

【産業競争力懇談会 2023年度 推進テーマプロジェクト 最終報告】

【水素・超電導コンプレックス】

2024年2月7日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エグゼクティブサマリ】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

本プロジェクトは、2050年に水素・超電導コンプレックスが核となってエネルギー、物流・交通、情報、人流等を含めた将来のネットワークを構築する社会像を提案する。ふんだんな液体水素の冷熱と高温超電導とのシナジーで創出される超電導活用液体水素ベース社会システム（LHSS）において、高温超電導の新しい応用が可能になり、カーボンニュートラルおよび国際競争力強化に貢献するシナリオを検討した。

2. 検討の視点と範囲

水素・超電導コンプレックスを核とした成長シナリオと開発シナリオを検討した。成長シナリオの策定においては、「2050年のあるべき社会の姿」「産業競争力強化」「水素関連産業との連携（カーボンニュートラル等）」を検討の視点とし、液体水素の冷熱を活用した高温超電導を利用する社会インフラについて検討した。開発シナリオ策定においては、「社会実装まで見通した全体整合」を検討の視点とし、開発シナリオ・環境効率・開発の枠組案等について検討した。

3. 主な検討結果

輸入液体水素の陸揚げ拠点、および液体水素FCトラックの燃料（液体水素）補給拠点等をハブとしてエネルギー・物流・交通・情報・人流の新しいネットワークを構築する2050年の社会像を描き、「水素・超電導コンプレックス」を核とした成長シナリオを提案した。

エネルギー分野では再生可能エネルギーが主力電源化する場合に想定される主な課題について、送電インフラ増強を最小限に抑えつつ解決する「広域再エネ連系構想」を提案し、本構想の導入によるCO₂排出量削減効果（最大ポテンシャル）を国内の現在の総発生量の約9%に相当する約1億トン/年（2050年）と試算した。

産業分野では、水素の大口需要が見込まれる製鉄産業に着目し、製鉄プラントに超電導技術を導入した場合の省エネ効果をモデル評価し、また液体水素モビリティ分野では、普及に向けた課題である液体水素のボイルオフガス低減と注液時の排気ロス低減に、超電導が貢献できるポテンシャルを有していることをまとめた。

また、上記それぞれのケースにおいて、環境効率を最大で約2倍改善するポテンシャルを有していることを試算するとともに、水素・超電導コンプレックスの経済効果の規模を、数10兆円規模と試算した。

開発シナリオの策定においては、「液体水素プラント技術開発」および「液体水素の冷熱利用機器（超電導機器）の技術開発」に重点注力して小規模実証し、プラント実証を経て社会実装につなげるロードマップをまとめ、開発加速のため国立研究機関に試験環境を整備して進めるシナリオを策定した。

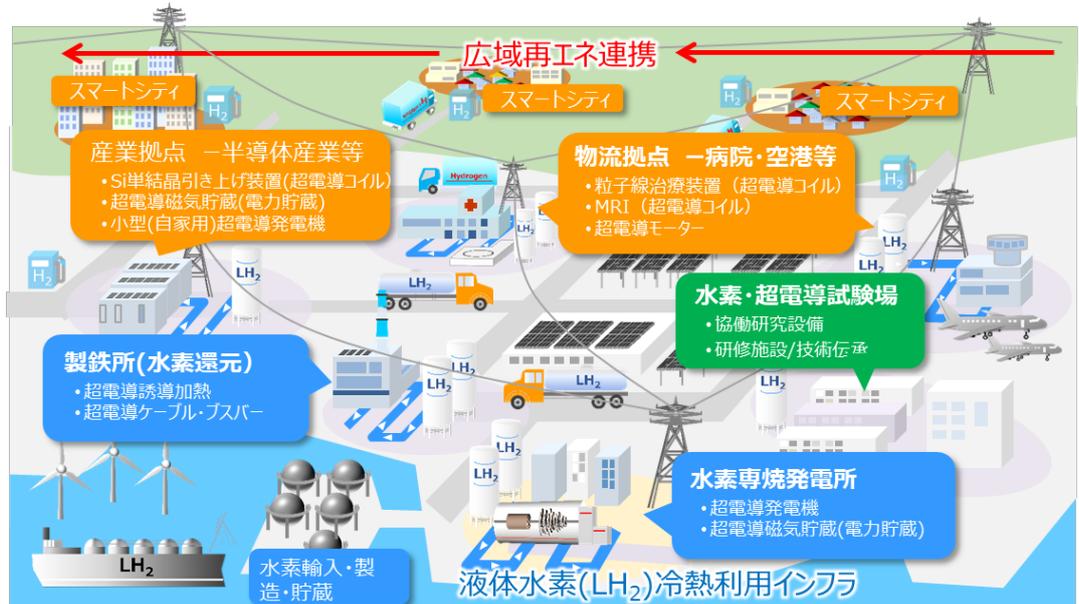
本プロジェクトが描く2035年頃の水素・超電導コンプレックスに向けた変遷、および2045-2050年頃の水素・超電導コンプレックスの姿を事頁に示す。

2035年頃



水素・超電導 共同研究設備で、水素・超電導基盤技術・水素冷熱活用技術の実証
超電導利用のポンプ、超電導軸受、磁気冷凍等の活用で水素社会の基盤が液体水素へ

2045年－2050年頃



超高効率（低損失・大電流・強磁場・小型）な超電導が日常化する超電導・水素コンプレックス
2050年以降、水素・超電導コンプレックスが国内・海外へ普及

図 水素・超電導コンプレックスの成長（上図：2035年頃、下図：2045-2050年頃）

4. 産業競争力強化のための提言および施策

本プロジェクトからの提言を以下にまとめる。

- ・液体水素の冷熱利用への国の積極的な推進
- ・冷熱利活用の仕組検討や技術確立等への国の積極的支援による、水素・超電導コンプレックスの社会実装加速
- ・産官学連携による中長期視野に立った人材育成の機会を創出、核融合含む長期的な超電導のニーズの積極的発信

上記提言に関する施策案として以下に提案する。

- ・業界をまたいで液体水素の冷熱を利活用する仕組みを国や自治体とも連携して検討できる枠組を設置する。
- ・産学連携の国プロと、個別企業における技術開発を並行して基本技術の確立を加速し、国立研究機関を活用して実証を進め、実用化、社会実装を加速する。
- ・人材育成機会の創出のため、他分野での取組（例：原子力分野の人材ネットワークの取組等）を参照し、効果的な取組については取り込むとともに、業界の魅力を様々な機会を活用して積極的に情報発信する。

上記提言の推進にあたり、官民の分担を以下に提案する。

- ・民は、水素・超電導コンプレックスにおける冷熱の利用方法および魅力的なエコシステムの構築、および人材育成機会創出を進めることが望ましい。
- ・官は、液体水素冷熱の利活用の仕組検討/技術開発・開発環境整備/法規制対応/人材育成機会創出における枠組づくりと経済面で協力することが望ましい。

