

2024年度 オープン・シンポジウム

主催	神戸大学 水素・未来エネルギー技術勉強会(IGAS-HyTec)
開催日時	2025年 3月 7日(金) 13:30-16:30
開催方式	ハイブリッド開催(対面・リモート併用)
対面会場	神戸大学 深江キャンパス 総合学術交流棟 1F 梅木Yホール

2024年度 オープンシンポジウム プログラム

13:30 第1部 当勉強会からの報告

【オリエンテーション】

13:35	1-1	開会挨拶	神戸大学HyTecセンター長 武田実教授 (IGAS-HyTec主査)
13:40	1-2	研究センター (HyTec) の紹介	同 上
13:50	1-3	勉強会 (IGAS-HyTec) の紹介	神戸大学HyTec 駒井啓一客員教授 (IGAS-HyTec担当学術研究員)
14:00	1-4	オープンラボラトリー計画の紹介	神戸大学HyTec 繁森敦学術研究員 (IGAS-HyTec事務局長)

14:10 第2部 招待講演

14:10	2-1	多様な脱炭素シナリオにおける水素の役割	(公財)地球環境産業技術研究機構 理事長 山地憲治氏
-------	-----	---------------------	----------------------------

14:40 【中間休憩 (10分)】

14:50	2-2	大型液化水素貯槽導入に係る規制合理化に関する取組	高圧ガス保安協会 水素センターシニアエキスパート 中納暁洋氏
15:20	2-3	産業競争力懇談会「水素・超伝導コンプレックス」プロジェクト紹介	(株)日立製作所脱炭素エネルギーイノベーションセンター主任研究員 和久田毅氏

15:50 第3部 総合討論：カーボンニュートラル社会実現に向けて水素・未来エネルギー技術は何をなすべきか

【オリエンテーション】

15:55	3-1	登壇者の討論	武田 (座長)、山地、中納、和久田、駒井、繁森 (敬称略)
16:20	3-2	会場およびリモート参加者との討論	同 上

山地 憲治氏

- 東京大学名誉教授、ご専門はエネルギーシステム工学
- エネルギー・資源学会会長、日本エネルギー学会会長等を歴任。
- 経済産業省総合エネルギー調査会等の多くの審議会および各審議会傘下の種々の委員会、研究会の委員を務める。
- 我国が1990年に世界に提唱した地球再生計画の国際的推進の中核的研究機関として、同年に設立されたRITEの理事・研究所長を長年務められ、2021年に理事長に就任

中納 暁洋氏

- 長年にわたり産業技術総合研究所(AIST)にて活躍。ご専門は低温工学、熱工学、航空宇宙工学、微小重力、極低温物理。液体水素の貯留等に関する技術分野にも詳しい。
- AIST福島再生可能エネルギー研究所の再生可能エネルギー研究センターの副研究センター長等を歴任。
- 現在は高圧ガス保安協会に移られ水素センターでご活躍。

和久田 毅氏

- COCN「水素・超伝導コンプレックス」プロジェクトのTFAリーダーとして産学メンバーを取りまとめ、中心的に活動。
- COCNは、1990年科学技術基本法制定等の国の政策推進に呼応した産業界有志による政策提言活動から始動した一般社団法人。我国の産業競争力強化、新産業や新事業の創出を目指し、業種横断のメンバーが連携して活動、現在までに110件以上のプロジェクト提案。
- 「水素・超伝導コンプレックス」は2023年度に公開された、液体水素、超伝導技術等の業界連携による新産業、新事業創出を目指す興味深いプロジェクト。

2024年度オープンシンポジウム 第1部 当勉強会からの報告

1-2 研究センター(HyTec)の紹介

2025年 3月 7日

IGAS-Hytec主査 武田 実 教授
(HyTecセンター長、水素エネルギー技術研究部門長)

水素・未来エネルギー技術研究センター・・・発足へのあゆみ

カーボンニュートラルな未来社会の実現を
エネルギーの安定供給面から支える本学の3つのコア



- ◆ 極低温技術に始まる水素エネルギー技術
- ◆ 海洋気象学に始まる再生可能エネルギー技術
- ◆ 電気工学・熱工学等の多様なエネルギー基盤技術



水素・未来エネルギー技術研究センター (2023/11発足)

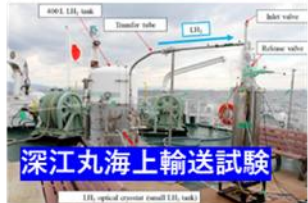
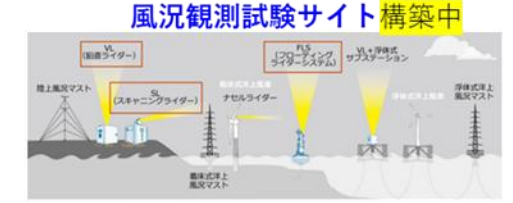


水素エネルギー技術

水素技術勉強(2021~):産官学連携コンソーシアム活動



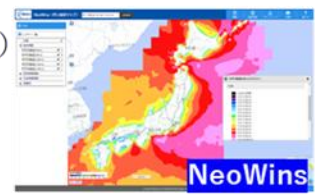
先端融合研究環 開拓プロジェクトNo.8 (2019~21)
「海洋再生可能エネルギーと水素製造システムの研究開発」



先端融合研究環 重点研究チームNo.19 (2014~18)
「海洋再生可能エネルギーと水素エンジニアリングへの展開」

深江丸・液体水素海上輸送実験(2017)

洋上風力発電/洋上風況マップ研究開発(2015~17)
→NeoWins開発・公開
・・・国内の洋上風力開発に欠かせないツール

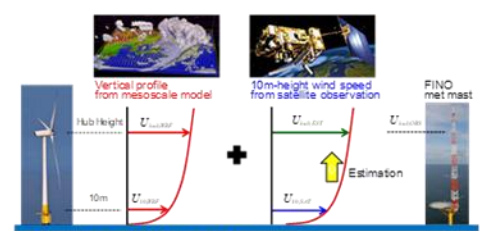


水素専用実験棟完成 (2015)・・・国内の大学では唯一

液体水素用超伝導液面計研究 (2004~)
→液体水素を中心とする水素分野の研究開発を展開

極低温実験棟更新 (1994)
→阪神大震災(1995)→移築(移築)→海流MHD発電研究等

衛星搭載マイクロ波散乱計による風況解析
ブイによる風況観測の精度等の手法開発
水平ライダーを用いた風況観測



極低温実験棟完成 (1976) → 超伝導電磁推進船の研究等

海事科学研究科 海洋・気象研究室
→メソ気象モデルによる風況解析 (WRF)

再生可能エネルギー技術

カスケード式He液化機自作 (1969)

エネルギー技術からのカーボンニュートラル社会実現への挑戦

～ 水素・未来エネルギー技術研究センター ～



**研究センター
のミッション**

カーボンニュートラルな未来社会の実現を、エネルギー安定供給面から支える技術の
基礎研究と社会実装に、多面的な視点から取り組む

**水素・未来エネルギー技術
研究センター**

再生可能
エネルギー技術
研究部門

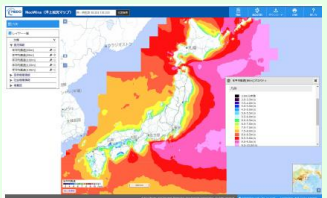
水素
エネルギー技術
研究部門

マルチ
エネルギー技術
研究部門

【ミッション】未来エネルギー源の
量的確保

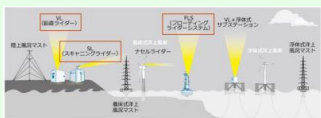
【コア技術】海洋気象学等を基盤とする再生可能エネルギー（以下「再エネ」）技術

【基本テーマ】限られた国土と海域、自然環境条件との調和、経済性を確保のもとでの再エネの最大化の獲得を図る



洋上風況マップNeoWins

我国の洋上風力開発に不可欠なツールを開発



風況観測試験サイト

洋上風力の精度検証への貢献目指し構築中

【ミッション】未来エネルギーの安定供給

【コア技術】極低温技術を起点とする水素エネルギー技術、

【基本テーマ】遠隔地に小規模分散し時刻・季節変動も大きい再エネを液体水素等として長距離輸送や大規模貯蔵を可能とし、需要地でのエネルギー安定供給に貢献する



極低温実験棟

1969年He液化研究に始まる実験棟



水素実験棟

国内の大学では唯一の液体水素専用実験棟



練習船 海神丸

液体水素海上輸送等の研究の可能性

【ミッション】未来エネルギーの
高度利活用

【コア技術】電気工学・熱工学等の多様なエネルギー基盤技術

【基本テーマ】再エネ、水素、電力、熱等の多種多様な供給エネルギーを、需要先のニーズに応じて最小限のエネルギーロスで的確に転換する



当初の基本構想モデル



目指す社会実装モデル例

経済産業省提示のイメージ図

神戸及び兵庫そして日本全国さらに世界の産官学との連携と共創を推進し、地球にやさしい未来社会実現への貢献を目指す

トヨタFCV
2014発売



LH₂パイロット
2020竣工



16万m³LH₂商用実証
2022AIP取得 (川崎重工)



播磨臨海水素コビナート
進展中 (神鋼、関電、日鉄)



日豪水素チェーン
2022完遂式典於ハイタッチ神戸



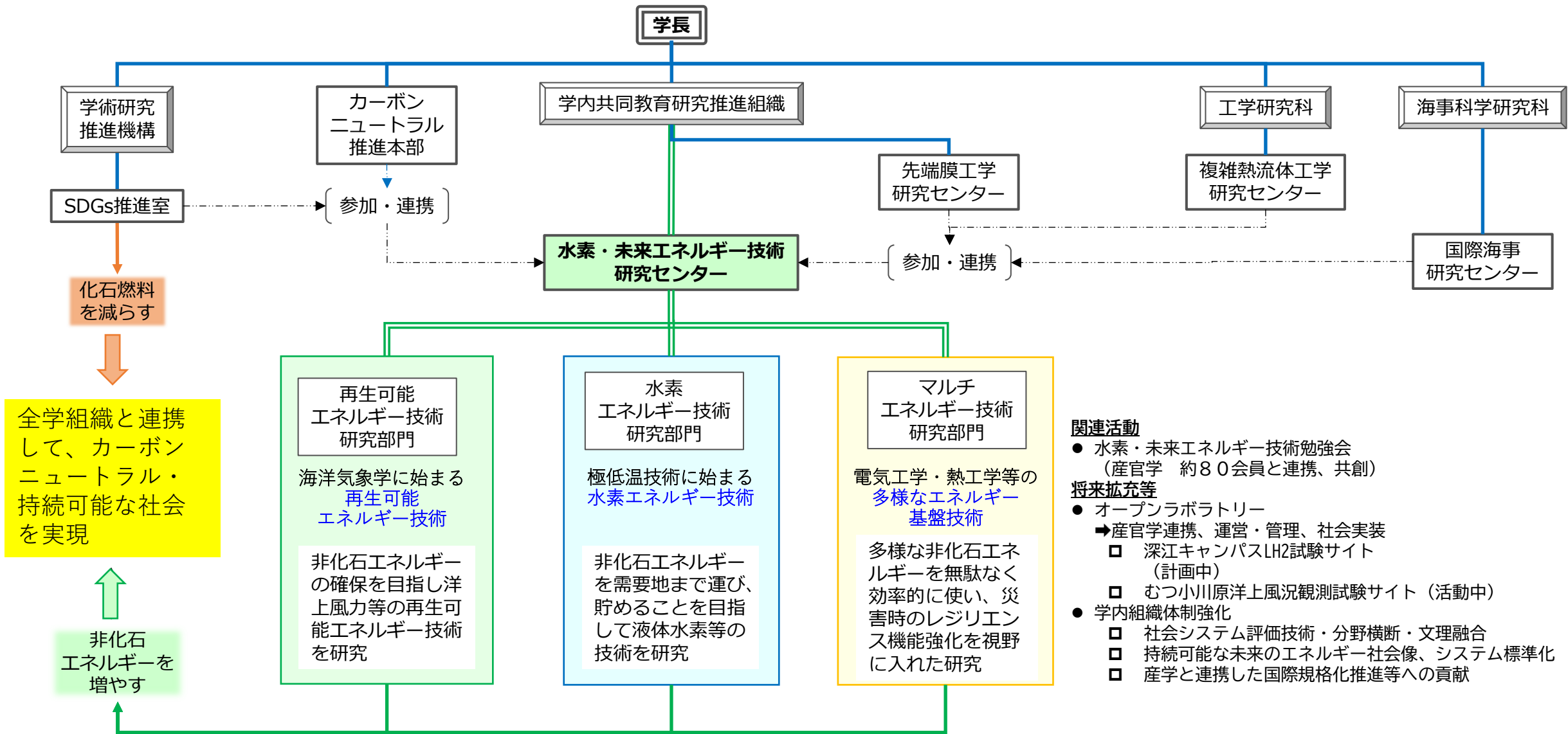
神戸水素クラスター



水素CGSポートアイランド：
大林、関電、川重



「水素・未来エネルギー技術研究センター」の部門構成と役割り（将来ビジョン）



関連活動 (Related Activities)

- 水素・未来エネルギー技術勉強会 (産官学 約80会員と連携、共創)

将来拡充等 (Future Expansion, etc.)

- オープンラボラトリー
 - ➔ 産官学連携、運営・管理、社会実装
 - 深江キャンパスLH2試験サイト (計画中)
 - むつ小川原洋上風況観測試験サイト (活動中)
- 学内組織体制強化
 - 社会システム評価技術・分野横断・文理融合
 - 持続可能な未来のエネルギー社会像、システム標準化
 - 産学と連携した国際規格化推進等への貢献

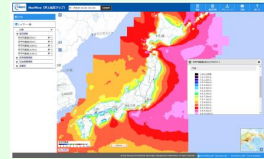
水素・未来エネルギーを取り巻く情勢と連携関係

世界の動き

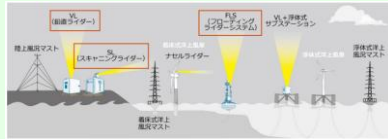
2016年パリ協定→2050年カーボンニュートラル
欧州等では大規模洋上風力等が急速拡大、水素化検討

我国の動き

水素基本戦略：世界に先駆け2017年⇒2023年6月改訂
2020年カーボンニュートラル宣言：2050年CO₂≒0、GI基金2兆円等



我国の洋上風力開発に不可欠な
洋上風況マップを構築し公開



洋上風力の精度検証の国内唯一のサイトを構築、一般利用者にも開放し、観測データを提供（むつ小川原）



1968年 He液化に始まる極低温実験棟



国内大学では
唯一の液体水素専用実験棟

水素・未来エネルギー技術 研究センター

新設・機能強化 (R7~)

オープンラボ・
国際規格化
推進部門

・ 深江キャンパス・むつ小川原など、学外利用者にも**オープン**
ラボラトリーとして提供、共同研究・社会実装等を通じた**産官**
学連携を推進
・ 国際プロジェクト・国際共同研究等を通じた**イノベーション**
創出、**国際規格化**を推進

将来拡充 (R8~)

再生可能
エネルギー技術
研究部門

水素
エネルギー技術
研究部門

マルチ
エネルギー技術
研究部門

社会システム
評価技術
研究部門

協働



水素・未来エネルギー
技術勉強会
(産官学約80名)



各方面から求められるニーズを的確に把握・展開することにより、神戸大学カーボンニュートラル基本方針に掲げる「知と人を創る異分野共創研究」を念頭に置いた新領域を開拓し、全学組織と連携して「水素・未来エネルギー社会」の実現に貢献する。

イノベーションの創出・国際規格化の推進

洋上風力発電・
水素製造



長距離輸送
FCトラック・
FC電車/飛行機



LH₂タンカー（外航・
内航）関連技術
国際規格・標準化



練習船海神丸（既存）
ディーゼル推進/電気推進



LH₂タンク、気化器、FC積載

産官学連携コンソーシアムの構築

川崎重工業、岩谷産業
神戸製鋼所、関西電力
エア・ウォーター
神戸水素クラスター企業等

近畿経済産業局・兵庫県
神戸市・新産業創造研究機構
神戸大学・兵庫県立大学
関西学院大学・早稲田大学等



オープンラボ
LH₂共同実験

4月17日 オーストリア大使館商務部と国際ワークショップ共催@ポーアイ “Hydrogen Connect”

5月30日 香港大学工学部同窓会が深江キャンパス訪問 HyTec紹介、実験棟および機関室シミュレータの見学

9月5日 国際フロンティア産業メッセ2024へ出展@ポーアイ HyTecおよび連携創造本部紹介

9月18日 神戸市環境局脱炭素課と意見交換@深江「液化水素を軸としたセンター整備に関して」

9月27日 水素・未来エネルギー技術勉強会（IGAS-HyTec）2024年度第1回定例勉強会開催@深江

10月8日 ICUS懇談会にて講演@東京「先端水素技術研究の取り組み：現状と課題」武田

11月8日 株式会社日本エイピーアイから寄附「HyTec奨学寄附金」設立

11月28日 神戸市 液化水素貯蔵タンクの将来活用検討に関する協議会 第1回協議会@市役所、出席

12月5日 水素・未来エネルギー技術勉強会（IGAS-HyTec）2024年度第2回定例勉強会開催@深江

1月22日 液化水素運搬船「すいそふろんていあ」乗船見学
同日 神戸市 液化水素貯蔵タンクの将来活用検討に関する協議会 第2回協議会@神戸市、出席

2月14日 ひょうご水素社会推進会議@県庁、武田出席

3月7日 水素・未来エネルギー技術勉強会（IGAS-HyTec）2024年度オープンシンポジウム開催@深江

2024年度オープンシンポジウム 第1部 当勉強会からの報告

1-3 勉強会(IGAS-HyTec)の紹介

2025年3月7日

神戸大学 HyTec客員教授

IGAS-HyTec担当

駒井啓一

勉強会の発足の経緯 「海事・エネルギー」シーズの社会実装 産官学連携から始まった

学内の動き 技術シーズ/ポテンシャル

2014～18年度 「海洋再生可能エネルギーと水素エネルギーへの展開」



2019～21年度 「海洋再生可能エネルギーによる発電・水素製造システムの研究開発」



2019～2024年度

文部科学省補助事業
オープンイノベーション整備事業
拠点校

重点4分野

- 医学
- バイオ工学
- スマートコミュニティ
- **海事・エネルギー**

社会の動き 技術ニーズ/ポテンシャル

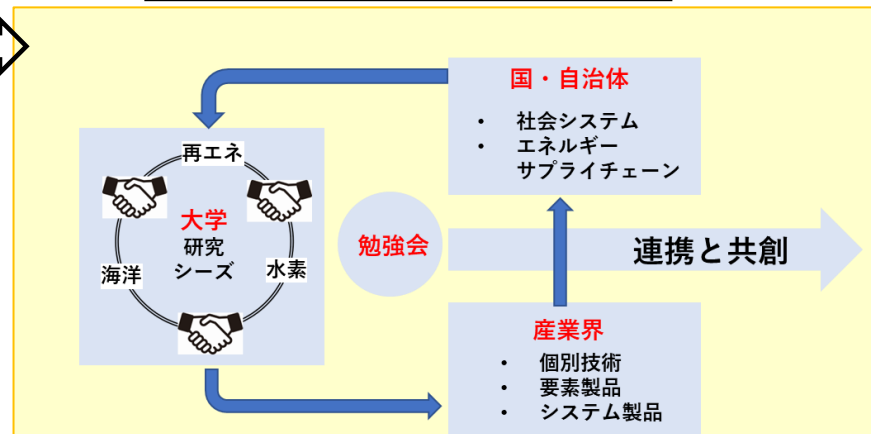
- 2011年 東日本大震災
- 2014年 第4次エネルギー基本計画
水素・燃料電池戦略ロードマップ
- 2016年 パリ協定発効
- 2018年 第5次エネルギー基本計画
水素基本戦略シナリオ
- 2020年 菅首相：カーボンニュートラル宣言
内閣府：グリーン成長戦略
- 2021年 第6次エネルギー基本計画



- 海事・エネルギー分野の産官学連携の推進
- 技術シーズの社会実装推進
 - 液体水素関連技術
 - 洋上風力発電関連技術
 - パワーエレクトロニクス技術
 - .
 - .



勉強会活動が必要と判断



- 急拡大の有望分野
- 未成熟な産業分野
- 広範な連携が不可欠
- サプライチェーンの成立 (つくる、はこぶ、ためる、つかう)
- 要素～部品～システム
- 産官学、ローカル・全国・グローバル

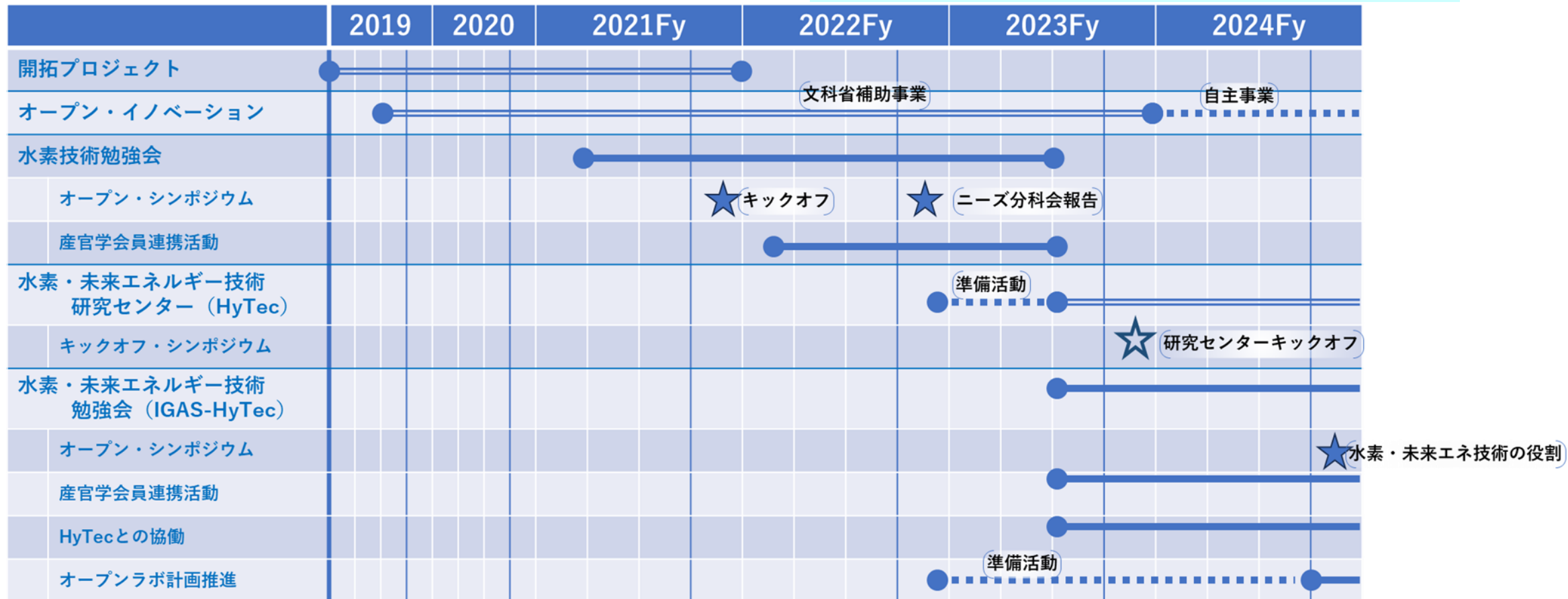
勉強会の活動経過と変遷 ・ ・ 研究センター発足と新たな活動、そしてその先へ

水素技術勉強会～再エネ高度利活用を目指して～

- 2021年度に神戸大学の有志が集まり発足
 - 開拓PJメンバー
 - 海事エネルギー分野オープンイノベーションメンバー
- 2022年3月キックオフシンポジウム

水素・未来エネルギー技術勉強会IGAS-HyTec

- 2023年度にHyTec設立に伴い改称（水素・未来エネルギー技術勉強会）
- 2024年3月HyTecキックオフシンポジウム開催
- 2024年度オープンイノベーション補助事業終了に伴いHyTec主宰の勉強会として本格活動

