

水素・超電導コンプレックス

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

東芝エネルギーシステムズ 来栖 努

目次

1. プロジェクトの概要
2. 超電導と液体水素について
3. プロジェクト検討結果
4. まとめ

産業競争力懇談会（COCN）2023年度推進テーマ「水素・超電導コンプレックス」

【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**の創出
- ・超電導応用の国際競争力強化、欧米・中国に対する国内産業の優位の構築

プロジェクト参加機関

東芝エネルギーシステムズ、日立製作所、三菱電機、フジクラ、古河電気工業、住友電気工業、鹿島建設、岩谷産業、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

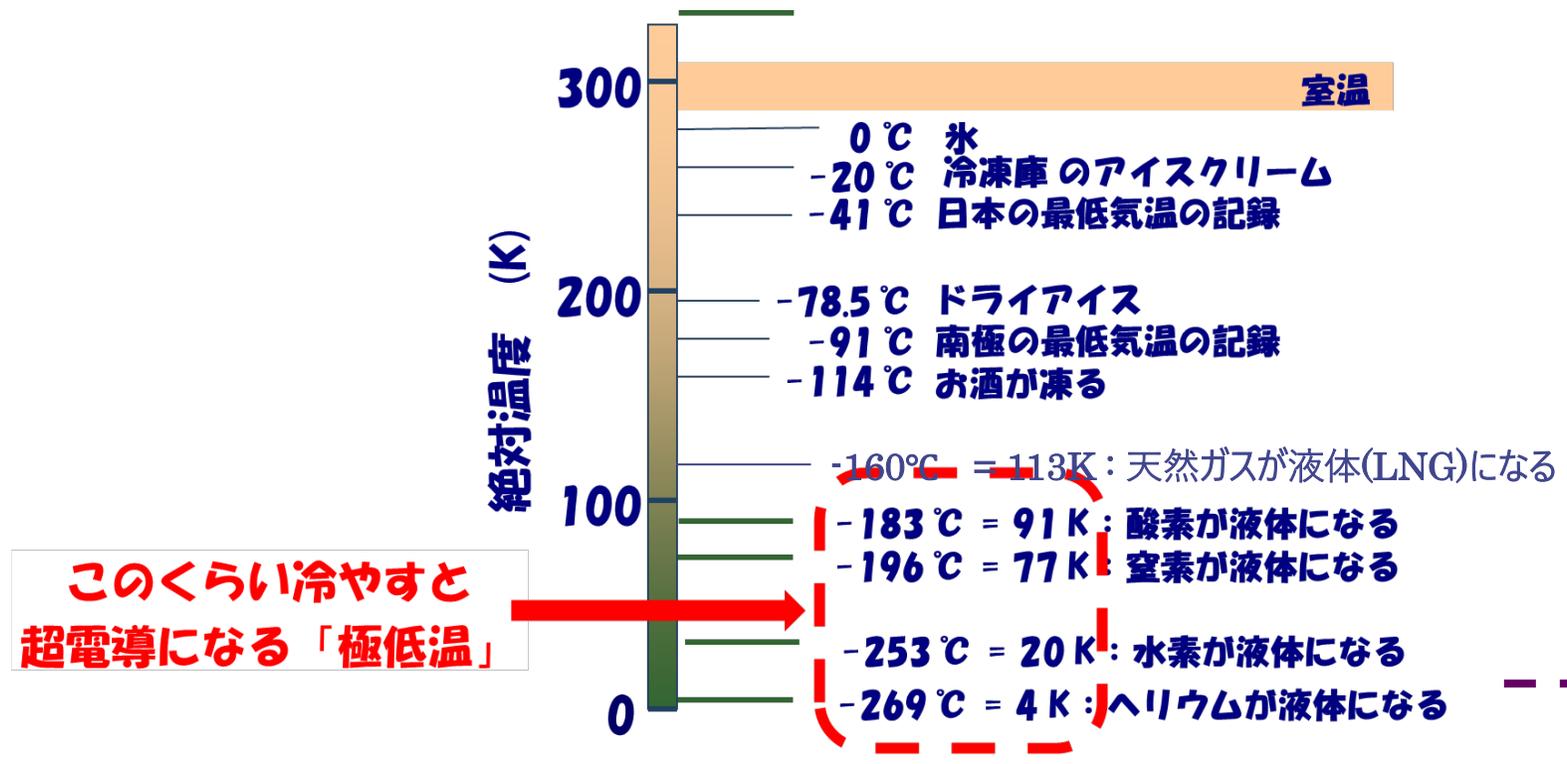
キヤノン、キヤノンメディカルシステムズ、富士通、富士電機、鉄道総合技術研究所、産業技術総合研究所、理化学研究所