5. 今後の課題と展開

本プロジェクトを通して確認した今後の課題を以下にまとめる。

- ・国の水素基本戦略には液体水素の冷熱利用は取り上げられていない。今後の進め方を検討するための枠組みづくり、および業界の垣根を超えた更なる仲間づくりが課題である。
- ・「広域再エネ連系構想」は発電事業者システム導入され、送電事業者の設備投資が軽減されるため、発電事業者も含めてインセンティブが働く仕組みづくりが課題である。
- ・提案実現の技術開発には相応の期間が必要になると想定され、社会が必要とする時期までにタイムリーに必要な技術を確立することが課題である。
- ・これまでの国プロの経験等も踏まえ、市場・社会動向や経済合理性に十分に留意したうえで、社会の動きと連動した実行計画にしていくことが課題である。

また、今後の具体的な展開として、上記の課題をふまえ、プロジェクト終了後に有志メンバーを再度集め、今後の進め方を検討する枠組みの設置を検討する。

以上

【目次】

1. プロジェクトの背景と目的	5
1. 1. プロジェクトの背景	5
1. 2. プロジェクトの目的	7
2. プロジェクトの進め方	7
3. 成長シナリオ策定	9
3. 1. 検討領域	9
3. 2. 基本コンセプト	9
3. 2. 1. 液体水素と高温超電導とのシナジー	9
3. 2. 2. 広域再エネ連系構想	10
3. 2. 3. 液体水素貯蔵拠点をハブとしたエネルギー・物流・交通・情報・人流等新しいネットワークシステム	10
3. 2. 4. 水素・超電導コンプレックス	11
3. 3. 水素・超電導コンプレックスの効果	13
3. 3. 1. エネルギー分野における効果	13
3. 3. 2. 産業分野における効果	14
3. 3. 3. 水素・超電導コンプレックスの経済効果	15
3. 4. 成長シナリオの形成	15
3. 4. 1. 広域再エネ連系構想の形成	16
3. 4. 2. 新しい物流システムの形成	16
3. 4. 3. 製鉄プラントにおける水素・超電導コンプレックスの形成	17
4. 開発シナリオ策定	18
4. 1. 検討領域	18
4. 2. 開発シナリオ策定	18
4. 2. 1. 開発シナリオ	18
4. 2. 2. 水素・超電導プラント実証試験	20
4. 2. 3. 水素冷却超電導機器試験設備	21
4. 3. 環境効率(エコ・エフィシエンシー)の評価	21
4. 4. 開発推進の枠組	22
5. 産業競争力強化のための提言および施策	24
6. 今後の課題と展開	25
7. まとめ	26

<別冊>

APPENDIX-1 水素・超電導コンプレックスを核として形成される社会像

APPENDIX-2 液体水素の冷熱利用

APPENDIX-3 CO₂ 排出量削減効果の評価

APPENDIX-4 製鉄プラントにおける超電導の導入効果の評価

APPENDIX-5 経済効果の評価

APPENDIX-6 環境効率（エコ・エフィシェンシー）の評価

APPENDIX-7 超電導応用に関する主な国プロト、社会実装に至らなかったケースの要因推察

【プロジェクトメンバー】

#	区分	企業・大学・法人名	氏名
1	PJ リーダー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	来栖 努
2	TFA リーダー	株式会社日立製作所	和久田 毅
3	TFB リーダー	三菱電機株式会社	野元 一宏
4	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	下之園 勉
5	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	稲富 誉也
6	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	高山 茂貴
7	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	龍頭 啓充
8	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	小柳 圭
9	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	伊藤 智庸
10	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	高見 正平
11	メンバー	三菱電機株式会社	荒金 淳
12	メンバー	三菱電機株式会社	三浦 英明
13	メンバー	三菱電機株式会社	長谷川 満
14	メンバー	三菱電機株式会社	高口 雄介
15	メンバー	三菱電機株式会社	殿岡 俊
16	メンバー	三菱電機株式会社	小笠原 敦
17	メンバー	株式会社日立製作所	安藤 竜弥
18	メンバー	株式会社日立製作所	田中 秀樹
19	メンバー	株式会社日立製作所	青木 学
20	メンバー	古河電気工業株式会社	中崎 竜介
21	メンバー	古河電気工業株式会社	手嶋 雄太
22	メンバー	古河電気工業株式会社	中尾 健吾
23	メンバー	株式会社フジクラ	大保 雅載
24	メンバー	岩谷産業株式会社	辻上 博司
25	メンバー	住友電気工業株式会社	小林 慎一
26	メンバー	住友電気工業株式会社	永石 竜起
27	メンバー	鹿島建設株式会社	間宮 尚
28	メンバー	鹿島建設株式会社	鷺尾 卓
29	メンバー	国立大学法人 京都大学	雨宮 尚之
30	メンバー	国立大学法人 新潟大学	福井 聡
31	メンバー	国立大学法人 九州大学	宮崎 寛史
32	メンバー	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構	岩田 佳之
33	メンバー	学校法人 関西学院大学	大屋 正義
34	メンバー	国立大学法人 東京大学	寺尾 悠
35	メンバー	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所	平野 直樹
36	メンバー	京都フュージョニアリング株式会社	芦川 直子
37	メンバー	国立研究開発法人 物質・材料研究機構	菊池 章弘
38	メンバー	鉄道総合技術研究所	富田 優
39	アドバイザー	一般財団法人 電力中央研究所	秋田 調

40	アドバイザー	国立大学法人 東京大学	大崎 博之
41	アドバイザー	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	矢部 彰
42	アドバイザー	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	岡田 満利
43	アドバイザー	国立研究開発法人科学技術振興機構	眞子 隆志
44	アドバイザー	国立大学法人 東京工業大学	岡村 哲至
45	アドバイザー	公益社団法人 低温工学・超電導学会	林 和彦
46	オブザーバー	三菱電機株式会社	畑 寛一
47	オブザーバー	キヤノン株式会社	古川 靖之
48	オブザーバー	キヤノンメディカルシステムズ株式会社	吉田 智幸
49	オブザーバー	株式会社日立製作所	仙波 智行
50	オブザーバー	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	古瀬 充穂
51	オブザーバー	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構	白井 敏之
52	オブザーバー	国立研究開発法人 理化学研究所	小野 通隆
53	オブザーバー	富士通株式会社	田中 裕也
54	オブザーバー	富士通株式会社	吉川 博和
55	オブザーバー	富士通株式会社	平林 俊一
56	オブザーバー	富士電機株式会社	白川 正広
57	オブザーバー	富士電機株式会社	片桐 源一
58	COCN 担当実行委員	株式会社東芝	斉藤 史郎
59	COCN 担当実行委員	鹿島建設株式会社	森山 善範
60	COCN 担当企画小委員	三菱電機株式会社	金枝上 敦史
61	COCN 担当企画小委員	トヨタ自動車株式会社	佐藤 桂樹
62	COCN 企画小委員	富士通株式会社	今泉 延弘
63	COCN 事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	山口 雅彦
64	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	土肥 秀幸
65	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	五日市 敦
66	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	武田 安司
67	プロジェクト事務局	東芝エネルギーシステムズ株式会社	杉田 宰
	— 以上 —		