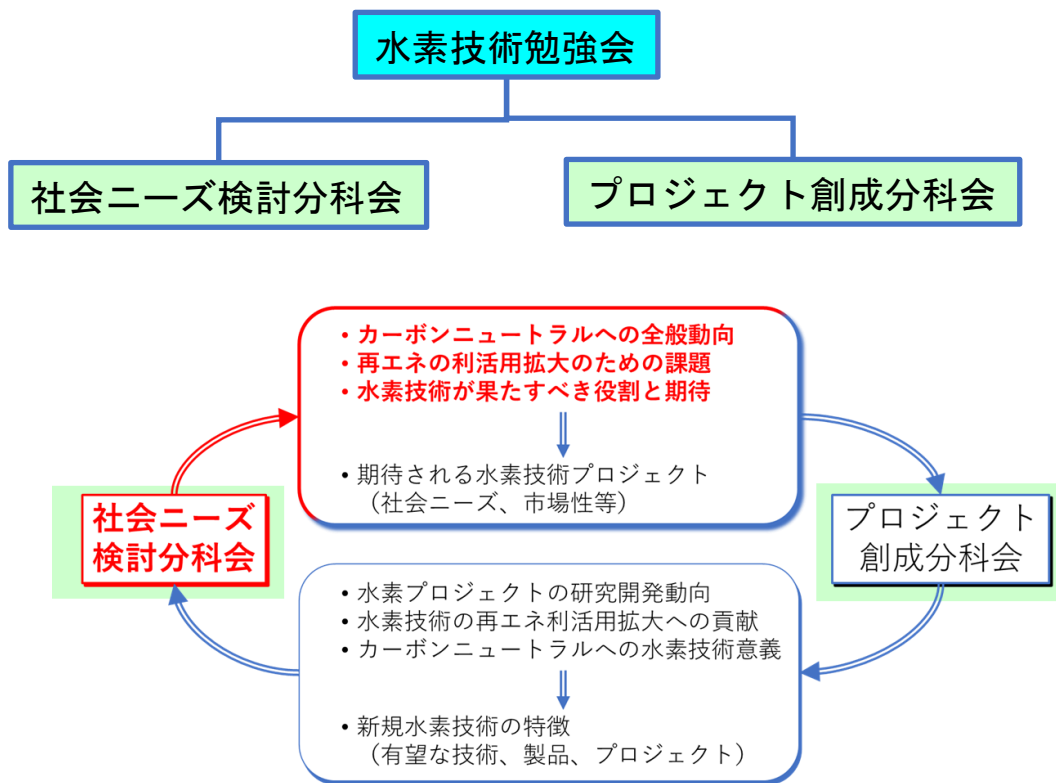


勉強会の活動内容 会員とともに、手探りしつつ連携活動を展開

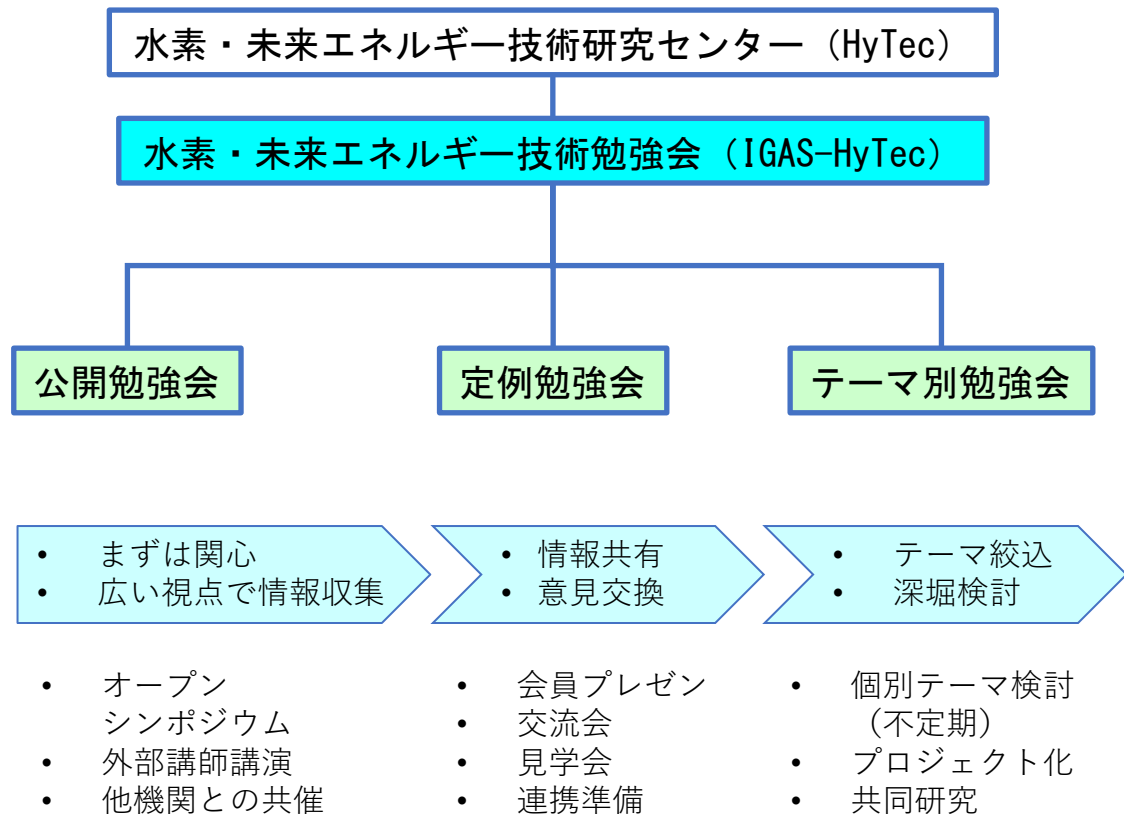
水素技術勉強会～再エネ高度利活用を目指して～



水素・未来エネルギー技術勉強会IGAS-HyTec



まずは社会ニーズ検討分科会を中核に活動を開始した



更なる視野の拡大、連携と共創の推進などを通じ、社会実装を目指したい

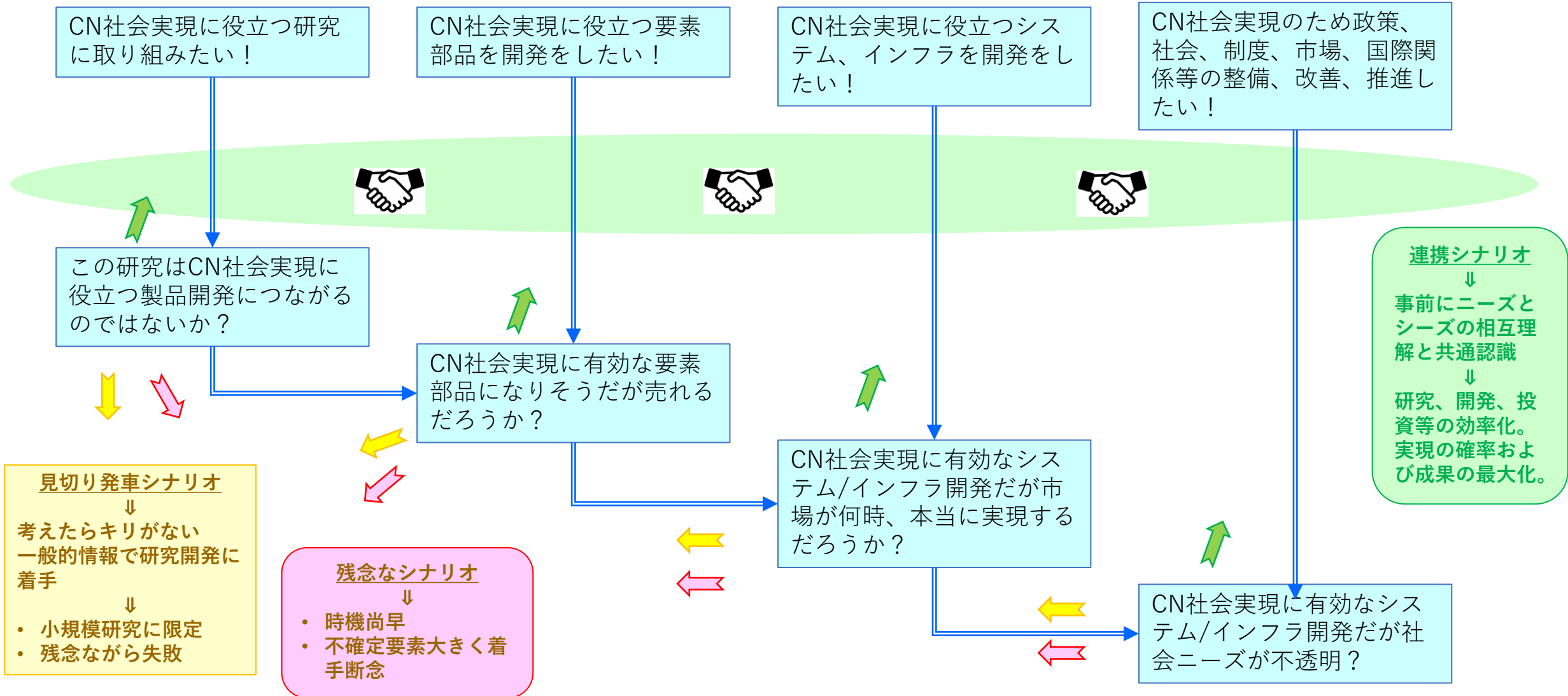
水素・未来エネルギー技術・・・産官学連携の意義（必要性、重要性）

【学】

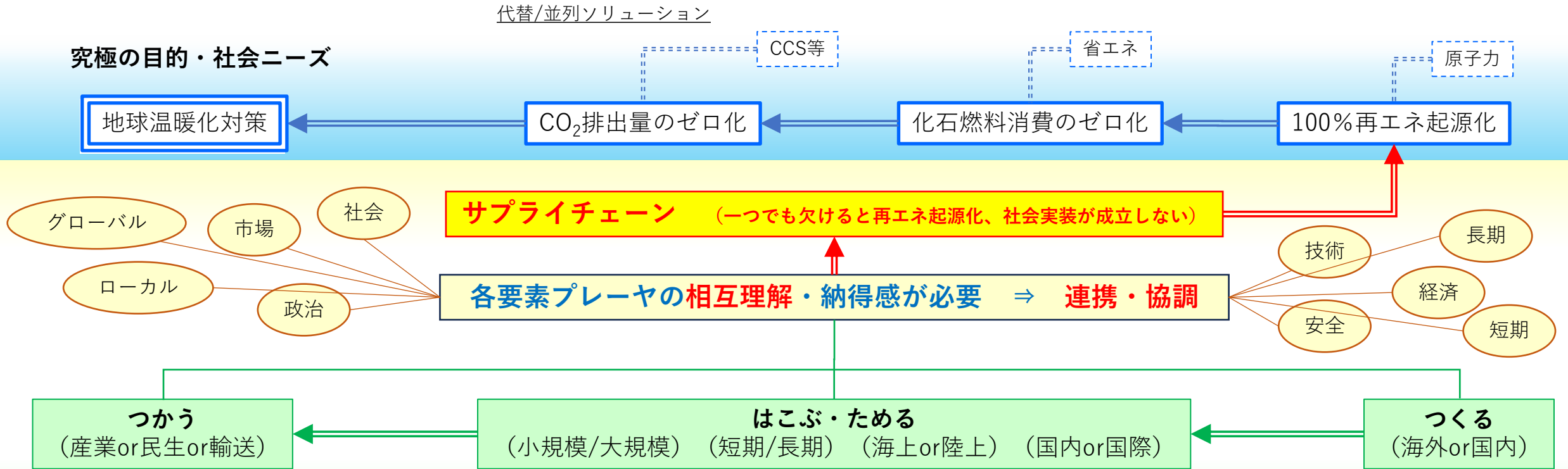
【産A】 要素、部品

【産B】 システム、インフラ

【官】 自治体、国、国際



水素・未来エネルギー技術の社会実装・・・ 広範な連携と共創が不可欠 Win-WinでCN社会実現



未来エネルギーの形態/媒体

- 自然エネルギーそのまま(太陽光/熱、風力、水力、地熱、海流、潮汐・・・)
- 水素(高圧ガス、液体水素、アンモニア、MCH・・・)、電力、熱、・・・

未来エネルギーの社会実装

- 大規模システム
- 社会インフラ
- 最終製品
 - 自動車
 - 民生品

- コア
- コンポーネント
- 要素・部品
- 材料

社会ニーズ

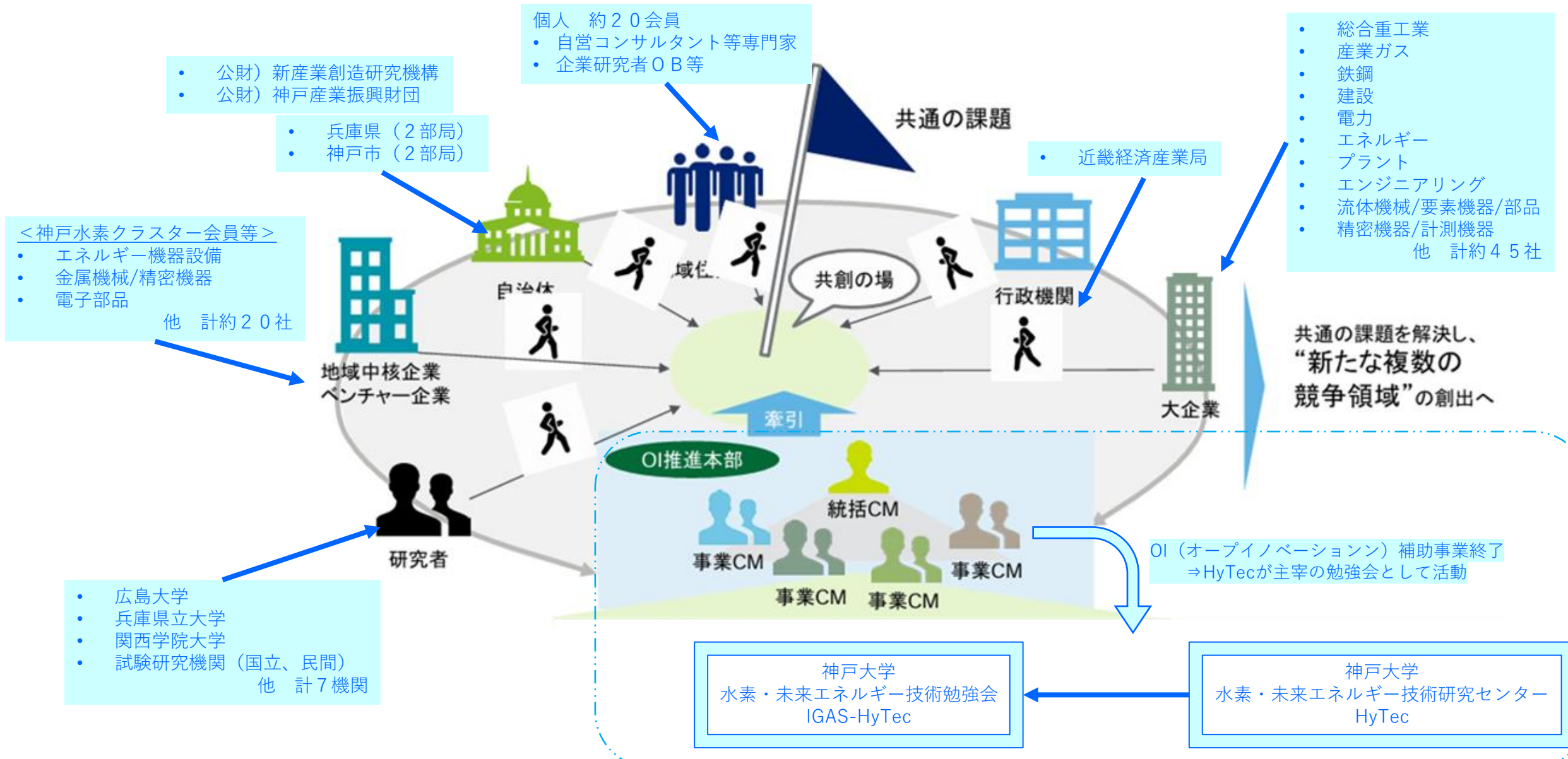
イノベーション

技術シーズ

未来エネルギー技術

- 水素エネルギー技術
- 再生可能エネルギー技術
- 各種エネルギー基盤技術
 - 電気工学
 - 熱工学

勉強会の会員構成概況・・神戸/兵庫から全国/グローバルまで産官学会員（現在 約100）と連携



第1のミッション

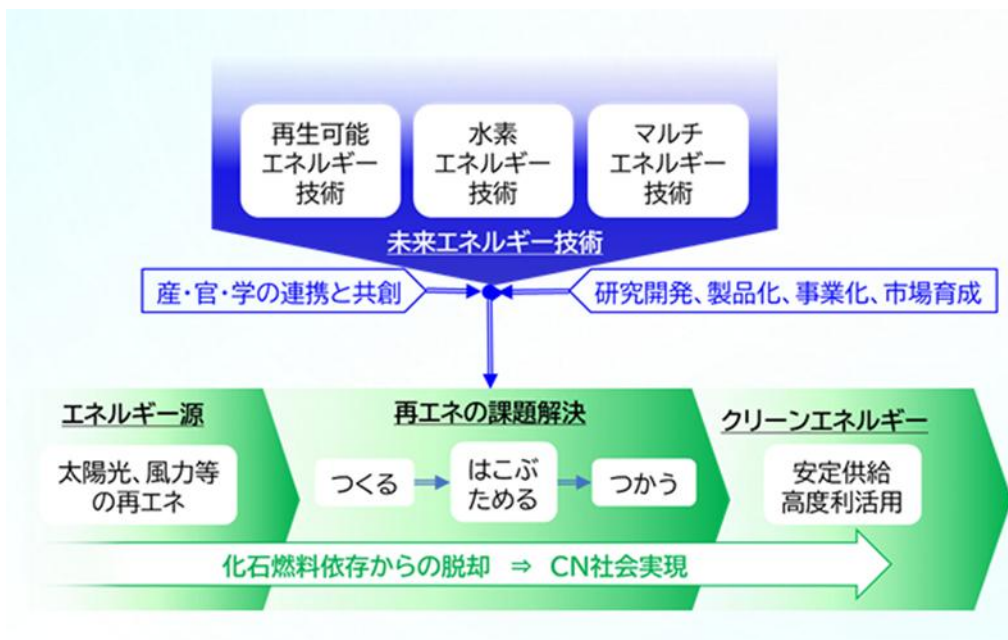
エネルギーサプライチェーンをつなぐ各種の未来エネルギー技術の開発推進と相互連携を通じCN社会の実現に貢献

第2のミッション

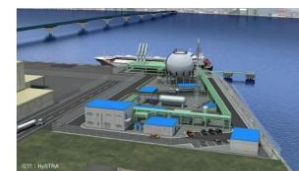
要素・部品からシステムまで多様な業種・業界と連携して社会実装に貢献

第3のミッション

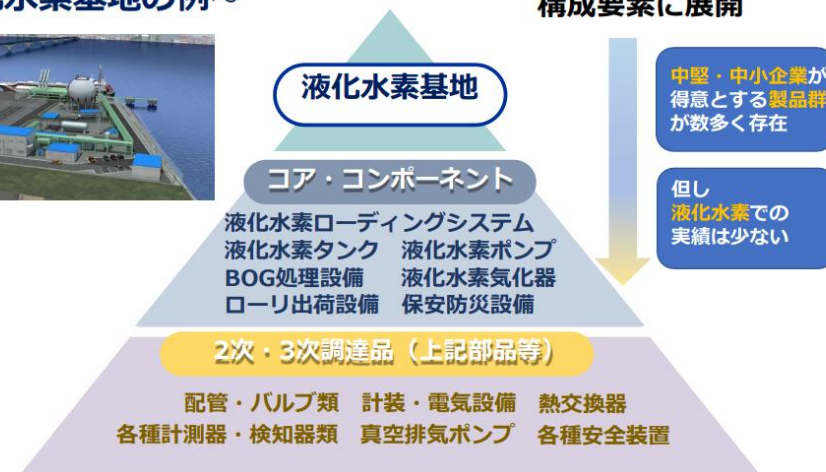
地元神戸/兵庫の産官から、全国規模の企業/機関、更に海外とも連携してグローバルな気候変動対策、CN社会実現に貢献



～液化水素基地の例～



構成要素に展開



主旨に賛同いただける産官学有志の参加を歓迎します

2024年度オープンシンポジウム 第1部 当勉強会からの報告

1-4 オープンラボラトリー計画の紹介

2024年 3月 7日

水素・未来エネルギー技術研究センター 学術研究員

水素・未来エネルギー技術勉強会 事務局長

繁森 敦

オープンラボラトリー計画概要

【オープンラボラトリーの目的】

近年、液体水素（LH2）の2,000L容器による供給がほぼ停止しており、少量のLH2の入手が困難になっています。

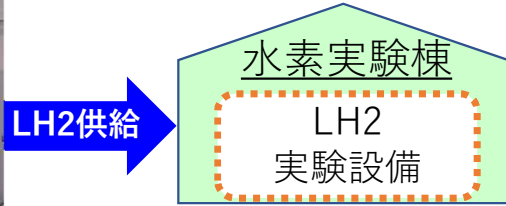
また、国内で外部からの依頼を受けてLH2を用いた実験が行える施設は3か所に限られています。

神戸大学 水素・未来エネルギー技術研究センター（HyTec）では、既存の液体水素実験設備を拡充したオープンラボラトリーを立ち上げ、LH2普及に向けた様々な実験に対応できる環境の提供を目指します。



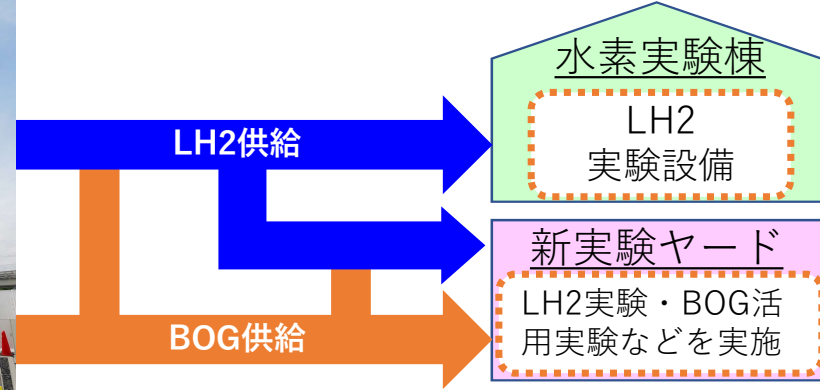
オープンラボラトリー計画概要

既存LH2関連設備



2025年度は既存設備で
実験が可能

新設LH2関連設備



供給方法：24m3貯槽
供給可能量：～20,000L以上（連続使用可能）

供給方法：2,000L容器
供給可能量：500L～2,000L

第1期(計画)

時期	2026年度上期より運用開始
概要	液体水素（LH2）24m3貯槽設備を設置して既存水素実験棟に供給する
効果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 実験頻度を高めることができる ➢ 実験規模を拡大することができる

第2期(構想)

時期	2024～2025年度テーマの募集⇒仕様検討、2026年度の設置を目指す
概要	新実験ヤードの設置 例) BOG活用実験ヤード・新LH2実験ヤードなど
効果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 発生するBOGを有効に活用 ➢ 実験頻度を高めることができる ➢ 実験規模を拡大することができる

オープンラボラトリー計画-第1期(計画)

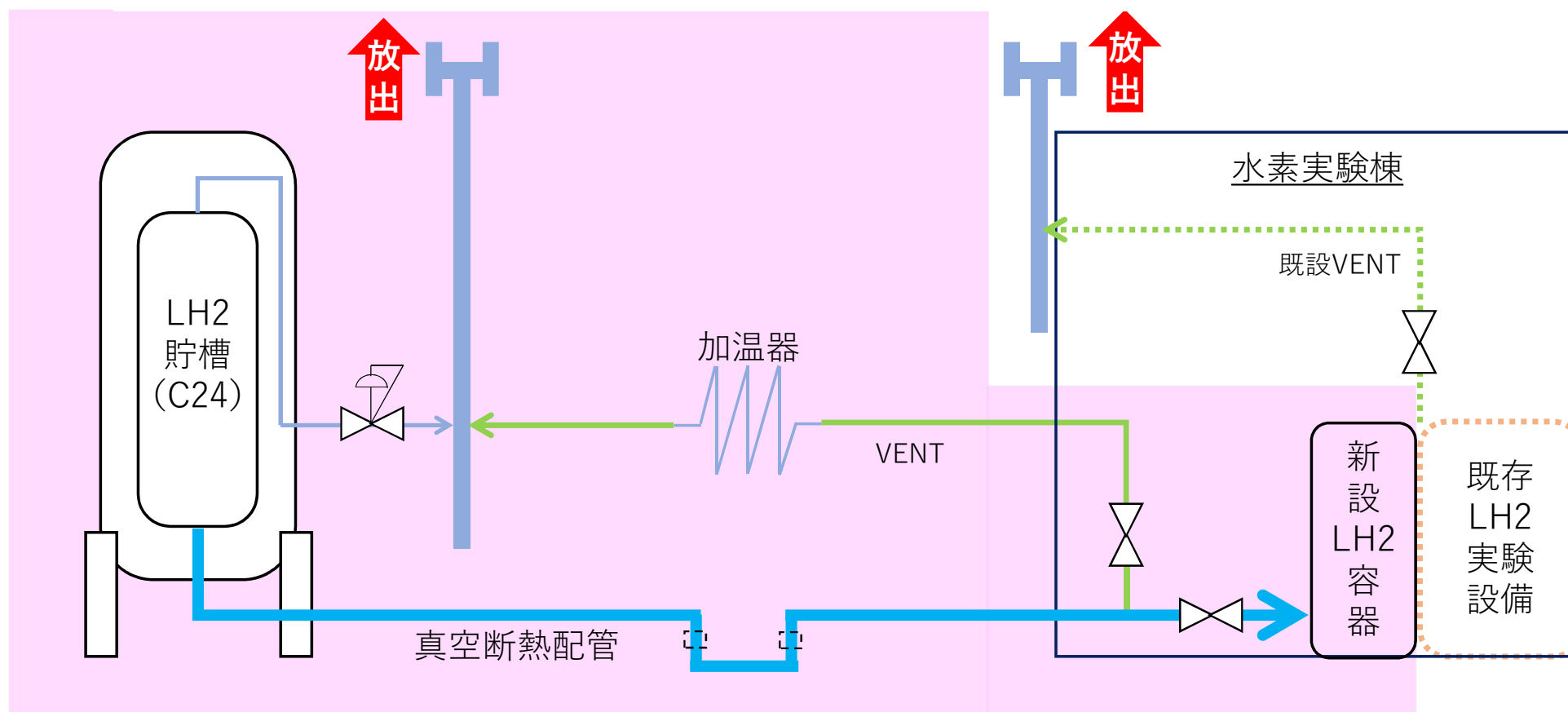
【第1期】液体水素（LH2）貯槽設備を設置して既存水素実験棟に供給する

時 期：2026年度上期より運用開始（予定）

効 果：実験頻度を高めることができる

実験規模を拡大することができる

新設部分



オープンラボラトリー計画-第2期(構想)

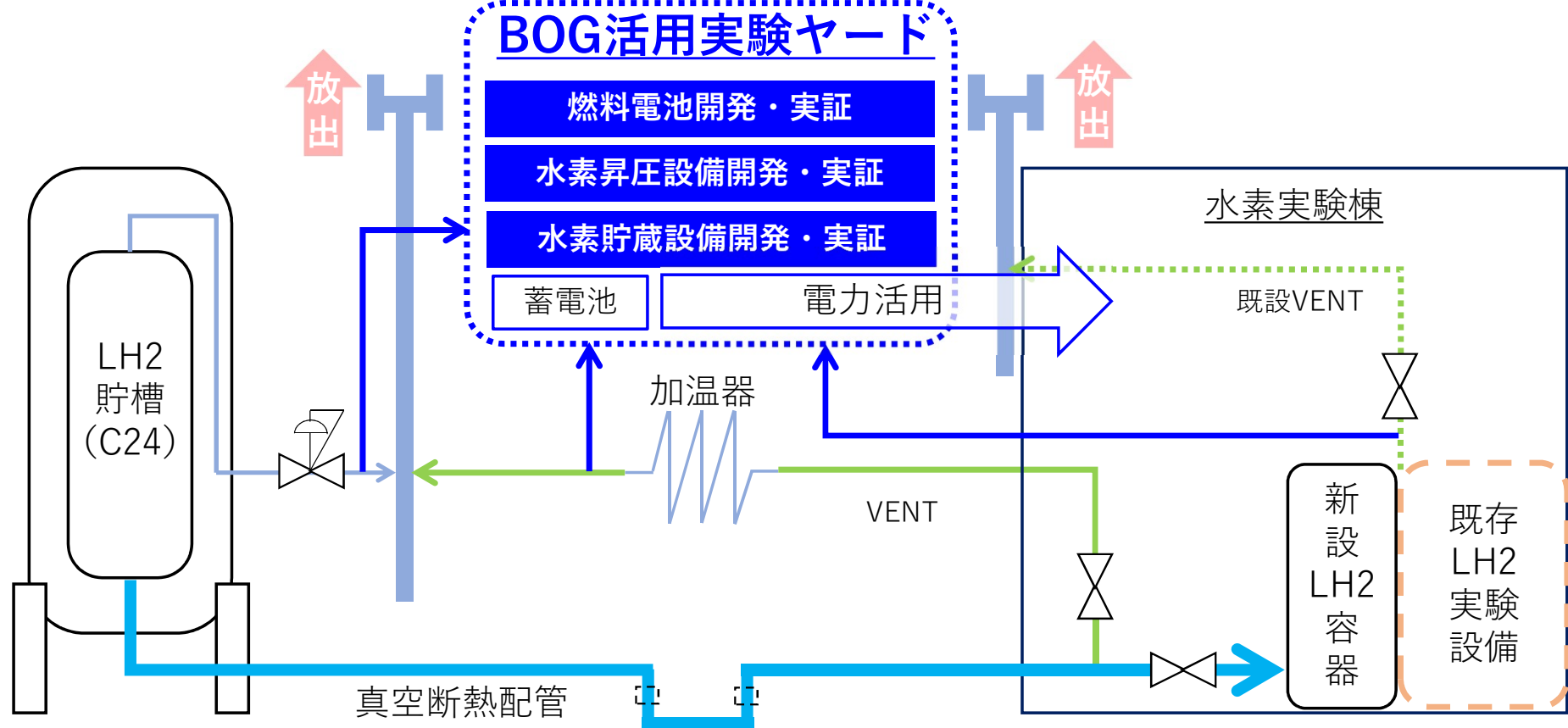
【第2期】新実験ヤードの設置 例) BOG活用実験ヤード・新LH2実験ヤードなど

時 期：2024～2025年度テーマの募集⇒仕様検討、2026年度の設置を目指す

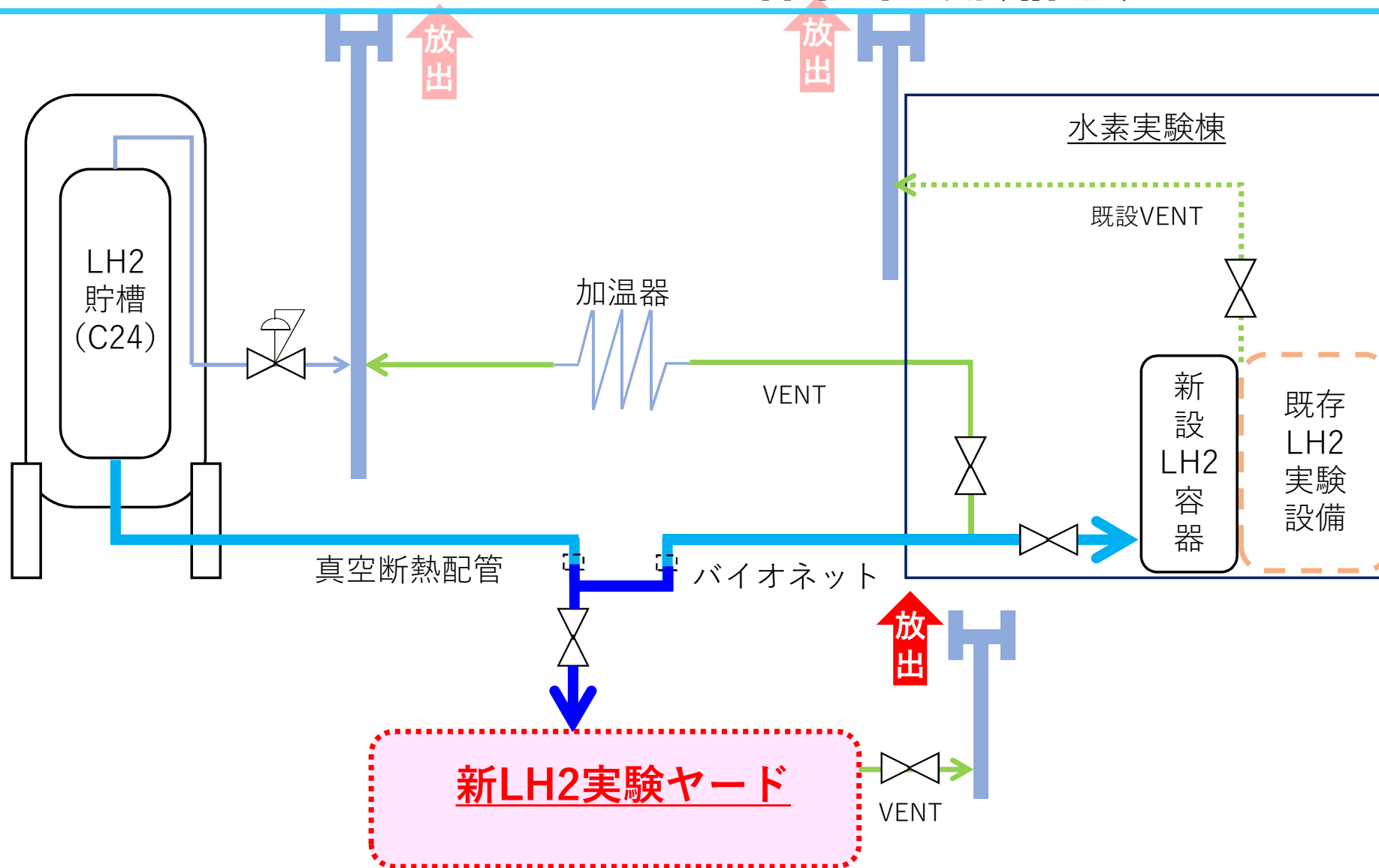
効 果：発生するBOGを有効に活用

実験頻度を高めることができる

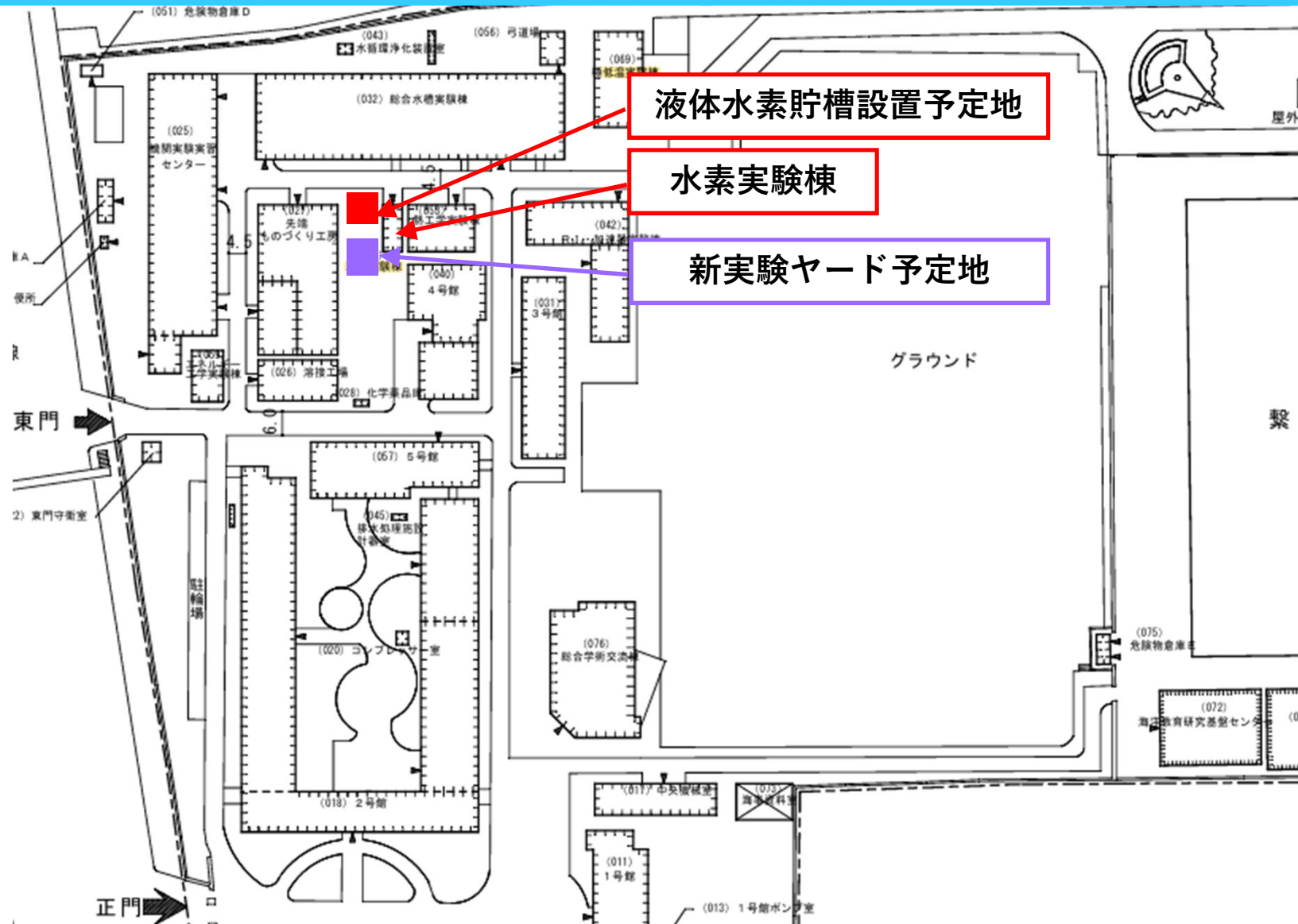
実験規模を拡大することができる



オープンラボラトリー計画-第2期(構想)



オープンラボラトリー計画-第2期設備設置予定地(構想)



IGAS-HyTec及びオープンラボラトリー活動計画(構想)

年	2024			2025												2026		
月	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
勉強会			定期		(定期)	公開		(定期)			(定期)			(定期)			(定期)	(公開)
予算計画 運営準備等	本体：予算計画																	
				O/L関連：費用見積、予算計画、運営体制検討														
テーマ別 勉強会	テーマ募集/再構築			テーマ募集は継続 														
				テーマ別勉強会の推進									継続的に新規テーマ勉強会推進					
				有望テーマ絞り調整														
オープンラボ (O/L)										合同会議								
													O/L土間工事			付帯工事等適宜		
液体水素 (LH) 貯槽				本体 設計製作 (本体材料&付属機器調達、工場試運転等含む)														
																本体据付現地試運転		

多様な脱炭素シナリオにおける水素の役割

山地憲治

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)理事長

招待講演

2024年度 オープン・シンポジウム
水素・未来エネルギー技術勉強会(IGAS-HyTec)

2025年3月7日@ 神戸大学 深江キャンパス

パリ協定の基本構成

世界全体の目標:

- ・産業革命以降の温度上昇を1.5°C~2°C以内に抑える。

- ・今世紀後半に正味の排出ゼロ(**脱炭素社会:カーボンニュートラル**)を目指す。

グローバルストックテイク:

- ・2023年から5年毎に世界全体の目標に向けた進捗状況をチェック。

- ・各国の目標改訂に反映

各国の行動:

- ・国情にあわせて自主的に温室効果ガス削減・抑制目標を設定(**NDC**)。

- ・進捗状況を定期的に報告し、レビューを受ける(**Pledge & Review**)

- ・5年毎に目標を見直す。

- ・2050年を念頭に**長期戦略**の策定。

COP26のハイライト:

- ・第6条（市場メカニズム等）の実施規則合意
- ・1.5度へ向けた野心度引上げ（議論の場を設定）
- ・石炭火力の段階的削減(phase out→phase down)

COP27のハイライト:

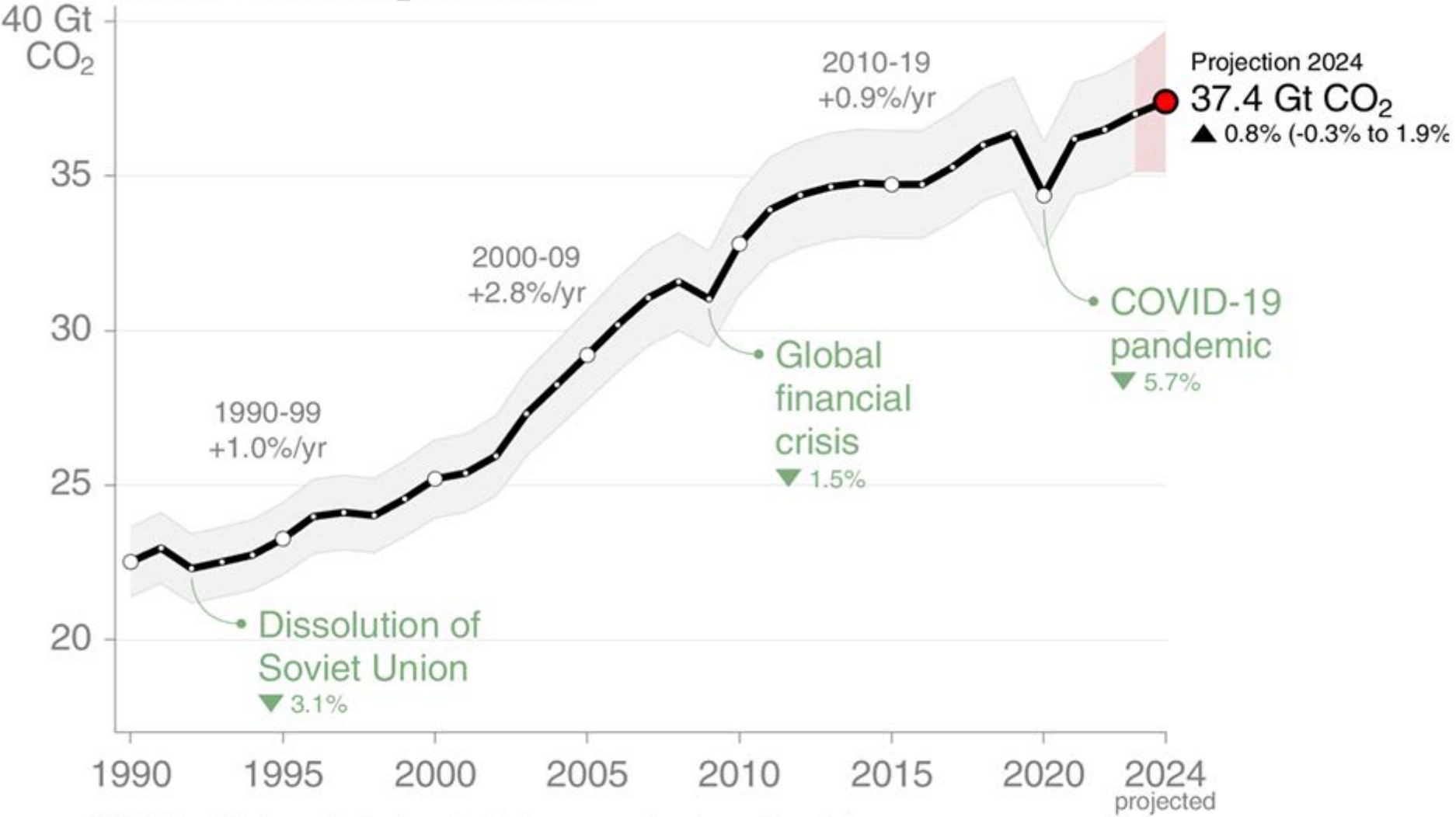
- ・Loss & Damage（損害賠償）基金検討開始

COP28のハイライト:

- ・GST (transition away from fossil fuels, various pathways)

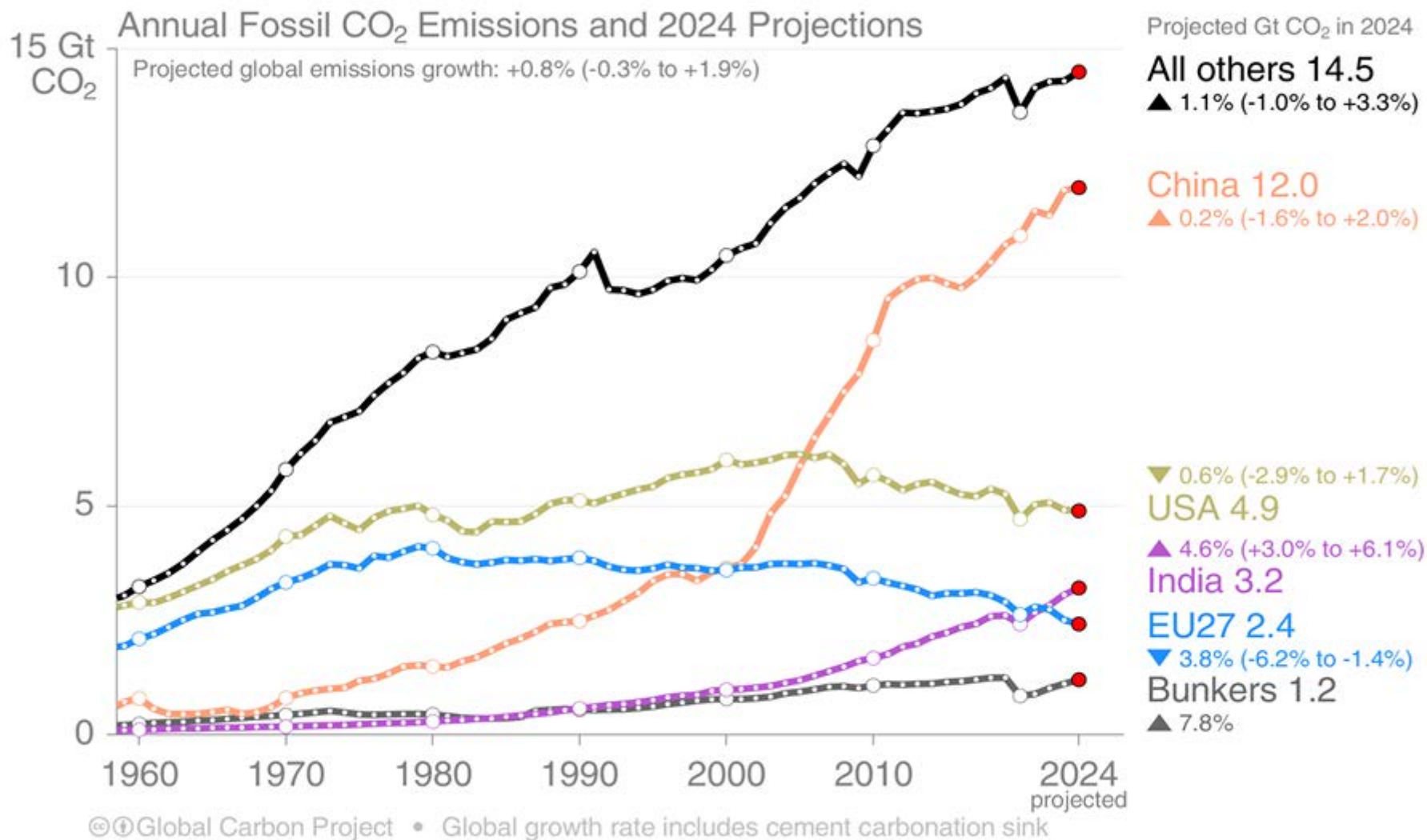
COP21(2015年12月、採択)、2016年11月パリ協定発効、COP26(1年延期、2021年11月、英国)、COP27(2022年11月、エジプト)、COP28(2023年、ドバイ)、COP29(2024年、バクー)