超電導で、どんなことができる？

- (直流)電気抵抗ゼロで、大電流を、高電流密度で、通電可能
- 通常では得られない強磁場、強磁力を提供可能

主な利用の例

医療用MRI、分析用NMR、粒子線治療装置
シリコン単結晶引き上げ装置用磁石、
超電導リニア、核融合用磁石など



高温超電導と液体水素温度 (20K) とは高相性

↑ 高温超電導

↓ 低温超電導

社会実装が今後期待される超電導の利用例

エネルギー分野

- 核融合炉
- 電力ケーブル
- 広域連系用発電機、等

物流・交通分野

- 各モビリティ用モータ
 - 水素燃料タンク用装置、等
- (超電導リニアは社会実装目前)

産業分野

- 誘導加熱機
- 電磁攪拌機
- 産業用モータ、等

情報分野

- 超電導コンピュータ、量子コンピュータ等

医療・分析機器分野

- MRI、粒子線治療装置、等の次世代機
- NMR、等の次世代機

高温超電導の技術進展と、ふんだんな液体水素冷熱の利用機会により、利用の更なる拡大へ

液体水素の冷媒としての特徴は？

< 冷媒としての液体水素の特徴※ >

- 蒸発潜熱が大きい.粘性が小さい.
 - ・ **冷媒に適している.**
 - ・ **貯蔵、輸送に適している.**
- 温度域
 - ・ 高温超電導の冷却、極低温の価値
- 大きな冷熱エクセルギー
 - ・ **LNGの約14倍の冷熱エクセルギーを持つ.**
 - ・ 液体水素：3,400 kWh/t、LNG：240 kWh/t

