オンタイムの需要側要求の変動を検知したMCH供給量制御方式よりも、需要変動を予め見越したMCH供給量制御方式の方が有利ではないか。この方式での負荷追従試験を実施し、商業運転時の運転ケースの多様化を図りたい。



②-2:負荷追従性向上策検討

今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

試験結果の反映

負荷追従速度3.5%/minを目標とし、製品水素ライン調整弁の開度増減速度を変えて試験を実施し、各部温度／圧力／流量の変動幅、収束速度のデータを取得する。これにより負荷追従の律速となる制御箇所を特定する。



実証設備ベースのダイナミックシミュレーションモデルを構築し、シミュレーションを実施して上記実測データと比較し、シミュレーションモデルをブラッシュアップする。



シミュレーションモデルを商業設備規模にスケールアップし、ダイナミックシミュレーションのケーススタディを実施する。これにより、必要な水素ガスホルダーの容積を低減し得るプロセス制御系の最適化を検討する。

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集  
 需要変動を見越してMCH供給量を調整する運転を模擬。フィードMCH量(F1)の供給制御設定値を短時間でアップ。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

実証設備のダイナミックシミュレーションのモデルを作成中。  
 負荷変動試験終了後、この試験をトレースシミュレーションし、実測値と比較することでシミュレーションモデルをブラッシュアップし、以降のダイナミックシミュレーション ケーススタディに供する。  
 取得データを整理、分析中。

成果

✓期待される成果  
 負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関係する制御設備設計に反映。これにより負荷変動追従性の更なる向上、運転ケースの多様化が期待できる。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-3:製品水素純度向上策

成果

実施内容

メチルシクロヘキサンの脱水素により製造された粗水素を供給先が要求する水素仕様（グレード B～E）に合わせて精製する必要がある。本粗水素を対象とした精製技術の調査、及び試験設備を用いた検証を実施した。

調査結果  
／  
検証結果

膜分離法および吸着分離法を対象として調査を実施した。吸着分離法については、ラボスケールにて PSA（Pressure Swing Adsorption）の実験を行い確認した。

**PSA 3塔式連続試験**

- ・模擬ガス (H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/TOL)供給テスト  
CH<sub>4</sub> 1200ppm→ 0.1ppm以下  
TOL 8000ppm→ 0.1ppm以下
- ・模擬ガス (H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S)供給テスト  
H<sub>2</sub>S 100ppb→0.1ppb以下

ISO14687-2の規格値をクリア

	ISO 14687-1(1999)		ISO 14987-2(2012)		ISO 14687-3FDIS(2013)			
	Grade A 内燃機関、 輸送用、住 宅用	Grade B 発電等工業 用燃料	Grade C 宇宙、航空 機用地上支 援	Type I				
				Grade D FCV用	Grade E 定置用燃料電池			
				Category 1	Category 2	Category 3		
H <sub>2</sub>	%	98.0	99.90	99.995	99.97	50	50	99.9
Para-H <sub>2</sub>	%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Total non-hydrogen gases	μ mol/mol	NC	NC	50	300	50%	50%	0.1%
H <sub>2</sub> O	μ mol/mol		b	b	5	NC	NC	NC
T-hydrocarbons (Methane basis)	μ mol/mol	100		b	2(g)	10(h)	2(i)	2(j)
O <sub>2</sub>	μ mol/mol	a	100	b	5	200	200	50
He	μ mol/mol	a		39	300			
N <sub>2</sub> +Ar	μ mol/mol	a	400	b	100			
CO <sub>2</sub>	μ mol/mol			d	2	Included in total non-hydrogen gases		2
CO	μ mol/mol	1		d	0.2	10	10	0.2
Total sulfur compounds (H <sub>2</sub> S basis)	μ mol/mol	2	10		0.004	0.004	0.004	0.004
HCHO	μ mol/mol				0.01	3	0.01	0.01
HCOOH	μ mol/mol				0.2	10	0.2	0.2
NH <sub>3</sub>	μ mol/mol				0.1	0.1	0.1	0.1
Total halogenated compounds	μ mol/mol				0.05	0.05	0.05	0.05
Hg	μ mol/mol		0.004					
Maximum particulates concentration	mg/kg	f	e	e	1	1	1	1

成果

✓脱水素設備から製造した水素は、冷却分離によりトルエン等を除去し、水素純度を99.9%以上とすることが出来ることから、水素発電用燃料（グレードB）に用いることが可能であることを確認。  
 ✓PSAにて、水素中の不純物を除去し、グレードD、及びグレードEに規定されている値をクリアすることが出来ることから、FCV用、および定置用燃料電池に用いることができることを確認。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-4:触媒商業生産課題検討

成果

実施内容

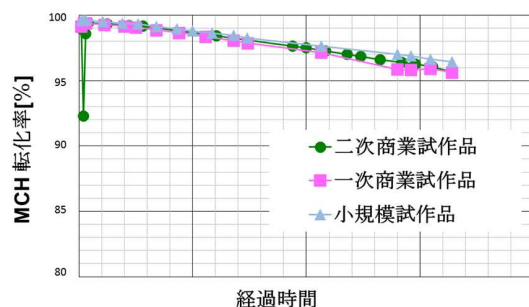
✓小規模設備で製造され脱水素触媒と同様の製造レシピ／仕様にて、商業規模生産設備を用いた数百kg／ロット規模での触媒試験製造を実施。（＝一次商業試作）  
 ✓一次試作の評価結果に基づいて、商業規模生産において触媒性能に影響する要因を抽出検証、反映した新たな製造レシピに基づく二次商業試作を実施。

評価結果

試作評価の主要な結果

- i. 一次試作の触媒は初期活性が若干低い傾向を示したものの、長期的な活性及び性能安定性はほぼ同等。
- ii. 初期活性低下の原因を検証し、二次試作向けに触媒担持調整レシピ、及び設備の仕様の一部を更新した。
- iii. 二次試作の結果、小規模設備での性能と同等の能力を持つことが確認できた。

試作触媒の性能評価結果例



成果

✓試作用小規模設備製造での触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能であることを確認。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-4:触媒商業生産課題検討

今後の課題

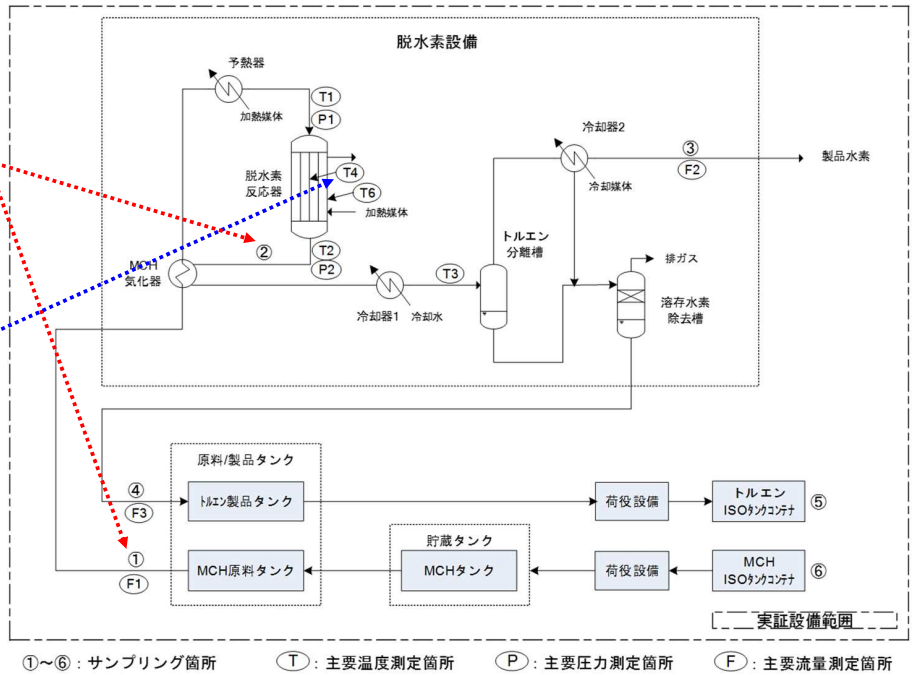
課題 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

実施内容

脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成(トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度)を分析

触媒管の温度分布(温度測定箇所T4)の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握(従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み)

脱水素反応の転化率/選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒と同等であることを確認。



期待される成果 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることを検証。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

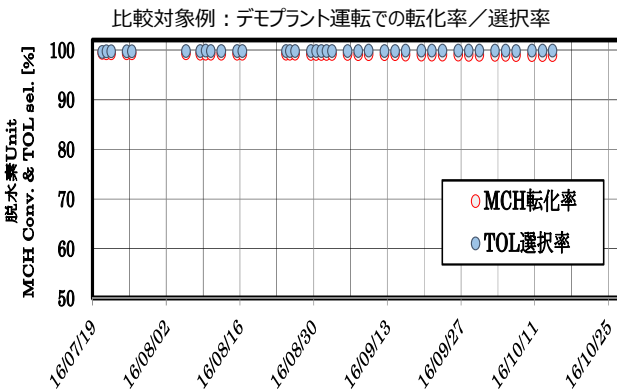
②-4:触媒商業生産課題検討

今後の課題

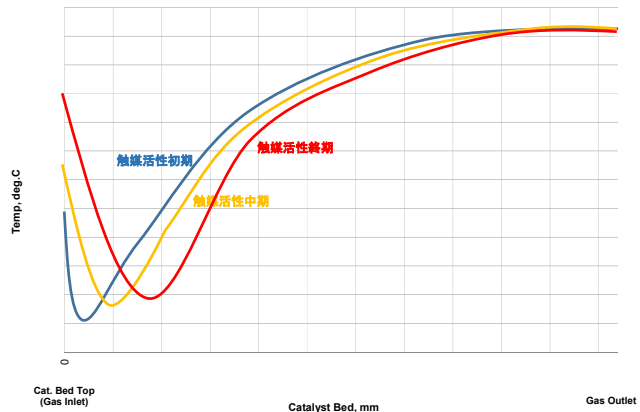
課題 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

試験結果判断基準: 触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標: 運転期間を通じて転化率が目標値以上であること



比較対象例: 触媒管温度分布 (触媒劣化の指標) イメージ図  
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の反映 結果 良 : 現状の触媒製造レシピ/調達仕様を商業規模反応器に適用  
否 : 原因検討の上、触媒製造レシピ/調達仕様を見直し

②-4:触媒商業生産課題検討 (1/2)

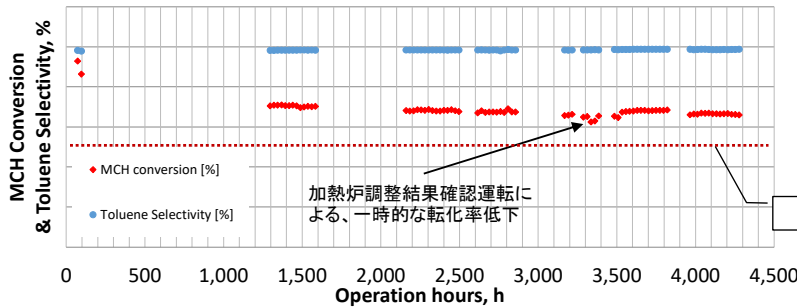
成果

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 脱水素反応器入出の流体をサンプリングして組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析

試験結果

90%~100%ロードにおける転化率とトルエン選択率



・4,200h以上の運転期間において、転化率は、目標値以上を維持できている。

試験結果

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。  
 触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。  
 (各ロード整定後に前項のサンプリング個所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転開始以降、転化率と選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

②-4:触媒商業生産課題検討 (2/2)

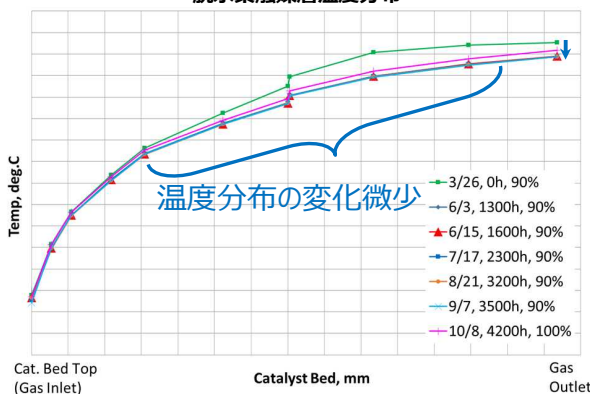
成果

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 触媒管の温度分布の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握（従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み）

試験結果

脱水素触媒層温度分布



反応温度の調整による転化率管理にて、触媒劣化を抑制しながら、目標値以上のMCH転化率を維持する事が出来た

試験結果

【反応温度管理】

- ・低ロード運転時は、90%ロード運転時の温度分布に合わせる。
- ・目標MCH転化率を目安に、反応温度を調整する。

・触媒層温度分布の大きな変化（触媒性能の変化）は見られていない。

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。  
 触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。

成果

運転開始以降、転化率と選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

成果

実施内容

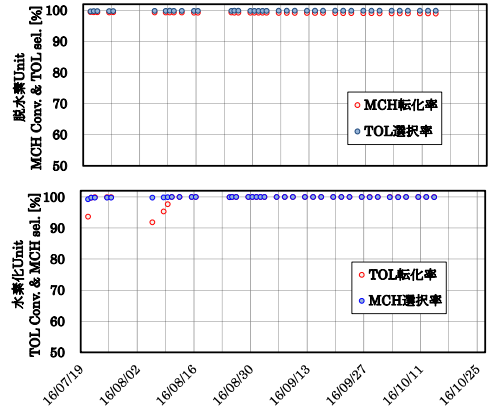
✓国内外のトルエン供給社より6種のサンプルを調達し、ラボ反応試験によるスクリーニング評価を実施  
 ✓試験結果及び供給能力を考慮した上で実証チェーンにて使用するトルエンを選定し、千代田化工建設子安デモプラントにて運転検証

評価結果

スクリーニング結果

供給元	起源	生産能力 (万t/年)	サンプル純度 (wt%)	スクリーニング結果		評価
				水素化	脱水素	
A社	COLO	< 5	99.99	○	○	2013年子安デモ実証済み、供給純度サンプルが極めて低い
B社	Reformate	< 5	91.1	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合
C社 (a工場)	Pygas	5 ~ 10	99.96	○	○	供給純度サンプルが低い
C社 (b工場)	Reformate	> 20	99.96	○	○	第一期検証・子安デモ機での実証に導入予定
D社 (海外)	Reformate & Pygas	> 20	99.98	X	X	サンプルリク方法に起因する特定物質の1つがにより不適合、再調達・再評価が必要
E社	Reformate	> 20	98.2	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合

千代田化工子安デモプラント検証運転結果



一連のケーススタディの主要な結果

- i. 反応試験結果及び供給能力の観点から、国内C社B製造所のトルエンを選定
- ii. 不適合サンプルの含有成分の詳細分析や検証試験を実施して不適合要因を定量的に検証。これまでの知見にこの結果を反映して商用トルエンの仕様を策定