【本 文】

1. プロジェクトの背景と目的

1. 1. プロジェクトの背景

超電導は電気抵抗がゼロのため、環境保全と経済発展に資するソリューションである。近年の高温超電導技術の進歩により、液体水素の冷熱（沸点:20K）で冷却する高温超電導機器を、実用レベルとして検討できるようになった。このため超電導は液体水素の冷熱活用との相性が極めて良い。

現在、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて水素社会への移行が検討されており、海外で製造した安価な水素の輸入が検討されている。水素の輸送形態としては液体水素、アンモニア、メチルシクロヘキサン（MCH）等が検討されている。液体水素は極低温であるために蒸発するデメリットはあるが、水素化・脱水素化反応のためのエネルギーが不要なため、エネルギーロスの観点ではむしろ他候補に勝るポテンシャルを有しており、さらに冷熱を超電導が活用することで、液体水素と高温超電導を組み合わせた新しい価値を提供することができる。

現在、実用化されている超電導応用製品例（一部計画含む）を表 1-1 に纏める。このうち最大市場である MRI 磁石の領域では、海外企業がシェアの大半を占める状況になっている。主な要因としては、素材、機器、システムそれぞれの企業間における QCD 要求の摺り合せが不足し、その結果、最終顧客への訴求が不足したこと等が考えられる。

また我が国では、電力機器の超電導化を目指した複数の国家プロジェクト（発電機、電力ケーブル等）が進められたが普及には至っていない。これは、超電導電力機器を単独導入する場合、冷却に必要なコストや、冷却源喪失による運用停止等のリスク・対策コストが、導入のベネフィットに見合わず、経済合理性がないと判断されたためであろうと考えられる。これらの経緯もあり、国内では、超電導分野への大型の政府予算投入が進みにくい状況になっている。

一方で、米国、欧州、日本を含め世界的に核融合スタートアップへの資金提供があり、2021年単年で世界では5000億円超、2023年9月にはUKでは新たに1000億円以上の政府予算が付くなど活発な動きがあり、このなかで高温超電導コイルは核融合プラント実現における要となる技術である。また欧州では超電導への大型投資獲得等を目的に国際連携を呼びかける ScGA（Superconductivity Global Alliance）が活発な活動を進め、中国においても中国製造 2025 で超電導が重点のひとつに定められ、高温超電導や交流応用といった新たな超電導応用に挑戦する企業が増えている。

今後、2050年のカーボンニュートラルに向けて色々な検討が進む中で、液体水素の冷熱利用が考えられるようになると、世界各国で液体水素の冷熱を利用した新しい超電導応用の検討が必ず加速されるものと考えられる。

これら状況をふまえ、国内の超電導に関する産業は、競争領域の個別活動だけでは欧米・中国に大きく後れをとる状況にあると危惧されることから、2050年における水素社会で超電導が利用される将来像を他国に先駆けて描き、成長シナリオおよび開発シナリオを検討することとした。

1. 2. プロジェクトの目的

昨年度に実施した「超電導が拓くカーボンニュートラル社会」プロジェクトでの検討結果をふまえ、将来の水素社会において、新しい超電導応用が活用される社会像を描き、経済合理性をもってカーボンニュートラルに貢献する成長シナリオを提案し、成長のための枠組み、注力ポイントについて、国への提言としてまとめる。検討においては以下の2点を本プロジェクトの目的として設定した。

- ・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。

2. プロジェクトの進め方

昨年度の検討では、2050年の将来の姿として、以下2つのコンセプトを柱とするビジョン（図2-1）を描き、想定される超電導応用機器や技術についての調査を実施した。

<昨年度に検討した将来の姿における2つのコンセプト>

- ① 広域再エネ連係構想（超電導再エネ制御フローシステム（仮称）による広域連系）
- ② 水素・超電導コンプレックス



図 2-1 昨年度に検討した広域再エネ連係構想と水素・超電導コンプレックス

前記①のコンセプト「広域再エネ連係構想」は、国内変動性再生可能エネルギーを最大源に活用し主力電源化した電力系統を構築することを目指し、インピーダンスの小さい超電導発電機の特性を利用した長距離・広域の電力連系によって電力需給のミスマッチを解消するとともに、余剰電力を水素に変換することによって短時間のみならず季節間エネルギー貯蔵をも可能とする構想である。

超電導発電機の導入により系統増強を最小限に抑えたまま、大量の変動性再生可能エネルギーの導入に対して系統の安定度を担保することがポイントであり、定量的効果の確認については専門的な検討が必要になることをふまえ、NEDO が今年度実施中の調査事業「水素冷熱を利用する超電導コンプレックスに関する調査」の中で検討されている結果を共有させていただき、定量的な効果を確認することを目指した。

前記②のコンセプト「水素・超電導コンプレックス」は、貯蔵液体水素を中心に水素活用産業やプラントを集約してコンプレックスを形成し、液体水素の冷熱とそれを利用した超電導の活用によってエネルギー利用効率の改善や付加価値を生み出すことを目指す構想である。

本プロジェクトでは、今年度の活動として、表 2-1 に示す 2 つの産学連携タスクフォースを新たに組成して検討を進めた。なお、検討の範囲に核融合を含めてはいないが、本提案の共通技術は、核融合スタートアップの開発にも多くを適用可能である。

表 2-1 各タスクフォース (TF) での検討の視点と範囲

タスクフォース	検討の視点	検討の範囲
<TF-A> 成長シナリオ策定	<ul style="list-style-type: none"> 産業競争力強化 水素関連産業との連携（省エネ、低炭素化、カーボンニュートラル） 2050 年のあるべき社会の姿 	<ul style="list-style-type: none"> 液体水素の冷熱を活用した超電導を利用する社会インフラ
<TF-B> 開発シナリオ策定	<ul style="list-style-type: none"> 社会実装まで見通した全体整合 	<ul style="list-style-type: none"> 開発シナリオ：開発アイテム、スケジュール 環境効率（エコ・エフィシエンシー）評価 開発枠組：スコープ、体制

3. 成長シナリオ策定

3. 1. 検討領域

成長シナリオ策定では、カーボンニュートラル社会の実現を目指し、超電導を活かし液体水素の良さを最大限活用する社会システムについて検討を行った。この社会システムを超電導活用液体水素ベース社会システム（Liquid Hydrogen assisted Social system with Super conductivity (LHSS)）と呼ぶこととする。超電導活用液体水素ベース社会システム LHSS は、1) 再生可能エネルギーが主力電源化され相補的な電力と水素を組み合わせによってエネルギーが供給されるエネルギーシステムと、2) 液体水素貯蔵拠点が全国に配置され、それをハブとした物流・情報ネットワーク、によって構成されており、それらの実現のための3) 液体水素の冷熱を活用した超電導機器および冷熱活用技術が広く普及しているものである。

検討の範囲、視点について以下に示す。前年度にエネルギーシステムの形として広域再エネ連系構想を提案しており、本年度は液体水素をベースとする社会の在り方として「水素・超電導コンプレックス」を重点的に検討している。