Global Fossil CO₂ Emissions



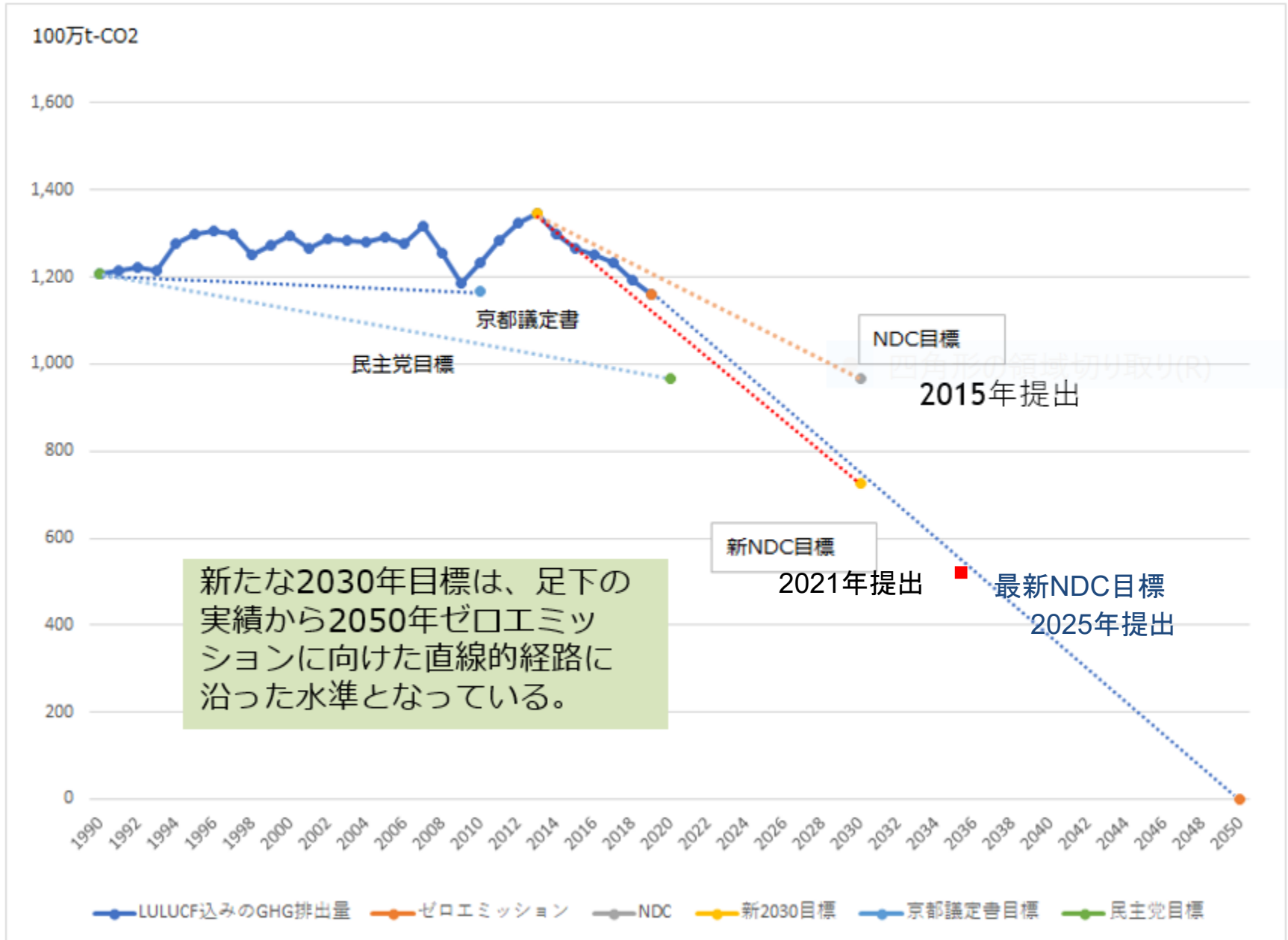
© Global Carbon Project • Includes cement carbonation sink

出典) Global Carbon Project, 2024



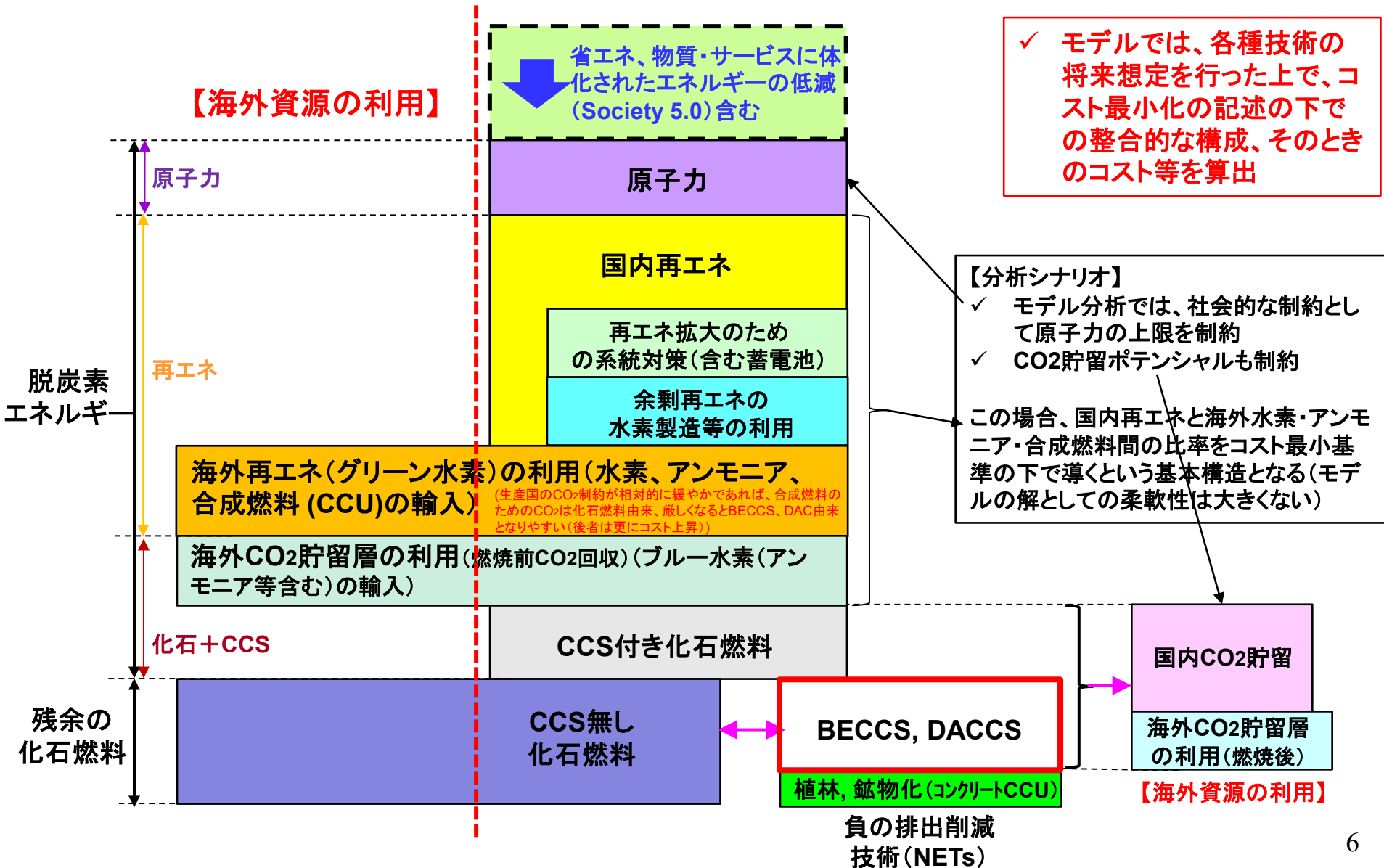
主要国の化石燃料からのCO₂排出量の推移

日本のGHG排出量と各種削減目標



日本の正味ゼロ排出のイメージ (RITEのシナリオ分析)

【国内の一次エネルギー供給】



- 省エネ・再エネ・原子力・CCS・水素/アンモニア・大気からのCO₂削減(NETs)など技術を総動員しなければカーボンニュートラル(CN)は実現できない。原子力の導入量は最適解では設定した上限に張り付く。
- 電化と電力部門の脱炭素化はどのシナリオでも必要になる。ただし、発電コストはほぼ倍増する。再エネ電気100%とすると更に倍増する。再エネ100%は電化促進に弊害となる。
- 非電力部門では水素やゼロエミ合成燃料の利用が必要になる。それでも排出ゼロは実現できないので、NETsを活用してネット排出ゼロを目指すことになる。
- 大気からCO₂を回収するDACが全てのシナリオで活用される。回収したCO₂利用は行われるが規模は大きくない。わが国のCO₂貯留容量だけでなく、海外の貯留容量も活用される。
- デジタル社会でのシェアリングエコノミー推進は、情報を活用した新たな省エネを実現し、エネルギーシステムコストが大幅に低減する可能性がある。
- 海外クレジット活用ケース（世界全体で最適対応）では、わが国の2050年のCO₂削減量は2013年度比63%に留まるが、対策コストは大幅に低減する。

(2021年のRITEのモデル分析の山地によるまとめ)

イノベーション・アクションプラン

－革新的技術の2050年までの確立を目指す具体的な行動計画（5分野16課題）－

①コスト目標、世界の削減量、②開発内容、③実施体制、④基礎から実証までの工程を明記。

強力に後押し

アクセラレーションプラン –イノベーション・アクションプランの実現を加速するための3本の柱–

①司令塔による計画的推進

【グリーンイノベーション戦略推進会議】府省横断で、基礎～実装まで長期に推進。既存プロジェクトの総点検、最新知見でアクションプラン改訂。

②国内外の叡智の結集

【ゼロエミ国際共同研究センター等】G20研究者12万人をつなぐ「ゼロエミッション国際共同研究センター」、産学が共創する「次世代エネルギー基盤研究拠点」、「カーボンリサイクル実証研究拠点」の創設。「東京湾岸イノベーションエリア」を構築し、産学官連携強化。

【ゼロエミクリエイターズ500】若手研究者の集中支援。

【有望技術の支援強化】「先導研究」、「**ムーンショット型研究開発制度**」の活用、「地域循環共生圏」の構築。

③民間投資の増大

【グリーン・ファイナンス推進】TCFD提言に基づく企業の情報発信、金融界との対話等の推進。

【ゼロエミ・チャレンジ】優良プロジェクトの表彰・情報開示により、投資家の企業情報へのアクセス向上。

【ゼロエミッションベンチャー支援】研究開発型ベンチャーへのVC投資拡大。

ゼロエミッション・イニシアティブズ –国際会議等を通じ、世界との共創のために発信–

グリーンイノベーション・サミット、RD20、ICEF、TCFDサミット、水素閣僚会議、カーボンリサイクル産学官国際会議

● 革新技术の構成 (要素技術だけでなく、システム化・構造化して提示、山地)

エネルギー転換分野：

再エネ主力電源化
柔軟で強靱な電力NW
水素サプライチェーン

革新的原子力技術・核融合
低コストCO₂分離回収⇒CCUS

運輸分野：

多様なグリーンモビリティ

民生分野：

省エネ・未利用エネの徹底活用
スマートコミュニティ
社会システム・ライフスタイル革新
(シェアリング/テレワーク等)

産業分野：

化石資源依存からの脱却

電化

CO₂の原燃料化

農業その他分野：

農畜産業のメタン・N₂O削減
吸収源（農地、林業関係、ブルーカーボン）
スマート農林水産業

DAC

共通基盤技術：

デジタル技術（ビッグデータ解析、
AI、ブロックチェーン、…）
パワエレ、材料、エネルギー貯蔵
観測システム、情報基盤
バイオテクノロジー、etc.

2兆円のグリーンイノベーション基金事業

GX実現に向けた基本方針（2023年2月23日閣議決定）

- GXを加速させることで、エネルギー安定供給と脱炭素分野で新たな需要・市場を創出し、日本経済の産業競争力強化・経済成長につなげていく。
- 第211回国会に、GX実現に向けて必要となる関連法案を提出。

（1）エネルギー安定供給の確保を大前提としたGXの取組

- ①徹底した省エネの推進
- ②再エネの主力電源化
 - ・次世代太陽電池(ペロブスカイト)や浮体式洋上風力の社会実装化
- ③原子力の活用
- ④その他の重要事項
 - ・水素・アンモニアと既存燃料との価格差に着目した支援
 - ・カーボンリサイクル燃料（メタネーション、SAF,合成燃料等）、蓄電池等の各分野において、GXに向けた研究開発・設備投資・需要創出等の取組を推進

（2）「成長志向型カーボンプライシング構想」等の実現・実行

- ①GX経済移行債を活用した、今後10年間で20兆円規模の先行投資支援
 - 産業競争力強化・経済成長と排出削減の両立に貢献する分野への投資等を対象とし、規制・制度措置と一体的に講じる。
- ②成長志向型CPによるGX投資インセンティブ
 - i. 排出量取引制度の本格稼働【2026年度～】
 - ii. 発電事業者の有償オークション導入【2033年度～】
 - iii. 炭素に対する賦課金制度の導入【2028年度～】※上記を一元的に執行する主体として「GX推進機構」を創設
- ③新たな金融手法の活用
- ④国際戦略・公正な移行・中小企業等のG..

脱炭素を推進するための2つの法律（2023年5月成立）

GX推進法

「GX移行債」を**20兆円**発行



今後**10年**で官民投資**150兆円**



化石燃料の輸入業者などに負担金



電力会社などに排出枠の購入を求める



カーボンプライシングや20兆円の政府支出で企業の脱炭素投資を促す

GX電源法

原発の運転期間を**60年超**に延長



運転開始から**30年超**えたら**10年ごと**に審査

法令違反の再エネ事業者に厳しく対処



廃炉拠出金制度の導入

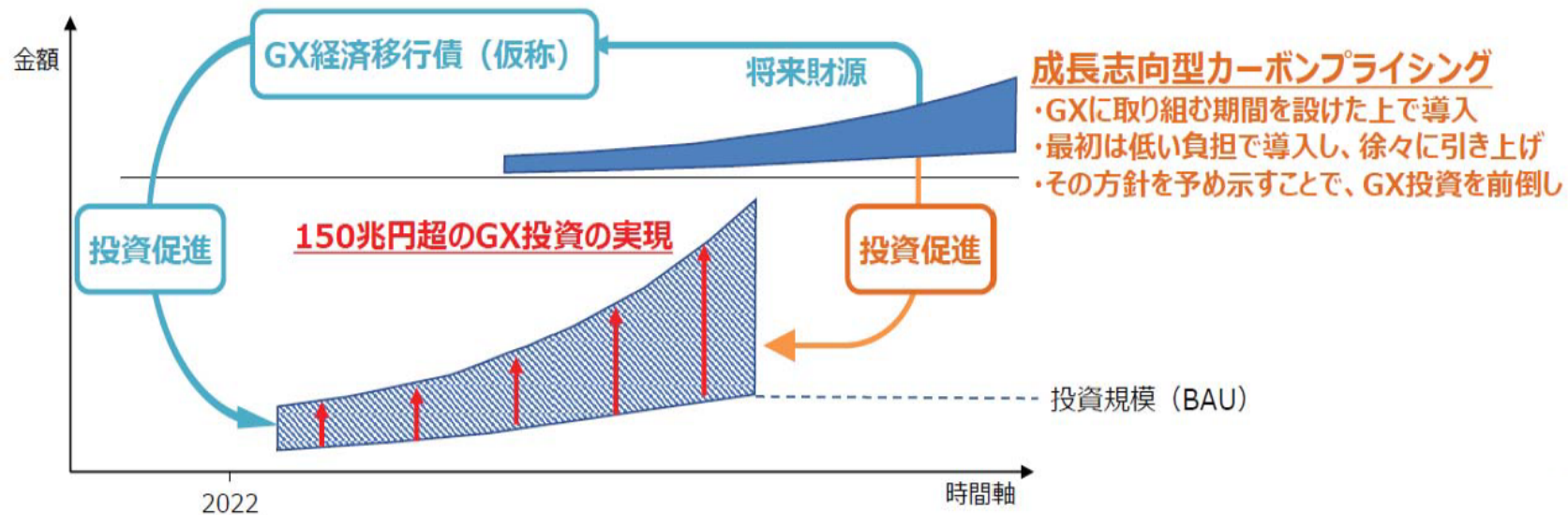


発電時にCO2排出しない原発の活用を拡大

官民GX投資と成長志向型カーボンプライシング

後10年間に150兆円超の官民GX投資を実現し、国際公約と、我が国の産業競争力強化・経済成長を同時に実現していくため『成長志向型カーボンプライシング構想』を速やかに実現・実行

- ①代替技術の有無や国際競争力への影響等を踏まえて実施しなければ、我が国経済に悪影響が生じるおそれや、国外への生産移転（カーボンリーケージ）が生じることを踏まえ、直ちに導入するのではなく、GXに取り組む期間を設けた上で導入。
- ②最初は低い負担で導入し、徐々に引き上げていくとともに、その方針を予め示すことで、GX投資を前倒し。
- ③カーボンプライシング(CP)導入の結果として得られる将来の財源を裏付けとした「GX経済移行債(仮称)」を発行。これにより、大胆な先行投資支援。



出所：GX実行会議資料「GXを実現するための政策イニシアティブの具体化について」（22.11.29）

水素社会推進法の概要（2024年5月成立）

背景・法律の概要

- ✓ **2050年カーボンニュートラル**に向けて、今後、脱炭素化が難しい分野においてもGXを推進し、エネルギー安定供給・脱炭素・経済成長を同時に実現していくことが課題。こうした分野における**GXを進めるためのカギとなるエネルギー・原材料として、安全性を確保しながら、低炭素水素等の活用を促進することが不可欠。**
- ✓ このため、**国が前面に立ち、低炭素水素等の供給・利用を早期に促進するため、基本方針の策定、需給両面の計画認定制度の創設、計画認定を受けた事業者に対する支援措置や規制の特例措置**を講じるとともに、低炭素水素等の供給拡大に向けて、**水素等を供給する事業者が取り組むべき判断基準の策定等の措置**を講じる。

1. 定義・基本方針・国の責務等

(1) 定義 (2) 基本方針の策定 (3) 国・自治体・事業者の責務

- 「**低炭素水素等**」：水素等であって、
 - ①その製造に伴って排出されるCO2の量が一定の値以下
 - ②CO2の排出量の算定に関する国際的な決定に照らしてその利用が我が国のCO2の排出量の削減に寄与する等の経済産業省令で定める要件に該当するもの
- ※「水素等」：水素及びその化合物であって経済産業省令で定めるもの（アンモニア、合成メタン、合成燃料を想定）
- 主務大臣は、関係行政機関の長に協議した上で、低炭素水素等の供給・利用の促進に向けた**基本方針**を策定。
- 基本方針には、①低炭素水素等の供給・利用に関する**意義・目標**、②**GX実現に向けて重点的に実施すべき内容**、③**低炭素水素等の自立的な供給に向けた取組**等を記載。
- **国**は、低炭素水素等の供給・利用の促進に関する**施策を総合的かつ効果的に推進する責務**を有し、**規制の見直し等の必要な事業環境整備や支援措置**を講じる。
- **自治体**は、**国の施策に協力**し、低炭素水素等の供給・利用の促進に関する**施策を推進**する。
- **事業者**は、**安全を確保**しつつ、低炭素水素等の供給・利用の促進に資する**設備投資等を積極的に**行うよう努める。

2. 計画認定制度の創設

(1) 計画の作成 (3) 認定を受けた事業者に対する措置

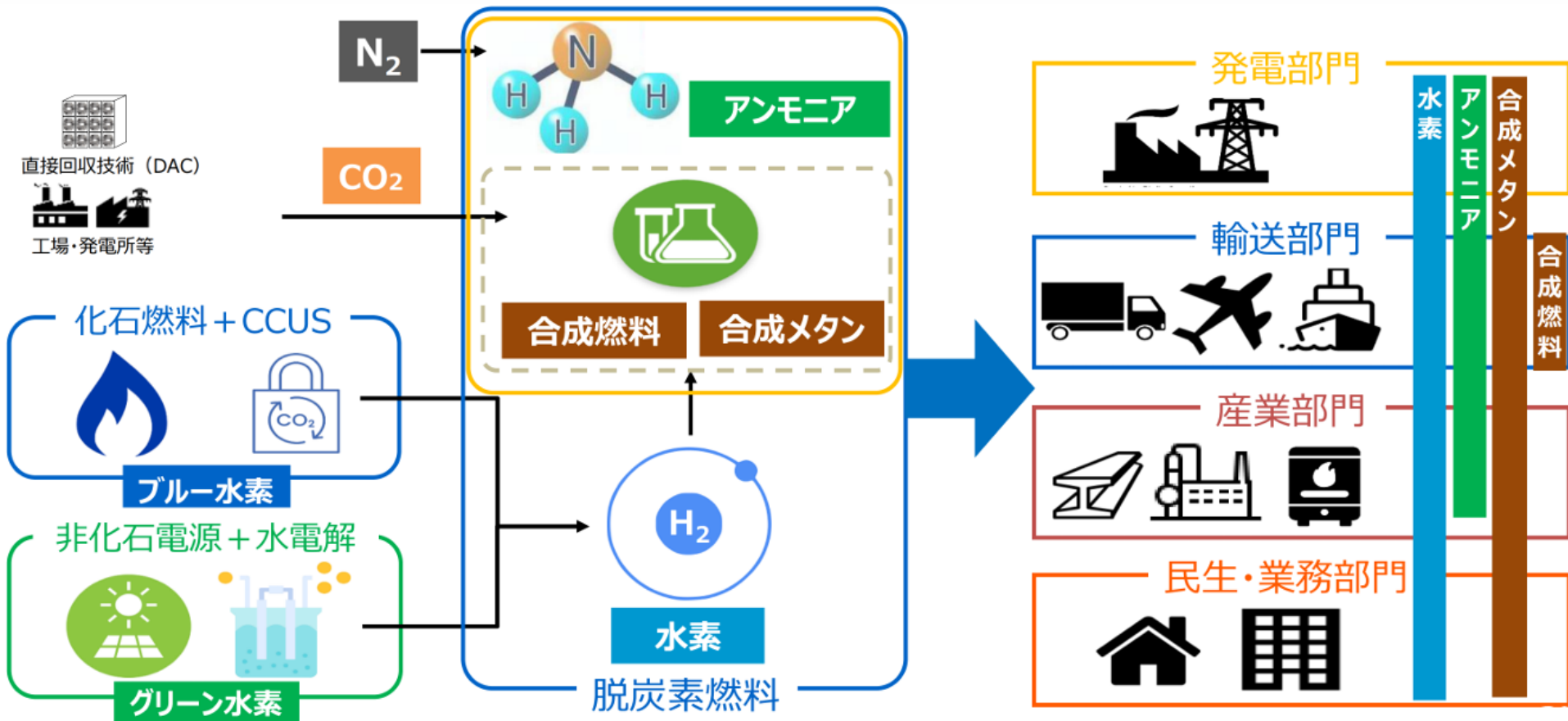
- **低炭素水素等を国内で製造・輸入して供給する事業者や、低炭素水素等をエネルギー・原材料として利用する事業者が、単独又は共同で計画を作成し、主務大臣に提出。**
- **先行的で自立が見込まれるサプライチェーンの創出・拡大**に向けて、以下の基準を設定。
 - ①計画が、**経済的かつ合理的**であり、かつ、低炭素水素等の供給・利用に関する**我が国産業の国際競争力の強化に寄与**するものであること。
 - ②「**価格差に着目した支援**」「**拠点整備支援**」を希望する場合は、
 - (i) **供給事業者と利用事業者の双方が連名となった共同計画**であること。
 - (ii) 低炭素水素等の供給が**一定期間内に開始され、かつ、一定期間以上継続的に行われる**と見込まれること。
 - (iii) **利用事業者が、低炭素水素等を利用するための新たな設備投資や事業革新等**を行うことが見込まれること。
 - ③ 導管や貯蔵タンク等を整備する港湾、道路等が、**港湾計画、道路の事情等の土地の利用の状況に照らして適切**であること。 等
- ①「**価格差に着目した支援**」「**拠点整備支援**」(JOGMEC(独法エネルギー・金属鉱物資源機構)による助成金の交付)
 - (i) **供給事業者が低炭素水素等を継続的に供給**するために**必要な資金**や、
 - (ii) **認定事業者の共用設備の整備**に充てるための**助成金を交付**する。
- ② **高圧ガス保安法の特例**
認定計画に基づく設備等に対しては、一定期間、**都道府県知事に代わり、経済産業大臣が一元的に保安確保のための許可や検査等を行う。**
※ 一定期間経過後は、高圧ガス保安法の認定高度保安実施者(事業者による自主保安)に移行可能。
- ③ **港湾法の特例**
認定計画に従って行われる**港湾法の許可・届出を要する行為**(水域の占用、事業場の新設等)について、**許可はあったものとみなし、届出は不要**とする。
- ④ **道路占用の特例**
認定計画に従って敷設される導管について**道路占用の申請**があった場合、一定の基準に適合するときは、**道路管理者は占用の許可を与えなければならないこととする。**

3. 水素等供給事業者の判断基準の策定

- **経済産業大臣は、低炭素水素等の供給を促進するため、水素等供給事業者(水素等を国内で製造・輸入して供給する事業者)が取り組むべき基準(判断基準)を定め、低炭素水素等の供給拡大に向けた事業者の自主的な取組を促す。**
- **経済産業大臣は、必要があると認めるときは、水素等供給事業者に対し指導・助言を行うことができる。また、一定規模以上の水素等供給事業者の取組が著しく不十分であるときは、当該事業者に対し勧告・命令を行うことができる。**

電気・ガス・石油・製造・運輸等の産業分野の低炭素水素等の利用を促進するための制度の在り方について検討し、所要の措置を講ずる。

水素系エネルギーの利活用



出典) 日本政府、GX実現に向けた専門家ワーキンググループ資料(2023)

- ✓ 水素系エネルギーも、製造方法、利用方法ともに複数の可能性がある。技術を特定し過ぎず、幅広い選択肢を有して、市場競争を促すことが必要
- ✓ 他方、水素は新規インフラが必要な一方、合成燃料(e-fuels)や合成メタン(e-methane)は既存インフラの大部分は利用可能で、かつ混合率も調整しやすく、柔軟性を有する。


水素

エネルギー社会

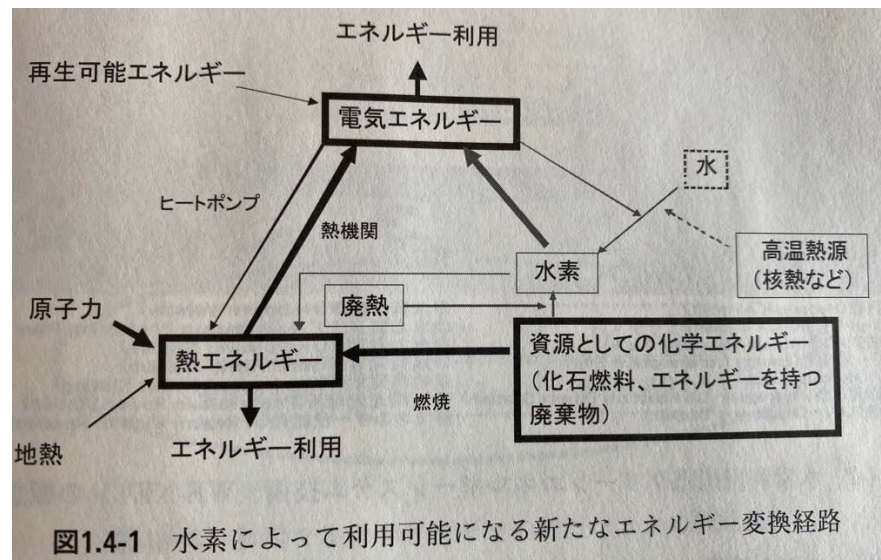
「水素エネルギー社会に関する調査研究」研究プロジェクト

編・著者

山地憲治

 エネルギー・資源学会

2008年5月出版



この本の中で山地が書いた図

CCS事業法の概要（2024年5月成立）

背景・法律の概要

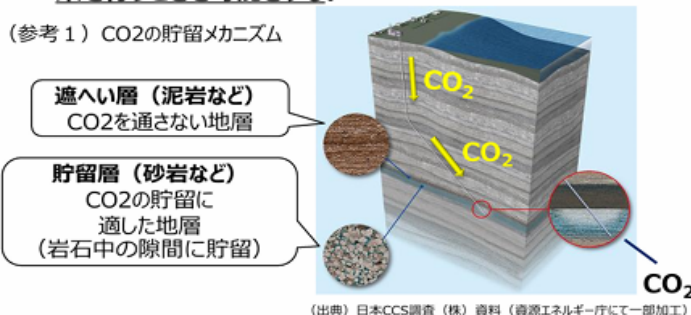
- ✓ **2050年カーボンニュートラル**に向けて、今後、脱炭素化が難しい分野におけるGXを実現することが課題。こうした分野における**化石燃料・原料の利用後の脱炭素化を進める手段**として、CO₂を回収して地下に貯留する**CCS**（Carbon dioxide Capture and Storage）の導入が不可欠。
- ✓ **我が国としては、2030年までに民間事業者がCCS事業を開始するための事業環境を整備**することとしており（GX推進戦略 2023年7月閣議決定）、公共の安全を維持し、海洋環境の保全を図りつつ、その事業環境を整備するために必要な**貯留事業等の許可制度等を整備**する。

1. 試掘・貯留事業の許可制度の創設、貯留事業に係る事業規制・保安規制の整備

(1) 試掘・貯留事業の許可制度の創設

- 経済産業大臣は、貯留層が存在する可能性がある区域を「**特定区域**」として**指定**※した上で、特定区域において**試掘やCO₂の貯留事業**を行う者を募集し、これらを**最も適切に行うことができると認められる者**に対して、**許可**※を与える。
※ 海域における特定区域の指定及び貯留事業の許可に当たっては環境大臣に協議し、その同意を得ることとする。
- 上記の許可を受けた者に、**試掘権**（貯留層に該当するかどうかを確認するために地層を掘削する権利）や**貯留権**（貯留層にCO₂を貯留する権利）を**設定**する。CO₂の安定的な貯留を確保するための、**試掘権・貯留権は「みなし物権」とする**。
- **鉱業法に基づく探掘権者**は、上記の**特定区域以外の区域（鉱区）**でも、経済産業大臣の許可を受けて、**試掘や貯留事業を行うことを可能とする**。

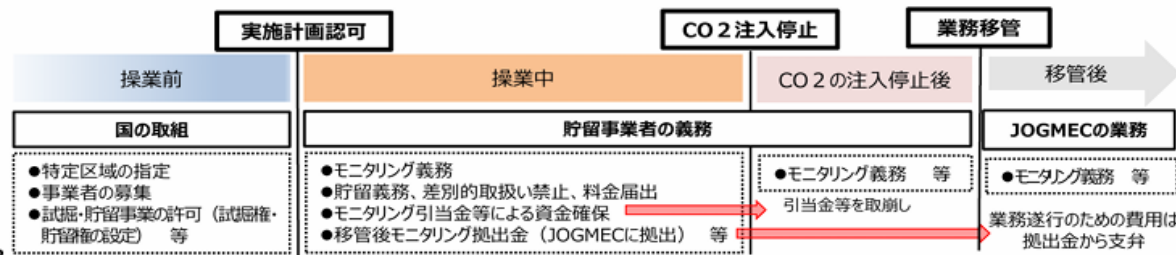
(参考1) CO₂の貯留メカニズム



(2) 貯留事業者に対する規制

- **試掘や貯留事業の具体的な「実施計画」**は、**経済産業大臣**（※）の認可制とする。
※ 海域における貯留事業の場合は、経済産業大臣及び環境大臣
- 貯蔵したCO₂の漏えいの有無等を確認するため、**貯留層の温度・圧力等のモニタリング義務**を課す。
- **CO₂の注入停止後に行うモニタリング業務等に必要な資金**を確保するため、**引当金の積立て等**を義務付ける。
- 貯留したCO₂の挙動が安定しているなどの要件を満たす場合には、**モニタリング等の貯留事業場の管理業務をJOGMEC**（独法エネルギー・金属鉱物資源機構）に移管することを可能とする。また、**移管後のJOGMECの業務に必要な資金**を確保するため、貯留事業者に対して**拠出金の納付**を義務付ける。
- 正当な理由なく、**CO₂排出者からの貯留依頼を拒むこと**や、**特定のCO₂排出者を差別的に取扱うこと**等を禁止するとともに、**料金等の届出義務**を課す。
- **技術基準適合義務、工事計画届出、保安規程の策定等**の保安規制を課す。
- 試掘や貯留事業に起因する**賠償責任**は、被害者救済の観点から、**事業者の故意・過失によらない賠償責任（無過失責任）**とする。

(参考2) 貯留事業に関するフロー



2. CO₂の導管輸送事業に係る事業規制・保安規制の整備

(1) 導管輸送事業の届出制度の創設

- CO₂を貯留層に貯留することを目的として、**CO₂を導管で輸送する者は、経済産業大臣に届け出なければならないものとする**。

(2) 導管輸送事業者に対する規制

- 正当な理由なく、**CO₂排出者からの輸送依頼を拒むこと**や、**特定のCO₂排出者を差別的に取扱うこと**等を禁止するとともに、**料金等の届出義務**を課す。
- **技術基準適合義務、工事計画届出、保安規程の策定等**の保安規制を課す。