成果

✓一連の検証にて、商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定することが出来、調達仕様を策定出来た。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

課題

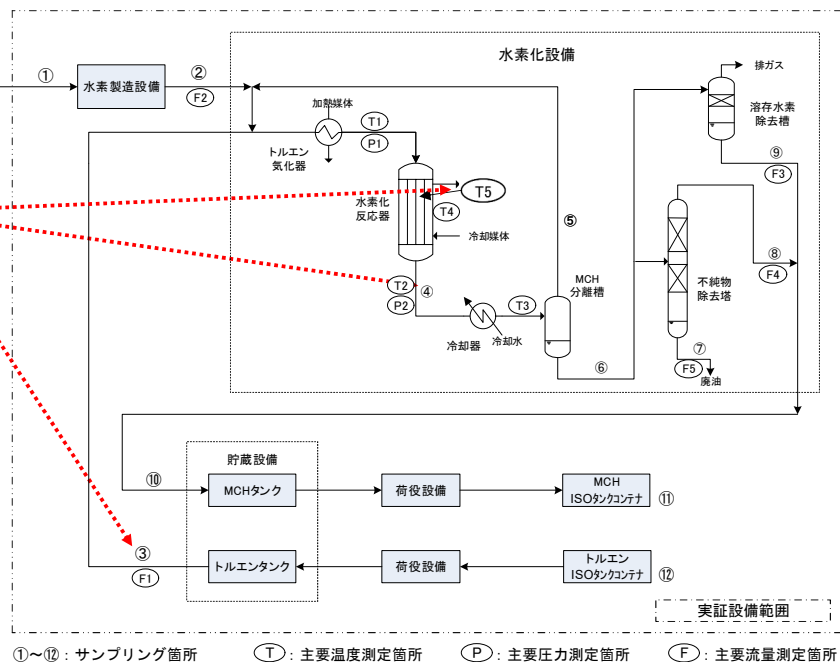
スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

実施内容

【水素化プラント】  
 水素化反応器入出の流体をサンプリング (水素化プラントサンプリング箇所③④) し組成 (トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度) を分析。触媒管の温度分布 (温度測定箇所T5)の経時変化を測定。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析、触媒管温度分布測定を実施。

上記により水素化/脱水素反応の転化率/選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であることを確認。



①~⑩: サンプリング箇所 (T): 主要温度測定箇所 (P): 主要圧力測定箇所 (F): 主要流量測定箇所

期待される成果

実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることを検証

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

課題

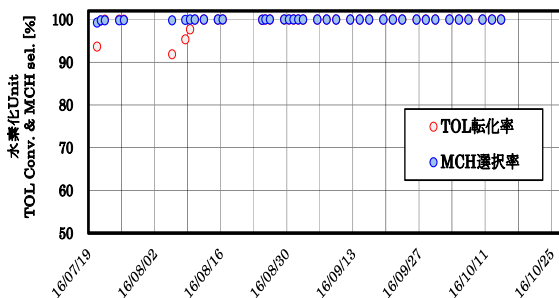
スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

試験結果判断基準:

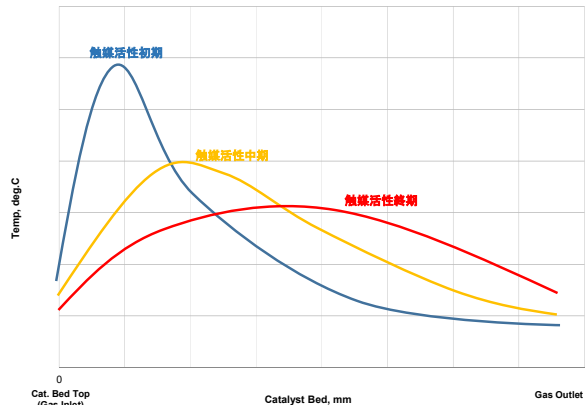
触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標: 商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内

比較対象例: デモプラント運転での転化率/選択率



比較対象例: 触媒管温度分布 (触媒劣化の指標) イメージ図  
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の反映

結果 良 : 現状のトルエン調達仕様を商業規模設備に適用  
否 : 原因検討の上、トルエン調達仕様の見直し、調達トルエン含有不純物除去の検討

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証 (1/2)

成果

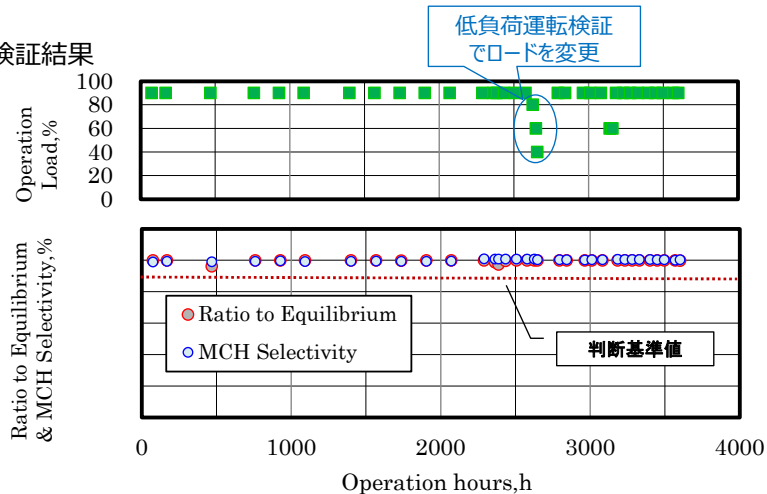
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、組成 (トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度) を分析。

試験結果

✓ 反応器性能の検証結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。  
✓ 触媒性能目標: 商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

✓ 運転開始以降、転化率、選択率が目標値以上を維持している。  
✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。



③-1:商用トルエン運転検証 (2/2)

成果

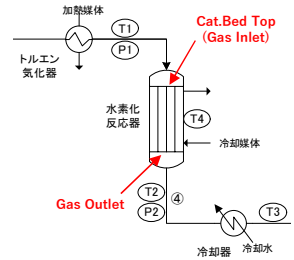
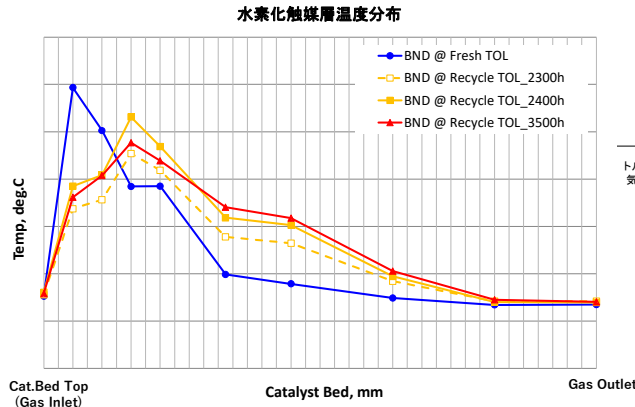
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

成果

- ✓ 運転初期から運転中期にかけて想定通り触媒層温度ピークが後半ヘシフトし、前頁に記載した通り所定の性能（転化率/選択率）の維持を確認。(2300hr⇒2400hrにかけての温度上昇は反応条件調整で反応量を変更したことによるもの。)
- ✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

39 / 56

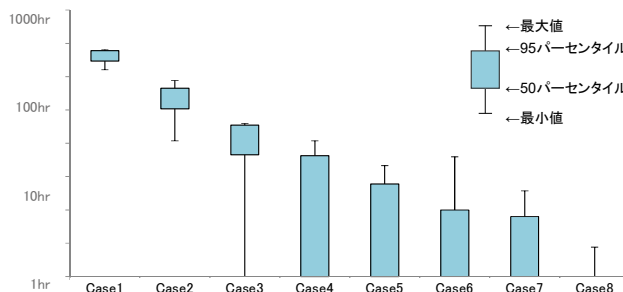
③-2:サプライチェーン検討

成果

実施内容

- ✓ 需要家への水素供給の安定性に影響する事象を分析
- ✓ 水素源から水素需要家までの水素サプライチェーン全体をモデル化、想定される様々な偶発事象の発生に対するチェーン全体としての安定性を検証すると共に、安定性を向上するための各種設備の規模や冗長度を検討

評価結果



- ✓ 水素化・脱水素設備の貯蔵能力と系内のトルエン量を一定の刻み幅で増減させた場合の、サプライチェーン起因の水素供給停止時間の発生確率分布を計算
- ✓ 左図の例では、Case3とCase4の間に変化点があることが見て取れ、上記変化点近傍が信頼性と設備コストのバランスが取れた設備構成と考えられる。

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
貯蔵能力	-4Δ	-3Δ	-2Δ	-1Δ	基準値	+1Δ	+2Δ	+3Δ
最大値	252.34	87.10	19.66	10.90	4.62	6.28	1.93	0.28
95パーセンタイル値	244.67	67.11	18.74	6.48	2.45	1.00	0.80	0.00
中央値	171.66	33.00	6.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最小値	126.83	10.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
平均値	179.27	35.68	7.13	1.21	0.35	0.27	0.11	0.01

成果

- ✓ 最適な水素サプライチェーンのシミュレーションが可能なモデルを開発し、設備構成が供給安定性を与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立

40 / 56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討

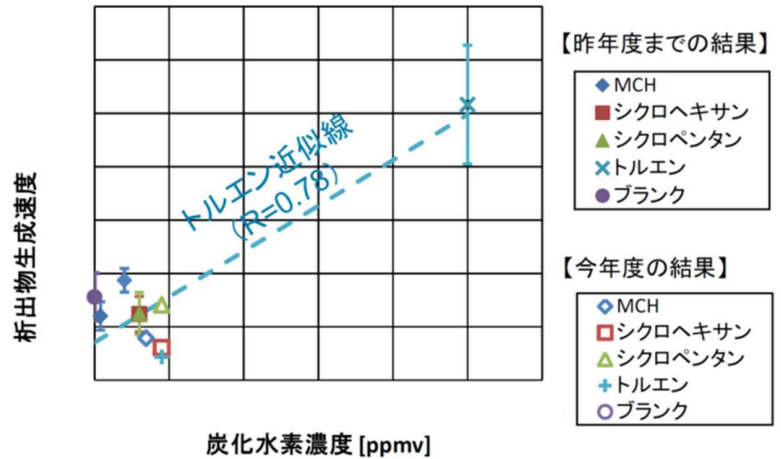
成果

実施内容

- ✓ 脱水素設備からの製品水素中に含まれる微量の炭化水素（トルエン・MCH）から高温の重合反応により生成されるガム状物質が、商業規模発電GTに及ぼす影響（燃焼器ノズルの閉塞）および混焼する天然ガス中のガム状物質になりうる原因物質や影響物質をラボ試験により把握する。

評価結果

- ✓ ガム状物質析出特性試験を終了。
- ✓ 天然ガスに、20vol%の水素を混合し、ベースガスとした。想定される炭化水素を微量添加し、燃料配管中の析出物生成速度を測定。
- ✓ 飽和炭化水素を低濃度にて比較すると、トルエンより析出物生成速度が速く、析出しやすい。
- ✓ トルエンベースの含有量制限値(試験委託先機関での従来研究結果に基づく)を使用して、MCH等の飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討

成果

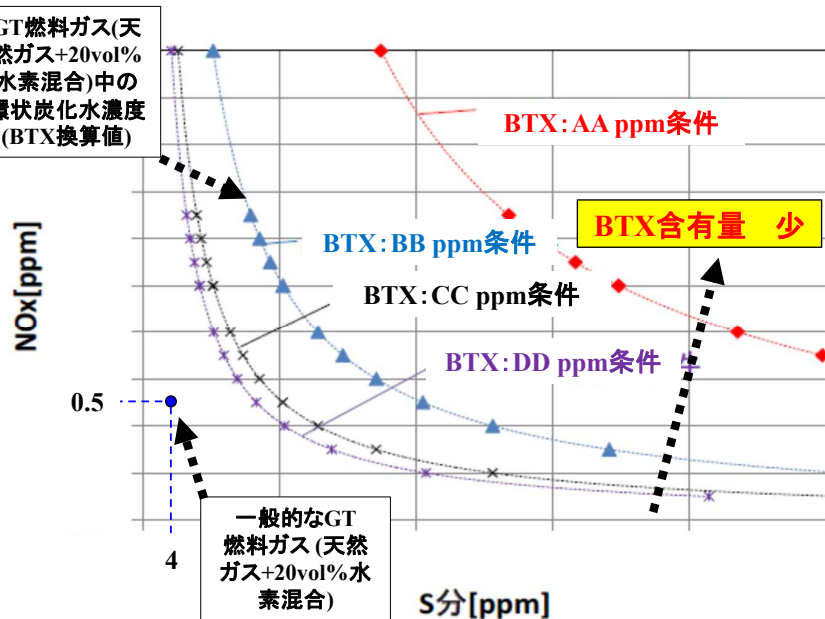
評価結果

右図はトルエンベースの含有量制限値

メチルシクロヘキサン等の飽和環状炭化水素とトルエンとのガム状物質生成速度を比較し、水素中に含まれる飽和環状炭化水素がトルエン何ppmに相当するかを解析

右図を使用して飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。水素20%混焼の場合は、図中の青三角ライン。

一般的な天然ガスとの混焼(Nox 0.5ppm、S分4ppm)であればガム状物質生成領域に入らない。



GT燃料ガス中のBTX（ベンゼン/トルエン/キシレン）含有量制限値（試験委託先機関での従来研究結果に基づく）

成果

- ✓ 飽和炭化水素の含有量管理値を策定した。
- ✓ 現状の脱水素工程にて、製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認した。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

成果

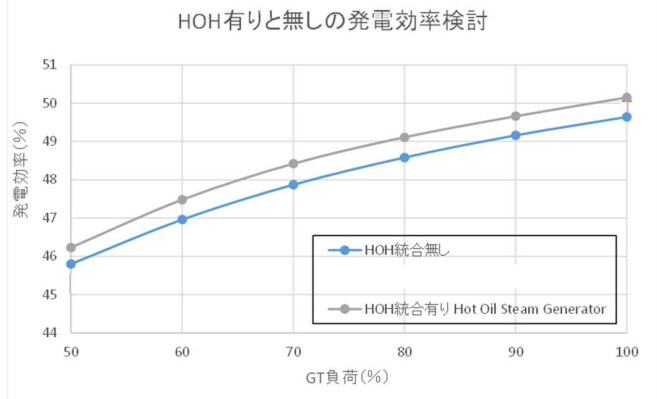
②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給する方法の可能性検討

実施内容

- ✓ GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) 発電所のHRSG (Heat Recovery Steam Generator、排ガスボイラー) にHOH (Hot Oil Heater) を設置し、熱媒により脱水素反応熱を供給する場合をシミュレーションを実施
- ✓ 検討条件は、①GTCCは450MWクラス予混合燃焼、②天然ガスへの水素混焼率を70 vol%とした。