<検討範囲>

- ・液体水素の冷熱を活用した超電導を利活用する社会インフラ

<検討の視点>

- ・産業競争力強化
- ・水素関連産業との連携（省エネルギー、低炭素化、カーボンニュートラル）
- ・2050年のあるべき社会の姿

3. 2. 基本コンセプト

産業競争力強化には、社会経済活動の基盤となるエネルギーシステムおよび革新的な物流システムの確立が不可欠と考える。カーボンニュートラルを実現する上で必須とされる水素を液体水素の形で社会に実装されると、液体水素と超電導とのシナジーによる新たな社会システム LHSS を構築することができる。LHSS の特徴を複数の異なる切り口でみた場合の、それぞれの基本コンセプトを以下で説明する。

3. 2. 1. 液体水素と高温超電導とのシナジー

水素のキャリア形態の候補にはいずれも一長一短があり、用途に応じて使い分ける運用になると考える。パイプラインで輸送できる程度の低エネルギー密度の用途では、ガス（高圧充填）の形態がもっとも簡便であり、また海外から輸入するような大量および比較的長期間の貯蔵に関しては液体水素、アンモニア、MCH 等が検討されている。

その中間的な運用スケールでは、脱水素プロセスが不要でその場で高純度の水素ガスが得られ、かつ貯蔵エネルギー密度の高い液体水素が適切と考える。液体水素は、他のキャリア形態と比較した場合、冷却が必要となる点がデメリットとして挙げられるが、水素化・脱水素化反応のためのエネルギーが不要なため、エネルギーロスの観点ではむしろ他候補に勝るポテンシャルを有している。

近年の高温超電導技術の進歩により、高温超電導の実用化を検討できるようになった。従来の

超電導応用が液体ヘリウム温度近く（ -269°C ）まで冷却する必要があるのに対し、高温超電導は磁場発生が不要な通電用途では液体窒素温度（ -196°C ）の近傍以下まで、磁場発生が必要な応用では液体水素温度（ -253°C ）の近傍以下まで冷却すると実用的な利用が可能となるため、いずれの用途も包括する液体水素と高温超電導とは高相性である。従って、冷熱の有効利用の中で、超電導機器の冷却は LNG（沸点： -160°C ）の冷熱利用などでは得られない液体水素ならではの有効利用法であり、超電導応用を含めた冷熱利用を併用することで、水素社会をさらに高度化できると考える。

液体水素を利用した大規模な超電導応用は、海外ではまだ本格検討されていないため、他国に先駆けて実用化することで、カーボンニュートラルのみならず、産業競争力強化および国際競争力強化にも資すると考える。

3. 2. 2. 広域再エネ連系構想

2050 年のカーボンニュートラル社会では再生可能エネルギーの主力電源化が検討されており、発電量が大きく変動する再生可能エネルギーを受け入れるために電力需給平準化および系統安定化を行うための様々な施策が必要になる。ソリューションとして提案する広域再エネ連系構想の骨子は以下の通りであり、液体水素と超電導のシナジーが生み出すシステムである。

- 1) 再生可能エネルギーを主力電源とし電力需給バランスを取るためのエネルギーバッファとして水素を利用する。
- 2) 国内余剰再生可能エネルギー（電力）は水電解装置によって水素ガスに変換され、さらに液化装置によって大量貯蔵可能な液体水素の形に変換され貯蔵される。また、電力を系統へ供給する時には水素燃焼タービンおよび超電導発電機によって電力に変換する。水素と電力との相互変換が滞りなく行われるように適切なエネルギー変換のチェーンが構成される。
- 3) 超電導発電機では系統増強なしにより長距離・大電力を送電することが可能であり、ポテンシャルの大きな北海道・東北地方の再生可能エネルギーを東北地方にいったん集約し大電力消費地への電力供給を行う。
- 4) 短期間の電力需給アンバランスのギャップを埋めることに加え、液体水素による短期および季節間エネルギー貯蔵や、MCH による有事向けエネルギー貯蔵（※）を行う。

（※）2023 年 3 月の第 28 回水素・燃料電池戦略協議会の ENEOS 株式会社の資料によると MCH を既存石油タンク転用して貯蔵すれば水素 90 日分備蓄可能（2050 年時の年間水素使用量を 2000 万トンと仮定）とあり、有事向けの長期保管には MCH の採用が合理的である。

3. 2. 3. 液体水素貯蔵拠点をハブとしたエネルギー・物流・交通・情報・人流等新しいネットワークシステム

カーボンニュートラルの観点、および物流の 2024 年問題の観点からも、物流システムは、大きな変革が必要になり、液体水素をベースとした長距離、大量輸送のための長距離輸送モビリティが活躍するようになると考えられる。この動きと連動し、自動運転システムおよび AI、IoT な

ど組み合わせた最適化・効率化が進むと考えられる。

モーダルシフトによって鉄道輸送や海運の比率は上がると想定されるが、長距離輸送の主力は長距離トラックであり、液体水素を積んだ燃料電池トラックによる高速道路を中心とした自動輸送ネットワークが構築される。ネットワークのノードとして液体水素貯蔵タンクを備えた物流拠点が全国に分布することになり、新しいネットワークシステムのひとつの拠点になると考える。

製鉄や自動車向けアルミ部品製造などの産業プロセスでは、液体水素の冷熱を活用した超電導による大電流、強磁場、強電磁力等の電磁気的作用を金属材料プロセスに適用することで省エネや素材の高性能化が進み、これら製造業の産業競争力強化に貢献することが期待される。

また、液体水素利用拠点が全国各地に配置され、かつ、物流・交通等で拠点間連携がなされネットワークが構築されると、ネットワーク全体をリアルタイムで最適制御するような社会になることが想定される。冷熱を活用した高速・低電力消費の超電導コンピュータや量子コンピュータが分散配置され、物流管理や自動運転などの物流システム全体がリアルタイム制御されるのに加え、リアルタイム交通制御や気象・災害予測、さらには事故や大規模災害発生時の復旧プロセスの最適な制御が行われることも期待される。

さらに医療分野等の既存の超電導システムにおいても、液体水素冷熱を利用することで、交流磁場の活用による機能の高度化や、経済合理性が高まる等で、普及が後押しされることも期待される。

このように、液体水素貯蔵拠点をハブとし、液体水素の冷熱と超電導のシナジーにより、エネルギー・物流・交通・情報・人流等の新しいネットワークを構成し、国内に配備することで、強靱で豊かな国の基礎を構築することができる。（詳細は APPENDIX-1 参照）

3. 2. 4. 水素・超電導コンプレックス

液体水素貯蔵拠点を中心に水素利用産業プロセスが集積され、さらに液体水素の冷熱を活用してエネルギー利用効率が高められさらに超電導機器による付加価値が付与された産業・機能集合体を「水素・超電導コンプレックス」と呼ぶこととする。

水素・超電導コンプレックスには様々な形態が想定されるが、規模で2つに大別し、それぞれ「大規模コンプレックス」と「中小規模コンプレックス」と呼ぶこととする。以下にこれらの基本コンセプトを説明し、図 3-1 に大規模コンプレックスと中小規模コンプレックスが核となり構成する新しいネットワークのイメージを図示する。