※海洋汚染防止法におけるCO₂の海底下廃棄に係る許可制度は、本法律案に一元化した上で、海洋環境の保全の観点から必要な対応について環境大臣が共管する。

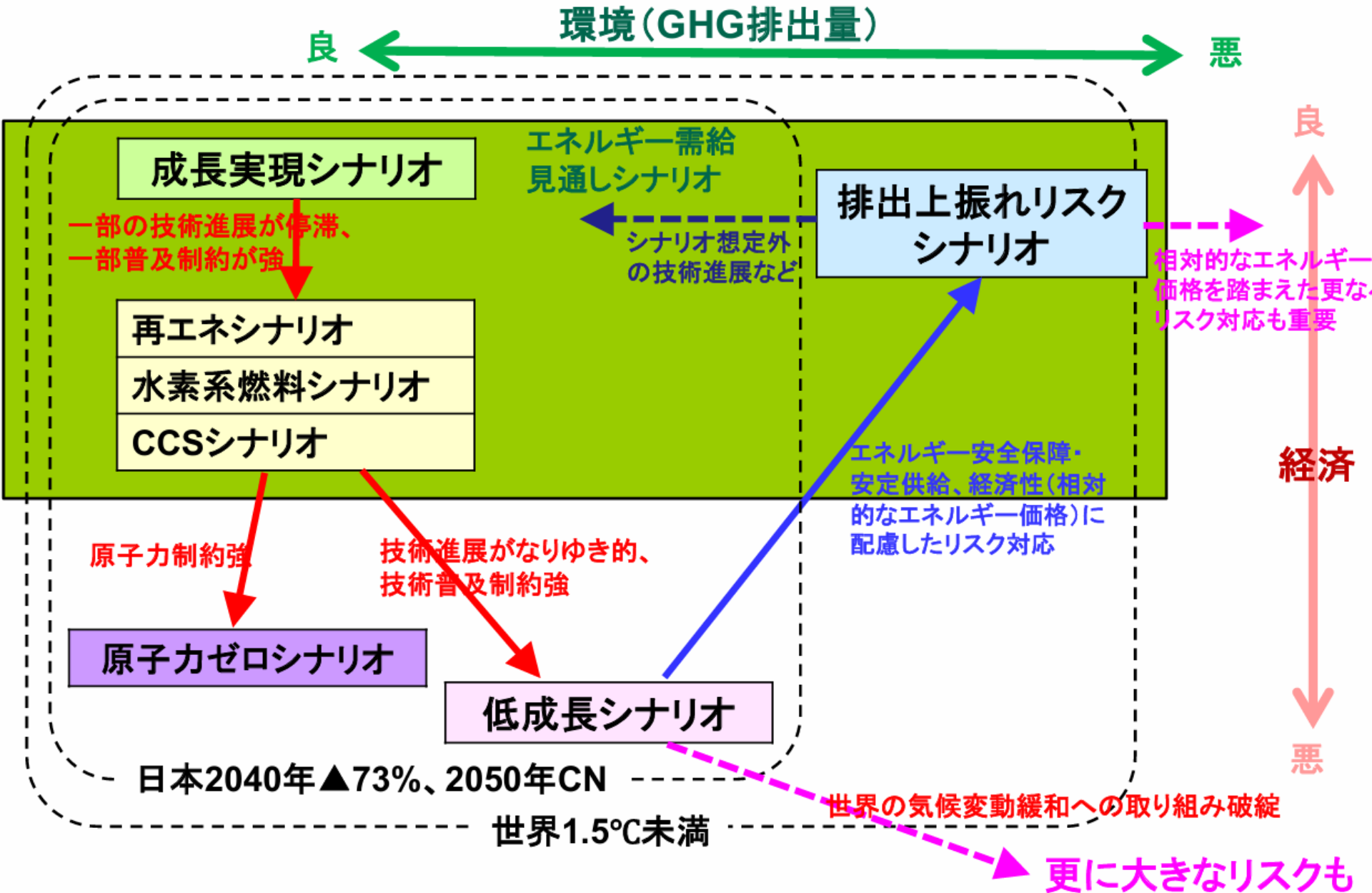
第7次エネルギー基本計画の概要（山地の注目点）

- ・ GX2040ビジョン、地球温暖化対策計画と一体で閣議決定（2025年2月）
- ・ DXやGXの進展に伴う電力需要増加
- ・ S+3Eの調整：エネルギー安定供給を第一として、経済効率性の向上と環境への適合を図る

- ・ 再エネ、原子力などエネルギー安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用
- ・ 経済合理的な対策から優先的に、脱炭素に伴うコスト上昇を最大限抑制
- ・ 徹底した省エネは不変、電化や非化石転換が今まで以上に重要
- ・ トランジション手段としてのLNG火力の確保
- ・ 次世代電力ネットワークの構築
- ・ 水素等（アンモニア、合成メタン、合成燃料を含む）を幅広い分野で活用
- ・ CCUS・CDR：非化石転換で脱炭素が困難な分野での取り組み

- ・ エネルギーシステム改革：検証、脱炭素電源投資確保の仕組み等
- ・ 多様な道筋によるアジアの脱炭素を進め、世界全体の脱炭素に貢献
- ・ 若手を含む幅広い層とのコミュニケーションの充実

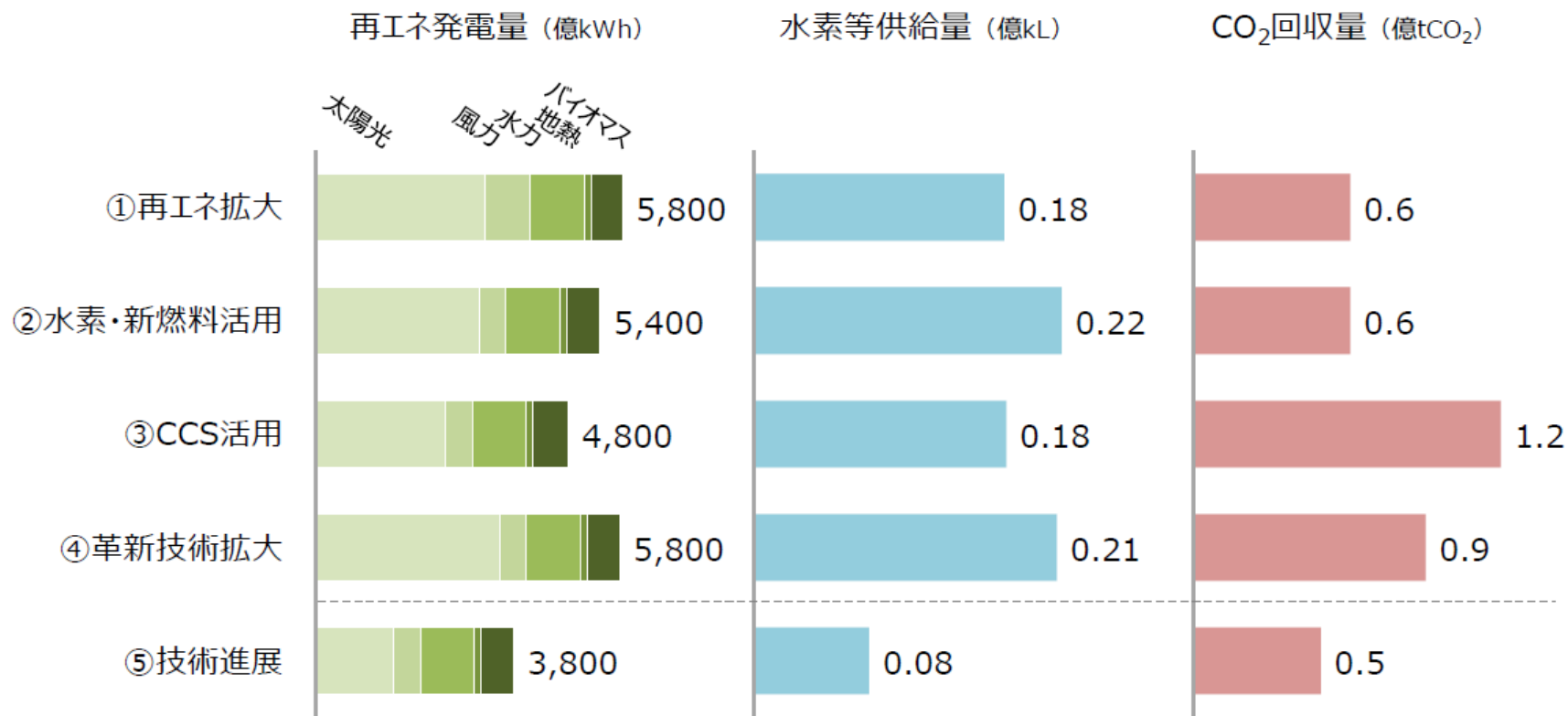
RITE分析シナリオのそれぞれの位置づけ



シナリオ別 革新技术の導入量

- 再エネ・水素等・CCSは、脱炭素化に向けていずれも重要な役割が期待されるが、コスト等の技術動向に応じて、2040年度の野心的な排出削減に向けた経済合理的な技術導入量の組み合わせは異なる。

再エネ・水素等・CCSの導入量（2040年度）



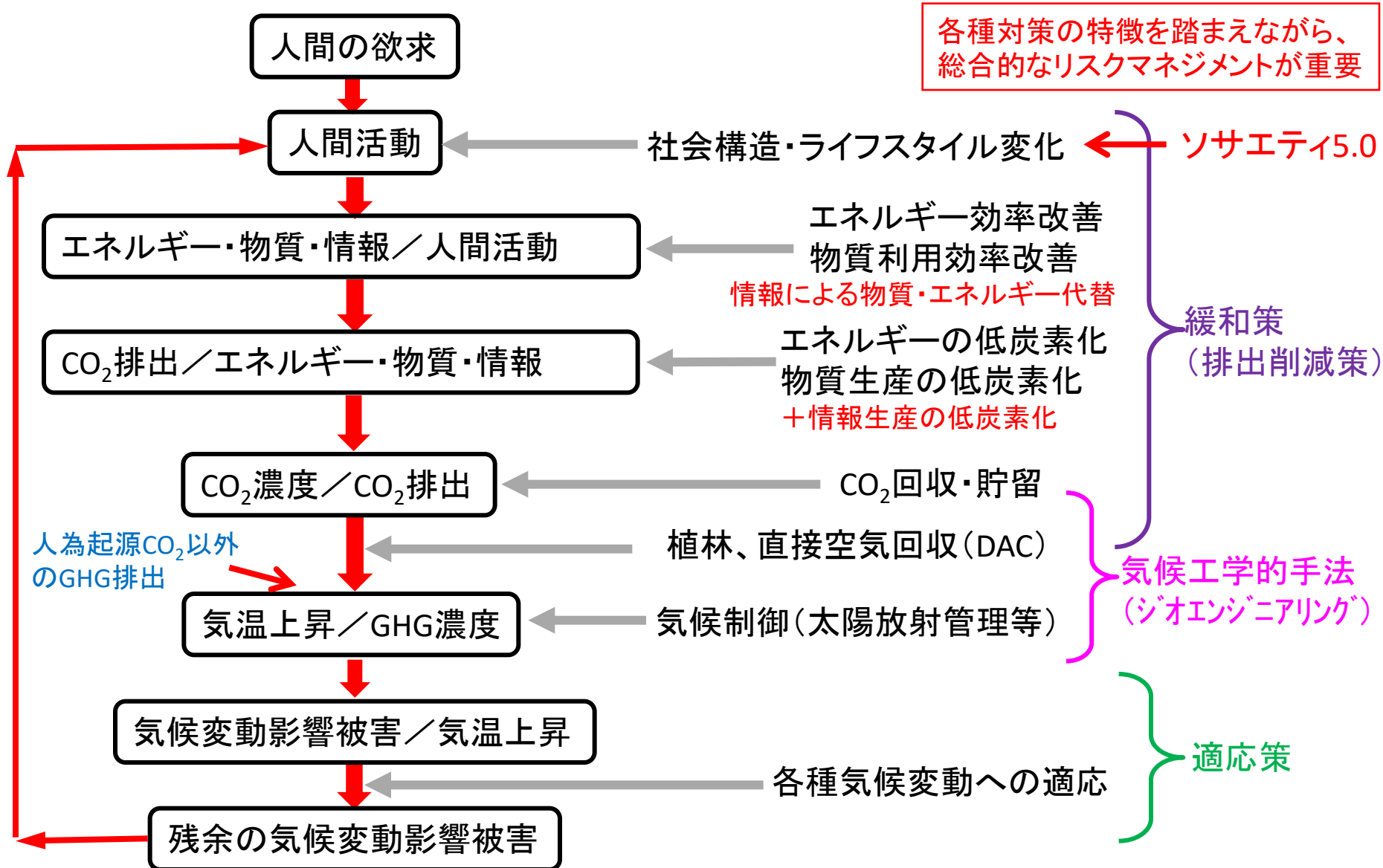
※ 水素等には、水素、アンモニア、合成燃料、合成メタンを含む。

総発電電力量：1.08—1.2兆kWh

一次エネルギー総供給：4.2—4.4億kL

出所：2040年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）、資源エネルギー庁、2025年2月

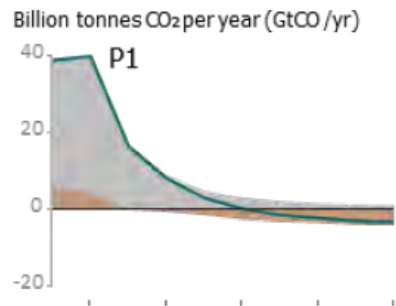
地球温暖化対策の基本構造



LEDシナリオの登場

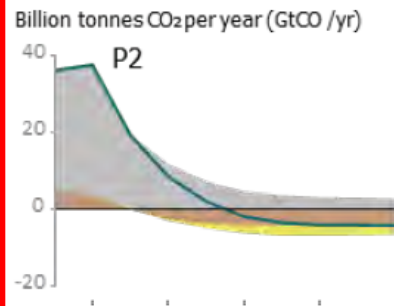
Breakdown of contributions to global net CO2 emissions in four illustrative model pathways

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS

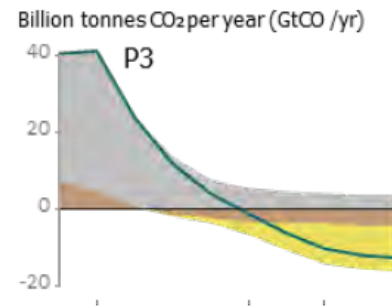


需要32%減、RE
77%BECCS無し

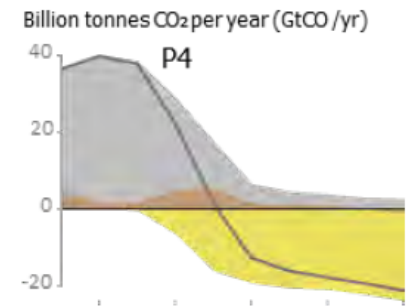
LEDシナリオ
(Low Energy
Demand)



需要2%増、RE 81%,
BECCS 151Gt



需要21%増、RE
63%, BECCS 414Gt

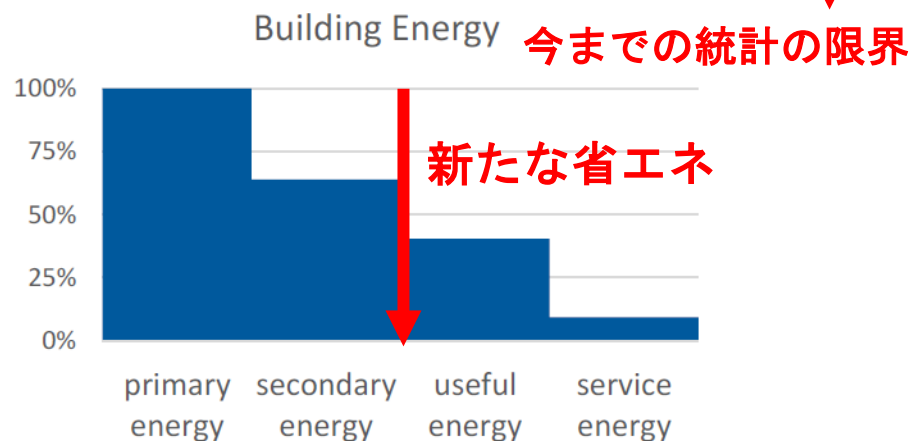
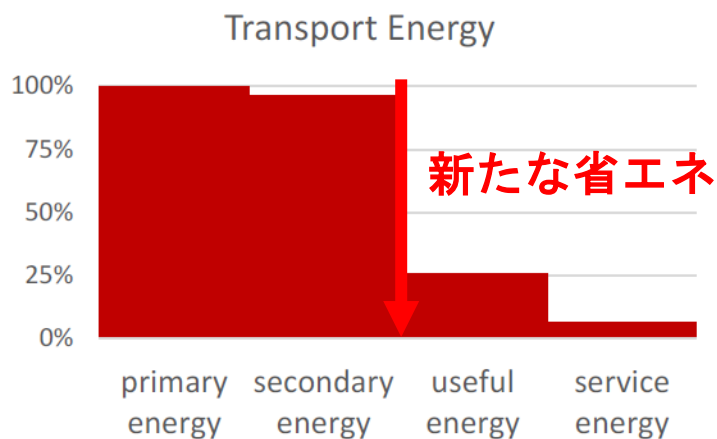
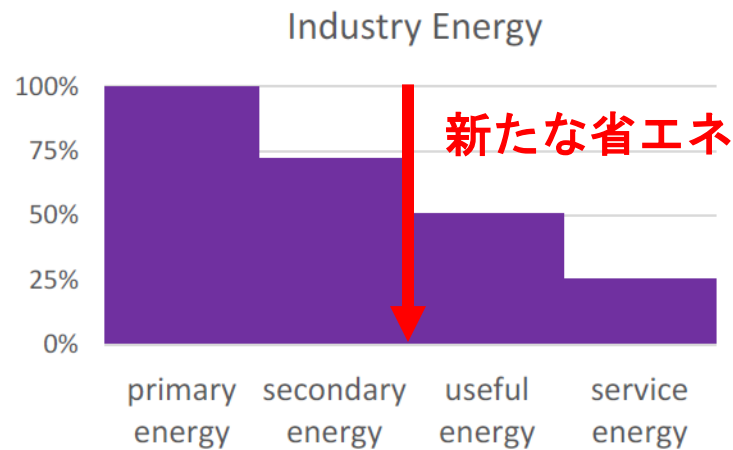
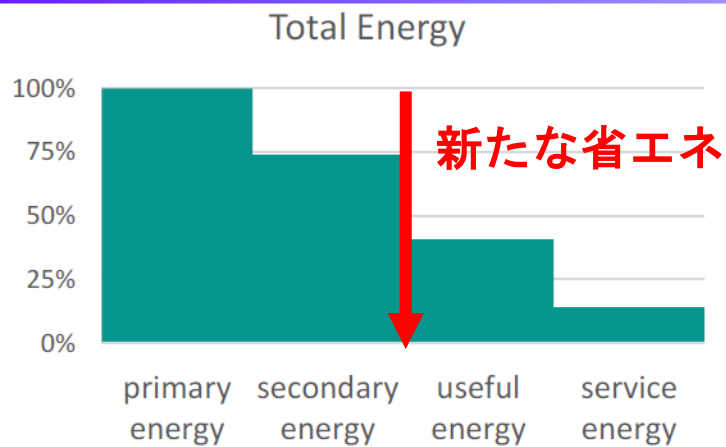


需要44%増、RE
70% BECCS 1191Gt

残りのシナリオではネガティブエミッション技術を利用

出典：IPCC 1.5°C特別報告書政策決定者向け要約

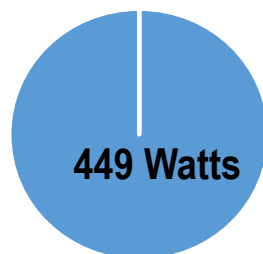
利用段階別の世界のエネルギー利用量



Source: Riahi (2022), Wilson, Grubler, and Zimm (2022). Energy-Services Led Transformation. In: *Routledge Handbook of Energy Transitions* (Ed: Araujo).
 Data from: Grubler et al. (2018), De Stercke (2014), Nakicenovic et al. (1993), Nakicenovic (1990).

- ✓ サービスエネルギー部分での低減は、一次エネルギー低減にレバレッジが大きく働く。
- ✓ 一方、需要側は普及障壁(隠れた費用)が大きい。DXにより、隠れた費用を低減し、低エネルギー需要の実現へ

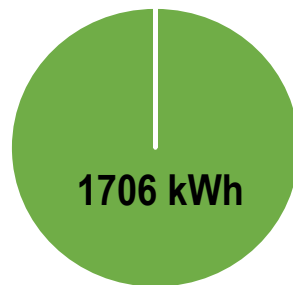
サーキュラー・シェアリングエコノミー + Digital Convergence (スマホの例)



Power



Stand-by energy use



Embodied energy

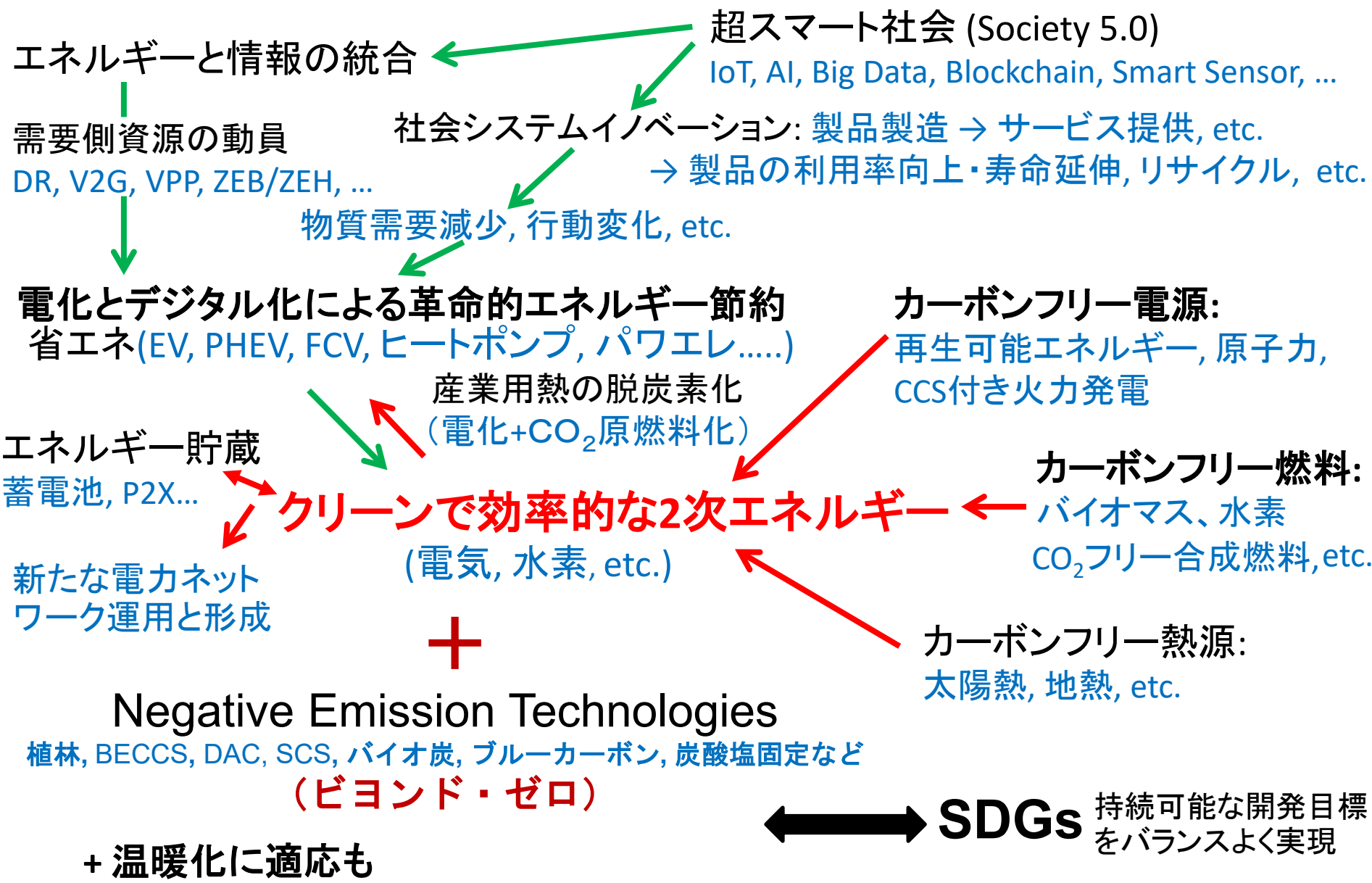


Weight

- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO2排出低減は急速になる可能性あり。

ただし、ソサエティ5.0では情報処理（データセンターなど）に多大のエネルギー必要とする、また情報機器の製品寿命が短いことにも配慮を要する。

脱炭素を実現するエネルギーシステムの構成



Keep Options as Many as Possible!

ご清聴ありがとうございました

Thanks for your attention



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)
Research Institute of Innovative Technology for the Earth

大型液化水素貯槽導入に係る規制合理化 に関する取り組み

2025年3月7日

特別民間法人 高圧ガス保安協会 (KHK)

水素センター

中納 暁洋

KHKの概要・業務

所在地（本部）	東京都港区虎ノ門4-3-13 ヒューリック神谷町ビル		
代表者	会長 近藤 賢二		
設立	1963年（昭和38年）12月20日		
根拠法	高圧ガス保安法（昭和26年6月7日 法律第204号）		
役職員数	224名※1	会員数	1,147※2

※1 役員、職員、嘱託、特別嘱託及び特別検査員を含む。2024年4月1日現在。

※2 2024年4月1日現在。



総合研究所

水素の社会実装
への取組み

研究開発
依頼試験

技術基準作成
(KHKs)



設備検査



容器検査

高圧ガス保安協会
The High Pressure Gas Safety Institute of Japan

事故調査
情報提供

検査・認定



マネジメント
システム認証

国家試験
法定講習



KHK 高圧ガス保安協会 (KHK)
ISO 審査センター
審査規格：
ISO 9001、14001、45001 等

1.水素等の普及に向けた課題

2.KHKの取組み

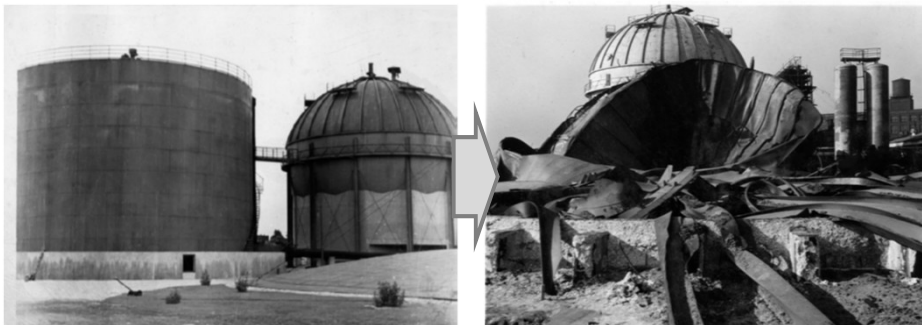
3.大型液化水素貯槽導入に伴う規制合理化
のための研究

グリーン水素の大規模利用における優先的な課題

- グリーン水素の大規模利用には、水素を「つくる」、「はこぶ・ためる」ことが重要な課題となるが、水素基本戦略で導入目標が設定された水電解装置、水素やアンモニアの受入基地の大規模貯槽及びパイプラインによる輸送、CCSなどについては、我が国では未だ十分な実績があるとはいえない。
- 他の用途を含め、これまでに発生した水素、アンモニア等の国内外の事故事例と実証実験による検証が保安の土台作りに必要であり、段階を踏んで土台を固めつつ振興という家を建て、支えていくことが重要。

＜大規模貯槽の事故事例＞

East Ohio Gasの世界初の大型LNG貯槽の爆発火災事故 (1944年 死者160名、負傷者 数百名)



- ・ 左貯槽が脆性破壊し爆発し、その後、右貯槽も爆発。
- ・ 火災が2日間継続。

<https://www.clevelandpolicemuseum.org/historical/east-ohio-gas-explosion-october-20-1944-police-response-and-report/> (閲覧2023.10.20)

注) 本資料はWeb上の報道情報等公開情報を基にKHKが取りまとめたもの。

東日本大震災におけるコスモ石油(株)千葉製油所での LPG球形貯槽の爆発火災事故(2011年 負傷者6名)



火災発生直後

倒壊した貯槽 (事故後)

https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2011-078r1.pdf (閲覧2023.10.20)

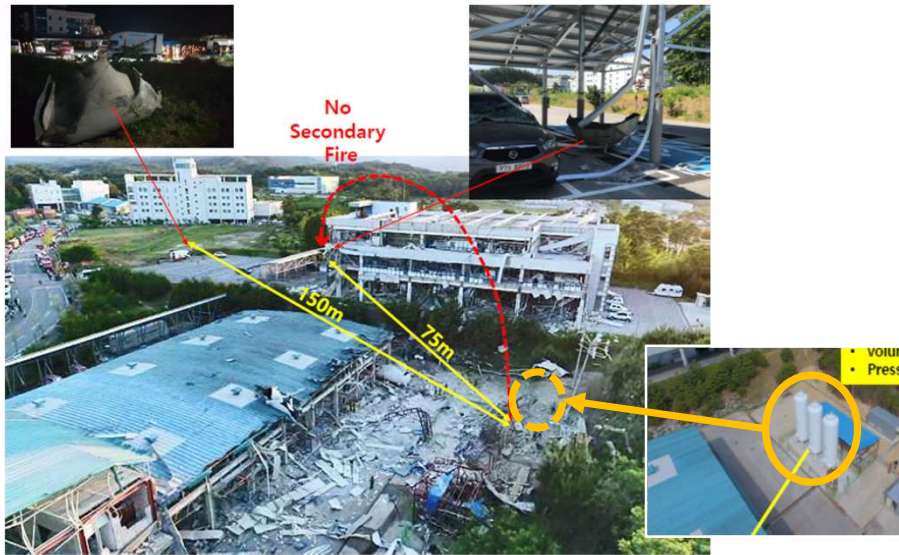
→ 教訓：低温における材料選定の重要性・耐震設計の重要性 など

水素タンク、水電解装置などの事故

＜水電解装置などの水素製造に関連する事故事例＞

注) 本資料はWeb上の報道情報等公開情報を基にKHKが取りまとめたもの。

韓国 江原テクノパークベンチャー工場の再エネ利用の水電解装置で製造した水素を貯蔵するタンクが爆発 (2019年 死者2名、負傷者6名)



発災後の施設の状況

発災前の水素貯蔵タンク (3基が同時に爆発と推定)

※電解セルにおけるクロスリークにより、酸素と水素が混合することに対して必要な対策が取られておらず爆発したものと推定。

Seong I. (Steven) Kim, "Review: Hydrogen Explosion in Gangneung, South Korea", Oct. 2019, CHS (Presentation)より抜粋・加筆

→ 教訓：水電解装置は、電解セルの内部やその下流側の付帯設備（貯槽など）において、水素と酸素が燃焼・爆発が生じないようにモニターする等の対策が重要であること、酸素と水素などの混合ガスは低圧でも大きな爆発になり得ることの理解の重要性など。

九州大学の水素ステーション実証試験設備の爆発事故 (2005年 死傷者なし。駐車中の車5台に微小腐食痕)

※水電解装置の電解セル内部で異常反応（チタンと電極又は水素と酸素）が生じたことが原因と考えられている



事故後の電解セルスタック



配管の圧力計取付部の破損状況

<https://www.kyushu-u.ac.jp/f/26190/hydrogensummary0206.pdf> (閲覧2023.10.20)

https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2005-415.pdf (閲覧2023.10.20)

山形バイオマスエネルギー発電プラントにおける試運転中の水素タンク爆発事故 (2019年 負傷者1名(近隣住民))

設計・施工：テスナエナジー



2019年2月7日山形新聞より

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/021_04_00.pdf (閲覧2023.10.20)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/josh/advpub/0/advpub_JOSH-2020-0021-SHI/pdf/-char/ja (閲覧2023.10.20)

※配管内の残存酸素とタンク内の水素とメタンなどの混合ガスが結び付き、エンジンの逆火等により着火、爆発したものと推定。この爆発で水素タンクの金属製屋根部（直径3m、厚さ約6mm、重さ約500kg）が約100m離れた住宅の2階を直撃し、その衝撃により落下した家財で住民がケガをして病院に搬送された。また、周辺住宅及び事業場の窓ガラス等が破損した。

アンモニアの事故

2023年10月25日 METI第2回水素保安小委員会資料2 抜粋 (KHK説明資料)

<アンモニアの事故事例>

注) 本資料はWeb上の報道情報等公開情報を基にKHKが取りまとめたもの。

ダカール(セネガル)のピーナッツオイル精製工場の液体アンモニアタンク破裂漏洩事故

(1992年 死者129名、負傷者1,150名)

Sonacos SAが所有



飛翔したタンクの前方部（左）と後方部

<https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2023/july/learning-worst-ammonia-accident> (閲覧2023.10.20)

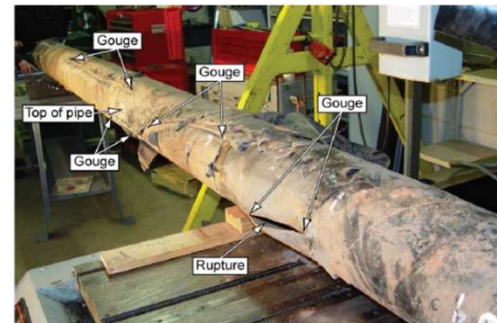
米国カンサス州での液体アンモニアパイプライン破断漏洩事故 (2004年 死傷者なし。小川の魚2.5万匹以上が死亡)

Magellan Midstream Partners, L.P.が所有、Enterprise Products Operating L.P. が操業



漏出したアンモニアの蒸気雲

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/PAB0702.pdf> (閲覧2023.10.20)



破断したパイプライン

※2016年にも米国ネブラスカ州で同様の事故が発生 (死者1名、負傷者2名)

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/PAB2001.pdf> (閲覧2023.10.20)

- ・ 我が国でもアンモニアに関する事故事例は多数。直近では2006年、2009年に、アンモニアを用いる冷凍施設において死亡事故が発生している。
- ・ 他方、液体アンモニアの外気への大量漏出事故については経験が少ない。

→ 教訓：液体アンモニアなど加圧された液化ガスが外気に大量に漏出した場合の、気体の漏洩とは異なる挙動への理解の重要性等。(外気の状態などによって、蒸気とエアロゾルからなる高密度の蒸気雲が形成される等)