評価結果

✓ HRSG熱利用についてはシミュレーション検討を終了し、HOHを設置した場合に、部分負荷時も含め発電効率が若干改善されるシステムが確認できた (右図参照)。



✓ ①GT起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステムは、設定が困難であり実用には、より多くの課題があることも確認された。(設備運転制御が複雑化することなど。)

成果

✓ 脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。合わせて、その実現にむけた課題の頭出しを行うことができた。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

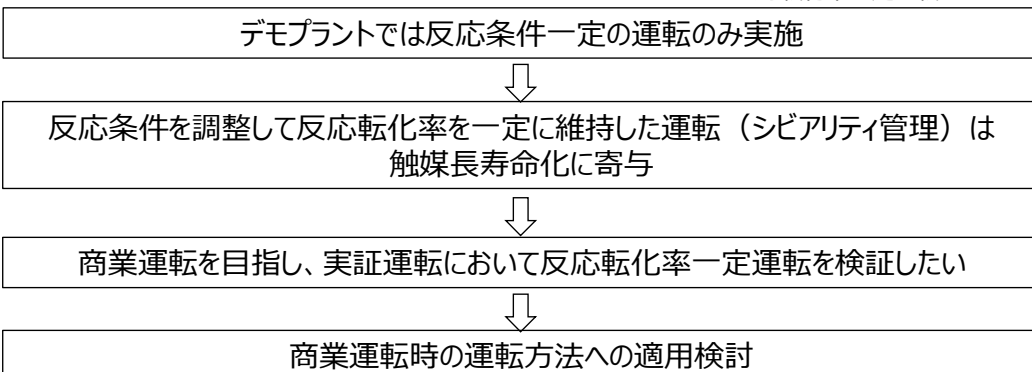
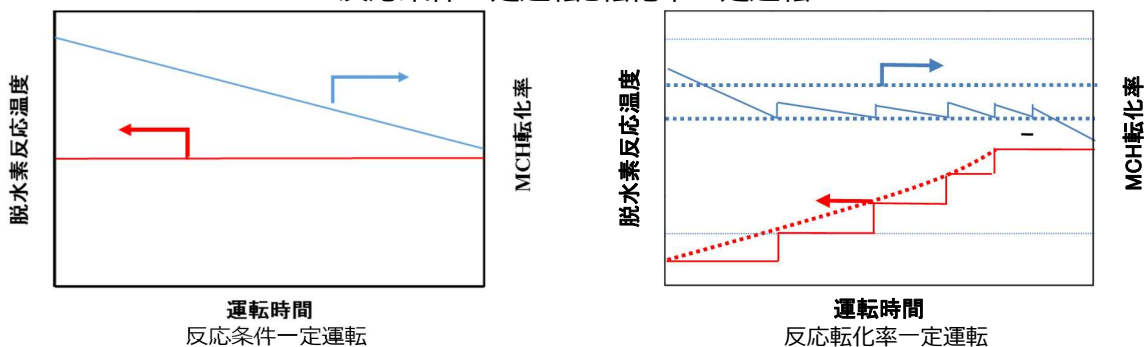
③-4: サプライチェーン効率化

今後の課題

課題

反応転化率を一定にした運転を可能にすることにより、触媒のシビアリティを下げ、触媒の長寿命化を図り、更に水素輸送量を経時的に一定に保つことでチェーン運用を効率化する。

反応条件一定運転と転化率一定運転



③-4: サプライチェーン効率化

成果

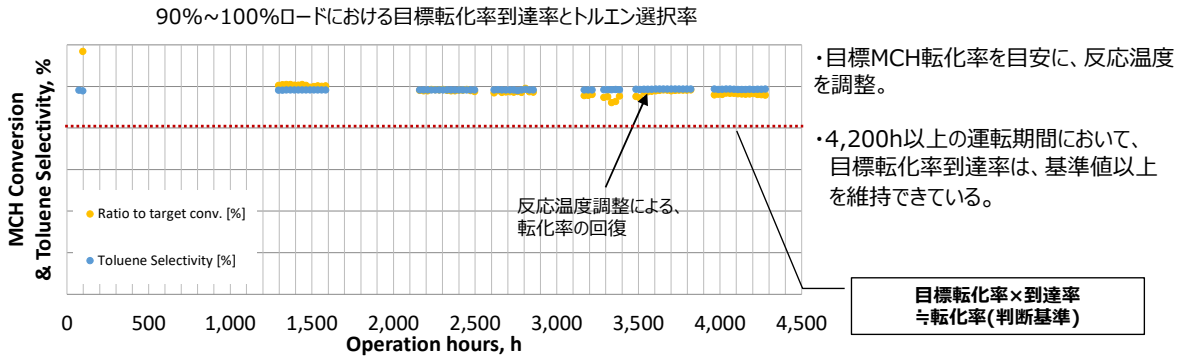
運転データ収集途中経過

実施内容

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

成果

✓ 反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

45 / 56

③-4: サプライチェーン効率化

成果

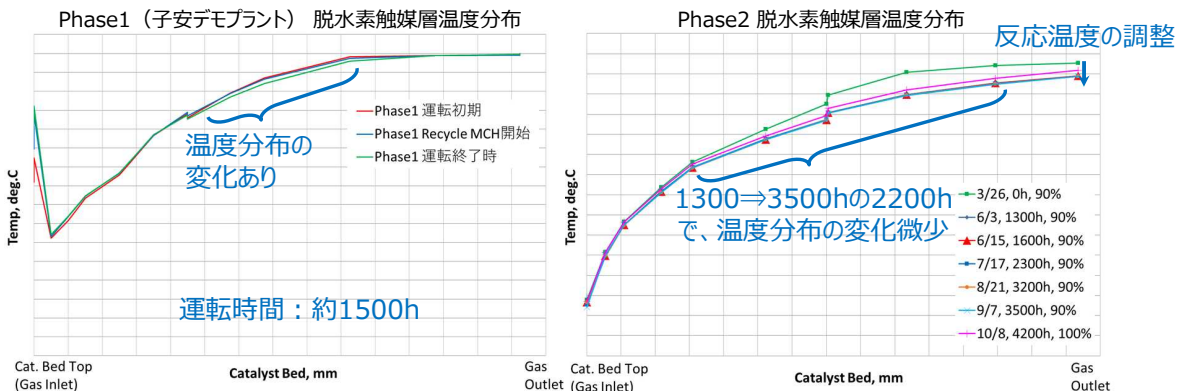
運転データ収集途中経過

実施内容

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

・反応温度の調整（シビアリティ管理）により、触媒層温度分布の変化（触媒性能の変化）を抑制している。  
 ・9月中旬に転化率が管理範囲以下になり、反応温度を高温側に調整（10/8の温度分布）。

成果

✓ 反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

46 / 56

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業チェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
① 水素化プラント	水素化反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標以内である事を確認。	-	○			
	不純物除去設備の仕様検討	①蒸留設計のパラメーターチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。				○
② 脱水素プラント	脱水素反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率の低下が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了しShell側構造を最適化する。	○			
	負荷追従性向上策	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。		○ 応答性		
	水素純度向上策	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	-		○ 水素純度 (FCV)		
	触媒商業生産課題	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能を検証し、目標の転化率以上であることを確認する。	○			

### 3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業チェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
③ サプライチェーン	商用トルエン運転検証	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、目標であるデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。	○			
	サプライチェーン検討	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	-			○	
	発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。	-		○ 水素純度 (発電)		
		②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	-			○	
反応器運転モードの最適化	実証運転にて、転化率抑制（転化率一定）の運転を継続中。	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。			○		

## ◆成果の普及

	2015年度～ 2017年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	9	26	21	6	62件
新聞・雑誌等への掲載	19	16	13	11	59件
展示会への出展	6	3	5	0	14件

※2020年10月現在

49 / 56

## 4. 実用化・事業化の見通しについて

## ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 実用化とは本実証プロジェクトの長期運転を通して、有機ケミカルハイドライド法を用いた水素の製造、国際輸送、貯蔵、発電燃料への利用を実施し、大規模化を前提としたエネルギー・サプライチェーンとしての運用技術を確立する事である。
- 事業化とは海外での未利用エネルギー由来の水素を、大規模製造・供給によるスケールメリット最大化、プラント設計の最適化並びに既設石油・石化製品の流通インフラを活用する事により供給コストの低減を実現し、水素が高効率発電を目的とする発電用燃料として本格導入され、水素市場の拡大に貢献する事をいう。また、水素の用途は、発電のみならず燃料電池自動車、産業利用およびエネルギー貯蔵など幅広い分野を対象とする。

50 / 56

#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

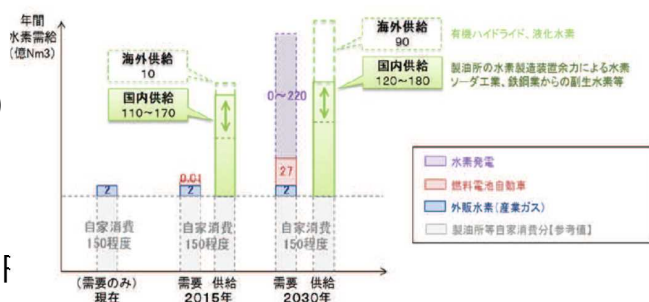
##### ◆成果の実用化・事業化の見通し

- 水素を社会に導入することの意義（市場のニーズ）は、「我が国の一次エネルギー供給構造を多様化させ、大幅な低炭素化を実現するポテンシャルを有する手段である。」（「水素基本戦略(2017/12)」3項）
- 水素の国内需要は、2030年までに新設・リプレイスされるLNG火力発電に50%の水素が混合されると、当該用途での水素需要が最大で年間220億Nm<sup>3</sup>まで増加するという試算がある。その場合、水素需要全体が年間約400億Nm<sup>3</sup>程度まで増加すると見込まれる（下記図表ご参照）。
- 売上の目標は、1GWクラスの水素専焼発電所に向けた水素サプライチェーンが構築され、年間30万トンの水素が消費されるケースとして、次のとおり。

2030年：  
30万トン × 30円/Nm<sup>3</sup>（33万円/トン）  
= 年間約1000億円

2050年：  
最大1000万トン × 20円/Nm<sup>3</sup>（22万円/トン） = 22,000億円（シェア100%の場合）

図表 水素需給ポテンシャル（試算の一例）



#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

##### ◆成果の実用化・事業化の見通し

有機ケミカルハイドライド法を活用した、MCHによる水素の輸送・供給には以下の優位性がある。

- 今回の実証プロジェクトを完遂する事で水素化・脱水素の大型化の設計と、国際間輸送・水素サプライチェーンの運用技術の基礎は確立される。
- 体積が気体水素の約1/500となること、並びに常温常圧で液体であることから取り扱いが容易で長距離・大規模輸送に適している。
- 水素の潜在的なリスクをガソリンの貯蔵輸送のレベル迄原理的に低減できる。本法ではガソリンや軽油に含まれる成分で常温・常圧の液体状態のMCHの分子内に水素を取り込んで貯蔵輸送を行う為、既存安全管理手法をそのまま展開できる（トルエン、MCH共にガソリンと同じ危険物 第4類第1石油類に分類される）。
- 既存の石油・石化製品のタンカー、タンクなどの貯蔵・流通インフラやノウハウを生かせる。また、それらを有効活用する事で新規投資コストを低減出来る。
- 長期貯蔵が可能。将来水素が発電燃料として使用される際、現在の石油備蓄の様に水素燃料の備蓄に適している。トルエンやMCHは長期間大容量を貯蔵しても化学的に変化することなく、長期貯蔵に対してエネルギーロスも伴わない。
- 水素キャリアであるトルエンはガソリン、工業溶剤に多く使用されている汎用品の為、大量調達も容易。

#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

##### ◆成果の実用化・事業化の見通し

実用化・事業化に対する課題と今後の方針は、下記のとおり。

(本NEDO実証事業の範囲を超えた課題)

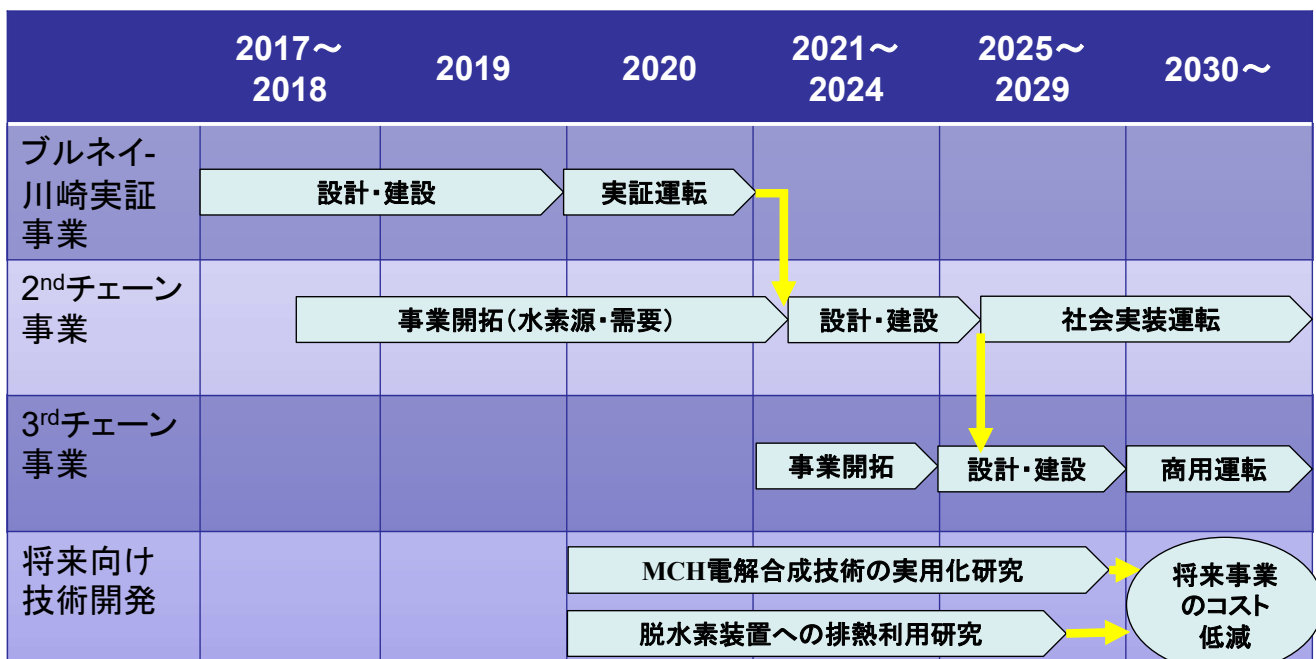
- 触媒の商業規模生産  
本格商用チェーン実施時には、効率的な製造のために、大規模装置の適用と、それに伴う技術仕様の研究を行う。(現行製造設備でも、期間を掛ければ製造可能。)
- 商用トルエンの適合性検証  
本格商用チェーン実施時には、選択肢拡大のために、海外品の探索、トルエン前処理などの対応策研究を行う。(現行調達先でも、期間を掛ければ調達可能。)
- GT発電向け水素品質  
水素専焼GT燃焼器が開発された段階で、新型燃焼器の仕様に適合する製品水素中の許容不純物量を研究する。
- 発電排熱を利用した脱水素熱供給の研究  
GT排熱やSOFC排熱を脱水素熱に利用することについて、社外関係団体と研究するよう計画する。
- MCH直接電解合成  
MCH直接電解合成の技術はラボサイズで検証されており、実用化(商用サイズ)に向けた研究を計画する。