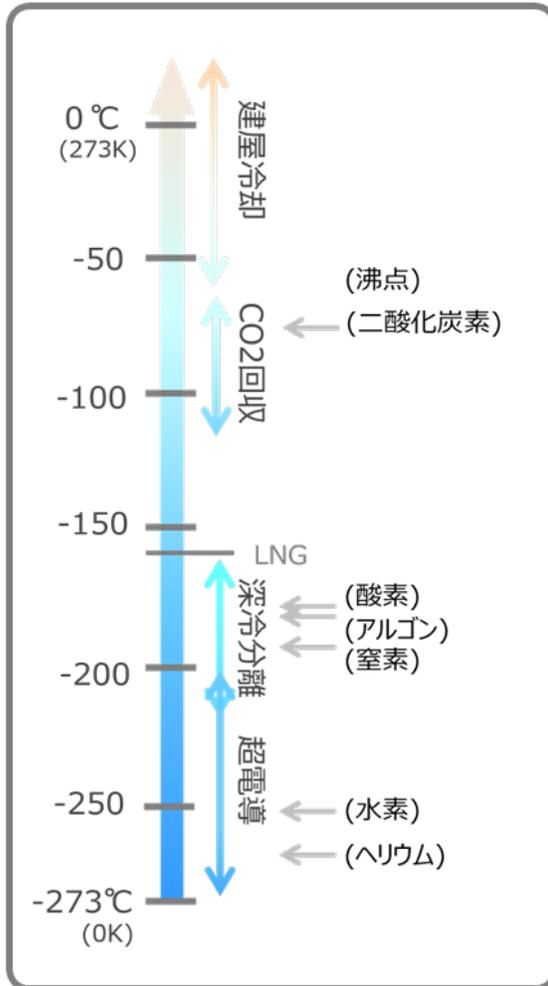
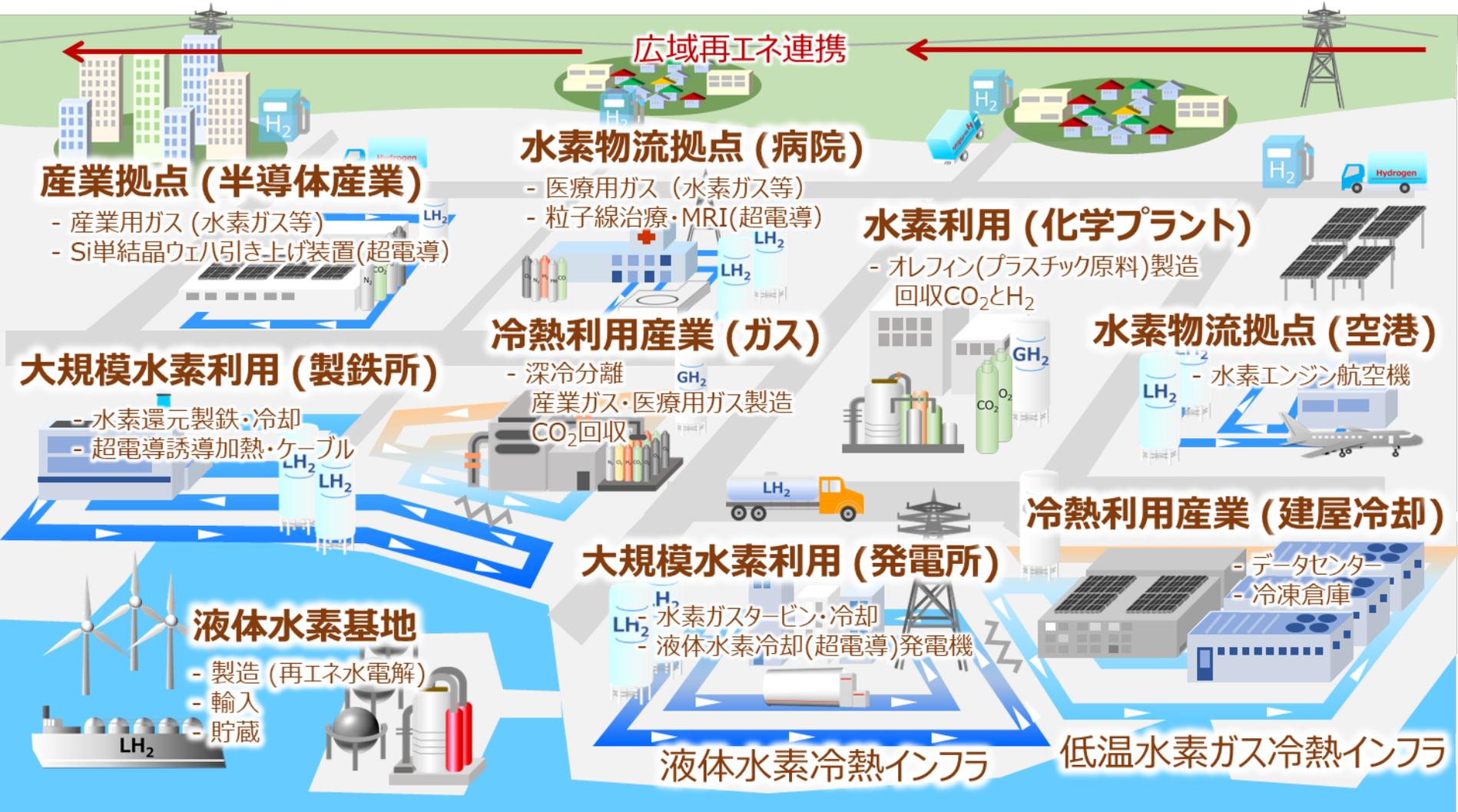
冷媒としての液体水素※

	液体水素	液体ヘリウム	液体窒素
沸点 (K)	20.3	4.22	77.3
密度 (kg/m ³)	70.8	125	808.6
潜熱 (kJ/kg)	443	20.4	198.6
粘性 (μPa·s)	12.5	3.2	142.9
臨界圧 (MPa)	1.314	0.227	3.4
臨界温度 (K)	32.97	5.19	126.19