(1) 大規模コンプレックス

カーボンニュートラル社会では一次エネルギーとしての化石燃料は水素に転換されており、国内の再エネ電力価格が高いことから製造コストの安い海外から水素が輸入されることとなる。海外からの輸入水素は臨海地区に陸揚げされ、そのエリアには、川崎カーボンニュートラルコンビナートに代表されるカーボンニュートラルポートのように、水素利用量の多い産業が集積されると考えられる。さらに発電事業用の水素利用が増えると、発電所を中心としたコンプレックスの建設も進むと考えられる。これらの大規模コンプレックスは、電力と（液体）水素を国内に分配

する供給源の位置づけとなる。輸入水素の形態としては液体水素を想定しているが、デメリットとされる水素液化コストは冷熱多段階活用および超電導の導入による付加価値によって回収される。

発電所が中心となる大規模コンプレックスは、現行の LNG 火力発電をリプレースする形で形成が進むと想定され、現在の LNG 基地がその候補地となる。水素・超電導コンプレックスでは液体水素の冷熱を活用することによりコンプレックス全体としてのエネルギー効率を改善し、その冷熱利用は LNG の冷熱利用をさらに発展させた形となる。

(2) 中小規模コンプレックス

中小規模コンプレックスは水素需要家（水素利用者）の液体水素貯蔵槽を中心として構成されるコンプレックスであって、水素モビリティのためのインフラ・拠点であり、グリーンな物流網を形成するために国土全体をカバーするように設置されるものである。水素ステーションのような小規模なものから物流拠点となる大型施設など様々な形態があり、そこでの水素使用量に応じて液体水素が集積・備蓄され、液体水素は主に臨海地区の大規模コンプレックスから液体水素ローリーで輸送される。発電所を中心として臨海地区に形成される大規模コンプレックスに対し、中小規模コンプレックスは後述するように物流・交通や情報（データ）のネットワークの結節点としての役割を持つこととなる。

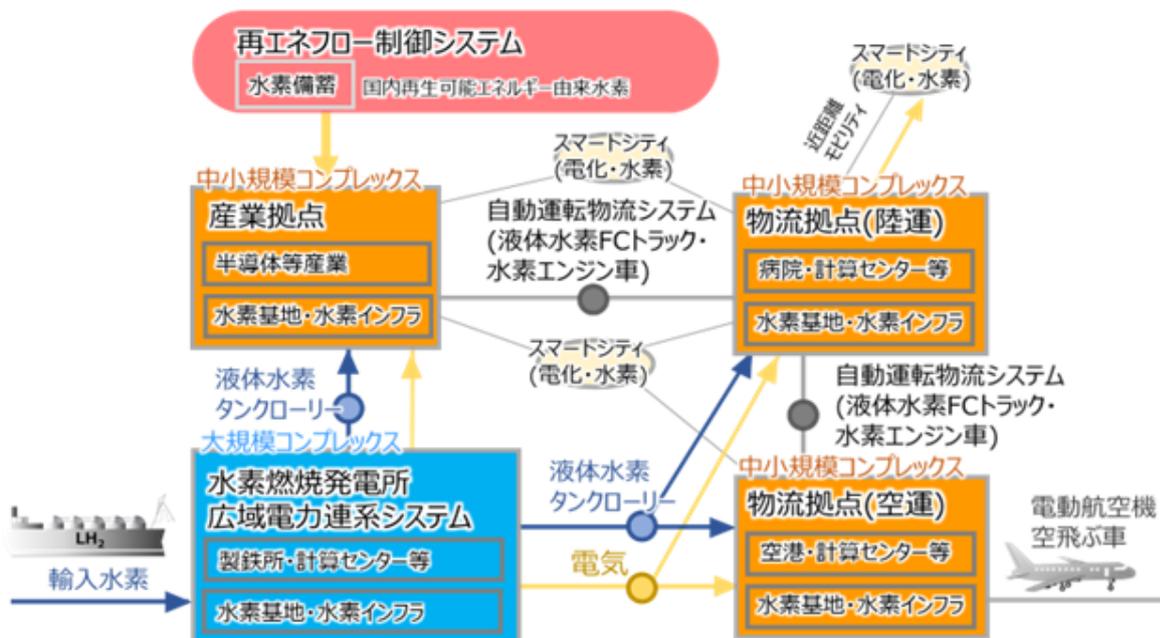


図 3-1 大規模コンプレックスと中小規模コンプレックスが核となる新しいネットワーク

3. 3. 水素・超電導コンプレックスの効果

水素・超電導コンプレックスの効果についての検討結果を以下にまとめる。

3. 3. 1. エネルギー分野における効果

再生可能エネルギーを主力電源化する場合の主な課題として、以下の 1)～4) が挙げられる。

- 1) 再生可能エネルギーを大量に系統に導入すると慣性力・同期化力が不足して系統安定性が低下する
- 2) 電力需給バランスを調整するためには調整火力の機能が必要である
- 3) 再エネポテンシャルが北海道、東北、九州に偏在し、需要と供給地が地理的に離れている
- 4) 再生可能エネルギーは、短い時間スケールの変動ばかりではなく季節間でも変動がある

現在、1)と 3) の課題対策については、系統増強のマスタープランが電力広域的運営推進機関(OCTTO)より送電インフラの増強等が提案されており、送電インフラ増強のための投資規模は数兆円規模になると試算されている。(OCTTO「広域系統長期方針(広域連携系統のマスタープラン)」[chokihoushin_23_01_03.pdf \(occto.or.jp\)](#) 参照)

NEDOは超電導発電機の電力系統への導入効果を電力系統の安定度向上効果などの面から評価するために2023年度計画として「水素冷熱を利用する超電導コンプレックスに関する調査」を実施中である。具体的には電気学会がモデルを作成した50Hzの電力系統を模擬するEAST10と呼ばれる簡易な電力系統モデルに基づき、電力広域的運営推進機関が2023年3月に策定した「広域連系系統のマスタープラン」に示された考え方も取り入れ解析を行っている。

これまでの解析結果によれば、東北北部に設置されている同期発電機の数台を超電導発電機に置き換えることにより、超電導発電機の内部交流インピーダンスを含む系統全体の交流インピーダンスを低減できるため、落雷等により送電線が70ms程度の短時間地絡事故を起こしても継続して送電できる能力が高まり、従来発電機と比較すると安定に送電できる限界電力を一割程度増加できる可能性が速報として確認されており、現在、解析条件の精査含め、評価を継続している。

ここでは、東京圏で消費される電力を北東北で発電される再生可能エネルギーで供給すると仮定し、仮に10万kW～100kWの限界電力増加があった場合の経済的効果を一例として以下の式を用いて概算する：(首都圏の電力単価：約30円/kWh－東北北部の発電原価：約10円/kWh－託送料金：約10円/kWh) × 24時間/日 × 365日/年 × 送電容量の増加(10万kW～100万kW)。将来の電力価格、発電原価、託送料金等には、不確かさが多分にあるが、この試算によると年間約90～900億円、10年程度で約1千億円～1兆円規模の効果を生み出す可能性がある。