53/56

#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

##### ◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

##### 2<sup>nd</sup>チェーン(社会実装プロジェクト)と事業化に向けたアクション工程



54/56



#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

##### ◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

##### 2<sup>nd</sup>チェーン（社会実装プロジェクト）と事業化に向けたアクション工程

- 本事業における実証運転により、有機ケミカルハイドライド法水素サプライチェーンの技術基盤は確立する。
- 「水素基本戦略(2017/12)」4.1項に従い、2030年頃に年間30万トン程度の商用規模水素サプライチェーンを目指す。
- 上記の2030年頃の大規模商用化チェーンの前に、2025年頃に国内水素需要に応じた有機ケミカルハイドライド法水素サプライチェーンの構築を目指す。（「水素基本戦略(2017/12)」4.2 (b)項）
- 2025年頃の水素チェーンにおいても、経済性向上のために、一定規模の水素需要を開拓する。対象となる需要は、発電所を中心に、複数の水素ステーションや産業利用の需要が集中した地域にて需要を取りまとめるケースも検討する。

55 / 56

#### 4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

##### ◆波及効果

有機ケミカルハイドライド法による、水素輸送・貯蔵は、海外からの大量水素輸送・貯蔵に適しており、水素輸入を実現することで、下記のような波及効果が期待できる。

- 海外のCO<sub>2</sub>フリー（もしくは低CO<sub>2</sub>）エネルギーを水素の形で輸入することにより、CO<sub>2</sub>排出係数の低減に寄与する。
- 水素は、再生可能エネルギーを含め多種多様なエネルギー源から製造し、貯蔵・運搬することができるため、日本のエネルギー調達・供給リスクの低減を期待できる。
- 既存の石油関連インフラを転用できるため、余剰となる石油インフラの有効活用が期待できる。

56 / 56

**「水素社会構築技術開発事業/大規模水素エネルギー利用技術開発/  
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」  
(水素混焼)**

**「水素社会構築技術開発事業/大規模水素エネルギー利用技術開発/  
低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備  
の研究開発」  
(水素専焼)**

**三菱パワー株式会社**

**三菱重工業株式会社**

**2020年12月4日**

1

事業概要

名称	低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発(水素混焼事業)	低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発(水素専焼事業)
期間	2015.8～2019.3	2020.7～
体制	三菱パワー、三菱重工業 大阪大学、京都大学、名古屋工業大学	三菱パワー、三菱重工業
成果・進捗	<p>水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした</p> <p>フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合率30%(&gt; 事業目標：20%)において安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した</p> <p>インターマウンテン電力向けに、JAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定</p>	<p>水素専焼(100%)燃焼器の開発を目的に、開発・検証を実施中</p> <p>逆火リスクの高い水素に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃焼方式(クラスタバーナ)が有効である</p> <p>モデルバーナ、シングルセグメント、燃焼器1缶のステップで開発。燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した</p> <p>大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備の系統構成を検討し、成立性目途を得た</p>

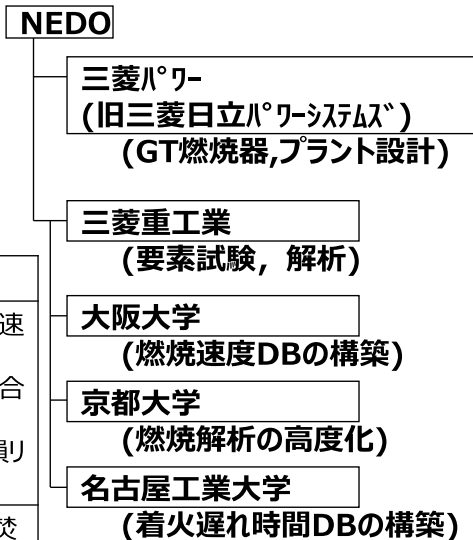
2

1. 期間

開始 : 2015年8月

終了 : 2019年3月

●実施体制および分担等



2. 最終目標

実施項目	最終目標
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 高圧条件において水素混合割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする。 A-2 実燃焼器において燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測する。 A-3 ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価する。
B. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において天然ガス焚GTと同等の性能を有する燃焼器を開発する。
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了する。

3. 成果・進捗概要

実施項目	成果内容	達成度 (2019.3末時点)
A	A-1 高圧条件下での燃焼速度計測を実施し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能であることを明らかにした。 B-2 燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、低空気量、高燃空比条件での逆火現象を解析により再現可能であることを確認した。 C-3 ガスタービン燃焼器内部と同等の条件で着火遅れ時間の計測を実施し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低い事を明らかにした。	○
B	渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。またメインフィルム構造、上流ノズル構造の改良を実施し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアウト耐性を有している事を確認した。	○
C	水素供給システムを含め、水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計を完了した。発電設備敷地内で水素混合させる場合においても混合器等の追加設備は不要であり、既存の発電設備に水素システムを追加することで対応できることを確認した。	○

◎ : 大幅達成、○ : 達成、△ : 一部達成、× : 未達

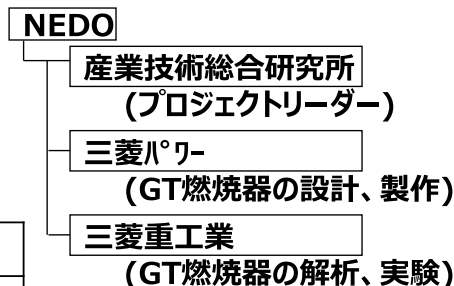
1. 期間

開始：2020年7月

終了（予定）：2022年2月

2. 最終目標

●実施体制および分担等



開発項目	最終目標(～2022年度)
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2020年)
A-2 シングルセグメントの設計技術	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2021年)
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナ計画図の完成(2021年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021年)
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020年) ・土工工事計画図・配管図の完成(2021年)
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2022年)

3.成果・進捗概要

開発項目	成果内容	達成度	今後の課題と解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△ (R3年2月達成予定)	水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステーキングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (R3年2月達成予定)	着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ①-1、2で構築した設計技術を適用
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中	△ (R3年2月達成予定)	水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる。設備をコンパクト化する為、詳細設計中
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022年度予定)	-	-	-

◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達

# 1. 事業の位置付け・必要性 事業の目的の妥当性／国が支援する妥当性

水素・燃料電池ロードマップにおいて水素消費量は2030年時点**30万t/年**、将来的には**500~1000万t/年**の水素発電利用が示されているが、国内の天然ガス焼き発電所の水素焼き混焼転換により2030年時点の水素消費量目標を、更に水素サプライチェーンの構築に応じて専焼に転換していくことで将来目標の達成が可能

**アクションプランのポイント③ <その他水素利用・グローバルな水素社会実現>** 赤字は新規目標等

水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り／グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

**目指すべきターゲット** ターゲット達成に向けた取組

- 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立
- 既設火力発電での水素焼発電の導入条件明確化
- 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%)
- 脱炭素燃焼率、事業性等に関するFS調査の実施
- 高効率な燃焼器等の開発

**産業**

- 将来的なCO2フリー水素の活用
- 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討
- 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施
- カーボンリサイクル技術の実用化に向けた検討

**【水素基本戦略における記載(抄)】**

- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOxの低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに **2030年頃の商用化を実現し、その段階で17円/kWhのコストを目指す**。そのために必要となる水素調達量として、**年間30万t程度を目安とする(発電容量で1GW程度に相当)**。更に、将来的には環境価値も含め、既存のLNG火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間500万~1,000万t程度を目安とする(発電容量で15~30GW程度に相当)**。
- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にすることが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけるといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。



	水素率 (vol%)	ton/h	ton/年	ton/年
水素消費量	20%	1.7	12,000	<b>370,000</b> ≒2030年時点目標
	100%	27.2	191,000	<b>5,900,000</b> ≒将来目標

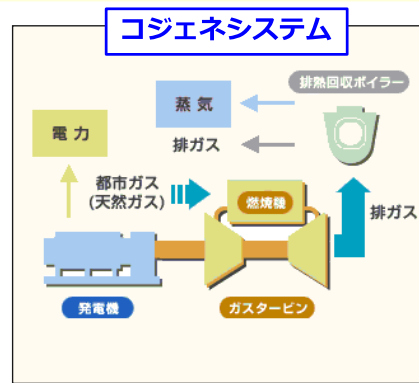
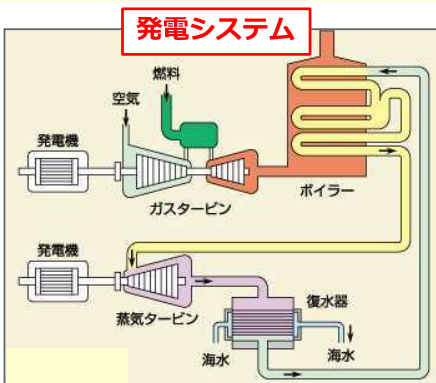
×31台\*  
\*MHPS 国内納入GTCC (G/J/F型, 効率60%級) 31台試算

出典：経済産業省、水素・燃料電池ロードマップ、2019年3月

# 1. 事業の位置付け・必要性 事業の目的の妥当性／国が支援する妥当性

## ①. 高効率・大量利用 (需要喚起)

- 大型GTCCは水素を効率よく発電利用することが可能
- 大容量の需要を喚起することで、インフラ構築に貢献



## ②. 低純度水素への適合

- ガスタービンは燃料電池車と比して、低純度な水素 (不純物) への適合性が高く燃料コストの低減に貢献することが可能

	当社GT燃料標準規格	水素燃料規格(ISO-14687-2より)
総HC	上限なし	2ppm
二酸化炭素	4%(40,000ppm)	2ppm
硫黄化合物	0.5%(5,000ppm)	0.004ppm
ホルムアルデヒド	規定なし ※	0.01ppm
ギ酸	規定なし ※	0.2ppm
アンモニア	規定なし ※ ※規定ないが燃焼する成分である為、運用可能	0.1ppm



## 2. 研究開発マネジメントについて 研究開発の進捗管理および知的財産権の戦略(混焼)

### ◆研究開発の進捗管理

	2015年度		2016年度		2017年度		2018年度	
	完了数	設定件数	完了数	設定件数	完了数	設定件数	完了見込数	設定件数
年度課題数	8	8	7	8	7	7	6	5
累計課題数	8	8	15	16	22	23	28	28
完了率(年度)(%)	100%		88%		100%		120%	
完了率(累計)(%)	100%		94%		96%		100%	

### ◆知的財産権の戦略

	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
①	2016年3月30日	特願2016-068018	ガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
②	2016年3月30日	特願2016-069384	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
③	2016年3月30日	特願2016-067125	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
④	2017年4月28日	特願2017-090792	燃焼器ノズル、燃焼器およびガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社
⑤	2017年10月27日	特願2017-208504	ガスタービン燃焼器予混合ノズル	三菱日立パワーシステムズ株式会社

9

## 2. 研究開発マネジメントについて 研究開発の進捗管理および知的財産権の戦略(専焼)

### ◆研究開発の進捗管理

	2020年度(10月時点)		2021年度		2022年度	
	完了数	設定件数	完了数	設定件数	完了数	設定件数
年度課題数	3	7	-	6	-	2
累計課題数	3	7	-	13	-	15
完了率(年度)(%)	43%		-		-	
完了率(累計)(%)	43%		-		-	

### ◆知的財産権の戦略

	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
①	2020年7月10日	PCT/JP2020/027016	バーナー集合体、ガスタービン燃焼器及びガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社

※今年度は別途、3件を出願予定。

10

## 2. 研究開発マネジメントについて スケジュール



11

## 3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素混焼)

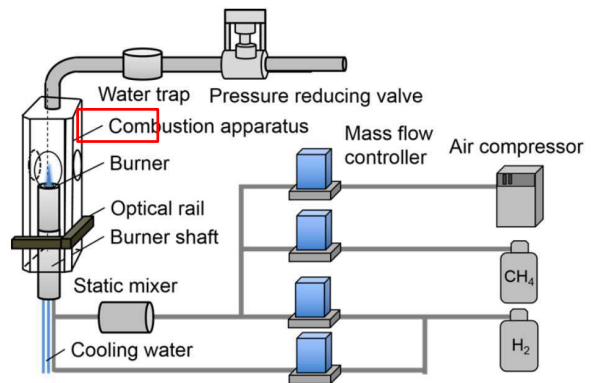
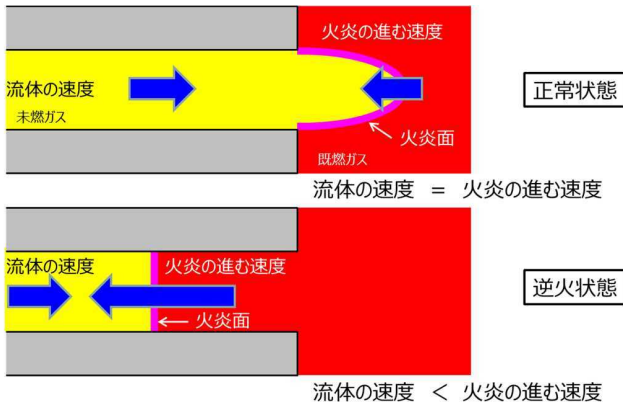
開発項目	目標	成果	達成度	
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築(大阪大学)	高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化(京都大学)	実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築(名古屋工業大学)	高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認(完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において、最新鋭の天然ガス焚ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合30%条件にて、安定燃焼が可能であることを実圧燃焼試験で確認(完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いバースアウト耐性を有していることを確認(完了)	○	
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	・水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了)	○	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

12

A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

- 水素は天然ガス(メタンが主成分)と比較して燃焼速度が高い為、逆火の発生リスクが高くなる。
- 一方で、ガスタービンのような高圧条件では、水素・天然ガス混焼に関するデータは公表されていない。
- 2017年度に製作した試験装置を用いて、高圧条件での燃焼速度計測を実施した。**