※ 京都大学 白井康之 教授「液体水素冷却超電導応用機器の研究開発」
低温工学・超電導学会関西支部 50周年記念講演資料より抜粋加工

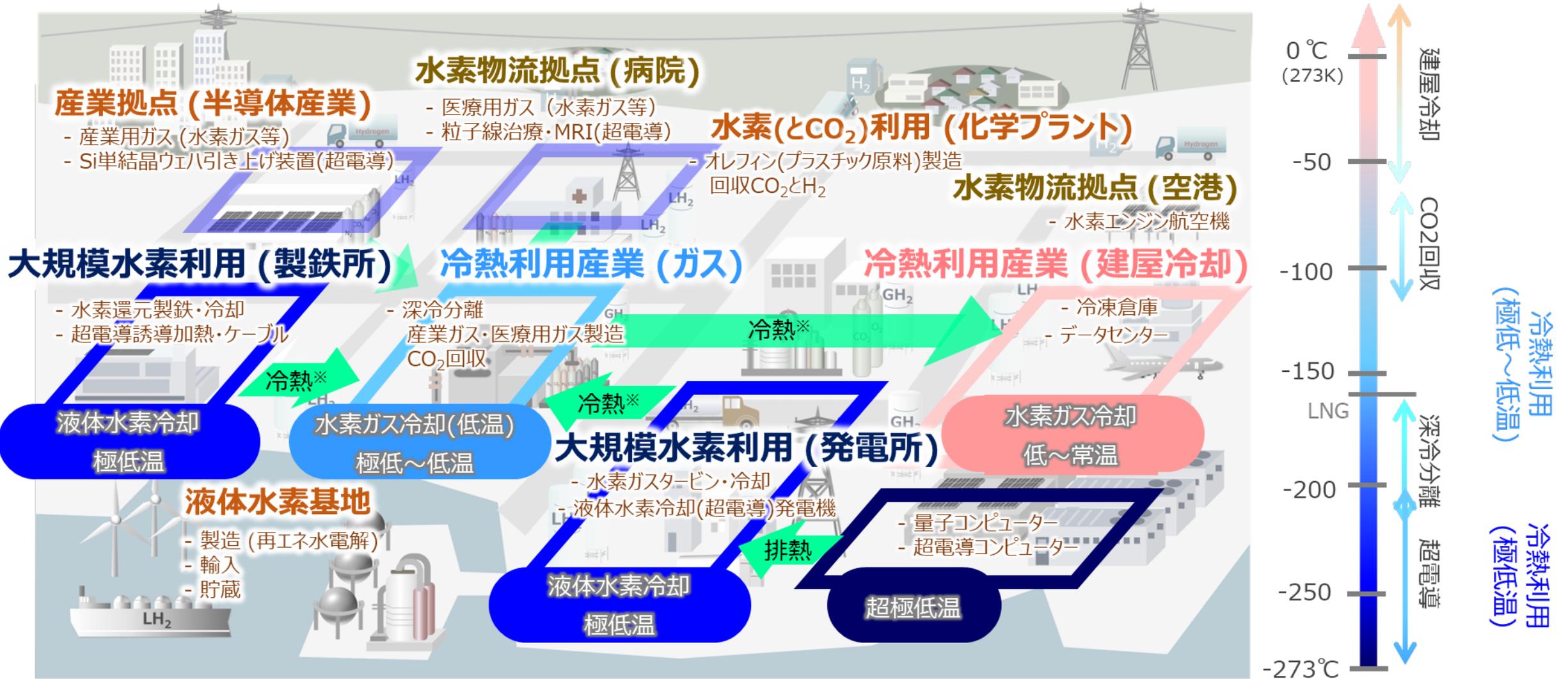
液体水素は、冷媒・貯蔵・輸送に適しており、大きな冷熱エクセルギーを持っている

- 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



温度利用帯例

液体水素冷熱のカスケード利用のイメージ例



※1 熱の移動を示す矢印は逆向きとなる。ここでは“冷熱”を主体とした議論であるため低温から高温へ矢印を描いた。

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、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もっと低減へ)

<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、新産業の創出を後押しし、**国際産業競争力の強化に貢献**

<提言>

- 液体水素の冷熱利用への国の積極的な推進

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

高温超電導で拓く液体水素冷熱の新たな利用の提案

- 水素ガスタービンと組合わせた**高温超電導発電機の冷却に利用。再エネの広域連系に利用** (Cf 次頁)
- **核融合炉の高温超電導磁石の冷却**に利用
- **水素モビリティ用設備、製鉄産業等で、高温超電導モータ、誘導加熱装置などの冷却**に利用