1.水素等の普及に向けた課題

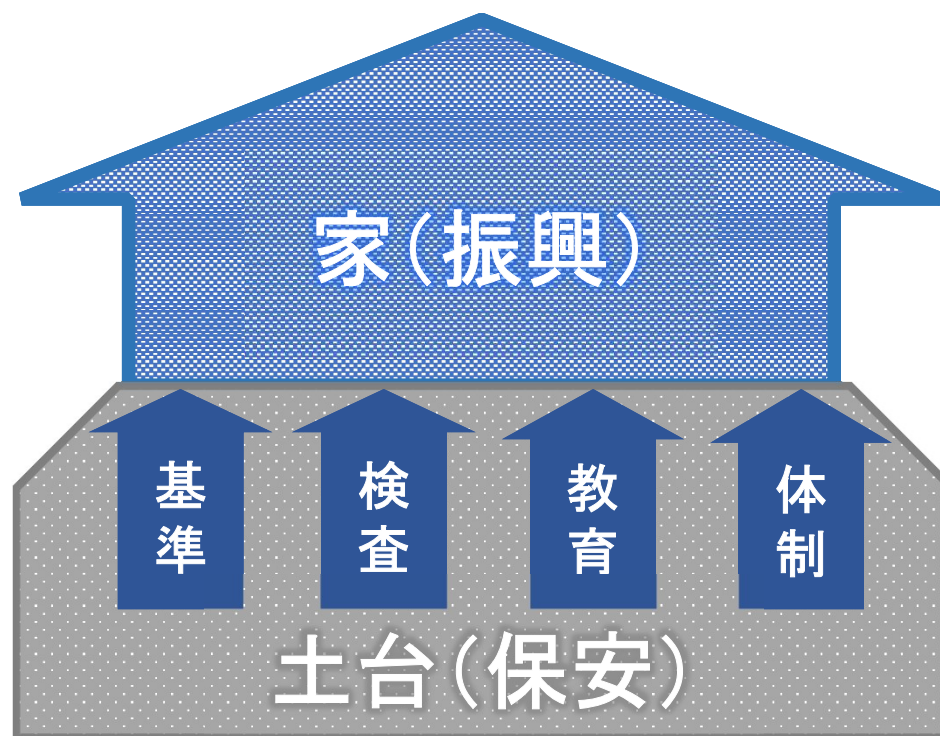
2.KHKの取組み

3.大型液化水素貯槽導入に伴う規制合理化
のための研究

KHKの水素社会実現に向けた取り組み姿勢

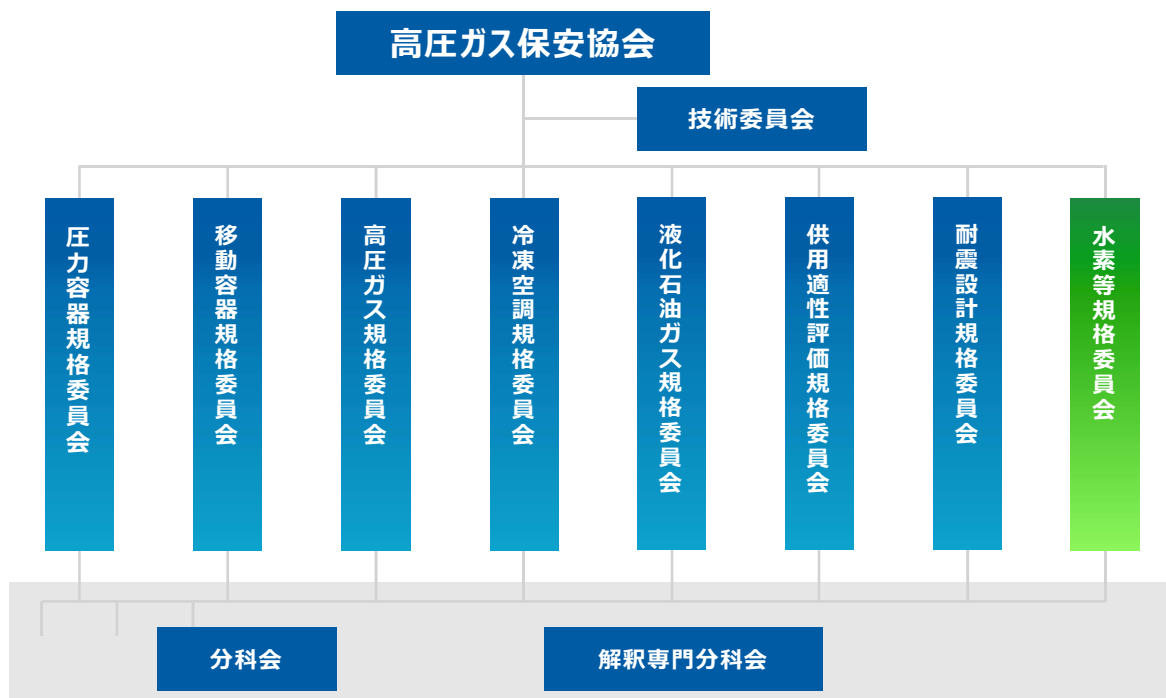
- ◆ 安全・安心な水素社会実現のためには、保安という「土台」をしっかりと作り、その上に振興という「家」を建て、メンテナンスしていくことが重要。
- ◆ 国、自治体、事業者等と更なる連携を図り、水素の利活用の推進にあたっての課題を絶えず把握し、その解決に向けて取り組んでいく。

保安と振興は一体



水素等規格委員会

- ◆ 本年度、水素社会推進法及びCCS事業法が施行されたことにより、水素等の更なる普及促進が期待される。
- ◆ これらの法施行に先駆け、KHKでは水電解装置、液化水素大型貯槽、CCS関連などのKHK技術基準を整備すべく、2024年3月19日に水素等規格委員会を設置。



水素等規格委員会の構成

<委員>

- ・学識者 6 名
- ・水素等利用ユーザー 5 名
- ・材料・設備製造者 5 名
- ・地方自治体 2 名

<オブザーバー>

- ・関係団体 16 組織
- ・経済産業省

<事務局>

- ・KHK水素センター

水素等規格委員会 分科会

★水電解装置分科会

水電解装置に関するISO規格及びASME規格を参考に国際調和のとれた基準を作成。

2024年8月9日に水電解装置に関する2規格（KHKS）を制定。

○水電解装置に関する基準（KHKS 0871-1）

水電解装置を構成する圧力機器の構造並びに発生したガスによる火災及び爆発の防止に関する最低限の要求事項について規定。

○水電解装置の電解セルスタックに関する基準（KHKS 0871-2）

電解セルスタックの圧力機器としての材料，設計，試験及び検査について規定。



★貯槽分科会

まずは液化水素の大型貯槽を対象としたKHKS原案作成を行う。

- 液化水素を大量に貯蔵する大型貯槽（球形貯槽又は平底円筒形貯槽等）を対象としたKHKS原案を作成。
- 現在実施しているNEDO事業の成果を活用し、大量漏洩したときの影響を考慮した規定を行う想定。
- 液化アンモニアを大量に貯蔵する大型貯槽を対象としたKHKS原案の作成も視野。

★パイプライン分科会

まずはCCSに係る二酸化炭素を輸送するパイプラインを対象とした原案作成を行う。

- CCS事業で二酸化炭素を輸送するパイプラインを対象としたKHKS原案を作成。
- ISOを参考にし、米国の規制動向も踏まえた規定を行う想定。
- 水素、アンモニア等を輸送するパイプラインを対象としたKHKS原案の作成も視野。



第1回パイプライン分科会の様子 2024年11月11日(月)

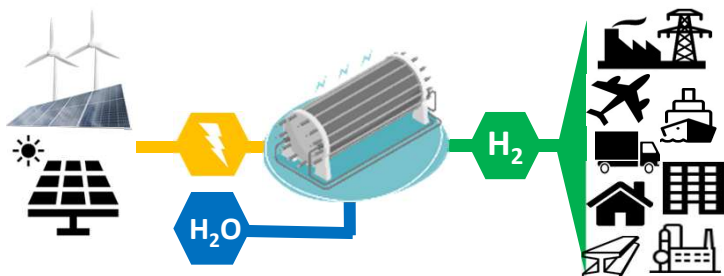
水素サプライチェーン構築に向けた実証等

- ◆ KHKは、水電解装置や大型液化水素貯蔵タンクの導入に向けた課題の調査、実証試験等を実施。
- ◆ こうした調査、実証試験等の結果を踏まえ、水素サプライチェーンに必要な規格・ルールを、学識者、事業者、関係団体、国等と協力して策定するとともに、国際標準化に参画していく。

水電解装置の導入に伴う課題の解決

①水電解装置の規格の策定

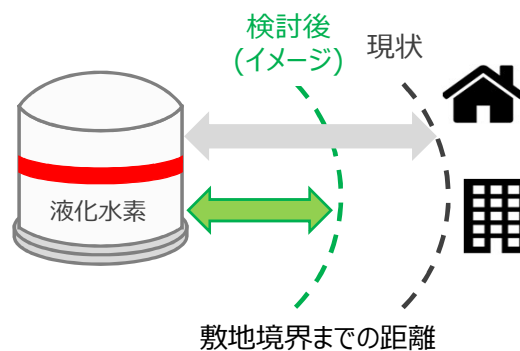
- ◆ 昨年3月19日に水素等規格委員会を設置。
- ◆ KHK は、学識者、事業者、関連団体とともに、水電解装置の規格開発に着手。
- ◆ 国際規格との整合性も考慮し、KHKは今後、国際標準化に参加していく。



大型液化水素貯槽導入に伴う規制合理化のための研究

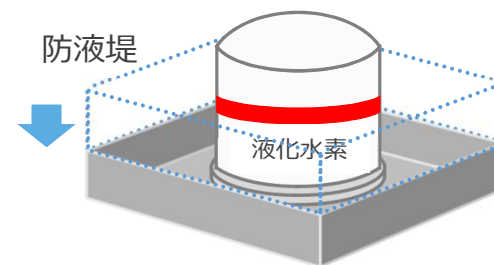
②貯槽と敷地境界間の距離の規制合理化のための研究

- ◆ 実験を踏まえ、合理的な距離を検討。



③貯槽に係る防液堤の基準の合理化のための研究

- ◆ 実験を踏まえ、防液堤の合理的な規模等を検討。



NEDO事業：2023～2025年度 実施者：KHK、JAXA、横国大

KHK水素セミナー

- ◆ 水素社会の実現に向け様々な取組みが各所で実施されている中、水素の社会実装に向けた情報提供の機会として、国の政策動向、KHKの水素社会実現に向けた取組み、事業者の先進的な取組み事例について、**水素、アンモニア、CCSに関する最新情報を幅広く紹介**することを目的として開催。

2024年度KHK水素セミナー

◇開催方法及び配信期間

開催方法：オンライン（オンデマンド方式）

配信期間：2025年2月5日（水）～26日（水）

- 経済産業省からは、水素等の利活用の促進に向けた制度や保安措置、CCS事業の環境整備や保安措置に関する検討状況について紹介。
 - 経済産業省 **岡田直也** 産業保安企画室長、**大川龍郎** 鉱山・火薬類監理監
 - 資源エネルギー庁 **廣田大輔** 水素・アンモニア課長、**慶野吉則** CCS政策室長
- KHKからは、カーボンニュートラル社会に向けた水素・CCSに関する取組み、2024年8月に制定した水電解装置に関する基準（KHKS 0871）、最近の水素関連事件事例、詳細基準事前評価の紹介。
 - KHK **小山田賢治**、**山本尚樹**、**山田敏弘**、**小池峻太**
- 事業者からは、水素・アンモニアの活用に向けた技術動向、合成燃料の供給・利用に向けた取組み、CCSの事業化に向けた取組み等を紹介。
 - 産業技術総合研究所 FREA 再生可能エネルギー研究センター **難波哲哉** 副研究センター長
 - レゾナック 基礎化学品事業部 企画部 **伊東浩史** プラスチックケミカルリサイクル推進室長
 - 出光興産 CNX戦略室 バイオ・合成燃料事業課 **小林健介** 担当マネジャー
 - INPEX 水素・CCUS事業開発本部 技術開発ユニット **飯田真司** ジェネラルマネージャー

国際的な連携と協力

◆ 国際会議への参画や海外関係機関との交流を通じて、国際的な連携を図り、国際的なルール作りに向けて活動。

海外関係機関との交流

日韓水素アンモニア等協力対話 水素等の安全に関する作業部会



KHK-JRC情報交換会 (欧州委員会 Joint Research Centre)



KHK-KGS定期会議 (KGS : 韓国ガス安全公社)



ISHAとの定期交流 (ISHA : 中華民国工業安全衛生協會)



その他

- NOW (独 水素・燃料電池機構)
- 南アフリカ政府関係者
- DOE (米 エネルギー省)

- CAAS (シンガポール航空局)
- 台湾内政部消防署
など

国際会議の主催、参画

- 2023年水素閣僚会議関連セッション
「水素の保安規制、法制、標準に関するワークショップ」
※KHK会長の近藤がモデレータを務めた。
- 日EU水素ビジネスフォーラム 
- 日韓水素アンモニア等協力対話 
- EU Technical WG and OECD WP  
- IEA Hydrogen TCP TASK43 
- ISO/TC 197総会及びSC1 

KHKが加盟する海外機関



CHS : Center for Hydrogen Safety
HySafe : International Association for Hydrogen Safety
GCCSI : Global CCS Institute

国際標準化への参画

- ISO/TC11 (ボイラー及び圧力容器), TC58 (ガス容器), TC220 (超低温容器) 等の国内審議団体
- ISO/TC197 (水素技術) 及びSC1国内対応委員会, ISO/TC265 (二酸化炭素回収、輸送及び地中貯留) 国内対応委員会への参加

1.水素等の普及に向けた課題

2.KHKの取組み

3.大型液化水素貯槽導入に伴う規制合理化
のための研究

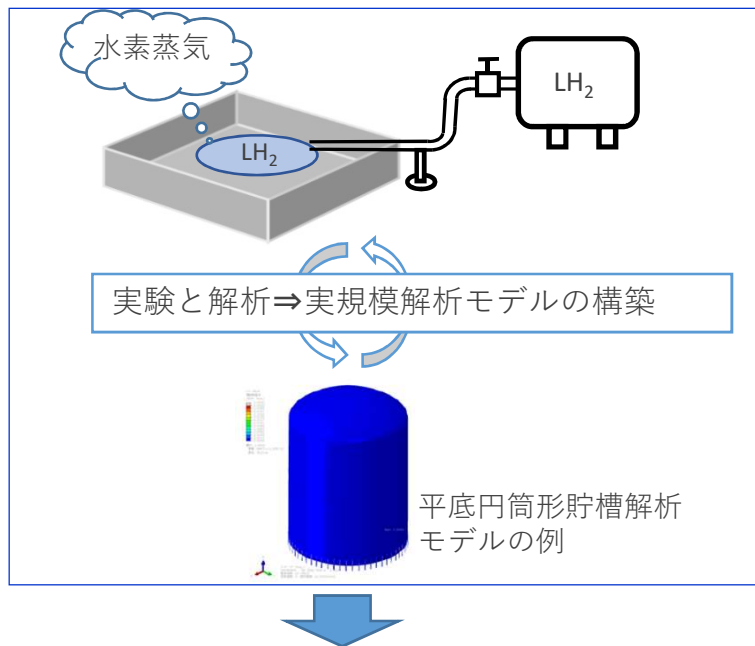
大型液化水素貯槽導入に伴う規制合理化のための研究

- ◆ 水素の社会実装に向けて大規模水素サプライチェーンの構築のために国内受入基地の貯槽の大型化が不可欠。
- ◆ 万が一の災害に備えて科学的データに基づく安全性の評価を行い、産官学と連携して大型液化水素貯槽の設置を考慮した技術基準を整備。

NEDO事業：2023～2025年度 実施者：KHK、JAXA、横国大

事業イメージ

シミュレーション手法の開発



保安基準の整備・見直し

技術的データを踏まえた保安距離、防液堤の合理的な技術基準の整備・見直し

連携体制

本事業の有識者委員会

- 学識経験者、自治体、メーカー・ユーザーの業界団体 ※オブザーバとして、経済産業省、消防庁等の当局関係者

付議・報告 ↑ ↓ 承認・意見

東京大学



連携

- 共同施設整備



高圧ガス保安協会
The High Pressure Gas Safety Institute of Japan



YNU YOKOHAMA
National University

進捗報告 ↓ ↑ フィードバック ↑ ↓ 進捗報告

高圧力技術協会(HPI)/
高圧水素技術専門研究委員会

- 大学、企業研究者の委員会

水素バリューチェーン
推進協議会(JH2A)

- 産業界の要望集約

保安距離に関する検討

◆我が国では、世界に先駆け、これまでにはない50,000 m³ 規模の大型液体水素貯槽の建設が予定されており、安全確保に必要な合理的な規制が求められている。こうした大型の液化水素貯槽を導入する場合の敷地境界までの必要な保安距離についての検討を行う。

予想される大型 LH₂ 貯槽の概略



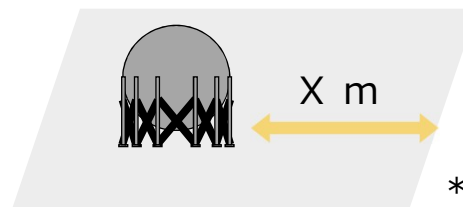
50,000m³

Image of large LH₂ storage tanks

Ref. <https://www.nedo.go.jp/content/100965905.pdf>

どれだけの保安距離が必要?

新規に貯槽を設置する場合の技術基準



$$X = 0.576 * \sqrt[3]{K \cdot W} \quad (1)$$

(最低距離 50m)

*貯槽の全部又は一部を地盤面下に埋設するものは係数を 0.240 とすることができる。

X : 保安距離 (m)

K : 可燃性化学物質種と温度によって決められた係数 (K値)

(高圧ガス保安法規集 コンビ則 別表二にK値が記載されている)

W : 貯蔵能力 (単位トン) の数値の平方根の数値

参考. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=361M50000400088>

(50000m³: 液体水素 **319 m** ⇔ LNG 158 m)

高圧ガス保安法における保安距離の考え方

- ◆タンクに貯蔵されている液体/ガスの漏洩とそれに続くガス爆発(爆燃)を評価。
- ◆トリニトトルエン (TNT)等価モデルにより爆風圧から保安距離を評価。
- ◆TNT爆発は爆轟となるため、爆発エネルギーの寄与係数を考慮し爆燃を評価。爆発事故の被害分析に基づきTNT収率 “ γ ”は0.064を採用。

TNT等価法について

$$L = \lambda^3 \sqrt{W_{TNT}}$$
$$= \lambda^3 \sqrt{\frac{W_G \cdot f \cdot \varphi \cdot Q_G \cdot \gamma}{Q_{TNT}}} \quad (2)$$

$$W_{TNT} = W_G \cdot \frac{Q_G}{Q_{TNT}} \cdot f \cdot \varphi \cdot \gamma$$

ここで

L : 爆心からの距離 (m)

λ : 換算距離 (m/kg^{1/3})

W_{TNT} : 等価の TNT 火薬量 (kg)

W_G : 可燃性ガス (液体) の流出量 (kg)

Q_G : 可燃性ガスの燃焼熱量 (J/kg)

Q_{TNT} : TNT 火薬の燃焼熱量 (4.184×10⁶ J/kg)

f : 流出したガスの気化率(-)

φ : 爆発係数

流出・気化したガスのうち爆発に寄与するガスの割合で、通常 0.1 (10%) が用いられる。

γ : TNT収率

一般に 0.064 を用いれば安全側と考えられている。

“爆風圧とK値”について

- ◆爆風圧 “9.8kPa” が閾値として採用されている。
(換算距離にして $\lambda = 14.4$)
- ◆K値はフラッシュ率“f”、爆発係数“ ϕ ”、可燃性ガスの燃焼熱量“ Q_G ”から成る。

TNT等価モデル

$$X = \lambda^3 \sqrt{W_{TNT}} = \lambda^3 \sqrt{\frac{W_G \cdot f \cdot \phi \cdot Q_G \cdot \gamma}{Q_{TNT}}} \quad (2)$$

$$= \lambda^3 \sqrt{\frac{\gamma}{Q_{TNT}}} \cdot \sqrt[3]{W_G \cdot f \cdot \phi \cdot Q_G} \quad (2)'$$

$$= 0.04 \lambda^3 \sqrt{K \cdot W_G} \quad (3)$$

$$(= 0.576 \sqrt[3]{K \cdot W_G}) \quad (1)$$

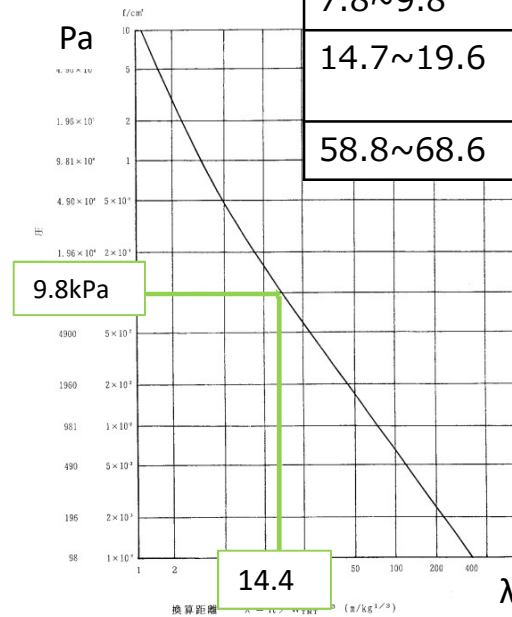
ここで、

$$K = f \cdot \phi \cdot Q_G \cdot 10^3 \quad (4)$$

(∵ 高圧ガス保安法では W_G の単位はトン)

木造建築物の爆う風圧と被害の関係

爆風圧 (kPa)	木造建築物の被害
7.8~9.8	窓の破損
14.7~19.6	窓枠や雨戸の破損
58.8~68.6	柱の破損



参考：爆発と被害, 山本祐徳, 工業火薬協会誌, 22 (1), (1961)

参考：高圧ガス取締法 コンビナートなど保安規則の解説, 通商産業省立地公害局保安課編 (1977)

現行法における水素のK値について

- ◆爆発係数 “φ” はガス種ごとに規定されている。
- ◆フラッシュ率 “f” は液相が気相に変換される割合であり、温度と圧力に依存する。
- ◆現行では動作温度に関係なく水素に対して指定される K 値は 1 つ。

爆発係数(φ)

分類	爆発係数	ガス種
1	0.15	アセチレン, 二硫化炭素 etc.
2	0.10	水素, エチレン, 一酸化炭素
3	0.08	エタン, プロパン, プロピレン etc.
4	0.06	メタン, ブタン, ブチレン etc.
5	0.04	アンモニア, メタノール

コンビナート等保安規則に規定されるK 値(×10³)

水素	2860			
常用の温度	全ての温度において			
メタン	143	357	714	
常用の温度	T<-110	-110≤T<-80	-80≤T	
プロパン	178	328	497	Etc.
常用の温度	T<10	10≤T<40	40≤T<70	

参考 <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=361M50000400088>

フラッシュ率“f” の計算

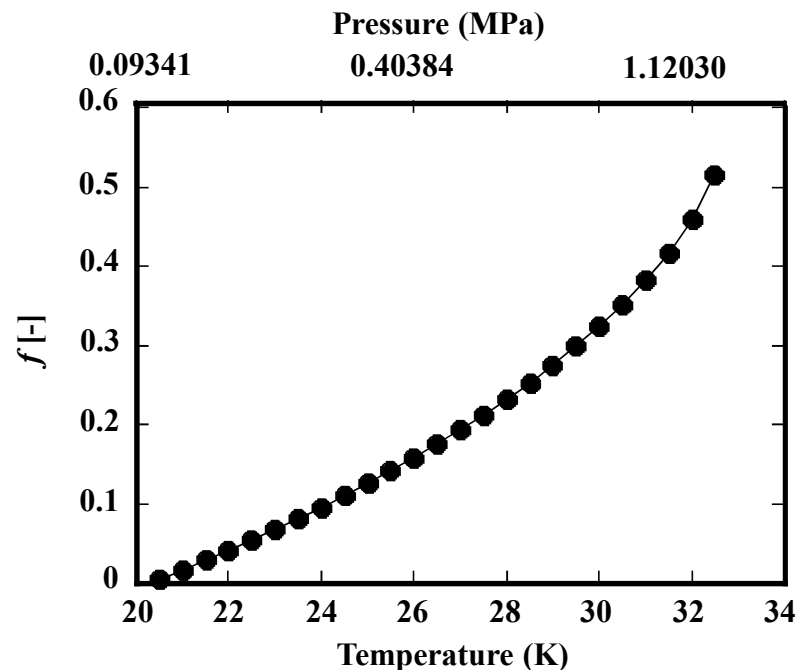
$$f = \frac{H - H_b}{h_b} \quad (5)$$

H と h は流体のエンタルピーと蒸発潜熱。下付きの “b” は 大気圧下での沸点を表す。

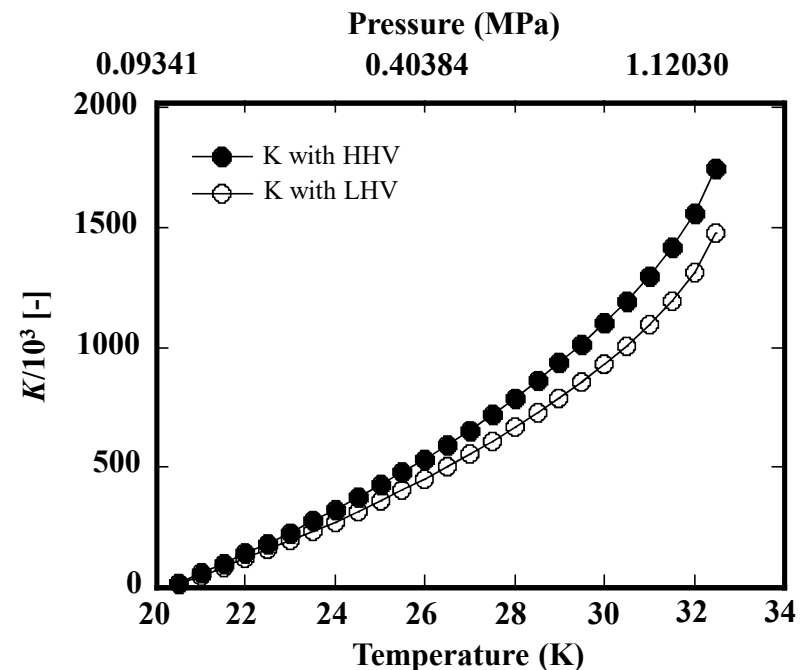
50,000m³液化水素貯槽に対する保安距離の考察

- ◆式 (4) から導かれる液体水素 (パラ水素) のf値とK値を飽和蒸気圧曲線に沿って計算。
- ◆f値もK値も温度 (圧力) が上昇するにつれて増加。
- ◆K は 2860×10^3 未満であり、 14.9×10^3 (20.5 K) から 1474.2×10^3 (32.5K) まで変化。

液体水素のフラッシュ率



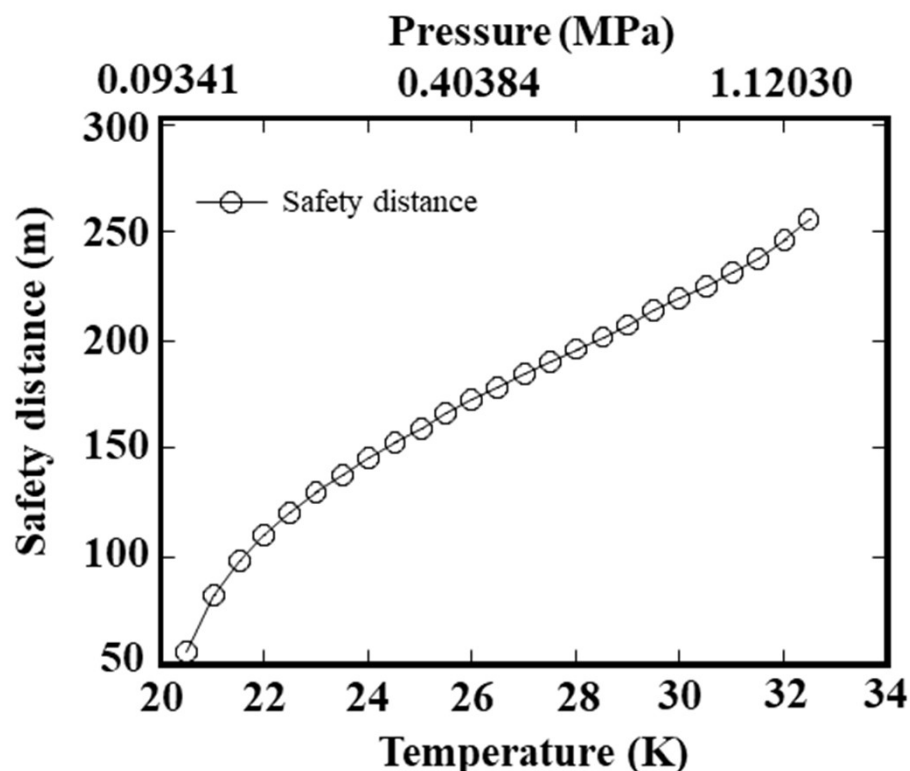
液体水素の“K値”計算結果



保安距離の計算結果

- ◆ 50,000 m³(3540 ton_{-LH₂}) 液体水素貯槽に対する保安距離を試算したところ、**55.3m から 255.9 m**という結果を得た。液体として評価することで現行法での保安距離よりも短くなることが確認できた。
- ◆ 保安距離は常用の温度、圧力が高くなるほど長くなる。

新設の50,000m³液体水素貯槽の保安距離計算結果

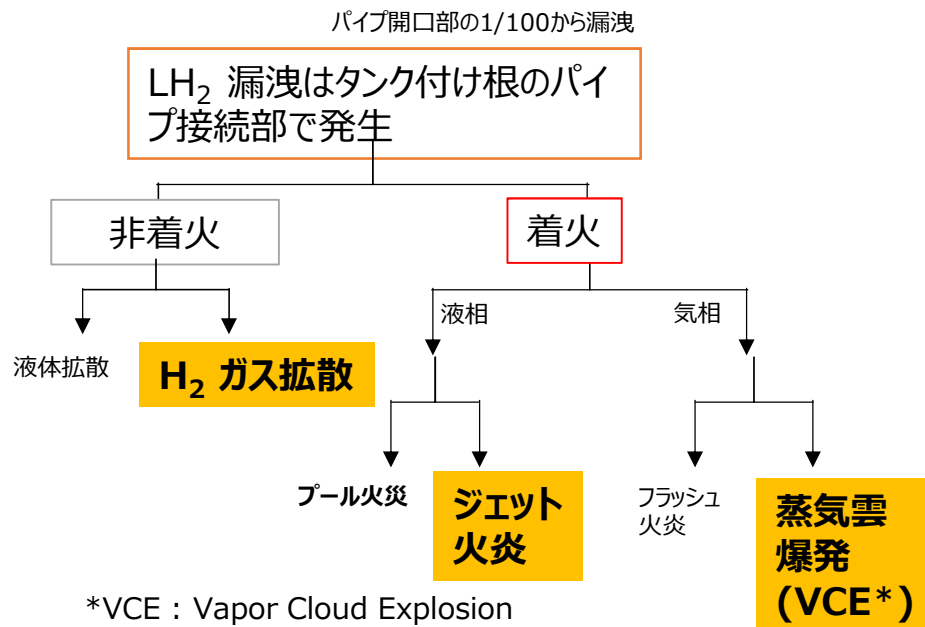


Cf: 現行での保安距離は
319 m.

Areal Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA)を用いた保安距離の検討

- ◆ ALOHA を用いて水素漏洩に関連するいくつかの災害シナリオの危険エリアを推定。
- ◆ 安全距離の妥当性を評価するため、タンク接続部からの漏洩について以下の危険シナリオで検討。

危険シナリオ



解析要件

貯槽容量(50,000m³)

- 直径50m、高さ30mの円筒形貯槽を想定
- 液体温度: 21.671 K
- 常用の圧力: 0.115 MPa
- タンク接続パイプ径: 12インチ

外部環境

- 西風0.62 m/s

漏洩量

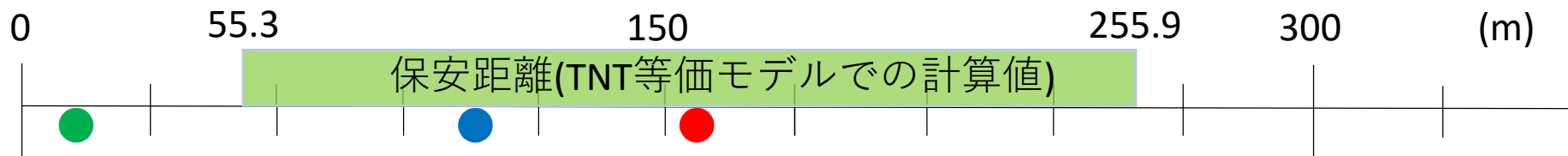
- 0.0083 m³/s (約 35.2 kg/min)
- ※小破漏洩シナリオ (参考文献: 石油コンビナートの防災アセスメント指針 (2013) 消防庁特殊災害室)

ここではBoiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)についても検討

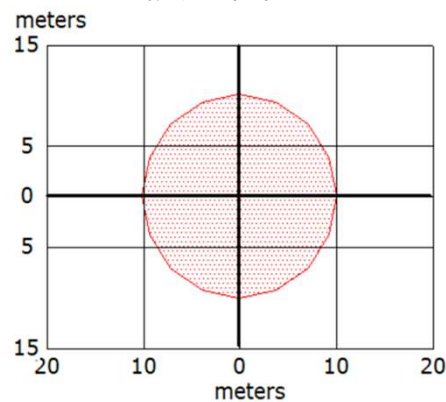
ALOHA解析結果

- ◆ 最も広い危険範囲を示したのは蒸気雲爆発(VCE)の**157.5 m**であるが、先に示した保安距離内に納まっている。
- ◆ VCEの安全距離から逆算したK値は 344×10^3 で、その時のフラッシュ率は約0.1であった。

ALOHAでの解析結果と保安距離計算値との比較

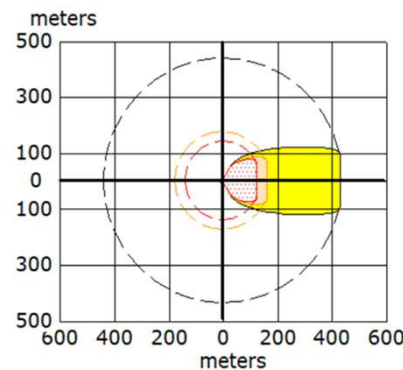


● ジェット火炎による熱放射の危険範囲



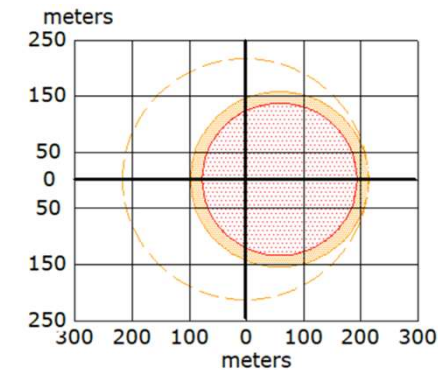
greater than 11.6 kW/(sq m)

● 爆発性ガスの危険範囲



greater than 40000 ppm
 greater than 24000 ppm
 greater than 4000 ppm
 --- wind direction confidence lines

● VCE爆風圧の危険範囲



*Center shifted approx. 50m to leeward

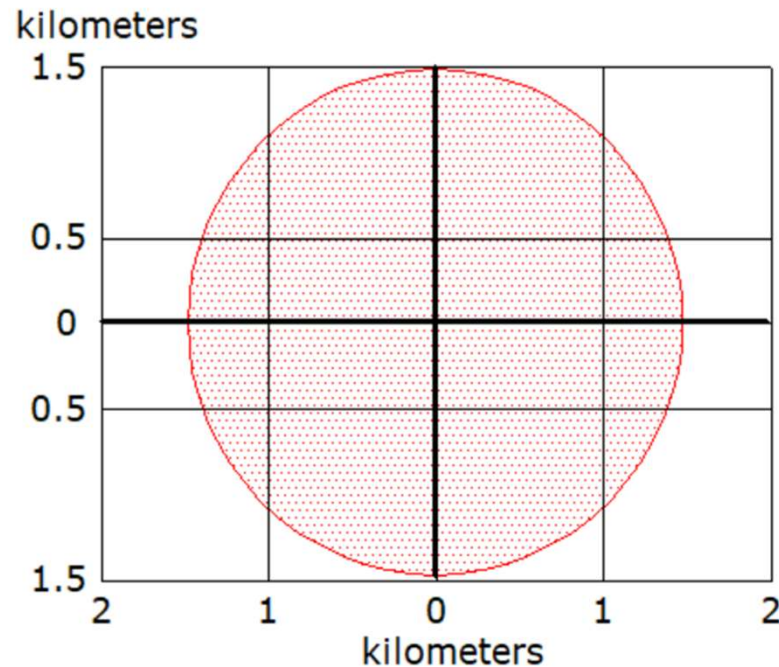
greater than 11760 pascals
 greater than 9800 pascals
 --- wind direction confidence lines


ALOHA解析結果 (BLEVEの場合)

- ◆ 最悪のケースとしてBoiling Liquid Expanding Vapor Explosion(BLEVE) が引き起きた時の危険範囲を検討。
- ◆ 熱輻射量 11.6kW/m^2 *を超える輻射熱の危険エリアは1.5kmに及ぶ。

BLEVEでの熱輻射危険範囲

*石油コンビナートの防災アセスメント指針 (平成13年) に示されているファイアーボールの基準値。



 greater than $11.6\text{ kW}/(\text{sq m})$

・総質量の10% が火球源に供給されるとしての解析

高圧ガス保安法では材料の選定、設計によりBLEVEは起きないという前提になっているが、自主保安による対処が義務付けられている。(ウォーターカーテンの設置etc.)