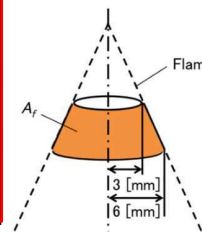
図：試験装置概要

流体の速度 < 火炎の進む速度(燃焼速度)では火炎が流体中を遡上する ⇒逆火(フラッシュバック)現象の発生

図：逆火発生メカニズム



図：バーナ



$$S_T = \frac{V_u}{A_f}$$

$V_u$  : 体積流量  
 $A_f$  : 火炎面積

A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

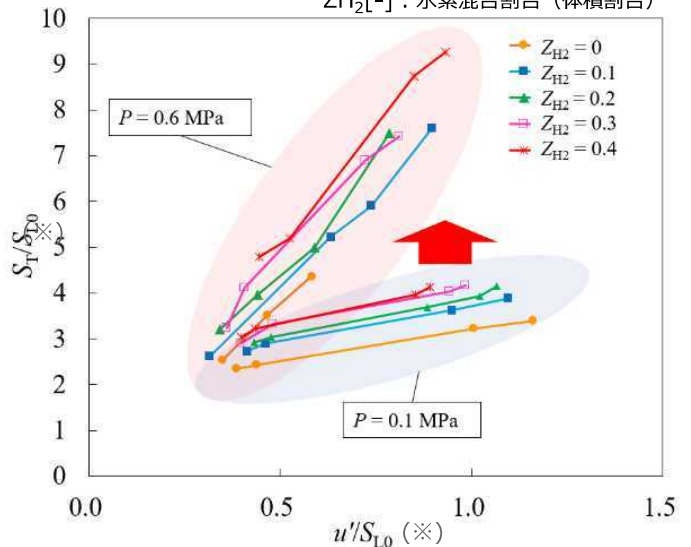
- 流れの速度変動( $u'$ )が大きくなると、乱流燃焼速度が増加(火炎表面の皺状構造が細分化)
- 乱流燃焼速度と速度変動成分をともに層流燃焼速度で正規化すると、水素混合割合の違いにかかわらず、同じ圧力条件では概ね同様の傾向が見れる。

表：火炎形状(瞬時画像)の比較  
 $Z_{H_2} = 0.2$ , 当量比=1.0の結果

速度変動：小	速度変動：大

$S_T$  : 乱流燃焼速度,  $S_{L0}$  : 層流燃焼速度,  $u'$  : 速度変動

$Z_{H_2}[-]$  : 水素混合割合 (体積割合)



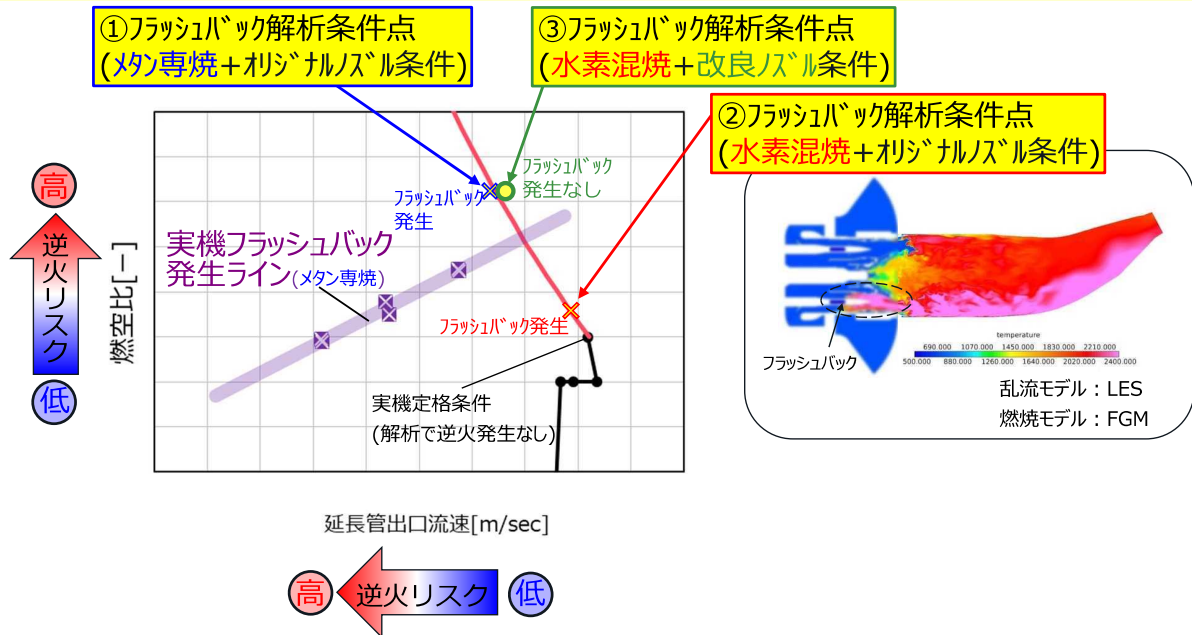
図：計測結果(層流燃焼速度による正規化)

※層流燃焼速度 $S_{L0}$ はGRI3.0を適用した計算結果



## A-2 数値解析の高度化(京都大学)

- 「水素混焼条件は、メタン専焼条件よりも逆火し易い」という水素の特性を解析でも再現できた(①→②)。
- 「改良ノズルによる逆火耐性向上」を確認した(②→③)。

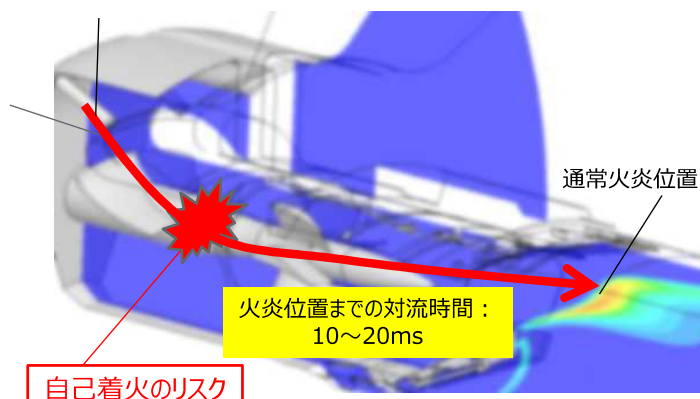


## A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

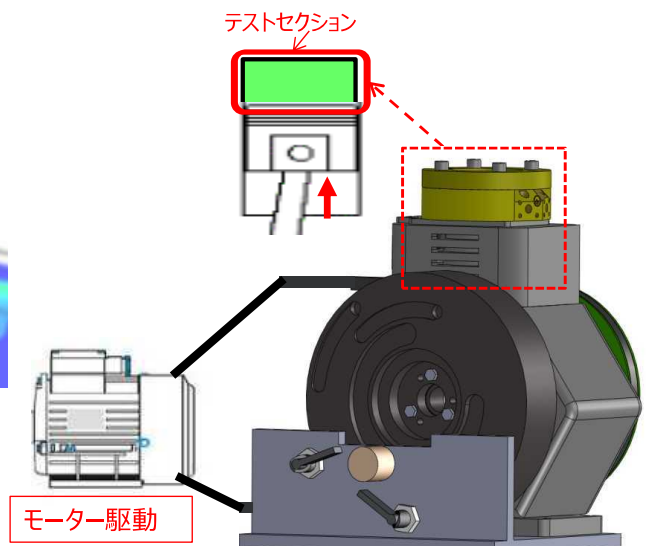
- 水素は天然ガスに比べて着火遅れ時間が短いことが知られており、自己着火のリスクが増加する。
- 2017年度に製作した急速圧縮装置の適用により、実際のガスタービン燃焼器内部と同等の圧力条件において、着火遅れ時間の計測が可能となった。

### ■自己着火のリスク

上流予混合燃料

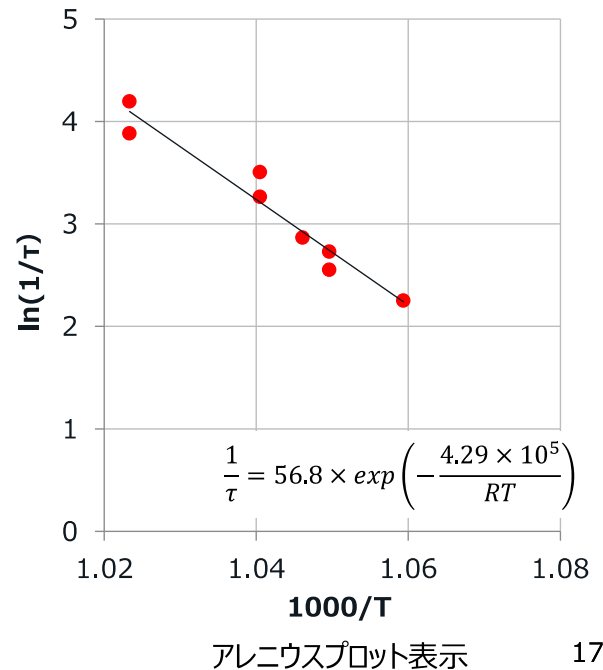
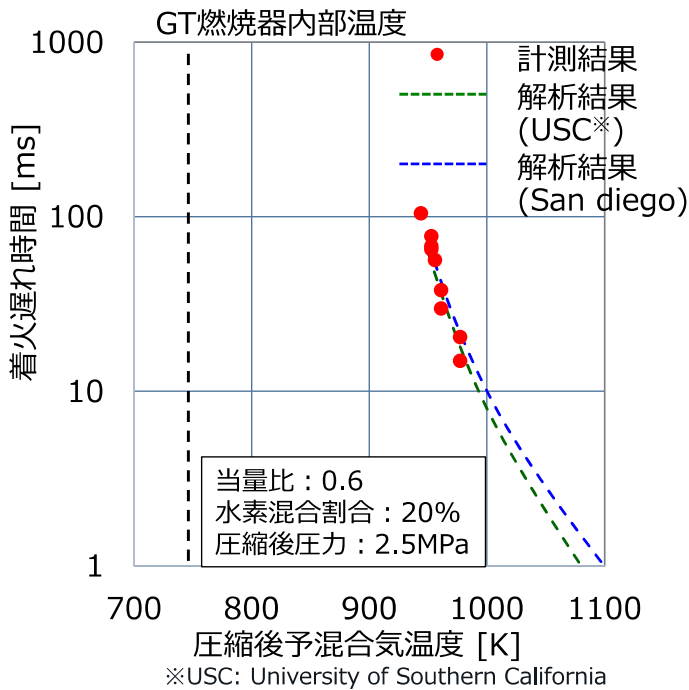


モータリング機関をモータ駆動に改造して、高圧の急速圧縮装置を製作。燃焼室内圧は最大で2MPa以上を達成する事が可能。



### A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

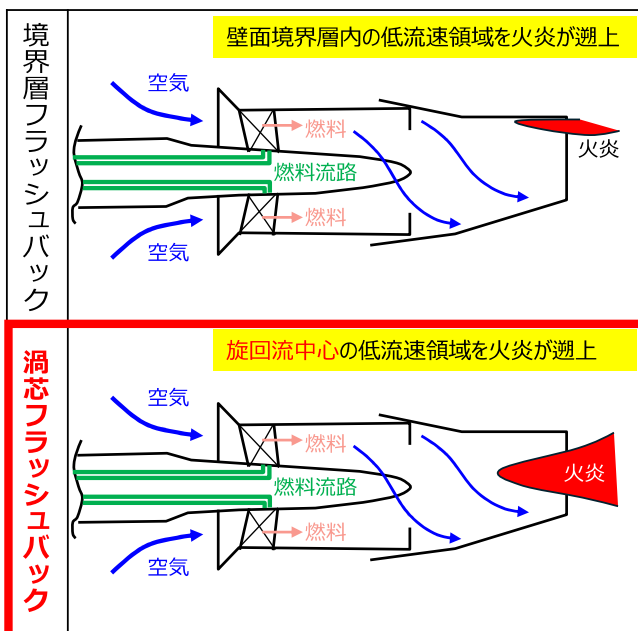
- ガスタービン燃焼器内部と同等の条件（圧力2.5MPa、当量比0.6、温度750K）の条件において、水素混合割合を20%とした場合、着火遅れ時間は数百～数千msecと推定される。
- これは燃焼器内部の滞留時間(10～20ms)に対して十分に長い時間である為、自己着火発生によるトラブルを生じる可能性は殆ど無いと考えられる。



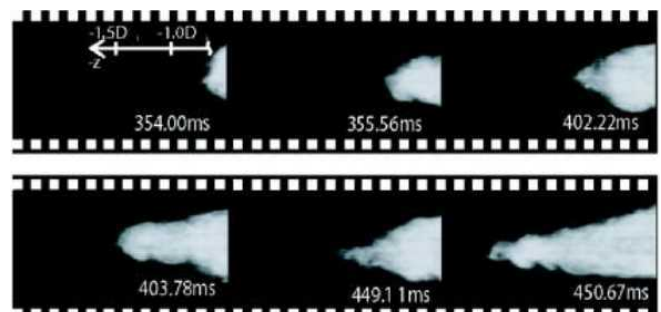
### B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

- 旋回流(燃料混合に利用)を伴う燃焼における、逆火発生メカニズムについて文献および自社試験データにより調査・検討を実施。
- 旋回中心を火炎が遡上する“渦芯フラッシュバック”の発生が最も高リスクである事を確認した。

フラッシュバックの分類



モデルバーナによる渦芯フラッシュバックの様子

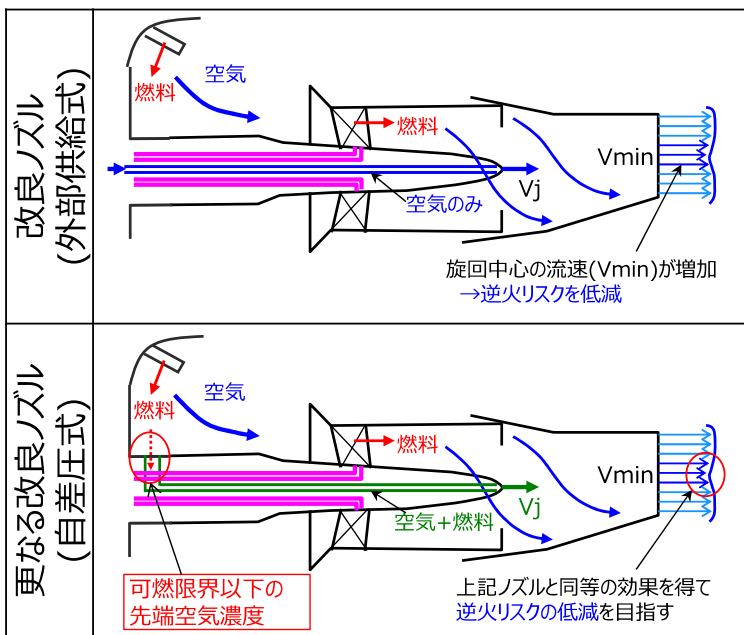


参考文献

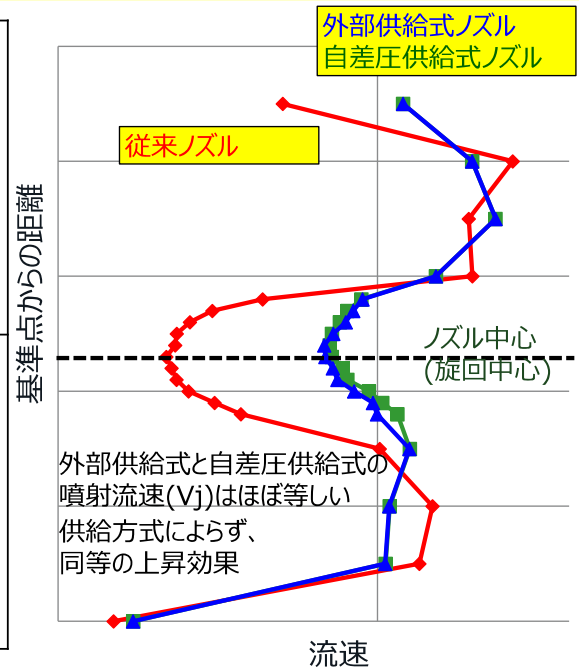
Analysis of Combustion Induced Vortex Breakdown Driven Flame Flashback in a Premix Burner With Cylindrical Mixing Zone  
F. Kiesewetter, M. Konle and T. Sattelmayer  
J. Eng. Gas Turbines Power 129(4) (Apr 03, 2007)