2)と4)の課題対策についても、広域再エネ連系構想は水素タービン発電と水素貯蔵を備えるため対応可能であり、前記1)から4)まですべて対応可能なソリューションになっていると考える。

またカーボンニュートラルへの貢献として、CO₂削減ポテンシャル(最大値)を表3-1のとおり評価し、①と②の両効果をあわせ、約1億ton/年のCO₂削減ポテンシャル(最大値)と試算した。(詳細はAPPENDIX-3参照)これは国内の現在のCO₂排出量(約11億t/年)の約9%に相当する。

表 3-1 広域連系構想の CO₂ 削減ポテンシャル（最大値）

	効果	削減ポテンシャル（国内、2050 年）
①	石炭火力電源の削減効果	0.30 億 ton/年
②	調整火力電源の削減効果	0.67 億 ton/年
	合計	0.97 億 ton/年

3. 3. 2. 産業分野における効果

水素社会において液体水素が普及すると、産業分野においても、これまで以上に液体水素の活用が進むと考えられる。ここでは、現時点で液体水素の大口利用が想定される鉄鋼産業、および水素モビリティ分野を代表例として、それぞれにおける液体水素と高温超電導とのシナジーにより期待される効果を評価した。

(1) 製鉄産業における省エネ・CO₂削減効果

製鉄産業は、大口の水素需要家であり、液体水素を購入し、冷熱含めて自家消費（活用）することが可能であることから、導入例のひとつとして製鉄産業における期待効果を検討した。製鉄産業において考えられる超電導の活用例を以下に挙げる。

- ① 低損失・大電流ブスバー： 大電流用途、一般用途の電流ケーブルの省エネ
 - ② 誘導加熱装置（熱源としての利用）： 高効率ヒータ、非加熱物の内部から加熱可能
 - ③ 超電導モータ： 低損失、大トルクモータ
 - ④ 電源安定化： 外部に対する電圧変動抑制（負荷変動補償 SMES）
 - ⑤ 電磁力： 電磁誘導を利用した非接触物体制御（圧延プロセスでの蛇行制御）、電磁攪拌
- 一般的な製鉄プラントを想定し、前記の①②③についてモデル評価を行った結果を表 3-2 に示す。（詳細は APPENDIX-3 参照） モデル評価の結果、圧延ラインのモータと誘導加熱装置を超電導化すると約 12%の電力損失削減効果があり、また製鉄プラントと発電所との間の送電に超電導ケーブルを導入すると発電所 1 か所あたり約 9 万 t/年の CO₂ 削減効果があると試算した。

表 3-2 製鉄プラントへの超電導導入効果に関するモデル評価結果

評価項目	評価モデル	モデル評価結果
圧延ラインへの超電導導入による電力損失削減効果	以下の圧延ラインを想定（※1） モータ総容量：105MW 誘導加熱装置の総容量：20.6MW	電力損失削減量：約 12% （モータ小型化・誘導加熱特性向上等の付帯効果あり）
超電導ケーブル導入による電力損失削減効果	以下のプラントを想定 使用電力：500MW ケーブル敷設距離：10km	プラントあたりの CO ₂ 削減量： 約 9 万 t/年（※2）

（※1）モデルケースとして JFE スチール株式会社西日本製鉄所カタログを参照

（※2）NEDO 戦略的省エネルギー技術革新プログラム「プラント内利用のための低コスト型 三相同軸超電導ケーブルシステムの開発」を参照

(2) 液体水素 FC トラック等の水素モビリティ普及促進効果

液体水素 FC トラック等の普及においては、液体水素のボイルオフガス低減と注液時の排気口

ス低減が大きな課題と言われており、許容圧力を 2-2.5MPa 程度 (cf 現状は 1MPa 未満) とした中圧充填で低～中圧貯蔵するサブクール水素が効果的であることと、液体水素充填ステーションにおけるインターフェース技術として気化量が少ない輸送ポンプ等や排気回収・再利用技術の必要性が挙げられている。(cf NEDO 水素・燃料電池成果報告会「大型 FCV 燃料装置用液化水素技術に関するフィジビリティ調査」参照)

超電導モータ、超電導軸受けを使ったサブマージポンプ、ゼロボイルオフ用磁気冷凍機 (JST 未来社会創造事業「磁気冷凍技術による革新的水素液化システムの開発」参照) は、これらの課題を解決するポテンシャルを有していると考えられ、効果的なソリューションとして適用されることが期待できる。

3. 3. 3. 水素・超電導コンプレックスの経済効果

水素・超電導コンプレックスの社会実装が進んだ場合の経済効果 (ポテンシャル) は普及程度に大きく依存するが、検討の一例として、以下と試算した。(詳細は APPENDIX-5 参照)

エネルギー分野：	数兆円-10 兆円規模
産業向け省エネ機器：	1.1 兆円規模 (製鉄産業)
液体水素関連システム向け超電導補機：	0.2 兆円規模
水素・超電導コンプレックスのインフラ建設：	数 10 兆円規模

3. 4. 成長シナリオの形成

超電導は、機器単独導入では、カーボンニュートラル社会への貢献度は必ずしも高くないが、水素社会とのシナジーで、社会貢献度が大きく向上する。このため、カーボンニュートラル社会を実現するための様々な開発シナリオ、プランに対して超電導とのシナジーを共有し、協調するように超電導機器の開発を進めることが肝要である。図 3-2 に超電導活用液体水素社会システムに関連する外部の開発シナリオに図示する。これを踏まえ、以下に成長シナリオの形成について考察する。