保安距離検討のまとめ

- 液体容量 50,000 m³ の LH2 貯槽に対する安全距離は、約 55 m から 256 m まで変化、K 値は約15 から 約 1500 まで変化することが確認できた。
- ALOHAを用いた解析では、蒸気雲爆発による爆風圧の危険範囲は半径157.5 mであった。
- ALOHAを用いた解析では、BLEVEが発生した場合、輻射熱の危険範囲は爆心から約 1.5km となった。

※ 水素の実験データは十分ではないため、実験データを蓄積し、シミュレーションの妥当性を検証する必要がある。

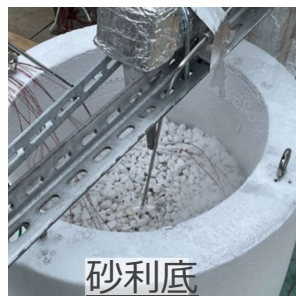
液化水素漏洩試験

- ◆ 2024年4月、コンクリート容器内に液化水素を漏出し気化拡散させる試験をJAXA能代ロケット実験場で実施。
- ◆ 今回の小規模試験により、今後の大規模試験実施に必要なデータを取得。



供試体 (φ500mm, 高さ450mm)

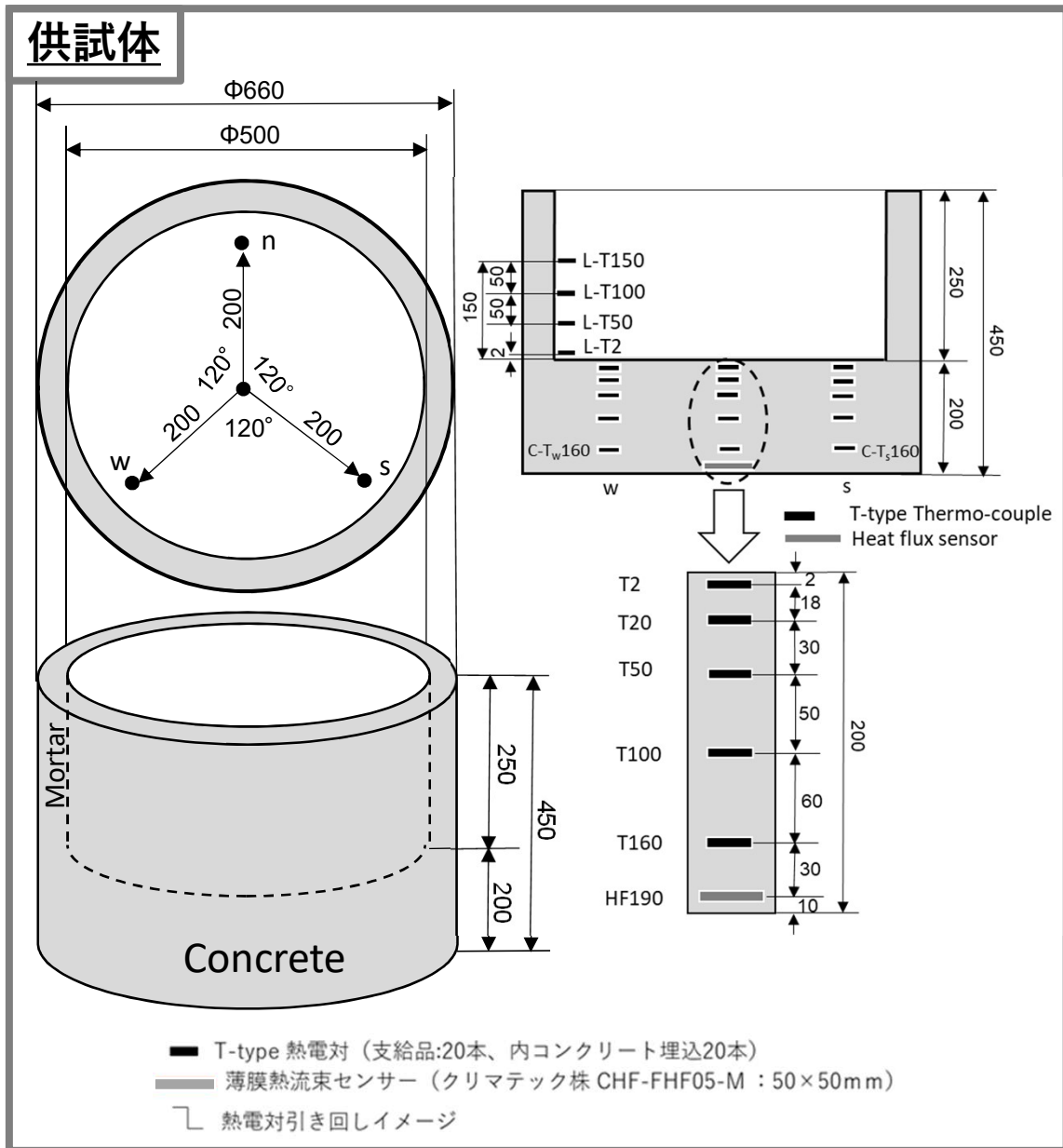
試験の様子



<主な評価項目>

- ①貯液確認
- ②底部条件ごとの蒸発速度
- ③拡散濃度分布

供試体



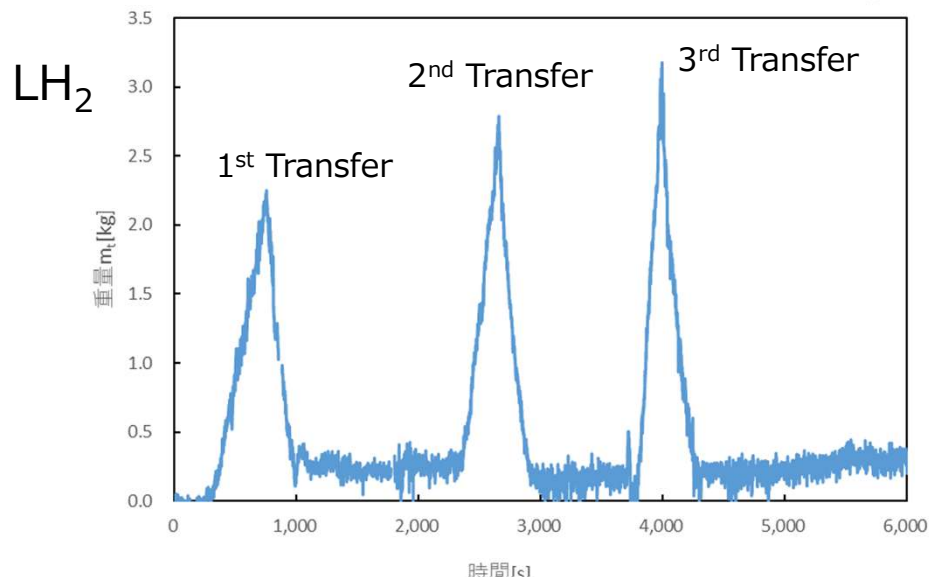
重量計
 (ひょう量 : 300 kg、目量 : 50 g)
 ※最大LH₂容量 : 49.1 L
 (重量 : 3.47kg)

実験の様子 (映像)

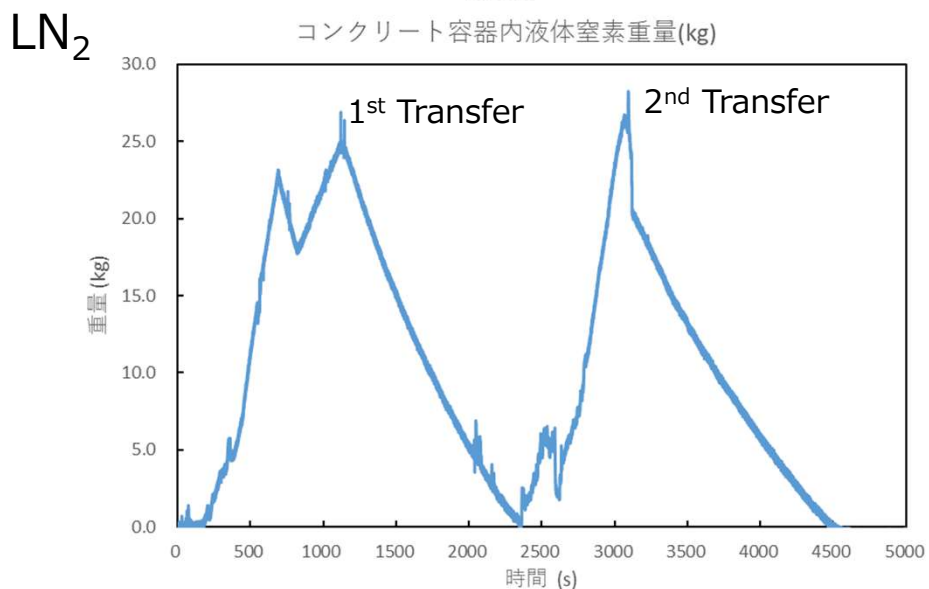
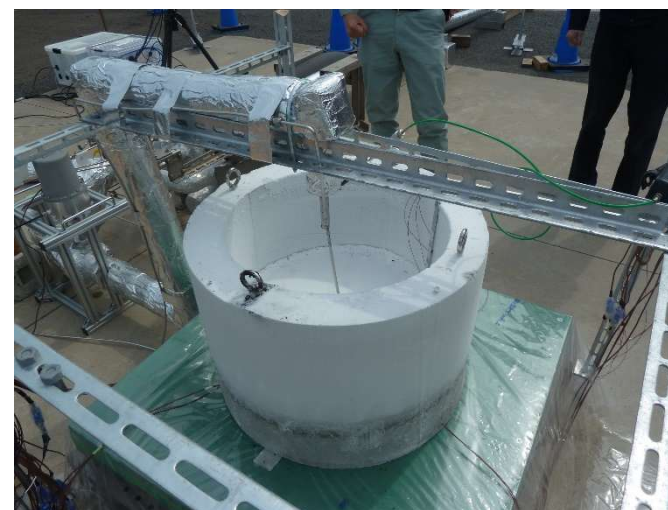


重量計測結果

コンクリート容器内液体水素重量 (kg)



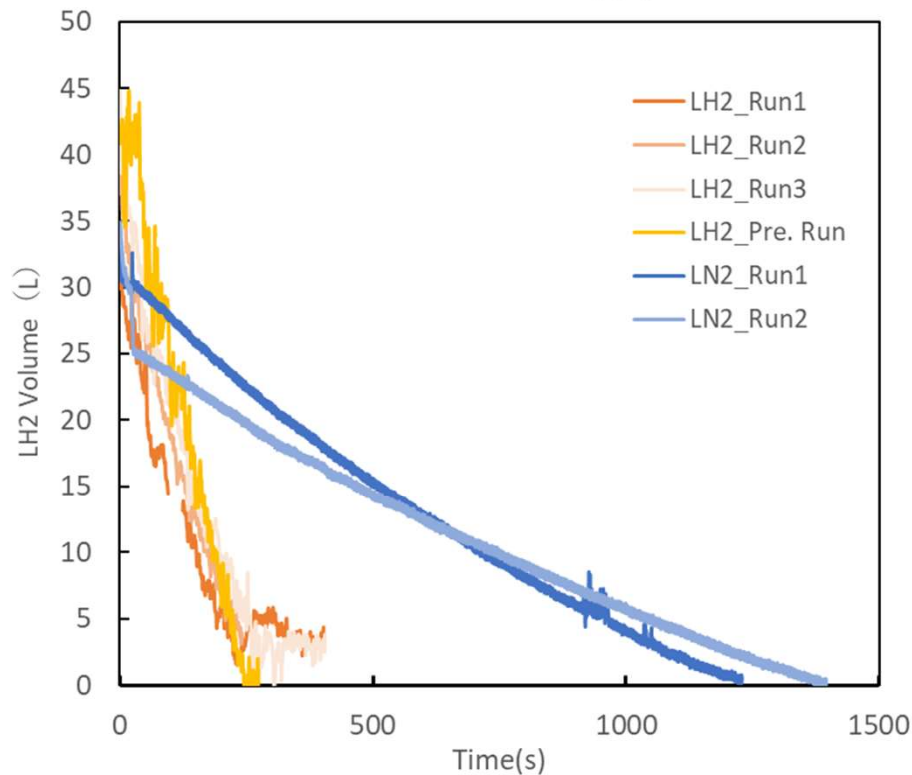
コンクリート容器内LH₂重量(kg)及び実験終了後の容器の状態



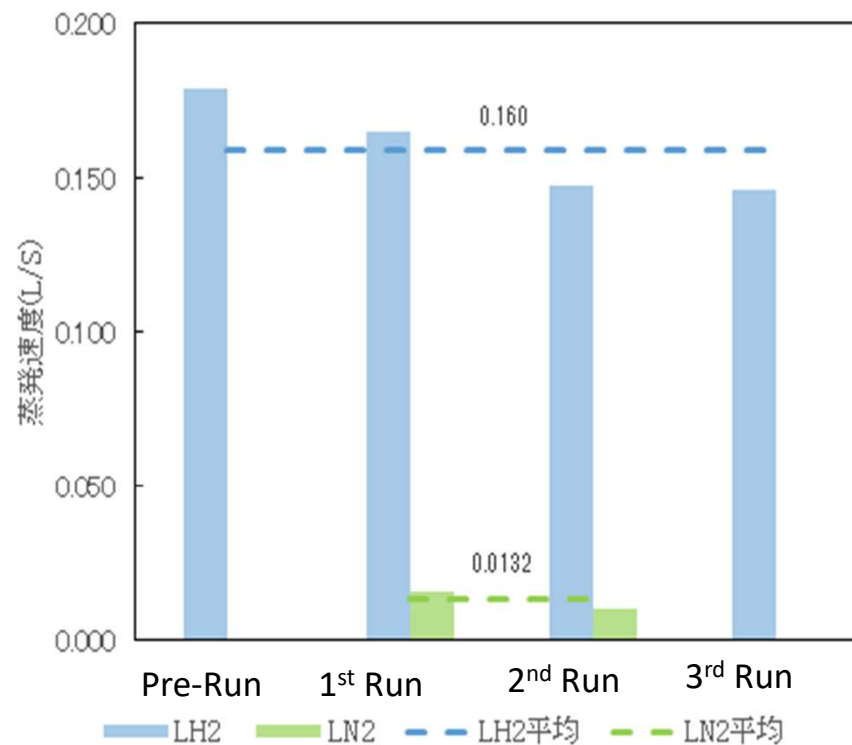
- ✓ LH₂の貯液を確認、また、コンクリート容器に有害な損傷なし
- ✓ LH₂の貯液速度は送液ごとに増加 (0.088L/s、0.16L/s、0.30L/s)

蒸発速度解析

時間当たりの体積変化(L/s)

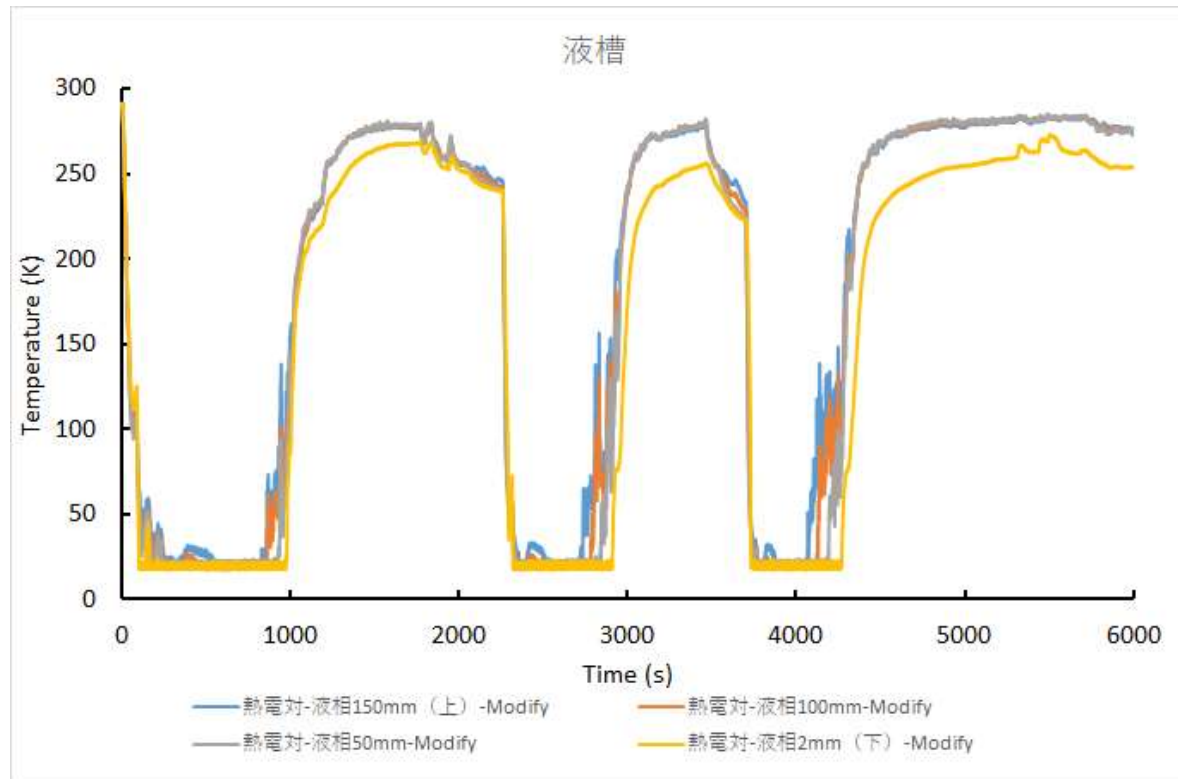


LH2及びLN2 蒸発速度比較



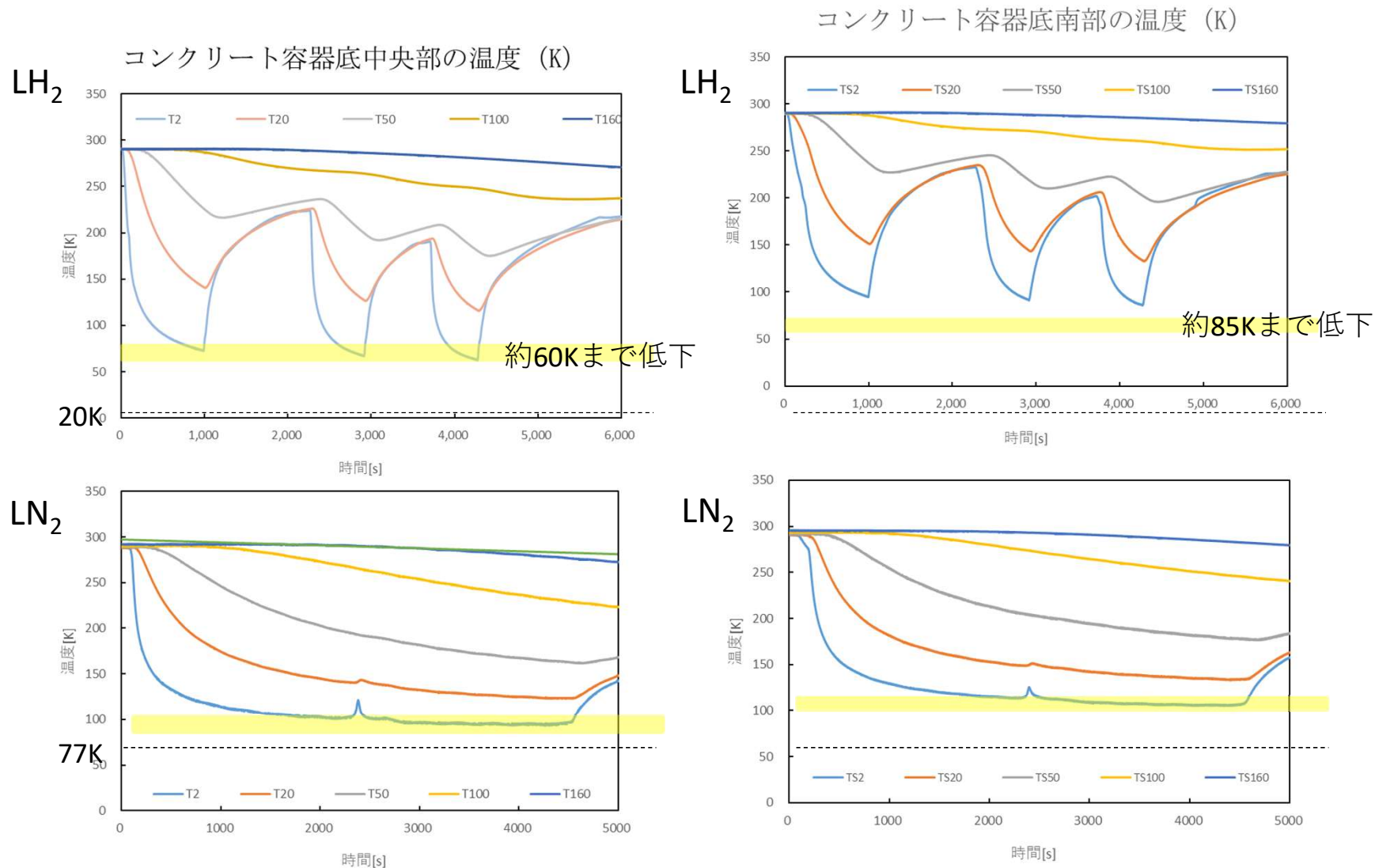
- ◎ LH₂蒸発速度は、平均0.160L/s
- ◎ LN₂蒸発速度の約10倍

液槽内の温度計測結果



※ 実験中の平均気圧に対する液体水素の飽和蒸気圧温度で熱電対の温度を校正し、20 K~77.15 Kの温度域の熱電対出力温度を線型補正。

コンクリート底部内の温度計測結果



✓ 3回のLH₂送液ではコンクリート底からのLH₂での熱移動は非定常

容器底面表面温度と局所・全体熱流束の考え方

局所熱流束（底面中央部）

フーリエの式（熱伝導の式）で算出。

$$q_{\text{local}} = k \frac{(T_{2\text{mm}} - T_{0\text{mm}})}{L}$$

コンクリートの熱伝導率（気乾状態）k W/(m・K)

$$k = -0.0033412 \times T(\text{K}) + 2.964$$

Ref: L. Dahmani, A. Khenane, S. Kaci; Cryogenics, 47 (2007) pp. 517-525

$T_{0\text{mm}}$ の導出は、

底表面から20mmの深さから表面2mmまでと、

底表面から2mmの深さから表面0mmまでの

熱流束が等しい $q_{(c:2-20)} = q_{(c:0-2)}$ と仮定。

まず、底表面の暫定温度 $T'_{(0\text{mm})}$ を導出。

$$T'_{0\text{mm}} = T_{2\text{mm}} - \frac{q_{(c:2-20)} \cdot L}{k'}$$

ここで暫定 k' は $(T_{2\text{mm}} + T_{\text{liquid}})/2$ として計算。

次に、 $T'_{0\text{mm}}$ を使用して $(T_{2\text{mm}} + T'_{0\text{mm}})/2$ として k を再計算。

表面温度 $T_{0\text{mm}}$ を

$$T_{0\text{mm}} = T_{2\text{mm}} - \frac{q_{(c:2-20)} \cdot L}{k}$$

で導出。

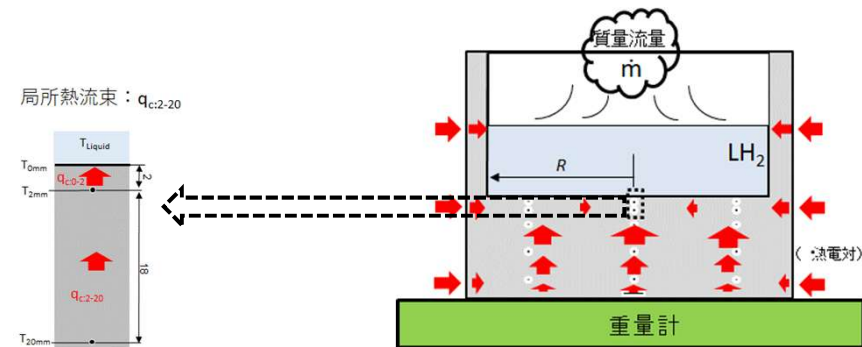
全体熱流束

蒸発量から算出。

$$q_{\text{all}} = \frac{\dot{m}\lambda}{2m_t/(\rho R) + \pi R^2}$$

$$\therefore \text{質量流量 } \dot{m} = \frac{m_{t+1} - m_{t-1}}{2\Delta t}$$

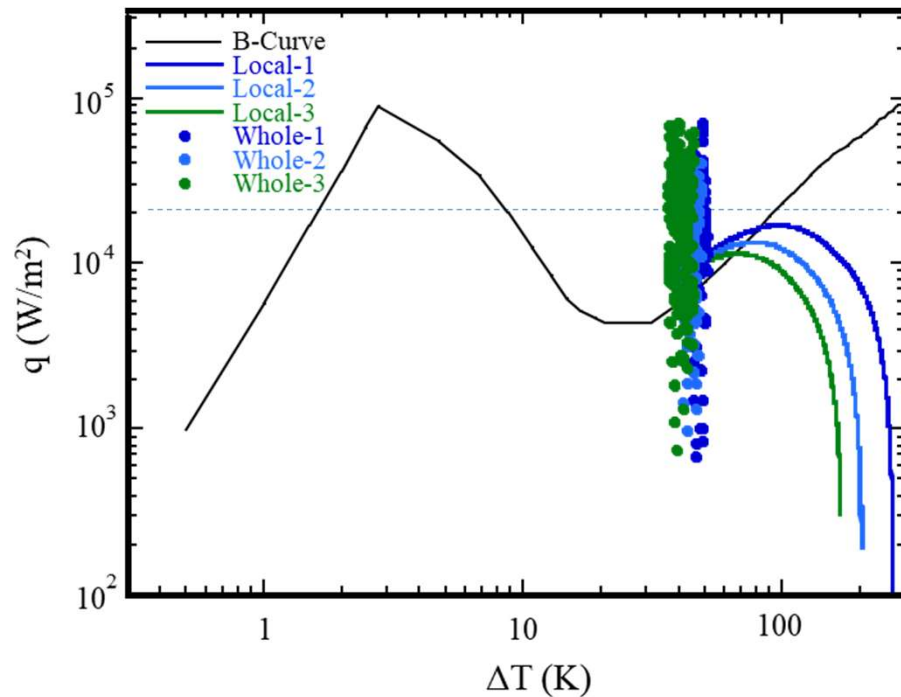
λ : 蒸発潜熱
 ρ : 液体密度
 R : 容器内半径
 m_t : ある時刻の液体の質量
 \dot{m} : その時刻の質量流量



熱流束解析（沸騰曲線との比較）

◎ LH₂での実験結果と沸騰曲線との比較

LH₂沸騰曲線及び局所熱流束と全体熱流束の比較



- ◎ 沸騰曲線とは異なる形状
- ◎ 全体熱流束の平均値
20,224 W/m²、 $\Delta T = 44.2\text{K}$
- ◎ 局所熱流束
9,604 W/m² ($\Delta T = 44.2\text{K}$)
- ◎ ヌッセルト数(Nu_b)の平均値：
7.49

$$Nu_b = \frac{q_{\text{Whole}} \cdot D_b}{\Delta T \cdot k_L}$$

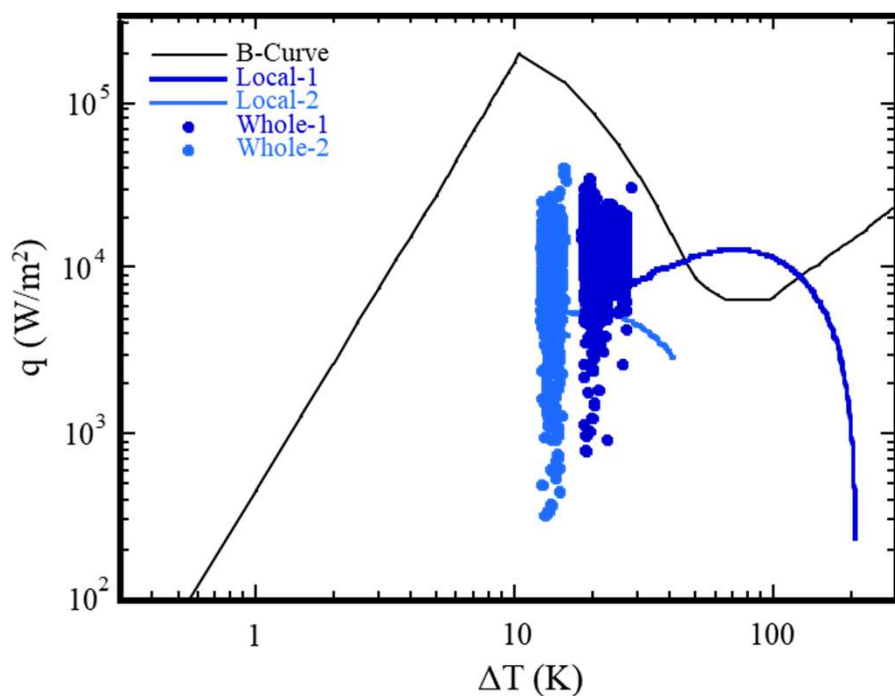
D_b : ラプラス長
 k_L : 液体水素の熱伝導率
 σ : 表面張力
 ρ : 密度
 l : 液体
 v : 気体

$$\therefore D_b = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}}$$

熱流束解析 (LN₂との比較)

◎ LN₂での実験結果と沸騰曲線との比較

LN₂沸騰曲線及び局所熱流束と全体熱流束の比較



◎ 全体熱流束の平均値：
12,237 W/m²

◎ ヌッセルト数(Nu_b)の平均値：
5.09

- ◎ LH₂での全体熱流束の平均値はLN₂の1.7倍
- ◎ ヌッセルト数(Nu_b)の平均値はLN₂の1.5倍

液化水素漏洩試験まとめ

LH₂を内径500mm、深さ250mmのコンクリート容器内に漏洩する実験を実施

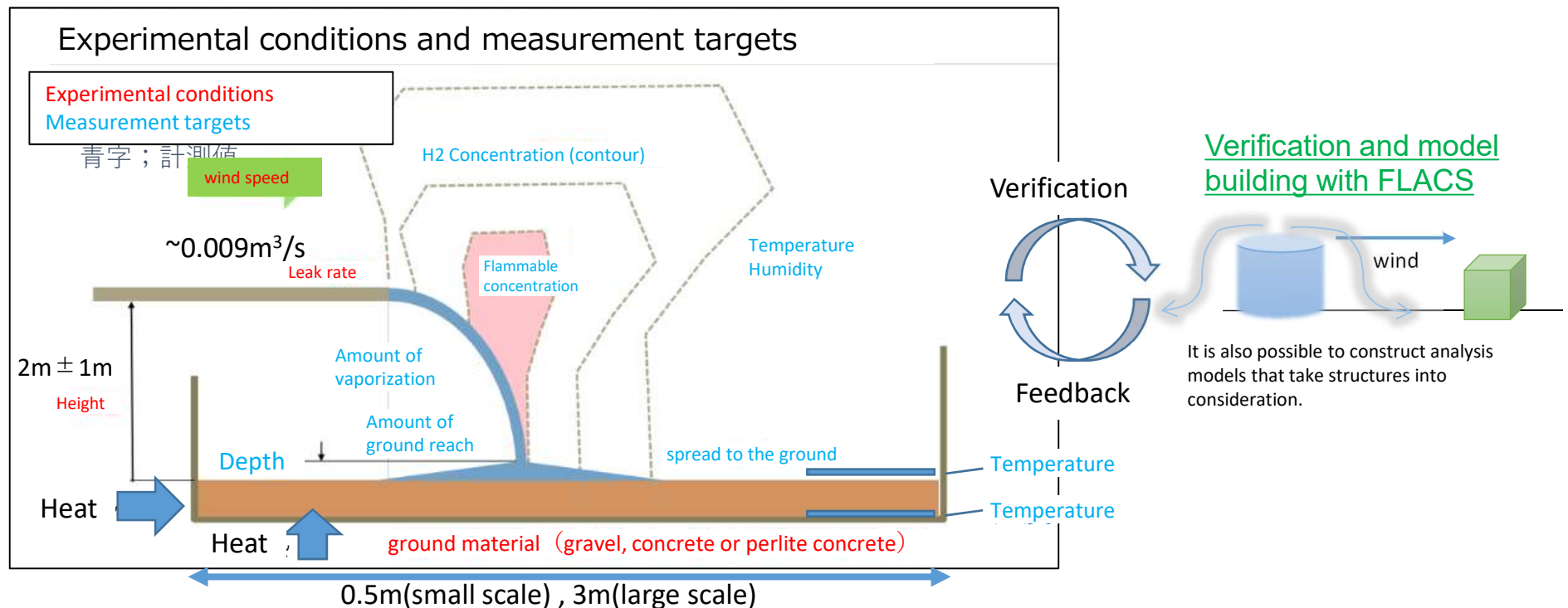
- LH₂がプールを形成することを確認。
- 貯液速度は、送液と蒸発を繰り返すことで大幅に上がり、一方、蒸発速度は低下することを確認。
- コンクリート底からLH₂への熱移動は非定常なものであることを確認。
- 標準的な沸騰曲線とは異なる挙動を示す。
- コンクリート容器からLH₂への全体熱流束の平均値は20,224 W/m²であり、LN₂の場合の1.7倍、ヌッセルト数は1.5倍であった。
- 本実験で使用したコンクリートでは、LH₂プールからの平均蒸発速度は0.16L/sであった。液体窒素の蒸発速度と比較して、10倍以上の速度であることが分かった。

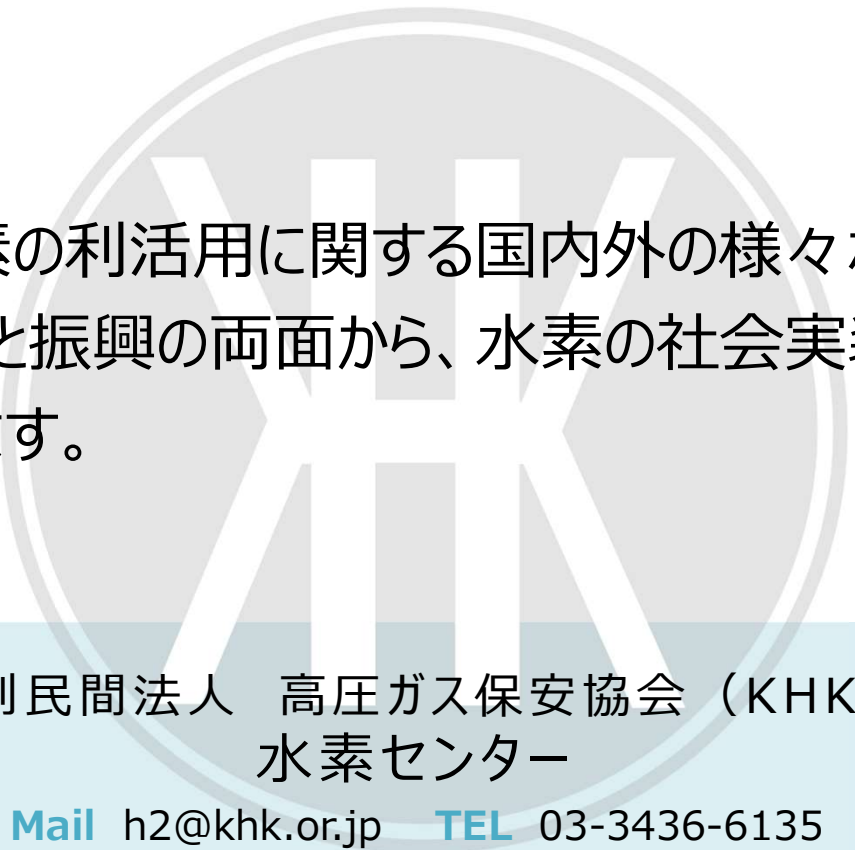
本研究成果はNEDO「大型液化水素貯槽からの大量漏洩・拡散等のシミュレーション手法の開発及び設置基準の整備に向けた調査研究」(JPNP23004)で得られたものである。