## B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

- 噴射空気供給システムを削除することで、燃焼器ノズル改造だけで適用可能なノズル構造を検討した。
- 本構造を採用する事により、大幅なコストの削減が可能。
- 気流試験により、自差圧構造に変更しても旋回中心の流速上昇に十分な効果があることが確認された。



図：2017年度のノズル改良内容



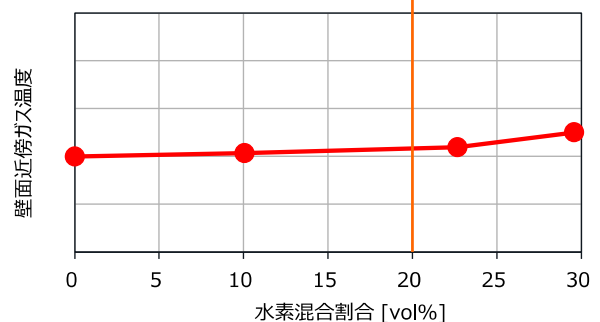
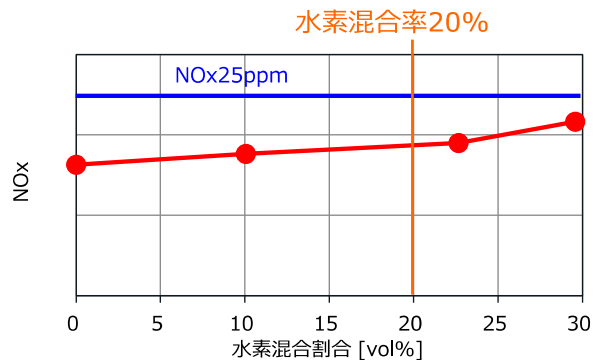
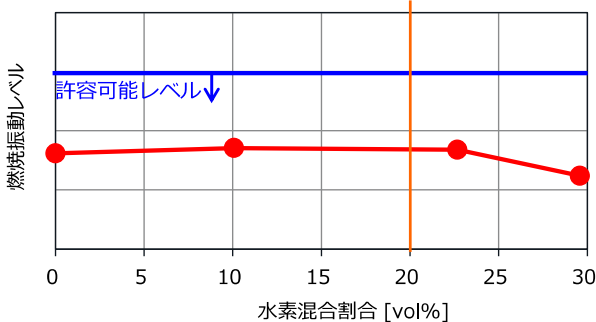
図：旋回流中心近傍の流速分布

## B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

- 実圧燃焼試験により、自差圧方式の渦芯逆火防止ノズルに関する燃焼特性を検証した。
- 水素混合割合30%条件において、フラッシュバック発生の兆候無く、安定運用が可能な事を確認※した。
- NOx、燃焼振動は共に運用が可能な範囲にあることが確認した。 ※T1T1600℃運転



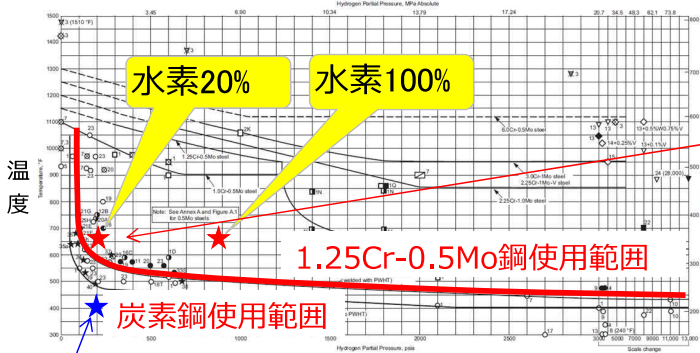
水素混合率20%



3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素混焼)

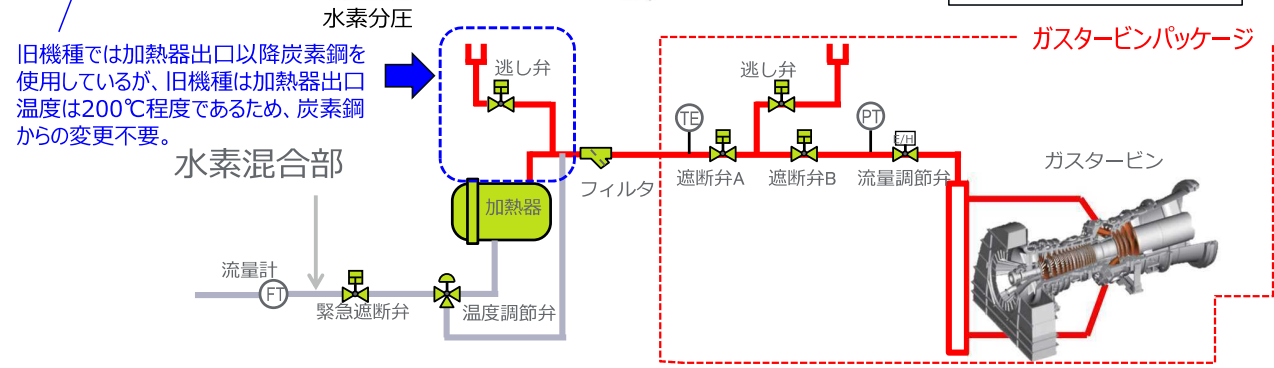
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 ~水素混焼燃料系統の材質検討~

- API RP 941 8th Edition(2016)に従うと、1.25Cr-0.5Mo鋼以上もしくはSUSを選定する必要あり。
- ガスタービンパッケージ内は標準設計でSUS材を使用しているため、標準設計からの変更なし。
- ガスタービンパッケージ外は最新機種では高温部でSUS材を使用しているため標準設計からの変更なし。



API RP 941 8th Edition(2016)ネルソンカーブ  
最新機種は過熱器出口温度は300℃程度

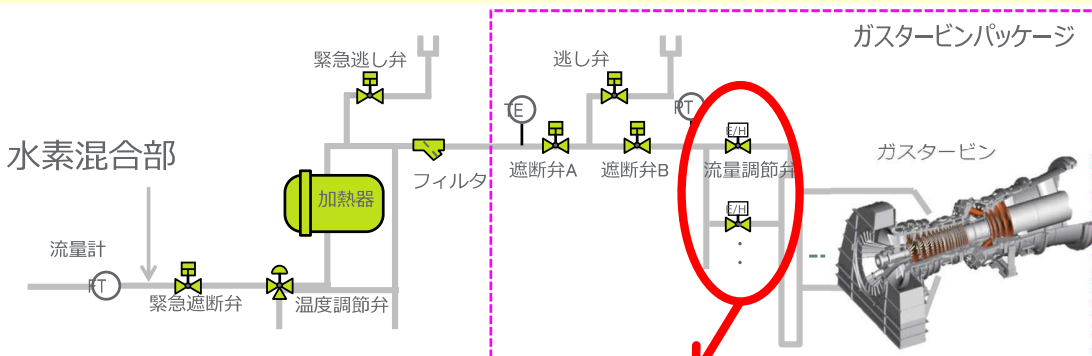
炭素鋼範囲 : —  
SUS範囲 : —



3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素混焼)

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 ~燃料流量調節弁~

- 既存の設備で水素20%混合ガスを投入した場合でも各設備の容量の拡張をせずに運用可能。



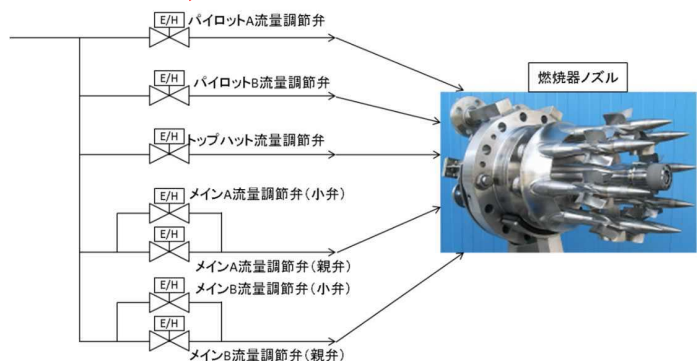
弁名称	定格容量 Cg値	水素20%混合必要Cg値	流用可否
パイロットA流量調節弁	680	510	○
パイロットB流量調節弁	680	280	○
トップハット流量調節弁	2500	2280	○
メインA流量調節弁(親弁)	2500	1610 (親+子)	○
メインA流量調節弁(小弁)	680		
メインB流量調節弁(親弁)	2500	2740 (親+子)	○
メインB流量調節弁(子弁)	680		

Cg値：弁容量

定格容量に対して余裕あり



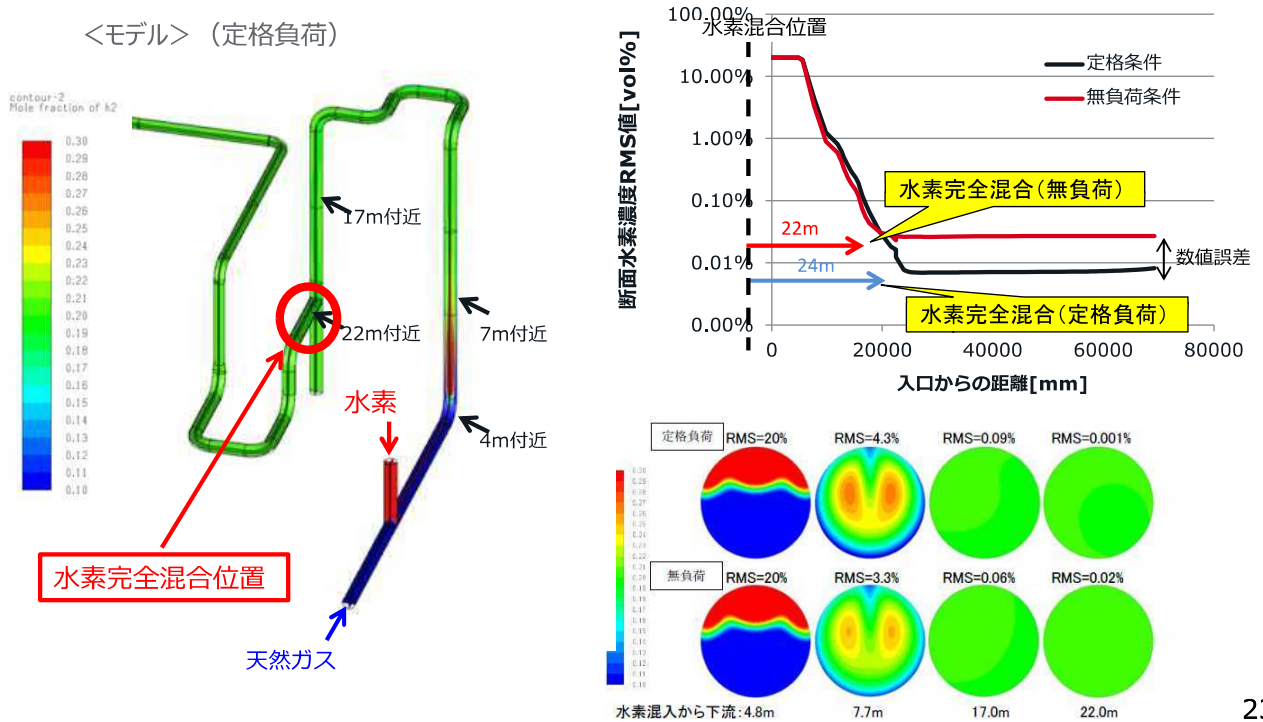
設備変更不要



### C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

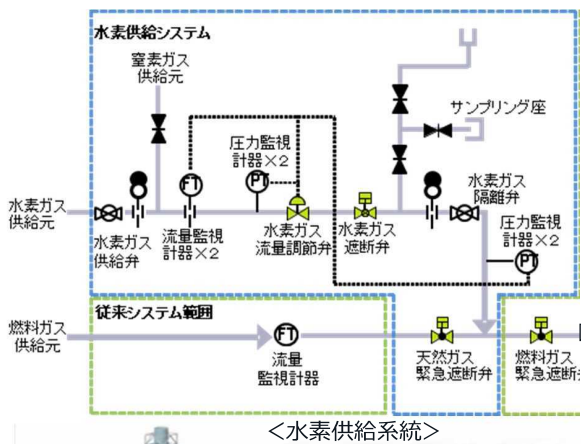
～天然ガス・水素の混合配管～

- 混合器を設置しない場合に配管の曲りのみで天然ガスと水素が混合するかCFDを実施し、水素混合部から24m下流で完全混合となることを確認できた。
- 通常Unitでは24m以上確保されており、問題なし(万一確保できない場合は混合器を設置)。



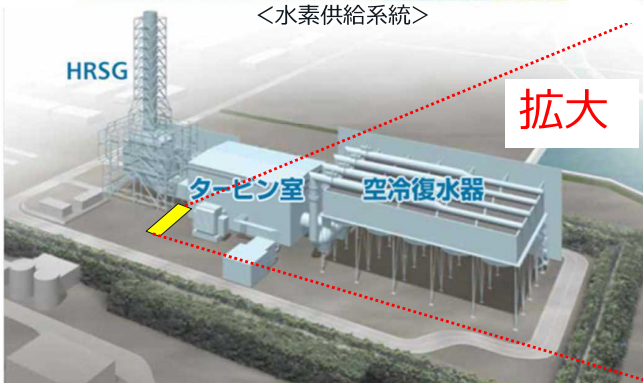
### C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～水素混焼プラント設計～



<まとめ>

- 水素供給システムを含め、水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計を完了した。
  - 発電設備敷地内で水素混合させる場合においても混合器等の追加設備は不要であることを確認した。
  - 水素濃度20%においては既存の発電設備に水素システムを追加することで対応できることを確認した。
  - 燃料ガス管についてはガスタービンパッケージ内はSUSを使用しているため、標準設計を採用できることを確認した。
- ガスタービンへ
- 弊社実証設備へ水素システムを付加するシミュレーションを実施している。



◆成果の普及



<https://www.mhps.com/jp/news/20180119.html>

## 大型高効率ガスタービンで水素30%混焼試験に成功 発電時のCO<sub>2</sub>排出削減に貢献

- ◆ 従来の天然ガス火力発電所に比べてCO<sub>2</sub>排出量を10%低減
- ◆ NEDO助成事業により開発した燃焼器などで安定的な燃焼およびNOx低減を実現