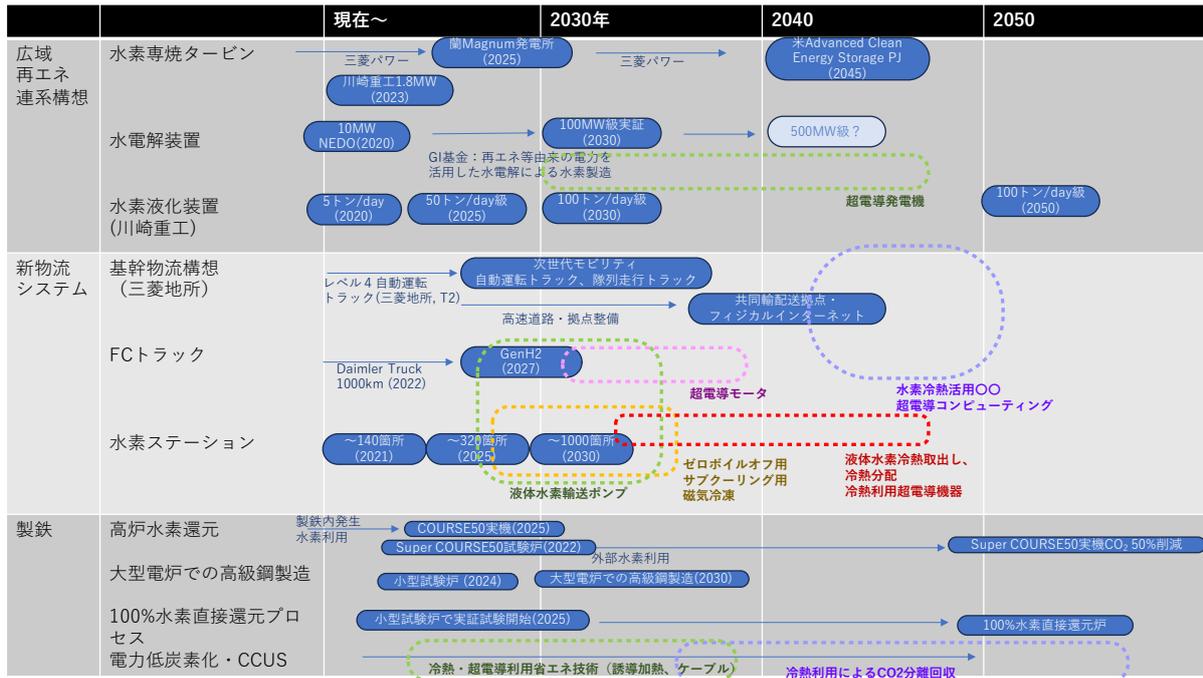


図 3-2 関連する外部の開発シナリオ

3. 4. 1. 広域再エネ連系構想の形成

現在、電力広域的運営推進機関(OCTO)が提案するマスタープランに沿って、送電インフラの増強等に向けた議論が進められており、広域再エネ連系構想の導入に向けては、国策としての議論および判断が必要と考える。

広域再エネ連系構想は、液体水素を活用したいわゆる P2G であり、水素専燃タービン、水電解装置および水素液化装置などが主な構成要素となる。

本プロジェクトの 2022 年の報告書に記述した広域再エネ連系構想における超電導再エネフロ一制御システム（仮称）では、電力容量として 1GW を基本スケールとするものであるが、図 3-2 を踏まえると、2040 年代にはその構成要素が揃ってくると期待される。それに対応するように 300～500MW クラスの超電導発電機を念頭に 2030 年代に開発を進める必要がある。

3. 4. 2. 新しい物流システムの形成

新しい物流システムとしては、高速道路を利用した自動運転による大規模輸送網を構築する基幹物流構想を三菱地所が提案している。（三菱地所プレスリリース「日本発、高速道路 IC 直結「次世代機関物流施設」開発計画始動」 [mec220203_logicross.pdf](#) 参照）また 1000km の走行が可能な液体水素 FC トラックの開発をダイムラートラックが進めている。（ダイムラートラックプレスリリース「Daimler Truck #HydrogenRecordRun: Mercedes-Benz GenH2 Truck cracks 1,000 kilometer mark with one fill of liquid hydrogen」 Daimler Truck #HydrogenRecordRun: Mercedes-Benz GenH2 Truck cracks 1,000 kilometer mark with one fill of liquid hydrogen | Daimler Truck 参照）

超電導は液体水素ハンドリング時のボイルオフガス対策や排気ロス対策のための液体水素輸送用ポンプや磁気冷凍機などで利用されることが期待され、2030年代の社会実装に向けて液体水素輸送用ポンプや磁気冷凍などの開発を進める必要がある。

また、水素ステーションで液体水素での貯蔵および利用が開始されると、次ステップとして、液体水素貯蔵タンクから冷熱を引き出して利用するシステムや超電導機器の開発を進める必要がある。

3. 4. 3. 製鉄プラントにおける水素・超電導コンプレックスの形成

製鉄プラントでは省エネ化と水素への転換による脱炭素化が進められており、液体水素と超電導が導入される期待が高い。まずは、製鉄プラントで誘導加熱装置のようなヒータ熱源として超電導機器が導入され、冷熱をプラント全体で活用するようになった後に、超電導ケーブルまたは低損失常伝導ケーブル等が導入されると考える。

水素・超電導コンプレックスの普及には、冷熱利用のビジネスモデルの構築が必要となるが、製鉄プラントは、冷熱オーナーと冷熱利用者が一致するため運用が明確である。製鉄プラントに「水素・超電導コンプレックス」形成と成長におけるプラットホーム的な役割を期待したい。

4. 開発シナリオ策定

4. 1. 検討領域

3章で検討した成長シナリオについて、水素・超電導コンプレックスの社会実装にむけた開発シナリオおよび枠組（スコープ、体制）を検討し、本プロジェクトが提案する「超電導活用液体水素ベース社会システム」における超電導機器の環境効率について評価した。

<検討範囲>

- ・開発シナリオ：開発アイテム、スケジュール
- ・環境効率（エコ・エフィシエンシー）の影響評価
- ・開発枠組：スコープ、体制

<検討の視点>

- ・社会実装まで見通した全体整合

4. 2. 開発シナリオ策定

4. 2. 1. 開発シナリオ

図4-1に開発シナリオを示す。「液体水素プラント技術開発」および「液体水素の冷熱利用機器（超電導機器）の技術開発」を小規模実証等によりすすめ、水素インフラが拡大整備される2040年代の前段階の2035年にプラントレベルでの液体水素を用いた冷熱利用機器（超電導機器）の「水素・超電導プラント実証試験」（大規模実証）を行い、その後の社会実装につなげていくことを想定した。超電導機器の試験には、冷却/冷凍設備の他、通電のための電源設備も必要であり