2025年度実施予定の実験について

- ◆ NEDO*プロジェクトとして大規模な液体水素実験を予定している。
- ◆ このプロジェクトでは得られる実験データを使用して、危険性の影響を評価するためのシミュレーション手法を開発する。
- ◆ プロジェクトの成果は液体水素に係る安全距離の規制、規格、基準等を検討するための有益なツールとなる。

*NEDO : 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構





KHKは、水素の利活用に関する国内外の様々な情報やニーズを捉え、保安と振興の両面から、水素の社会実装の推進に貢献してまいります。

特別民間法人 高圧ガス保安協会（KHK）
水素センター

Mail h2@khk.or.jp **TEL** 03-3436-6135

「水素・超電導コンプレックス」～液体水素をベースとする社会像の提案～

IGAS-HyTeC 2024年度 オープン・シンポジウム

2025年3月7日@神戸大学 深江キャンパス

水素・超電導経済研究会 和久田 毅(日立製作所)

産業競争力懇談会(COCN)について

産業競争力懇談会(COCN:Council on Competitiveness - Nippon)とは

産業界の有志により、日本の産業競争力強化のため、科学技術・イノベーション政策や官民の役割分担などを政策提言としてとりまとめ、その実現を図る活動を行っている。

COCNの設立とその理念

1999年～ 前身となる活動 **重点技術競争力委員会 (COCJ) 他**
国の科学技術政策への**主要企業トップの有志メンバー**による政策提言

2006年 **産業競争力懇談会 (COCN) 発足** (2015年一般社団法人化)

<目的> 国の持続的発展をねらい、産業競争力の強化、科学技術の推進、イノベーションの創出に関わる政策を、産学官の対話と連携を重視しながら提言として取りまとめ、実現をはかる

会 員

正会員35社、特別会員：6大学・3国研

理事会

理事長	遠藤 信博	日本電気株式会社	特別顧問
副理事長	中山 讓治	第一三共株式会社	常勤顧問
専務理事	斉藤 史郎	株式会社東芝	特別嘱託
理事	13名		
監事	1名		

●正会員

株式会社IHI
旭化成株式会社
AGC株式会社
ENEOSホールディング株式会社
鹿島建設株式会社
キヤノン株式会社
キルホールディング株式会社
KDDI株式会社
株式会社小松製作所
JSR株式会社
株式会社島津製作所
清水建設株式会社
住友化学株式会社
住友電気工業株式会社
ソニーグループ株式会社
第一三共株式会社

大日本印刷株式会社
東京エレクトロン株式会社
東京電力ホールディング株式会社
株式会社東芝
東レ株式会社
トヨタ自動車株式会社
株式会社豊田自動織機
株式会社ニコン
日本製鉄株式会社
日本電気株式会社
パナソニックホールディング株式会社
株式会社日立製作所
富士通株式会社
富士電機株式会社
株式会社本田技術研究所
三菱ケイカル株式会社

株式会社三菱総合研究所
三菱電機株式会社
株式会社明電舎

●特別会員

国立大学法人大阪大学
国立大学法人お茶の水女子大学
国立大学法人京都大学
国立研究開発法人
産業技術総合研究所
国立大学法人東京科学大学
国立大学法人東京大学
国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構
国立研究開発法人理化学研究所
学校法人早稲田大学

2023年度 COCN推進テーマ:「水素・超電導コンプレックス」の概要

【プロジェクト目標】

- ・カーボンニュートラルに貢献する水素冷熱を活用した新しい超電導応用を創出する
- ・超電導応用の国際競争力を強化し、欧米・中国に対する国内産業の優位を構築する

【プロジェクト期間】

2022年5月～2024年3月 (2022年度「超電導で拓くカーボンニュートラル社会」から改称)

【参画メンバー】

プロジェクト参加:17機関、アドバイザー:6機関、
オブザーバー参加:6機関

【プロジェクトの活動】

- ・成長の仕組みと、その枠組みの提案
- ・提案する超電導機器の経済合理性獲得のための
要求定量化
- ・国プロ等による技術・人材育成の提案
- ・府省庁への働きかけ

【提言と課題】

- ・液体水素冷熱利用への国の積極的な推進・支援
- ・水素基本戦略に冷熱利用は取り上げられておらず、検討の枠組みづくり、仲間づくりが課題

＜プロジェクト参加機関＞

東芝エネルギーシステムズ、三菱電機、日立製作所、
フジクラ、古河電気工業、住友電気工業、岩谷産業、
鹿島建設、富士通、
京都大学、新潟大学、東京大学、九州大学、関西学院大学、
核融合科学研究所、
物質・材料研究機構、量子科学技術研究開発機構

＜アドバイザー機関＞

電力中央研究所、東京大学、東京工業大学、NEDO、JST、
低温工学・超電導学会

＜オブザーバー参加機関＞

キヤノン、キヤノンメディカルシステムズ、富士電機、鉄道総合
技術研究所、産業技術総合研究所、理化学研究所

水素・超電導経済研究会概要

1. 名称: 「水素・超電導経済研究会」
2. 目的: 液体水素が社会に遍在し、その冷熱活用により付加価値が生まれる将来ビジョンを明確化し、液体水素冷熱利用により超電導が活躍する土壌作りを目的とする。
3. 活動方針:
 - 1) 仲間づくり(水素、冷熱): 超電導外部のリアルな事業者との連携
 - 2) 液体水素および超電導を活用した社会像、シナリオづくり
 - 3) 具体的検討: 経済性評価、冷熱多段活用インフラの概念構築
 - 4) 外部発信: COCN^(※), NEDO, JST等のサポートを受けながら府省庁や自治体へ説明
4. 体制(構築中):
 - 1) 参画機関: 日立製作所、日立ハイテク、東芝エネルギーシステムズ、三菱電機
フジクラ、古河電気工業、住友電気工業、鹿島建設
鉄道総研、物質材料研究機構、量子科学研究開発機構、産業技術総合研究所
核融合科学研究所、京都大学、新潟大学、九州大学
 - 2) アドバイザー機関: COCN、電力中央研究所、東京大学、東京科学大学、九州大学
関西電力、NEDO、JST、低温工学・超電導学会、エネルギー総合工学研究所
川崎重工

※ COCN (COCN: Council on Competitiveness - Nippon 産業競争力懇談会)
本研究会は、COCNの連携活動としてCOCNのご支援を受けて実施しています

超電導とは？

超電導線の特徴：

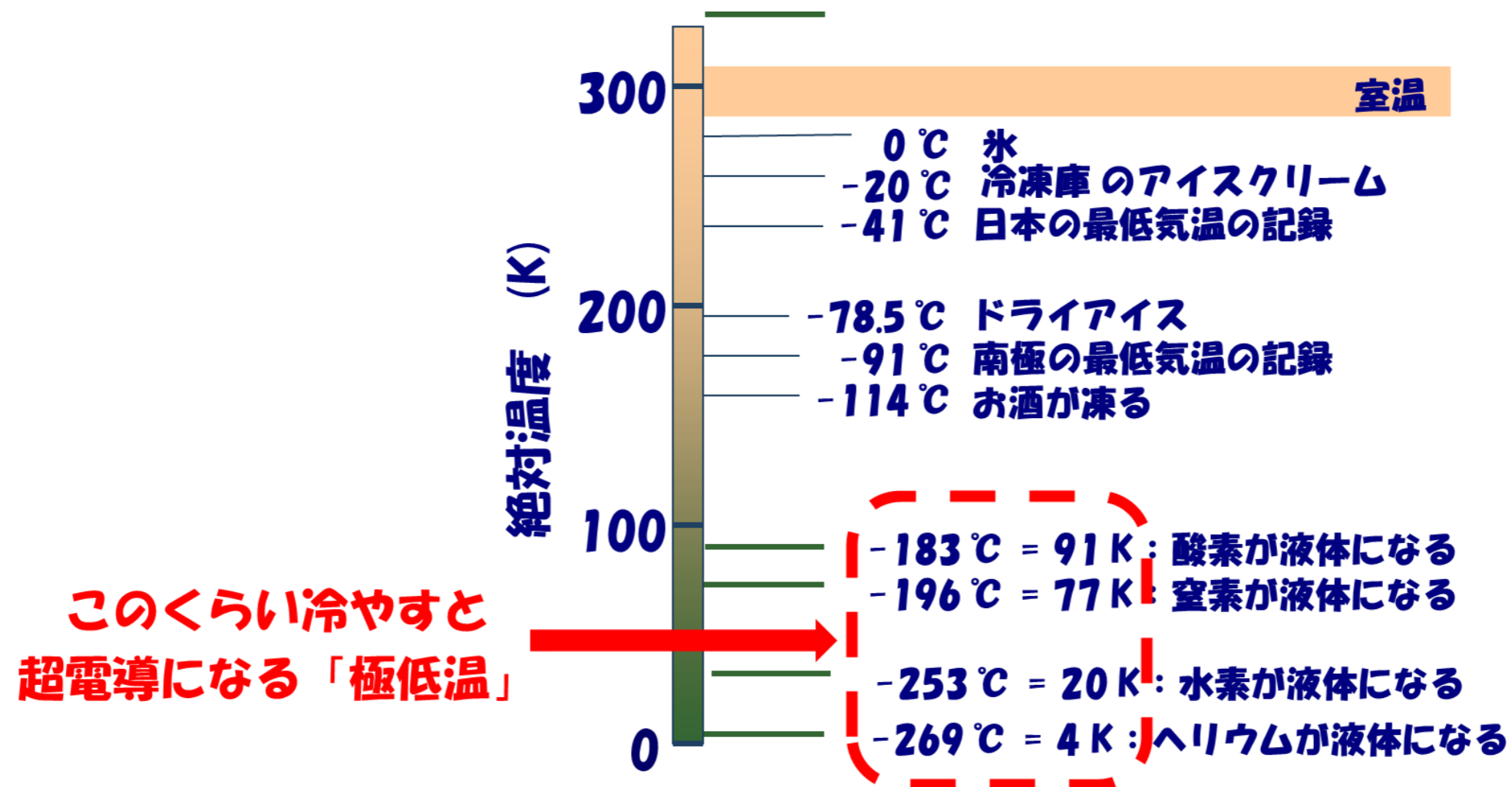
- 直流電気抵抗ゼロ
- 高電流密度・大電流通電

通常では得られないような
強磁場、強磁力を提供可能

超電導応用機器・システムの特徴：

- 低損失・高効率
- 高出力密度
- 大出力
- 高機能・新機能
- 小型・軽量・コンパクト

どのくらい冷やしたら超電導になるの？



超電導製品

これまでさまざまな超電導応用が開発されたが、超電導製品として成立しているのは磁場応用が中心



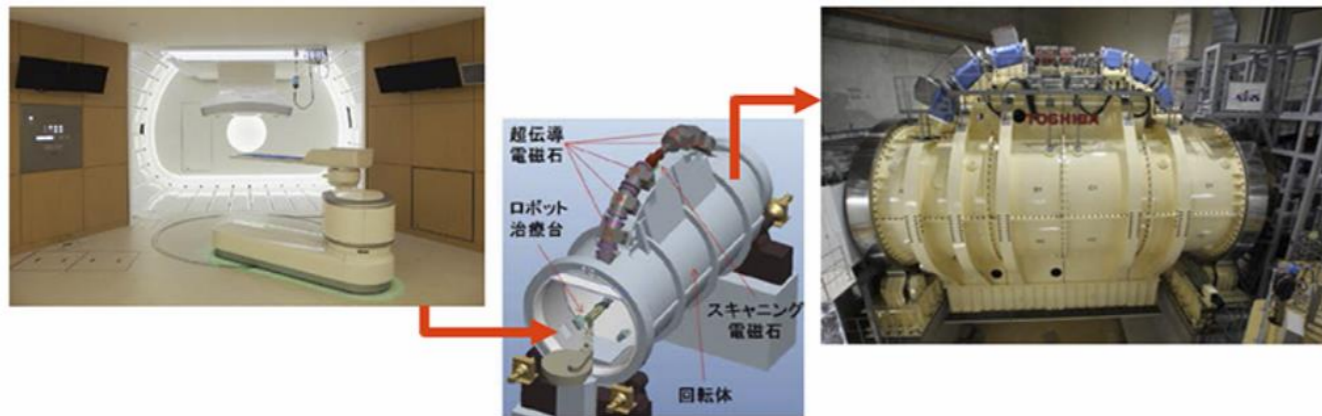
MRI (核磁気共鳴診断装置)
<https://www.fujifilm.com/jp/ja/healthcare/mri-and-ct>



NMR (核磁気共鳴分析装置)
<https://www.jeol.co.jp/products/scientific/nmr/>



シリコン単結晶引き上げ装置用磁石
<https://www.global.toshiba/jp/company/energy/topics/nuclearenergy/mcz.html>



粒子線がん治療装置 (回転ガントリー)
<https://www.qst.go.jp/site/qms/1767.html>



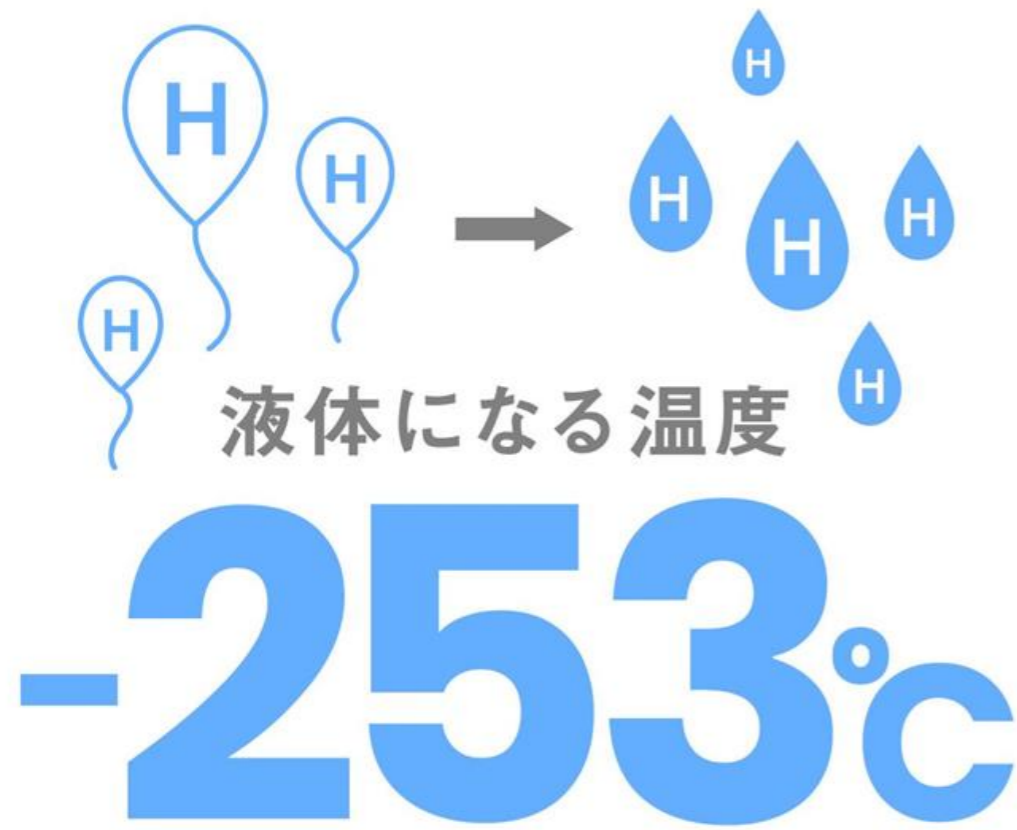
超電導リニア
<https://linear-chuo-shinkansen.jr-central.co.jp/about/>

超電導でしか実現できないところでのみ普及しており、既存競合技術のある領域 (電力インフラ等) ではこれまで実用化開発はされてきたものの広く普及には至っていない

カーボンニュートラル社会実現に対し、超電導は省エネソリューションのオプションの一つ → 普及させるチャンス

液体水素

水素は -253°C という極低温にすると液化
体積は1/800になり、多くの水素を運べる



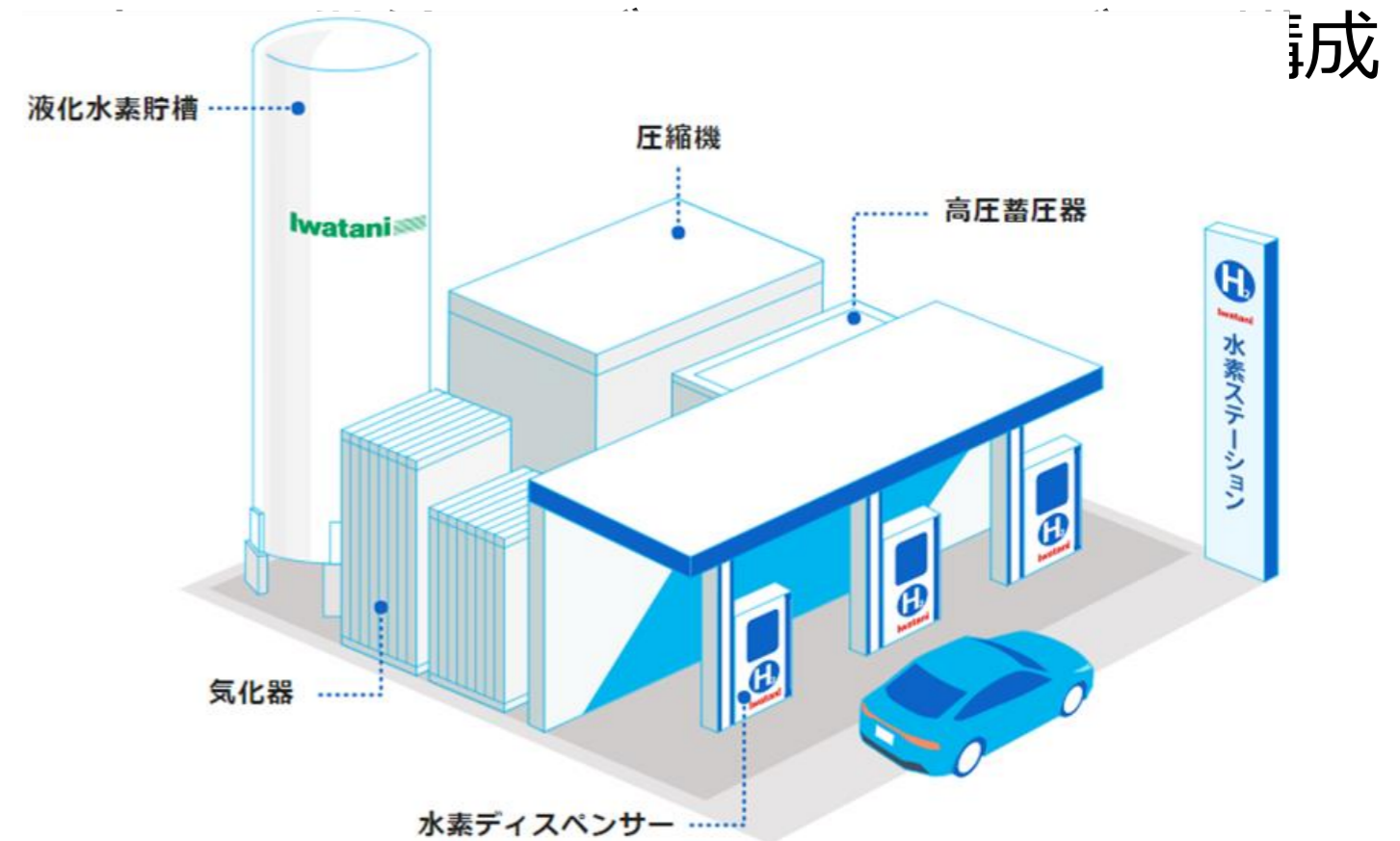
<https://toyotatimes.jp/spotlights/037.html>

水素ステーションは国内に163箇所 (2023/1)

液化水素を貯蔵しておく貯槽
ガスに変える気化器

高圧に圧縮するための圧縮機

高圧の水素を貯蔵する高圧蓄圧器



<https://www.iwatani.co.jp/jpn/consumer/hydrogen/station/system/>

液体水素の冷熱利用の意義と価値

<エネルギー政策観点>

- 液化のために投入したエネルギーを**冷熱利用で回収**し、エネルギーロスを極小化して**カーボンニュートラルに貢献**（右表の液化水素のエネルギーロスを更に低減へ）

<産業政策観点>

- LNGでの冷熱利用が限定的となった反省もふまえ、**社会全体で水素冷熱利用のインフラ整備を進める**ことで関連産業の成長と、新たな産業の創出を後押しし、**国際産業競争力の強化に貢献**

水素の各キャリア候補の比較

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧 無毒	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 無毒
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可(石炭火力混焼等)	可(都市ガス代替)
高純度化のための追加設備	不要	必要(脱水素時)		
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在:-32%
既存インフラ活用可否	国際輸送は不可(要新設)。国内配送は可	可(ケミカルタンカー等)	可(ケミカルタンカー等)	可(LNGタンカー、都市ガス管等)
技術的課題等	大型海上輸送技術(大型液化器、運搬船等)の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO2供給が不可欠

出典：経済産業省 今後の水素製作の課題と対応の方向性 中間整理(案) 2021年

- 冷熱発電、吸気冷却、CO₂回収、深冷空気分離、エチレン分離、ドライアイス製造、冷凍倉庫、低温破碎、空調、etc
※LNG(約-160℃)の冷熱でも同様な活用方法は考えられるが、さらに低温環境が利用可能な液体水素によって利用シーンは増大することが見込まれる。
- 極低温領域のサーマルアンカーとしての役割(量子コンピューター等)
- 高温超電導の利用領域であり、エネルギー/交通/医療/情報等の各分野で新たな産業利用を創出

超電導にとって**冷却ペナルティを解消**できる液体水素は都合がよい

水素社会が来るのは既定路線だが、**液体水素がベース**となる社会は未定

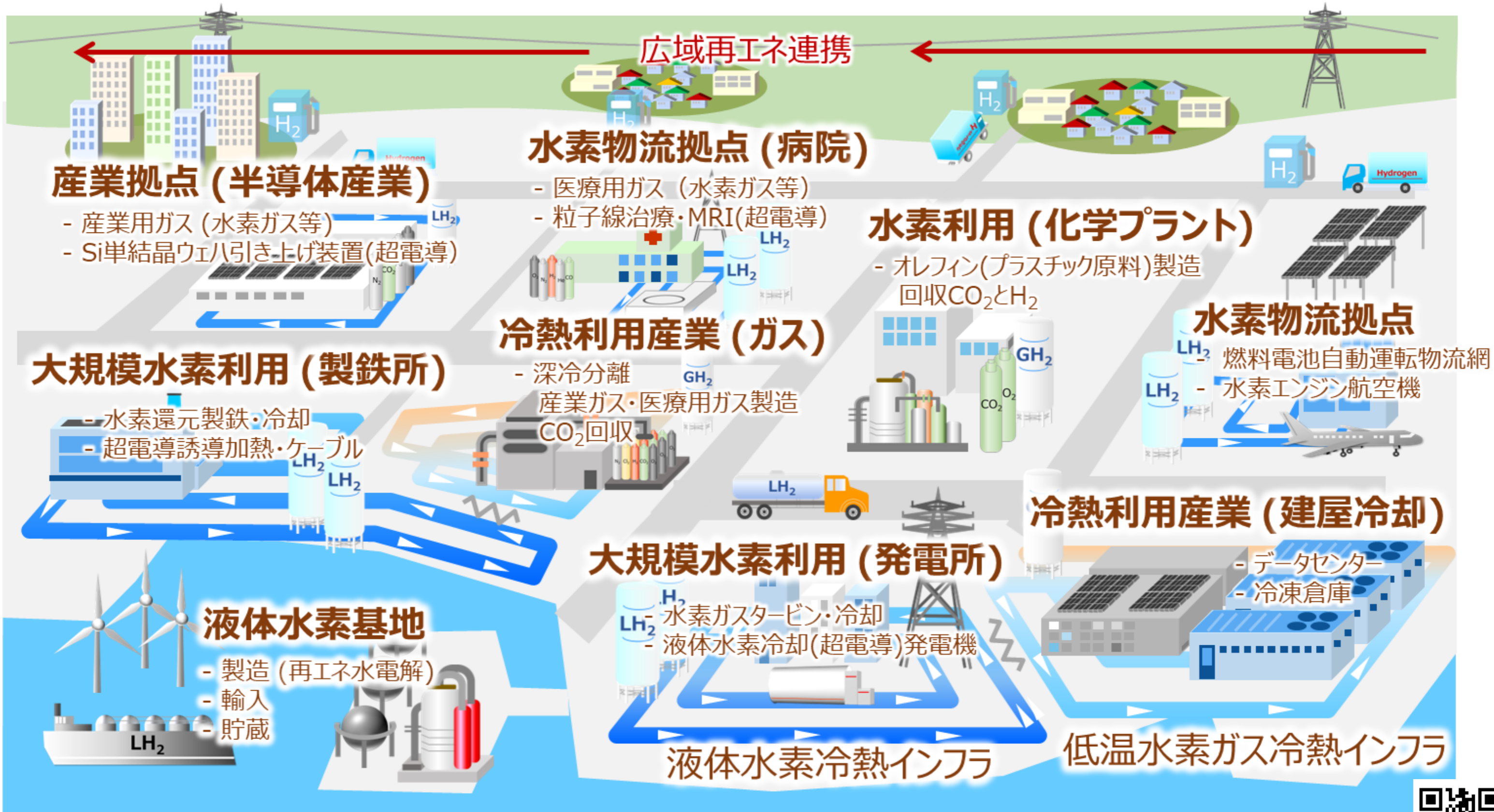
⇒ LNGの冷熱が十分に活用されていない反省を踏まえ
水素インフラ整備と並行して**液体水素冷熱活用インフラ**整備をすることを提言する

超電導屋さんが超電導研究するための提言では意味がない

⇒ **社会課題の解決**を起点とした提言であることが重要

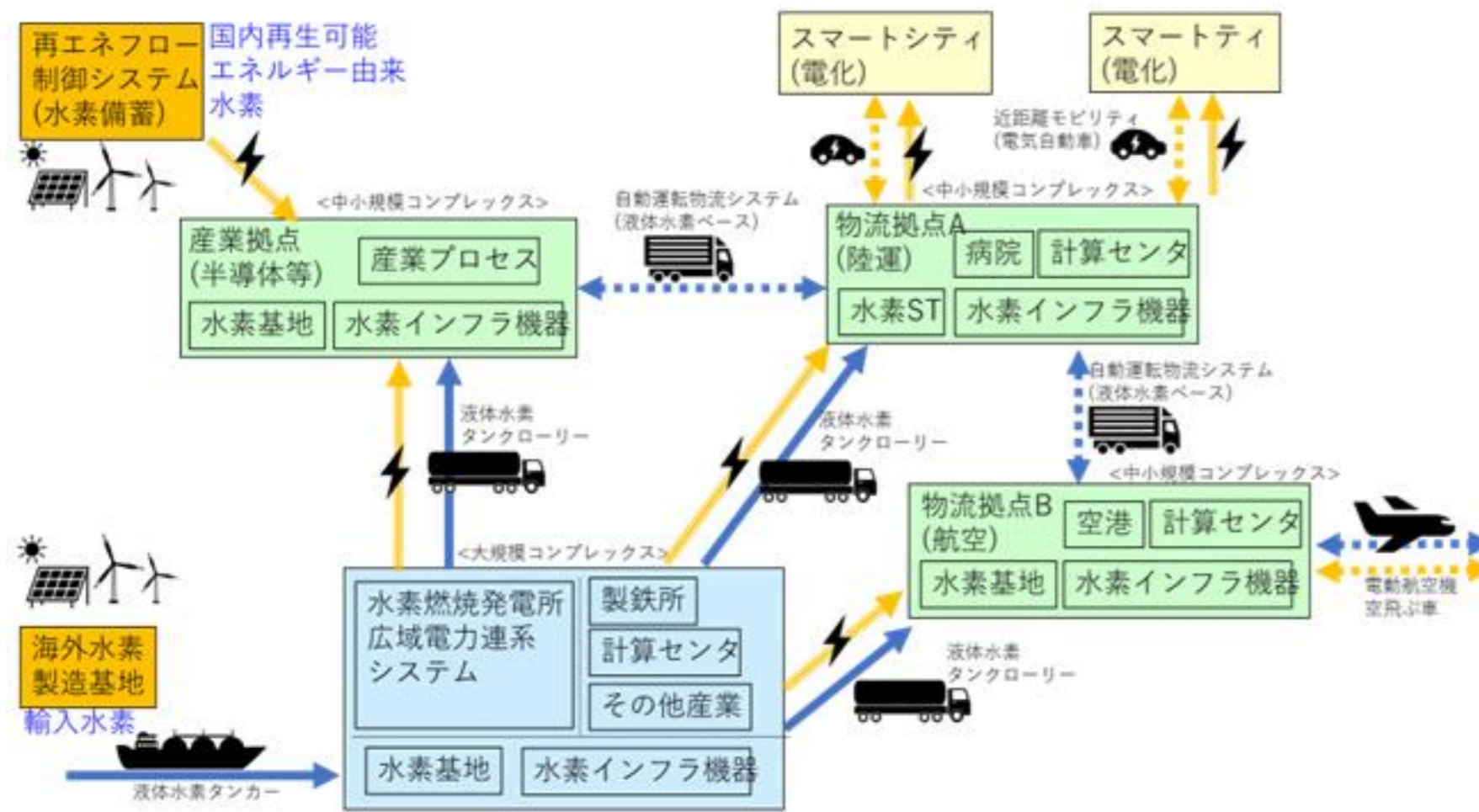
液体水素冷熱が活用された社会像

- 液体水素冷熱を無駄なく有効活用する社会として、複数の冷熱ユーザーによる、**多段の温度カスケード利用**が有用
⇒ 水素と、液体水素の冷熱を利用する**複合産業体を形成**することで、高度な水素社会を構築へ



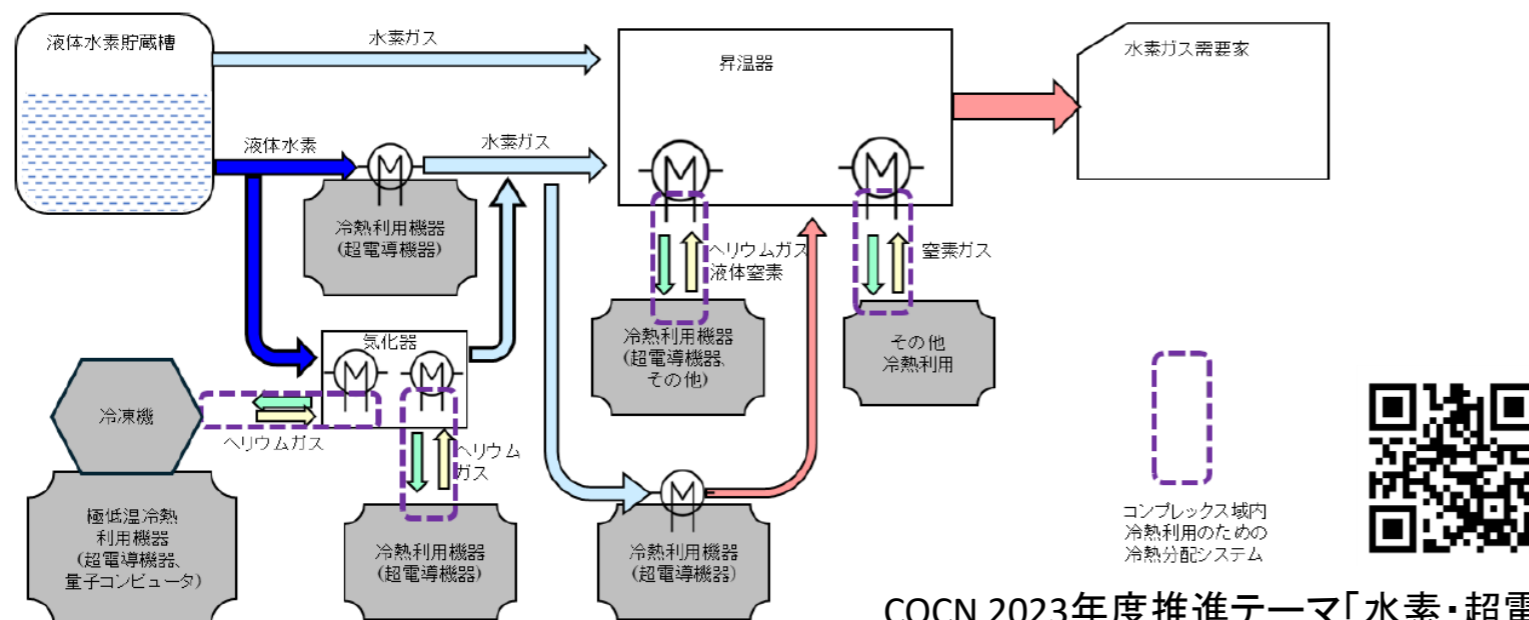
水素・超電導経済研究会の研究対象

① コンプレックスの具体化



1. 大規模コンプレックス(臨海地区)
 - (1) 播磨臨海地区CNPを例題として水素、冷熱の活用チェーンを構築。
 - (2) 超電導機器(発電機、ケーブル等)を導入し経済性評価。
2. 中小規模コンプレックス(内陸部)
 - (1) 国内に液体水素貯蔵拠点を多数配置し、物流ネットワークを構築。
 - (2) 比較的小型の超電導装置の導入。超電導コンピューティング等により高度情報社会を実現。