2018年1月19日発行 第190号

三菱日立パワーシステムズ（MHPS）は、発電用大型ガスタービンの開発において30%の水素混焼試験（注1）に成功しました。水素燃焼用に新たに開発した燃焼器（バーナー）などにより、天然ガスに水素を混ぜた場合でも安定的に燃焼できることを確認したもので、水素30%混焼により従来の天然ガス火力発電と比べて発電時のCO<sub>2</sub>排出量を10%低減することが可能となります。

◆成果の普及

- 水素閣僚会議(2019/9月)、COP25(2019/12月)など主要な国際会議で成果をアピール
- 事業終了後の2019年度以降も、成果の普及を継続

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	0	0	1	3	0	0	4
研究発表・講演	0	1	3	10	9	5	28
雑誌・図書等への掲載	0	0	6	1	3	0	10
展示会へ出展	1	0	0	0	4	0	5
総計	1	1	10	14	16	5	47

※2020年10月末現在

水素閣僚会議  
COP25

3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素専焼)

開発項目	成果内容	達成度	今後の課題と解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2 シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△ (R3年2月達成予定)	水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (R3年2月達成予定)	着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ①-1、2で構築した設計技術を適用
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中	△ (R3年2月達成予定)	水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる。設備をコンパクト化する為、詳細設計中
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022年度予定)	-	-	-

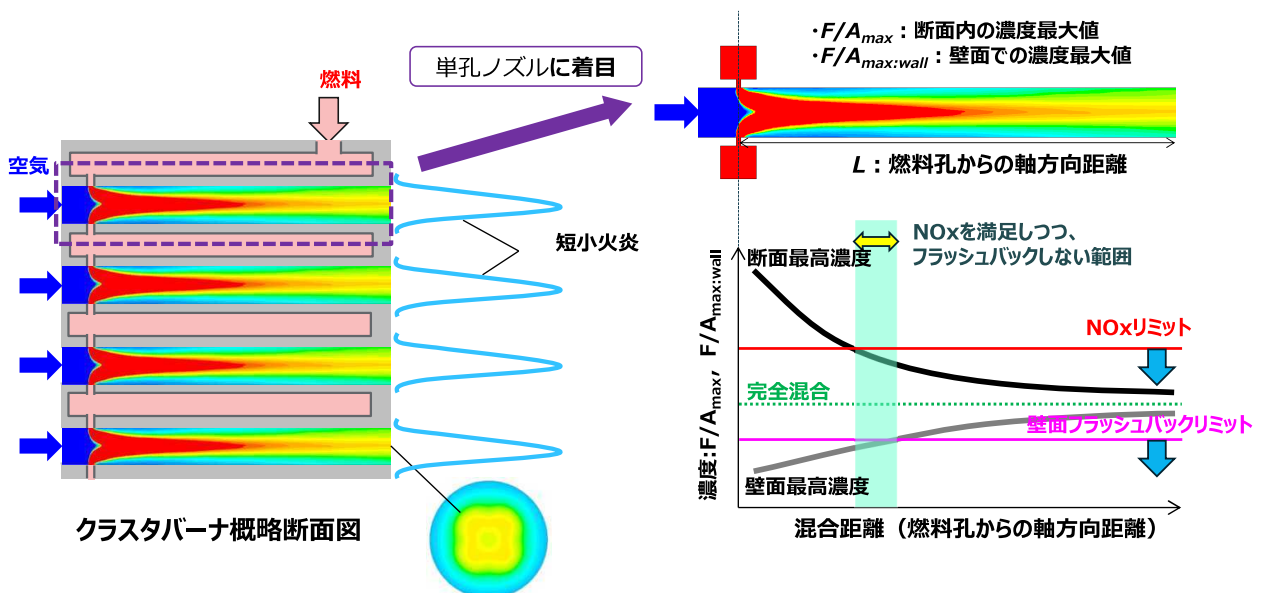
◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達

3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素専焼)

A-1 モデルバーナの設計技術 (クラスタバーナコンセプト)

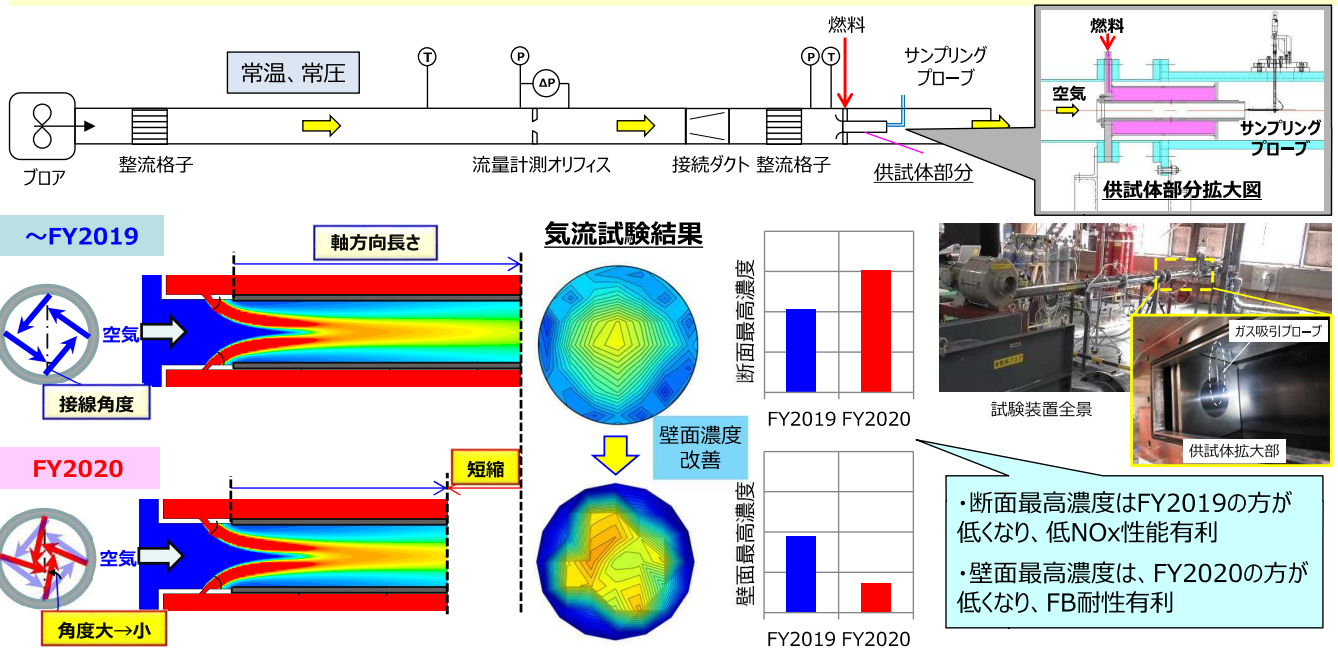
●クラスタバーナコンセプト

- ・低NOx性能と逆火(フラッシュバック/FB)耐性の両立が必要。水素燃料濃度分布に対し次の指標で評価  
低NOx性能・・・断面内濃度の最大値  
壁面FB耐性・・・壁面濃度の最大値



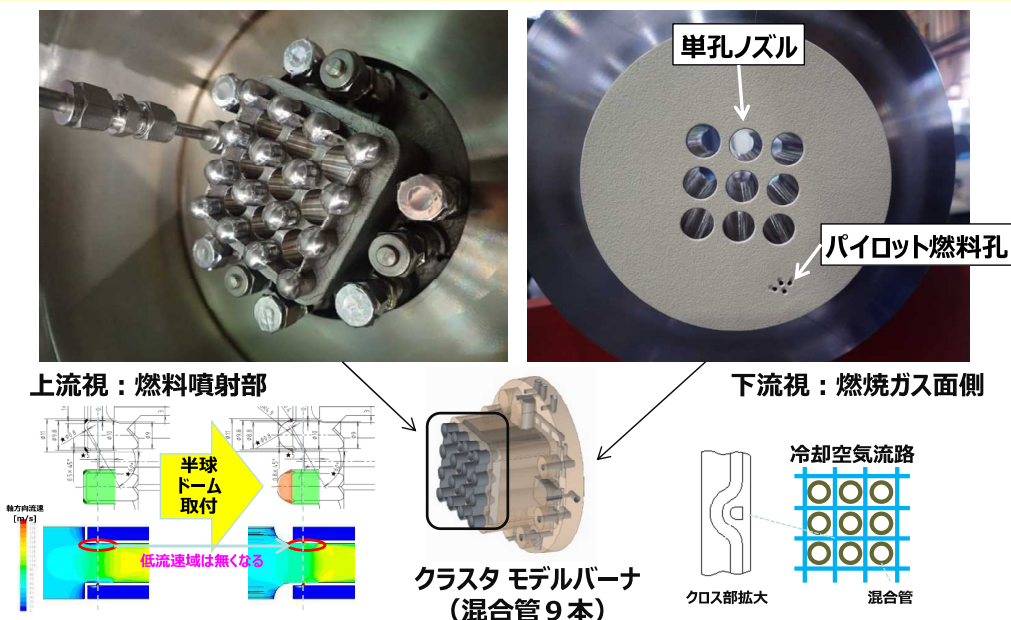
A-1 モデルバーナの設計技術 (数値解析、単孔ノズル気流試験)

- 目標：水素専焼の逆火耐性への影響評価、燃料濃度分布が許容範囲にあることの検証
- 成果：気流試験により、壁面濃度の低減による逆火耐性の改善を確認
- 成果の意義：今後の実機燃焼器適用に向けたノズル設計のベースとなる
- 今後の課題：設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良



A-1 モデルバーナの設計技術 (縮小モデルバーナ)

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下、パーミアウト耐性の確認
- 縮小モデルバーナ
  - ・単孔ノズル9本配置の構成、着火・火炎安定化のためパイロット燃料孔を設置
  - ・バーナ上流には、混合管への流入空気の整流化のための半球ドームを設置
  - ・燃焼ガス側のバーナ面内部には冷却のためMTフィンを設置





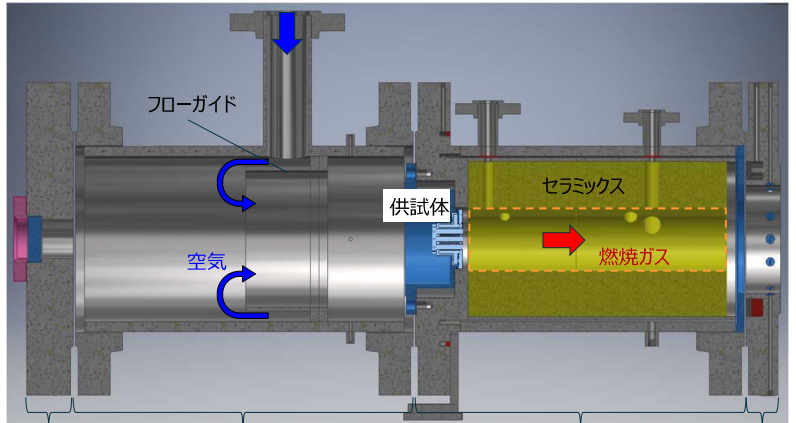
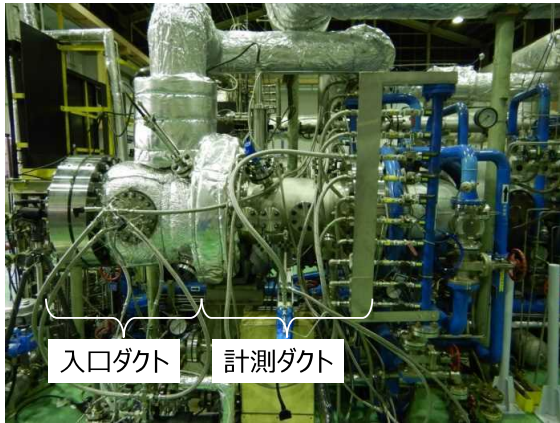
**A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験装置)**

● 装置概略概要

- ・空気圧力：2.5MPaG
- ・空気温度：485℃
- ・燃焼温度：1800℃

● 試験計測項目

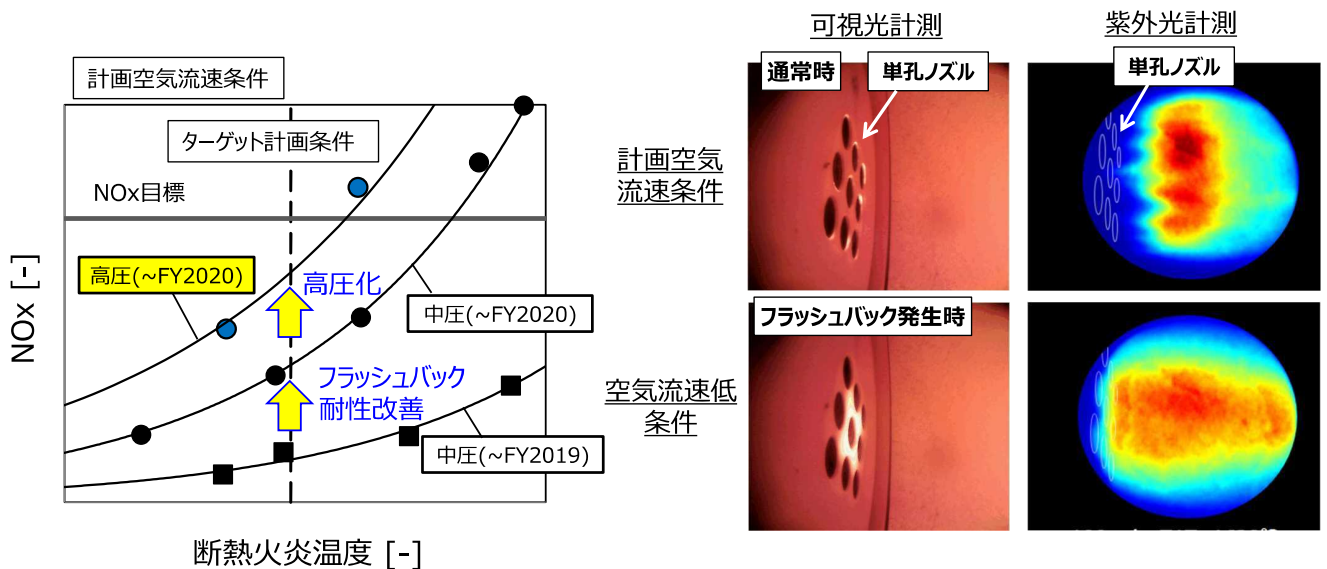
- ・燃焼ガス温度：着火、失火確認
- ・排ガス性状：NOx(NO,NO2)、CO、CO2、O2
- ・可視化：火炎形状
- ・内圧変動：燃焼振動の発生有無の確認