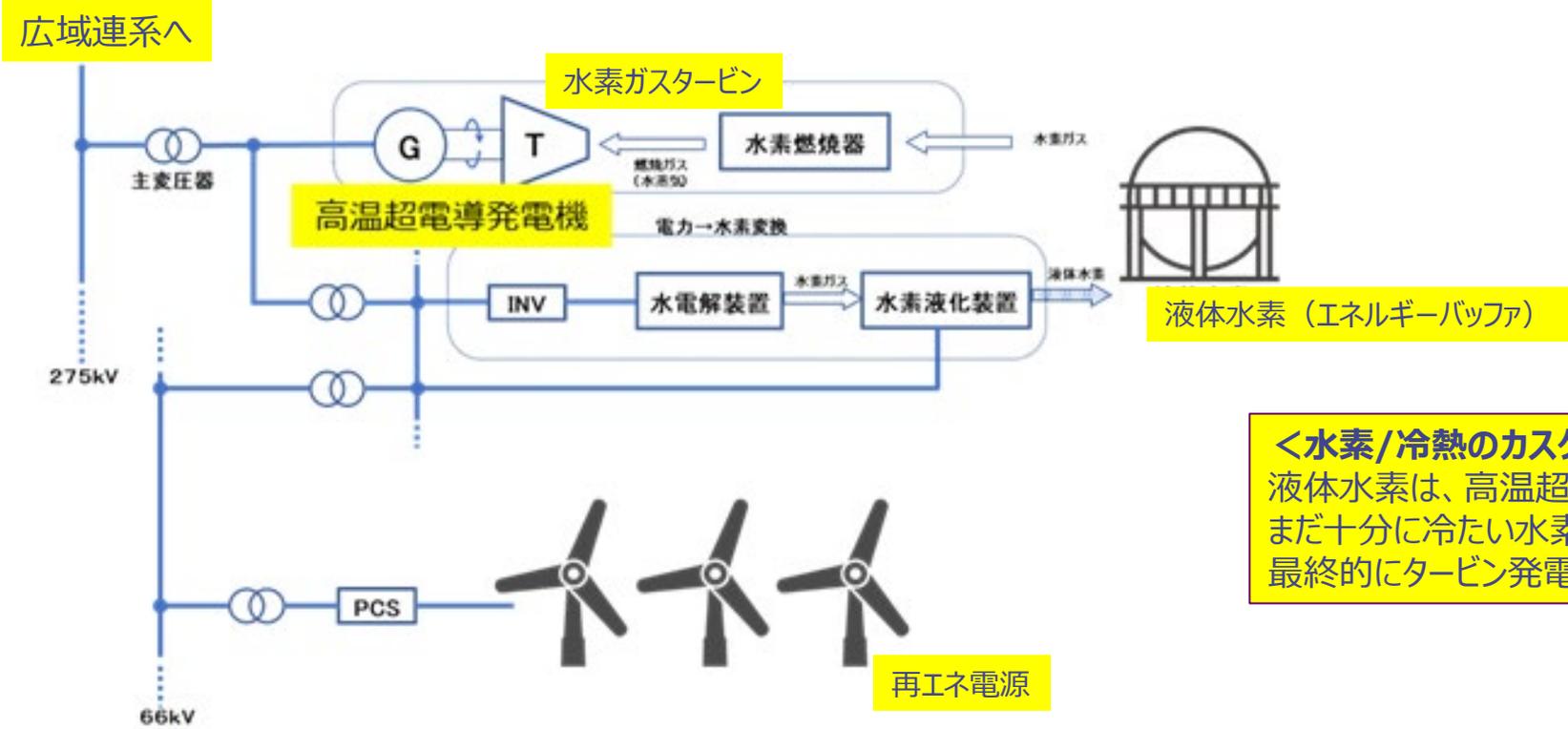
推定経済効果：数十兆円規模以上

⇒ 高温超電導技術の普及による**派生効果として、磁気浮上式鉄道、医療装置、等の技術向上**にも多くを貢献

液体水素と超電導を利用する、再生可能エネルギー電源の広域連系の提案

期待される主な機能 / 効果

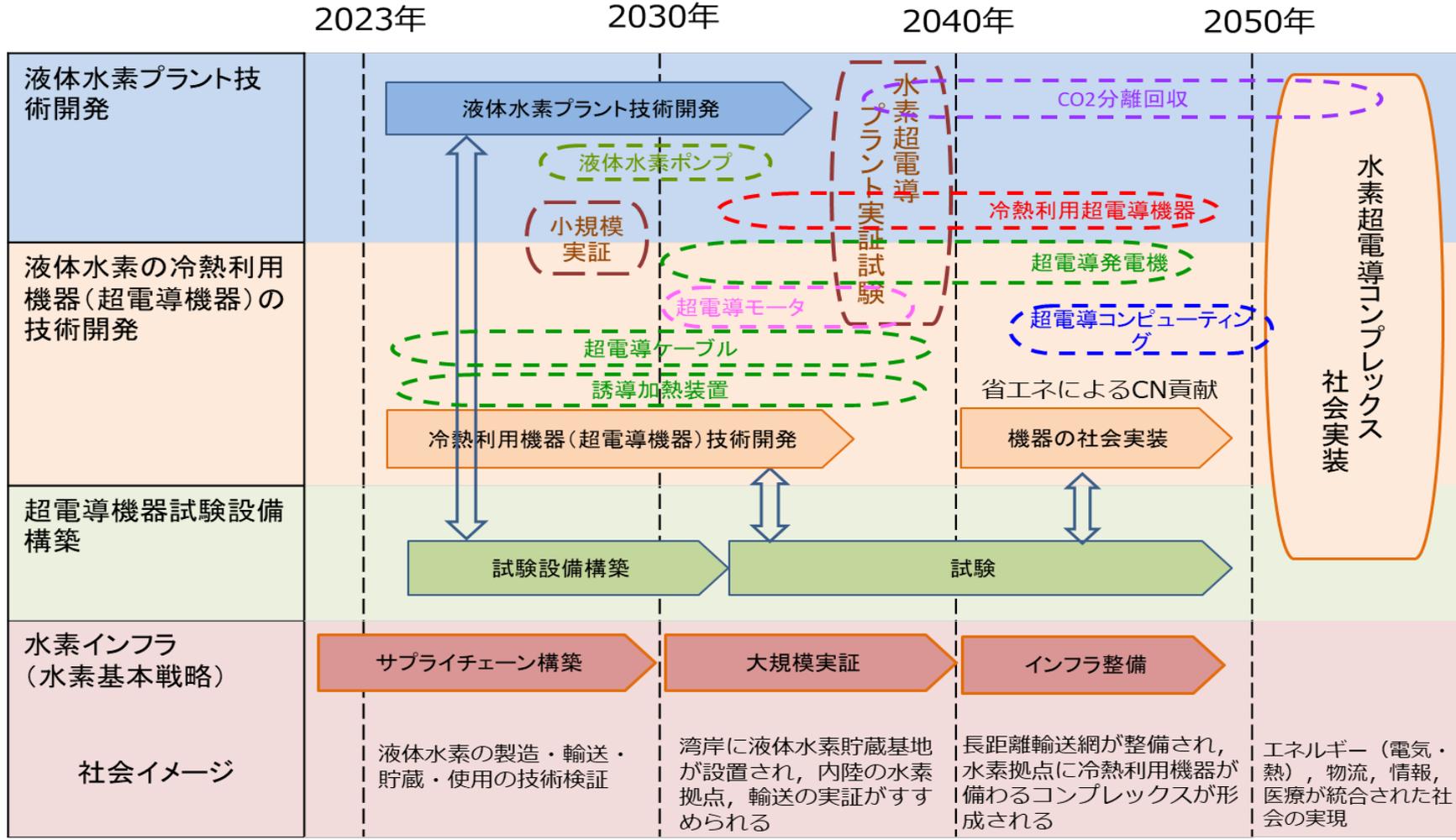
- ・水素ガスタービンの慣性力と、超電導発電機の低インピーダンスにより、電力システムを安定化
- ・変動再エネの調整力を確保（季節間変動まで対応）
- ・水素をベースとした発電・水素製造・貯蔵システムにより、エネルギー安全保障に貢献



<水素/冷熱のカスケード利用>
液体水素は、高温超電導発電機を冷却した後、
まだ十分に冷たい水素ガスを別の冷熱ニーズに利用し、
最終的にタービン発電燃料として使用する

水素ガスタービン発電に高温超電導発電機を利用し、再生可能エネルギーを広域連系する構想イメージ

水素・超電導コンプレックスのロードマップ(案)



- ・小規模実証 (2030) →プラント実証 (2040) →社会実装 (2050)
- ・開発加速策： 国プロによる基本技術確立、 国立研究機関の試験環境整備 & 共同利用

まとめ

水素冷熱を活用した新しい超電導応用を創出し、カーボンニュートラル、および産業競争力強化に貢献することを目指しています。

内容の具体化、仲間づくりを進めるべく、今年度より、検討の場を水素・超電導経済研究会（COCN連携活動）に移し、引き続き、検討を進めてまいります。

ご清聴ありがとうございました