② 液体水素冷熱利用インフラの概念構築

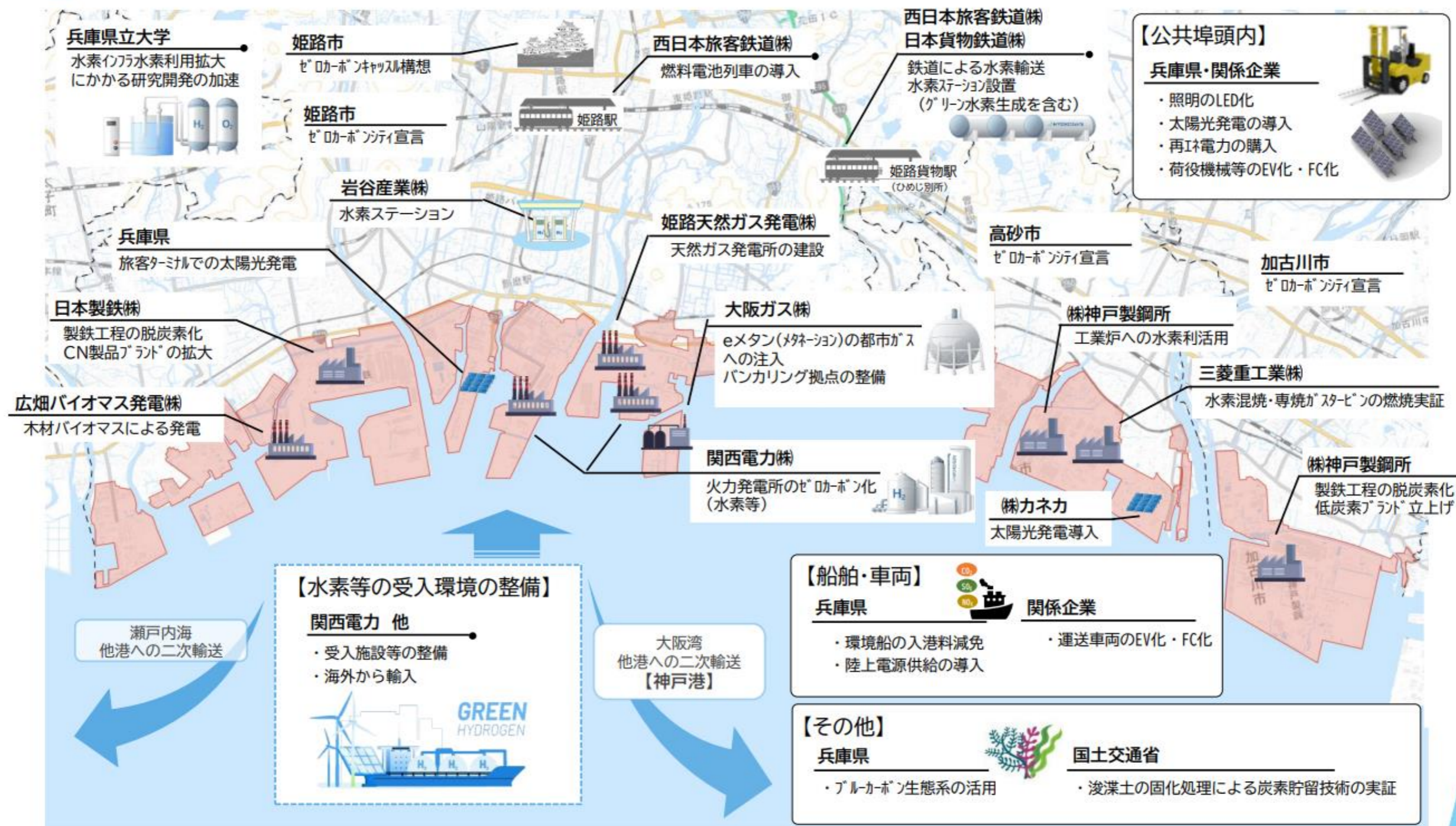


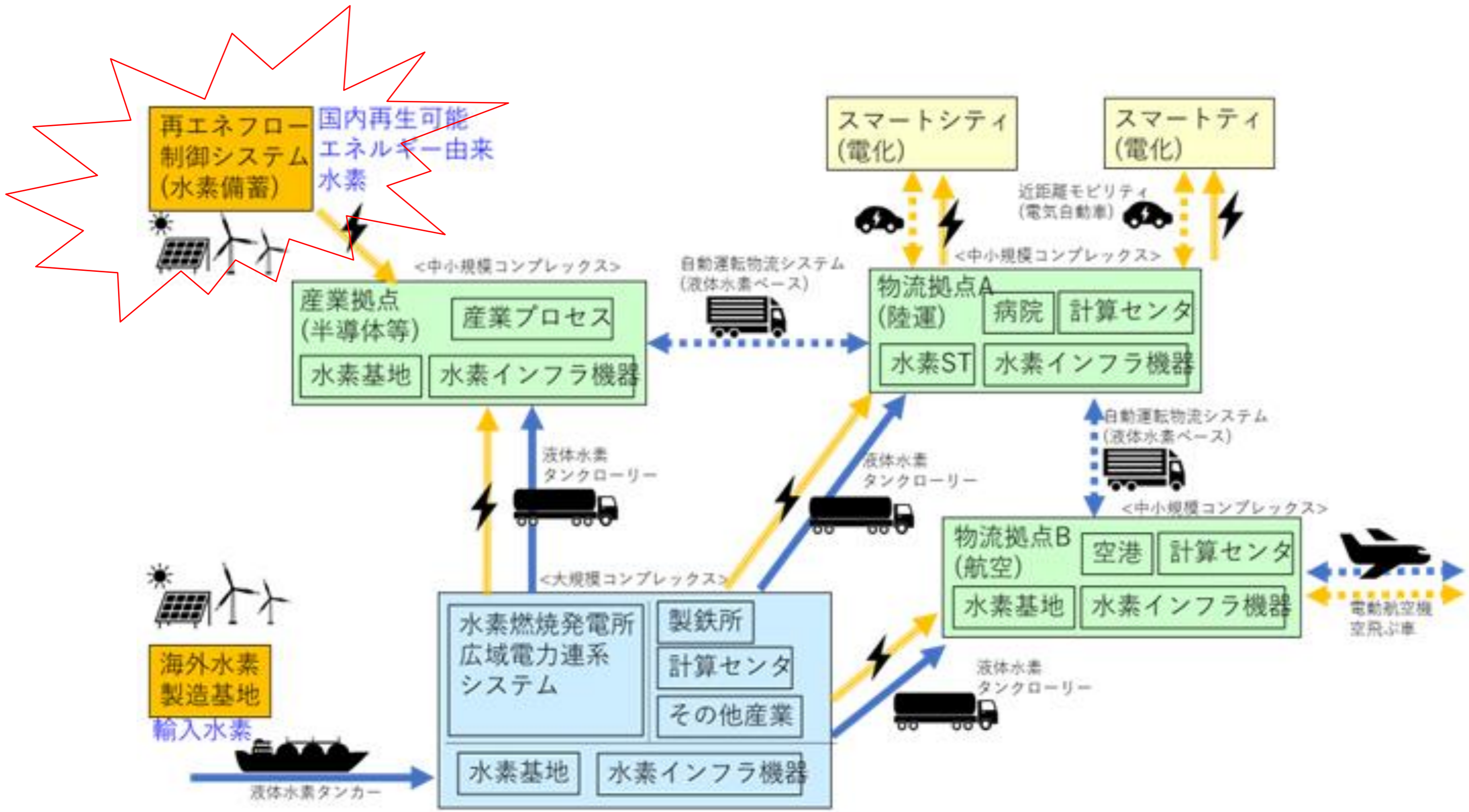
1. 冷熱利用者および冷熱利用形態の整理
 - (1) 冷熱利用プロセス、産業の調査
 - (2) 冷熱多段活用の検討
 - (3) 冷熱活用によるベネフィットの見積もり
2. 冷熱利用インフラの概念構築
 - (1) 利用可能温度、利用可能エリアの見積もり
 - (2) 構成要素のブレイクダウン
 - (3) 標準化

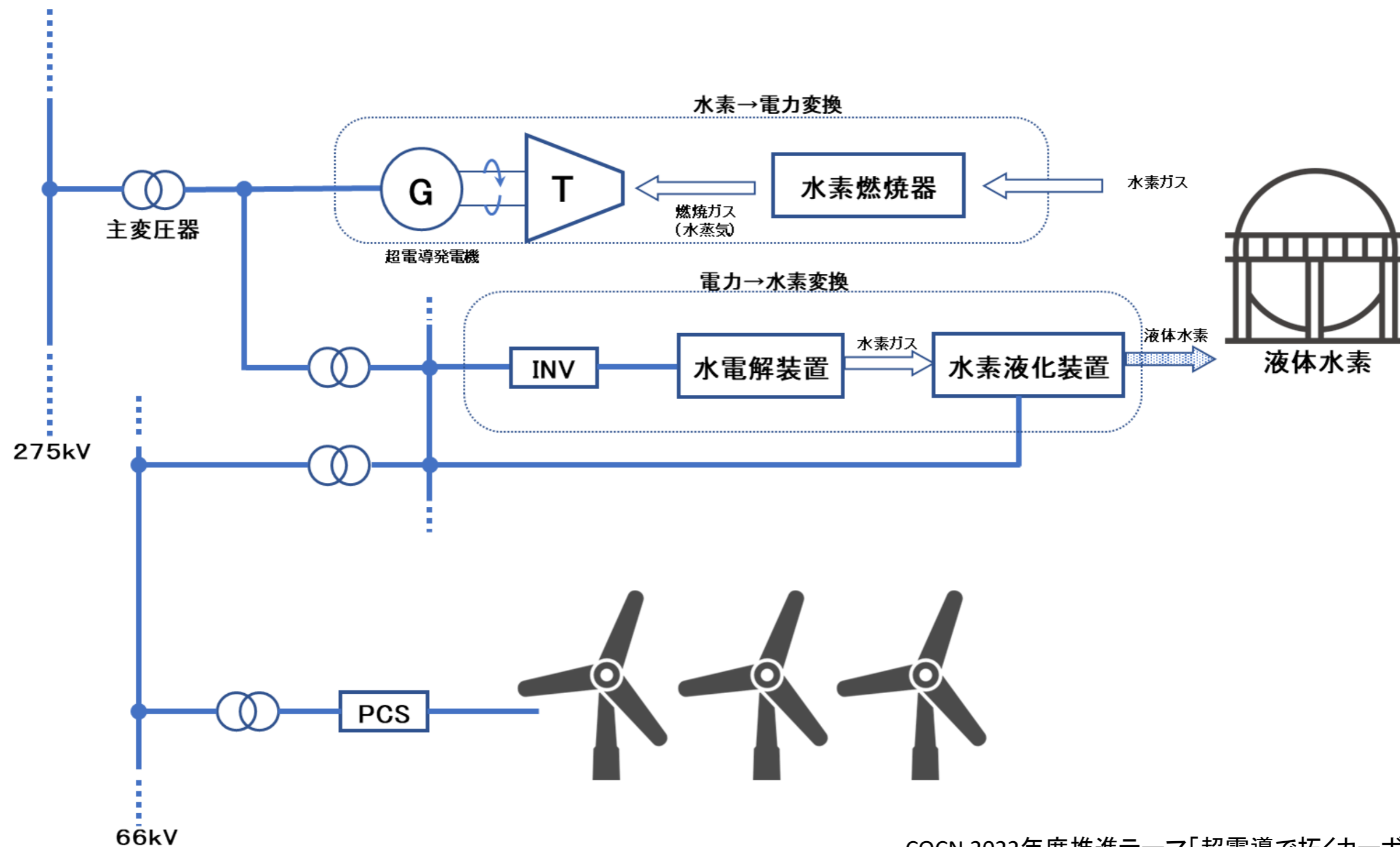
COCN 2023年度推進テーマ「水素・超電導コンプレックス」最終報告書より引用
<https://www.cocn.jp/report/2023/>



播磨臨海地域における取組み

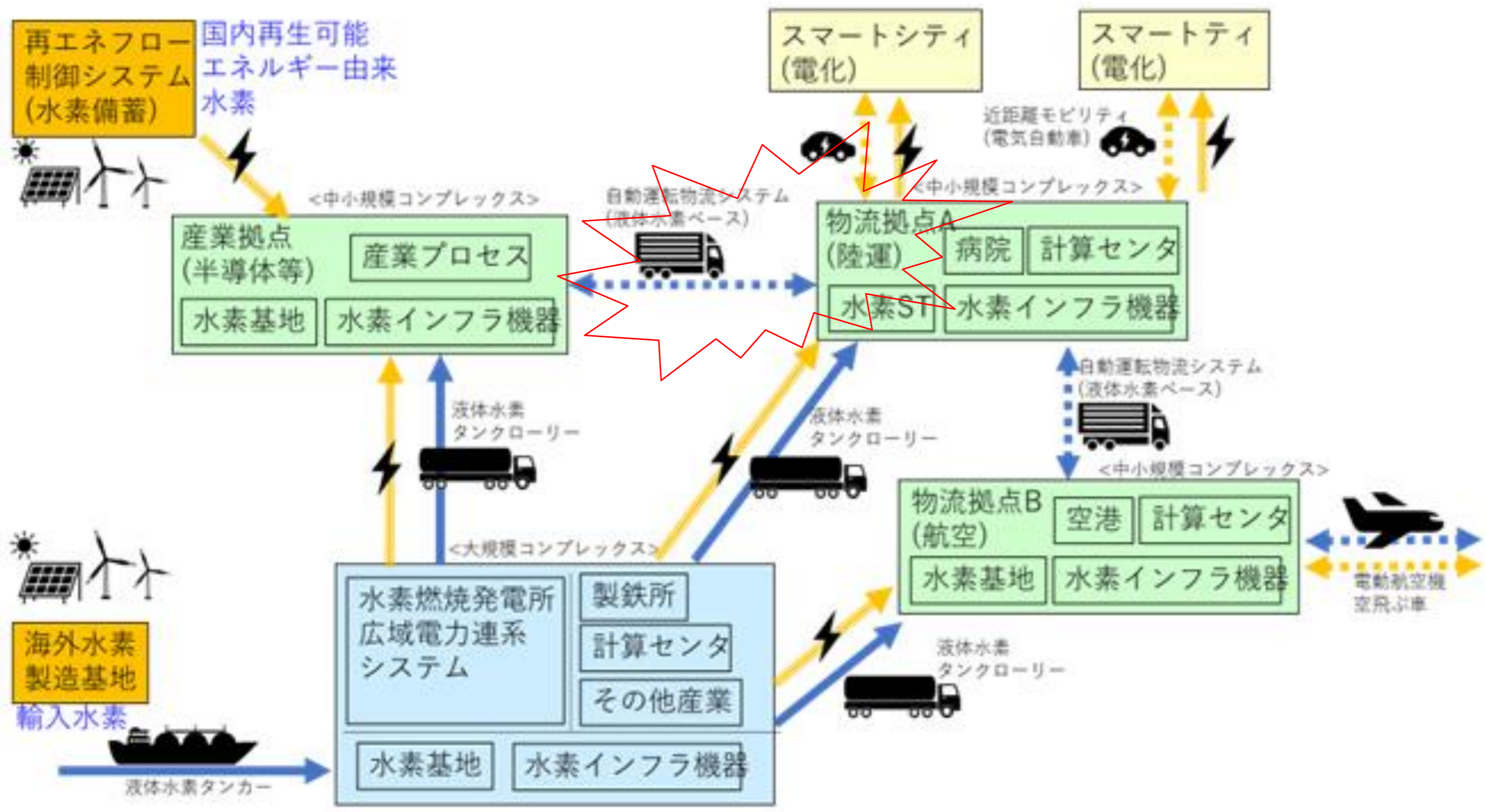






COCN 2022年度推進テーマ「超電導で拓くカーボンニュートラル社会」
最終報告書より引用 <https://www.cocn.jp/report/2022/>

- ・余剰再生可能エネルギーを液体水素に変換してストレージ。季節間エネルギー貯蔵を想定
- ・超電導発電機を利用することにより広域(長距離)にわたって連系可能
- ・広域にわたって連系することにより電力需給の平滑化に貢献
- ・1GWの余剰電力を受け入れるための水電解装置10MW×100、液化装置5ton/day×78台



基幹物流構想 + 液体水素搭載FCTトラック

① 基幹物流構想

三菱地所株式会社が提案する、高速道路ICに直結した専用ランプウェイを設けることで、自動運転トラックや後続車無人隊列走行などの次世代モビリティが高速道路から一般道に下りることなく物流施設を利用可能な施設整備および物流網。



https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokunai_toushikakudai_forum/dai3/siryou7.pdf



株式会社T2と三菱地所が自動運転トラック(レベル4)に対応した物流ネットワーク構築に向けて資本業務提携(2023/6/30)

レベル4: 特定の条件下で運転手がいなくてもシステムが運転を行い、遠隔監視員が安全確保を行う

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC304MH0Q3A630C2000000/>

② 液体水素搭載FCTトラック



ダイムラー・トラック(独)が開発。液体水素タンクを搭載した1000km走行可能なFCTトラック。液体水素の充填のためリンデがサブクール液体水素補給技術を開発

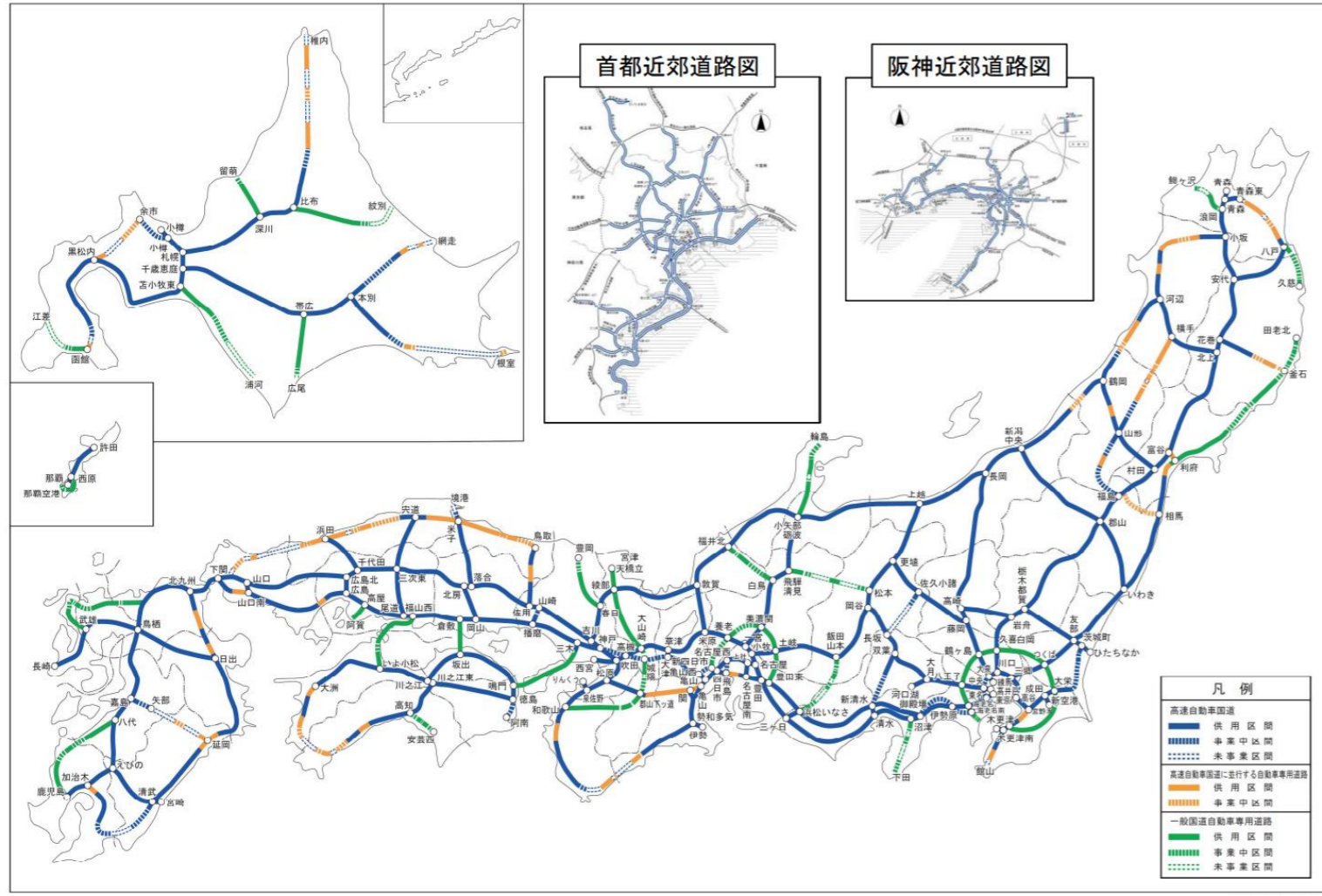


- ・走行可能距離: 1047km
- ・液体水素(44kg×2、ステンレスタンク)
- ・300kW(150kW×2)燃料電池セル
- ・70kWhバッテリー(400kWに一時的にブースト用)
- ・モータ2台
(連続: 230kW×2, 1,577Nm×2)
(ピーク: 330kW×2, 2,071Nm×2)
- ・目標重量40トン(積載量25トン)

<https://www.daimlertruck.com/en/newsroom/pressrelease/fuel-cell-technology-daimler-truck-builds-first-mercedes-benz-genh2-truck-customer-trial-fleet-52552943>

拠点について

全国高速道路路線図



※ここに示されている以外に道路法による自動車専用道路や、道路交通法に基づく交通規制が実施されている道路の区間がある

高速道路 総延長 9231.7km(実延長9050.3km)
 一般国道 66,123.5km(55,825.6km)
 (令和2年3月31日)

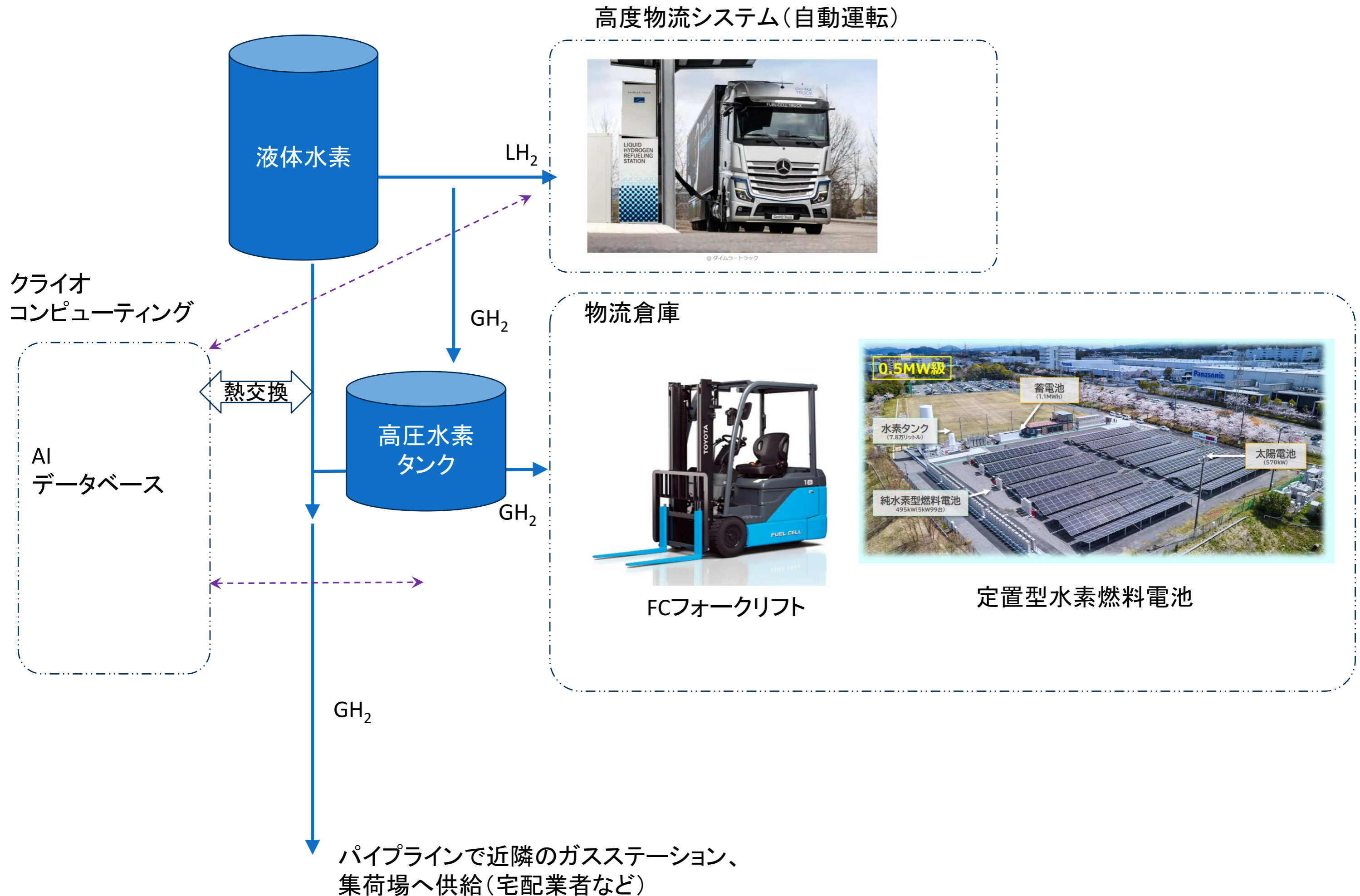
高速道路に200kmおきに液体水素ステーションを
 設置すると45施設
 (高規格幹線道路14,000km →70施設)

一般国道に1000kmおきに設置すると56施設

→ 国内に100箇所液体水素

液体水素貯蔵タンク併設タイプ超電導装置を
 導入する(国内50~100箇所)

小規模パッケージ(物流拠点向け)



クライオコンピューティング

液体水素を排熱先(高温端)とした冷却システムにより、20K未満の冷凍機運転電力を大幅に削減した極低温環境を作ることが可能

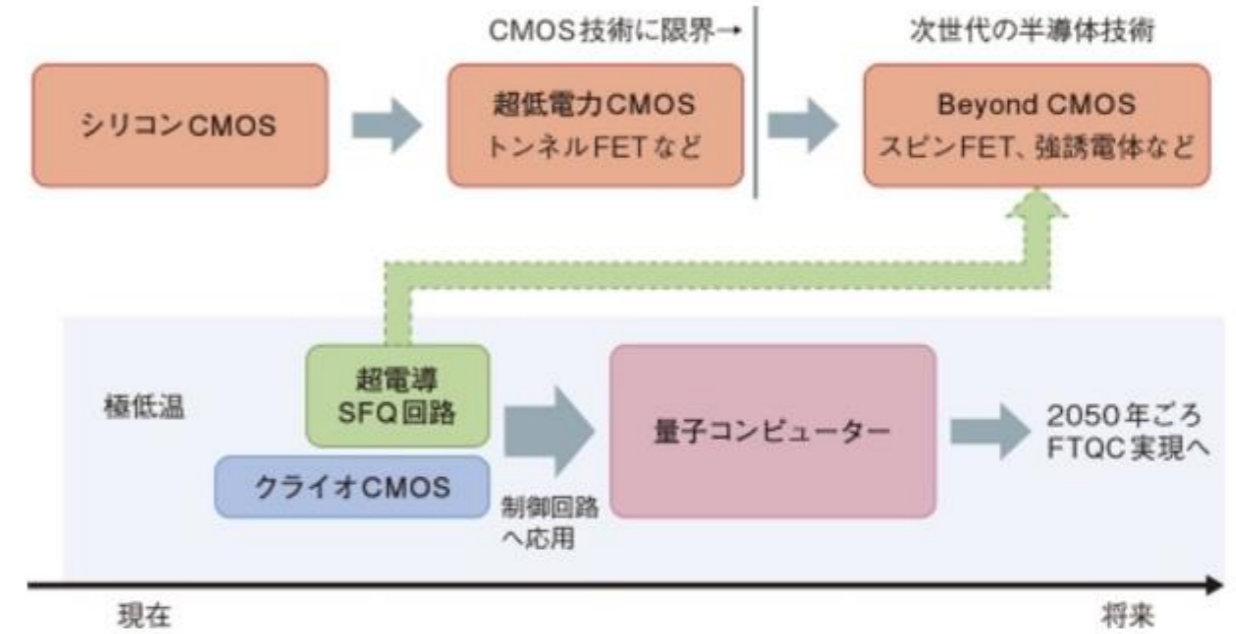
① AI技術の普及とともにデータ処理能力の向上が求められており、AIアクセラレータ市場は急速に成長。処理能力の向上とともに増大する消費電力を抑えるための開発が進められている。

超電導ジョセフソン接合を利用した単一磁束量子(SFQ)は、超低電力のAIアクセラレータへの応用が期待される

② 量子コンピュータの制御回路として極低温動作するSFQ集積回路やCryo-CMOS集積回路が、Qビット動作ステージへの入熱低減のためのインターフェイスとして開発される

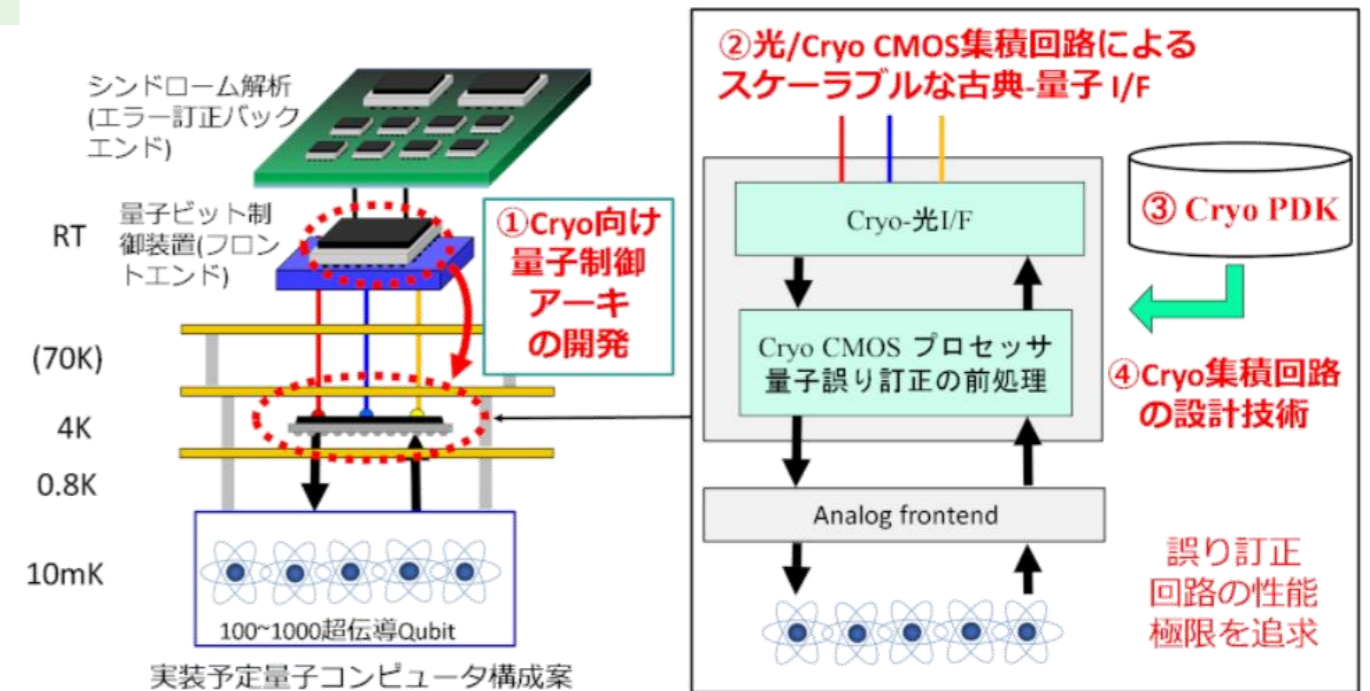
極低温技術による低消費電力コンピューティングと量子コンピュータへの期待。

AIエッジコンピューティングによるリアルタイム高度社会制御



日経クロステック CMOS技術の深化と低温技術の応用

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ne/18/00122/00003/>

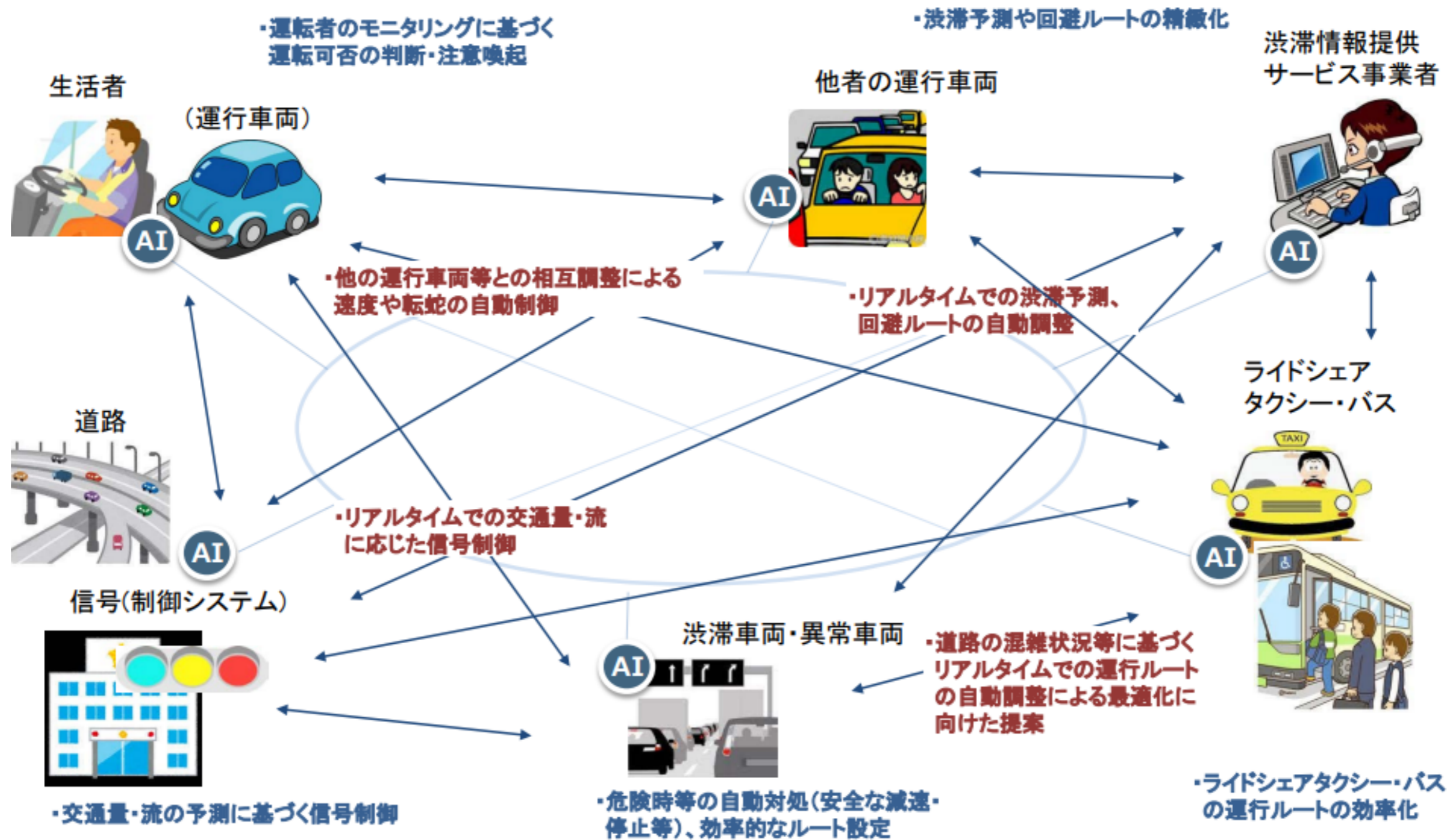


JST MOONSHOT 光/Cryo CMOS集積回路によるスケラブルな古典-量子インターフェイス

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/appeal/6A_kobayashi_ap03.html



2. 移動(車両)に関するユースケース(2/3)



(凡例) 青字: 「AIシステム相互間の連携前の段階」において、シナリオ上想定されるAIシステムの利活用(例示)
朱字: 「AIシステム相互間の連携後の段階」において、シナリオ上想定されるAIシステムの利活用(例示)



1. カーボンニュートラルに貢献する水素冷熱を活用した新しい超電導応用を創出するとともに、超電導応用の国際競争力を強化し、欧米・中国に対する国内産業の優位を構築することを目標としてCOCN(産業競争力懇談会)で2022,2023年度に「水素・超電導コンプレックス」プロジェクトを推進し、2024年度より「水素・超電導経済研究会」を立ち上げた。
2. 「水素・超電導コンプレックス」は液体水素拠点に水素・超電導・冷熱を利活用する産業・事業を集約したもの。エネルギー効率が良いということだけではなく、液体水素拠点を国内に広く分散させることにより水素、極低温、超電導利用環境(インフラ)を提供し新たな価値・社会を創生することを目指す。
3. 新たな社会づくりであり単独業種、業界では実現できるものではなく、業界横断的な活動が必要である。ご協力をお願いしたい。