上流蓋フランジ 入口ダクト 計測ダクト スプレーフランジ

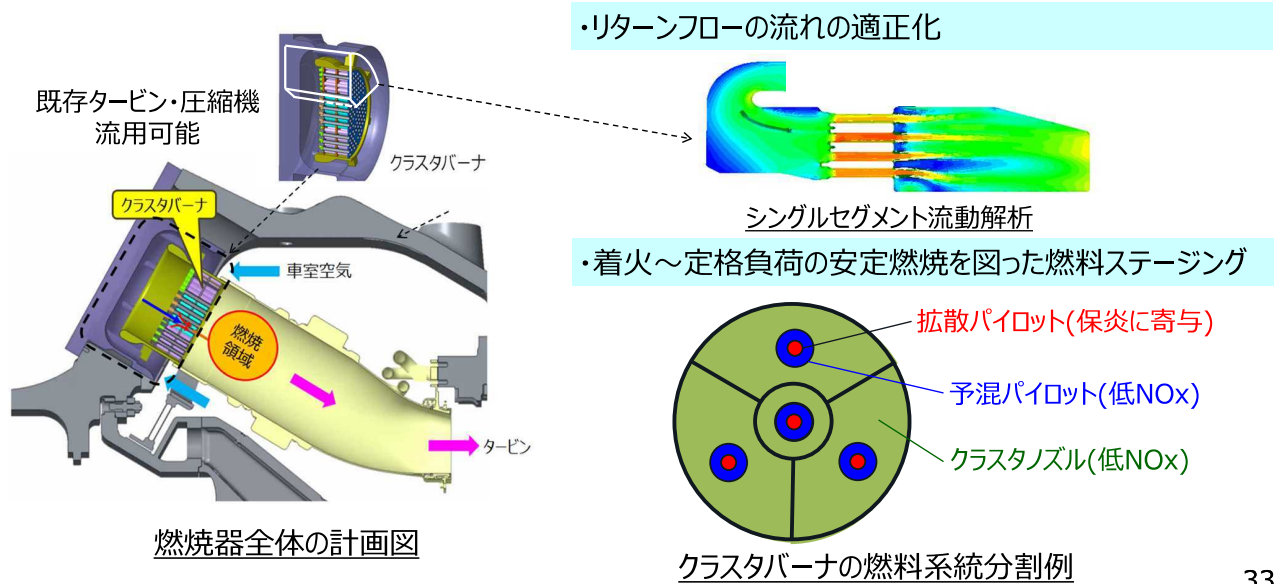
**A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験結果)**

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にて NOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した
- 成果の意義：今後のバーナ改良のためのベースで、実用化に向け取組を継続し、研究開発を加速
- 今後の課題：実機適用に向けたフラッシュバック耐性向上



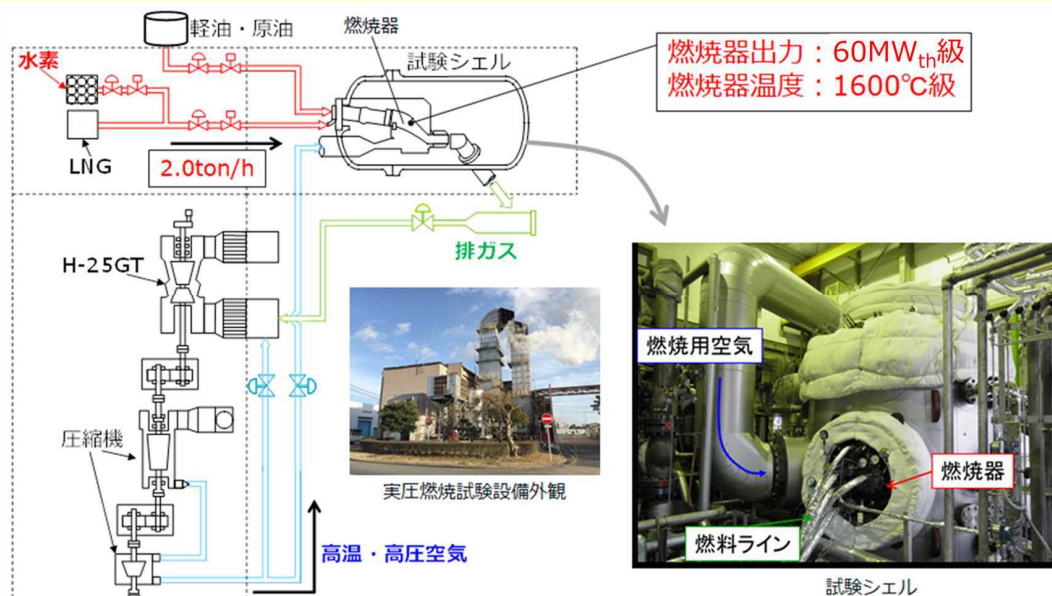
**A-2、3 シングルセグメント、大型ガスタービン燃焼器設計技術**

- 目標：シングルセグメント、燃焼器の概念設計完了
- 成果：燃料系統、燃料ステーキングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を作成した
- 成果の意義：燃焼器の全体計画図、燃料系統・ステーキングは今後の詳細設計のベース
- 今後の課題：リターンフローの流れの適正化、燃料系統・燃料ステーキングの詳細設計、燃焼器全体設計



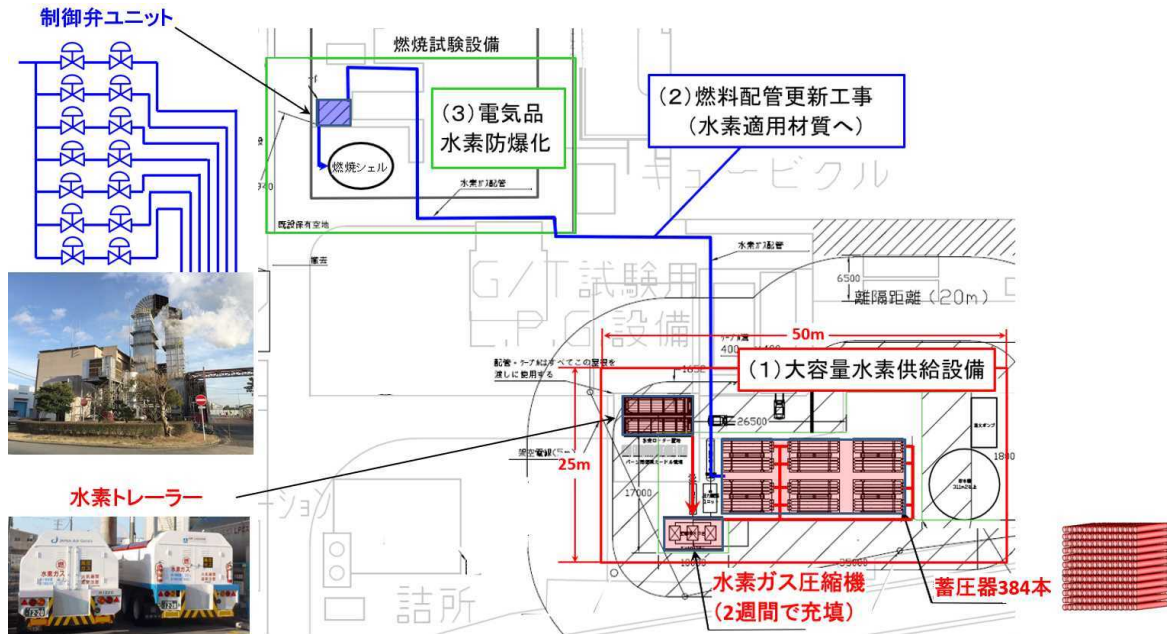
**B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術**

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼セルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



**B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術**

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



**◆成果の普及**

- 成果について定期的に発信(2020/7~10で5件)

	2020年度	計
論文	0	0
研究発表・講演	5	5
雑誌・図書等への掲載	0	0
展示会へ出展	0	0
総計	5	5

### 3. 研究開発成果について 成果の最終目標の達成可能性（水素専焼）

#### ◆成果の最終目標の達成可能性

- 最終目標： 燃焼器の実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく燃焼器出口NOx<50ppmを達成（2022年）
- 達成の可能性： 設計の基礎となるモデルバーナの設計技術は、構築済み。

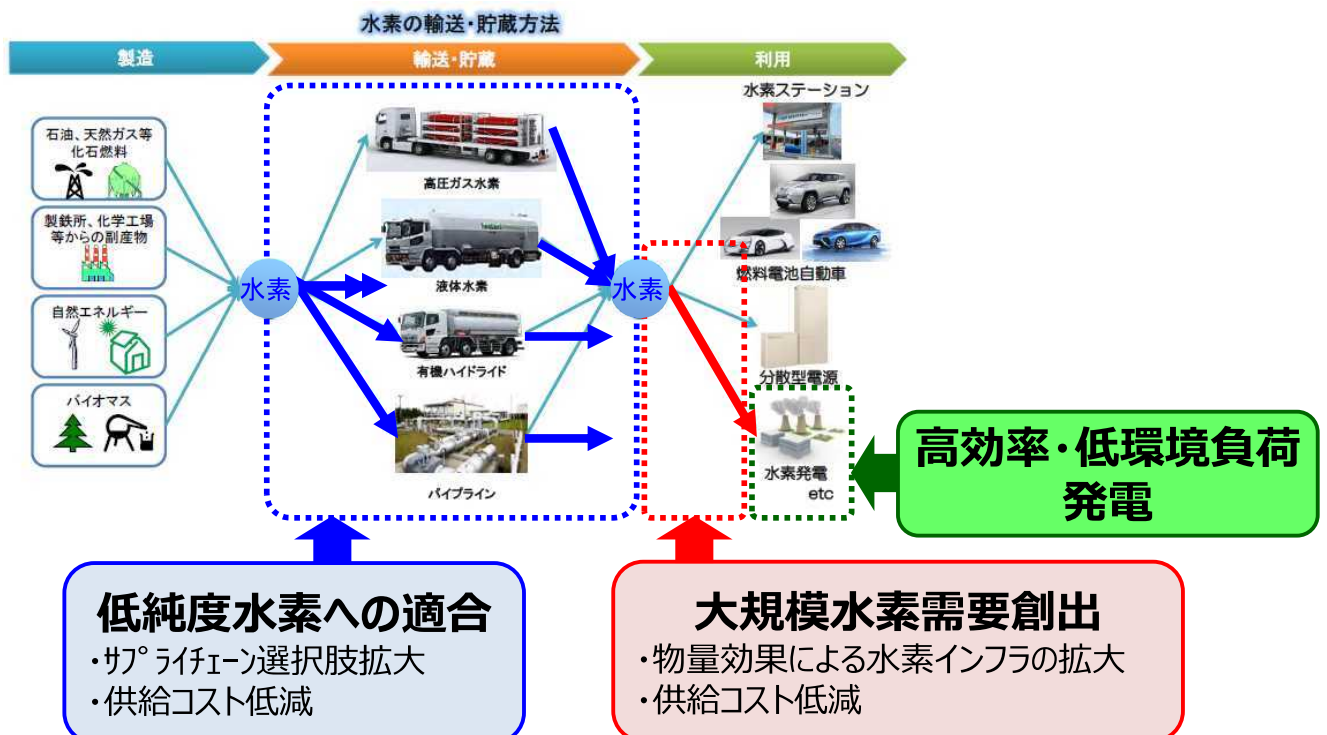
開発項目	現状	最終目標	達成見通し
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下の燃焼試験でNOx50ppm以下を達成	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下（2020年）	・目標達成済み ・さらなる性能裕度を確保するため、改良検討を継続
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析にてセグメントの流動場を評価中	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下（2021年）	・①-1の成果を反映することで達成可能
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナの計画図を作成中	・クラスタバーナ計画図の完成(2021年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021年)	・中容量向けクラスタ燃焼器の設計技術を展開し、①-1、2の結果を設計に反映することで達成可能
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・系統構成の成立性に目途。系統図及び配置図を作成中	・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020年) ・土建工事計画図・配管図の完成(2021年)	・計画通り進行中であり、達成の未通し
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・2022年度から実施	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2022年)	①-1～3、②-1の目標を達成することで、達成可能

37

### 4. 実用化・事業化の見通しについて

#### ◆成果の実用化・事業化の見通し

- 水素焚きガスタービンの実現により、水素利用基盤拡大への貢献が可能



#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

##### ◆成果の実用化・事業化の見通し

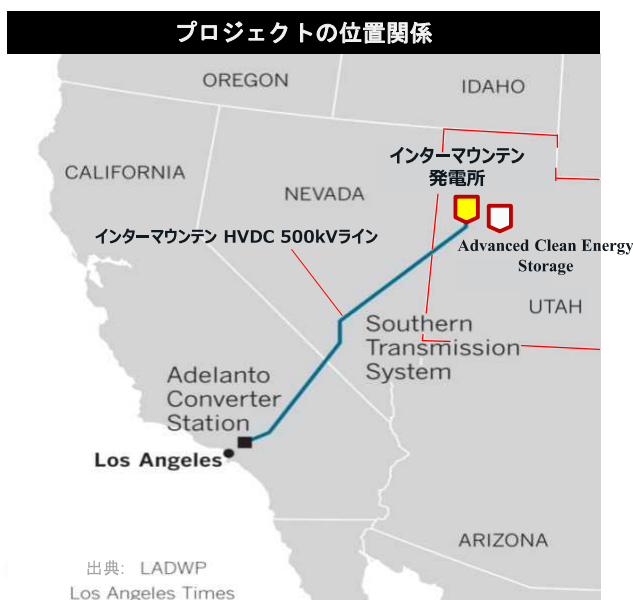
Global	Japan	Europe
<p><b>Hydrogen Council</b></p> <p>三菱重工名義で2018年9月に Support memberとして加盟</p>	<p><b>THE GREEN AMMONIA CONSORTIUM</b> 一般社団法人 グリーンアンモニアコンソーシアム</p> <p>三菱重工および三菱パワー名義で 2017年7月に加盟</p>	<p><b>ALIGN<sub>CCUS</sub></b></p> <p>三菱パワー ヨーロッパ（ドイツ）名義で DME（ジメチルエーテル）合成技術の研究グループに参加</p>
<p><b>GLOBAL CCS INSTITUTE</b></p> <p>三菱重工名義で2019年3月に加盟</p>	<p><b>CCR研究会</b></p> <p>三菱パワー名義で2019年に加盟</p>	
	<p><b>AHEAD</b></p> <p>三菱重工および三菱パワー名義で 一部技術検討に貢献</p>	
	<p><b>HySTRA</b></p> <p>三菱パワーの石炭ガス化設備を供給</p>	
	<p><b>神戸・関西水素利活用協議会</b></p> <p>2020年9月に設立</p>	

39

#### 4. 実用化・事業化の見通しについて

##### ◆成果の実用化・事業化の見通し

- ・ インターマウンテン電力向け水素焼きJAC形設備を初受注。  
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。



ガスタービン機種	M501JAC
出力 (CC)	840 MW (2 GTCC)
所在地	米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼（30vol.%）GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO<sub>2</sub>排出量削減に寄与します。

発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

40

### ◆成果の実用化・事業化の見通し

- ・ NEDO「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始されています。
- ・ 海外においても水素の発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始されています。



**三菱パワーは  
水素の発電利用を目指す世界各国のお客様と  
プロジェクトを開発・推進して参ります。**