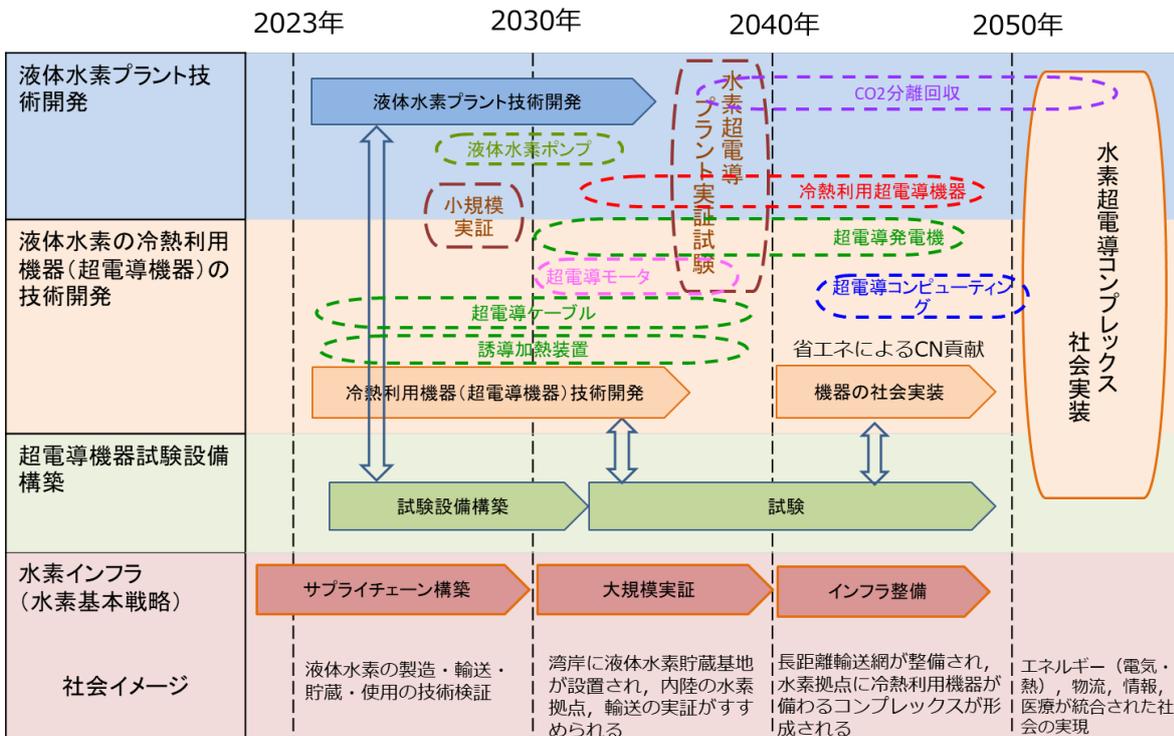
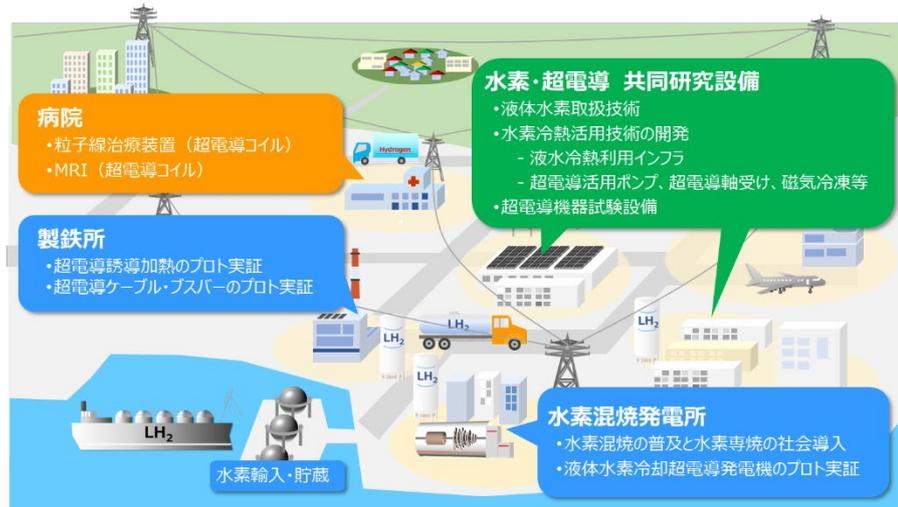


図 4-1. 開発シナリオ

個別企業が技術開発に合わせて試験環境を構築することは開発期間や費用面での課題が大きい。このため、冷媒利用や超電導機器の励磁用電源のインフラベースのある公的機関に共通試験設備を構築し、共同利用することを想定した。

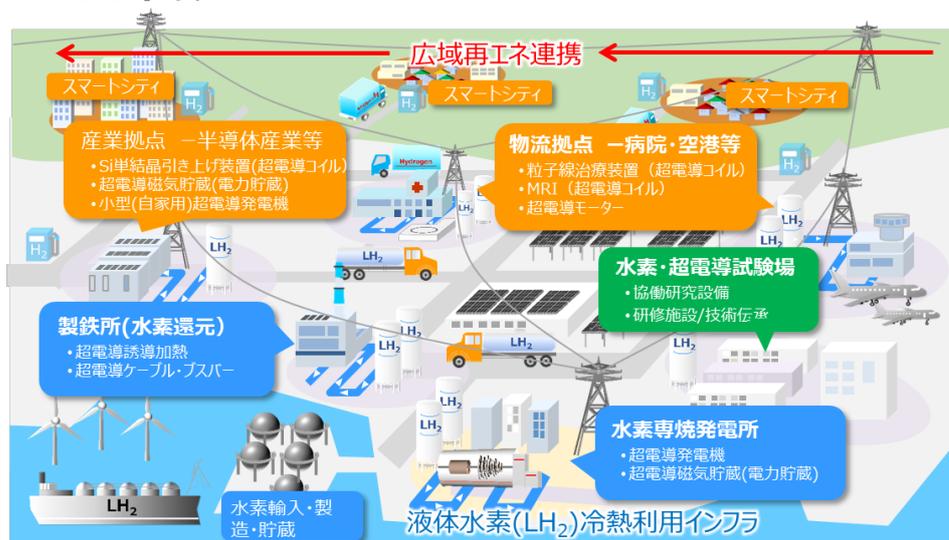
図 4-2 に水素・超電導コンプレックスの成長イメージとして、水素・超電導コンプレックスが変遷していくイメージを示す。

2035年頃



水素・超電導 共同研究設備で、水素・超電導基盤技術・水素冷熱活用技術の実証
超電導利用のポンプ、超電導軸受、磁気冷凍等の活用で水素社会の基盤が液体水素へ

2045年—2050年頃



超高効率 (低損失・大電流・強磁場・小型) な超電導が日常化する超電導・水素コンプレックス
2050年以降、水素・超電導コンプレックスが国内・海外へ普及

図 4-2. 水素・超電導コンプレックスの成長 (上図：2035年頃, 下図：2045-2050年頃)

4. 2. 2. 水素・超電導プラント実証試験

図 4-3 に 2035 年頃に計画する水素・超電導プラント実証に向けた開発アイテムを示す。

「液体水素プラント技術開発」と「液体水素の冷熱利用機器（超電導機器）の技術開発」の 2 つを重要技術開発として抽出した。

「液体水素プラント技術開発」では、サブマージドモータとして LNG（-162 °C）や LN₂（-196 °C）用のモータは既に製品化されているが、液体水素（-253 °C）向けのモータは製品化されておらず、超電導が貢献する主な開発対象となる。

冷熱の取出しインターフェースについても、国際競争力を保持するため、積極的な規格化の推進と国際アピールが必要である。液体水素は高圧ガス保安法の対象となっており、水素に関する国際規格の動向を踏まえた法規制対応が必要となる。

「液体水素の冷熱利用機器（超電導機器）の技術開発」は、コイルの大電流化に伴って発熱を減らす方向、あるいは冷却能力を増やす方向の 2 方向からのアプローチがあり、開発すべき技術領域は広い。冷却方式も浸漬方式/強制方式/間接方式と様々な構造が考えられ、集合導体やコイル形状、運転条件におけるコイル保護性等も考慮した機器毎にターゲットを定めた開発が必要である。集合導体、コイル、冷却に関しては「2022 年度最終報告書 Appendix5」に整理している。

図 4-3 に示す「水素・超電導プラント実証試験」では、開発した液体水素プラント技術、液体水素の冷熱利用機器（超電導機器）の技術開発を複合的に組み合わせプラント全体での冷熱活用を検証する。システム構成や必要となる水素量については試験計画の策定、要求仕様の定量化が今後必要である。

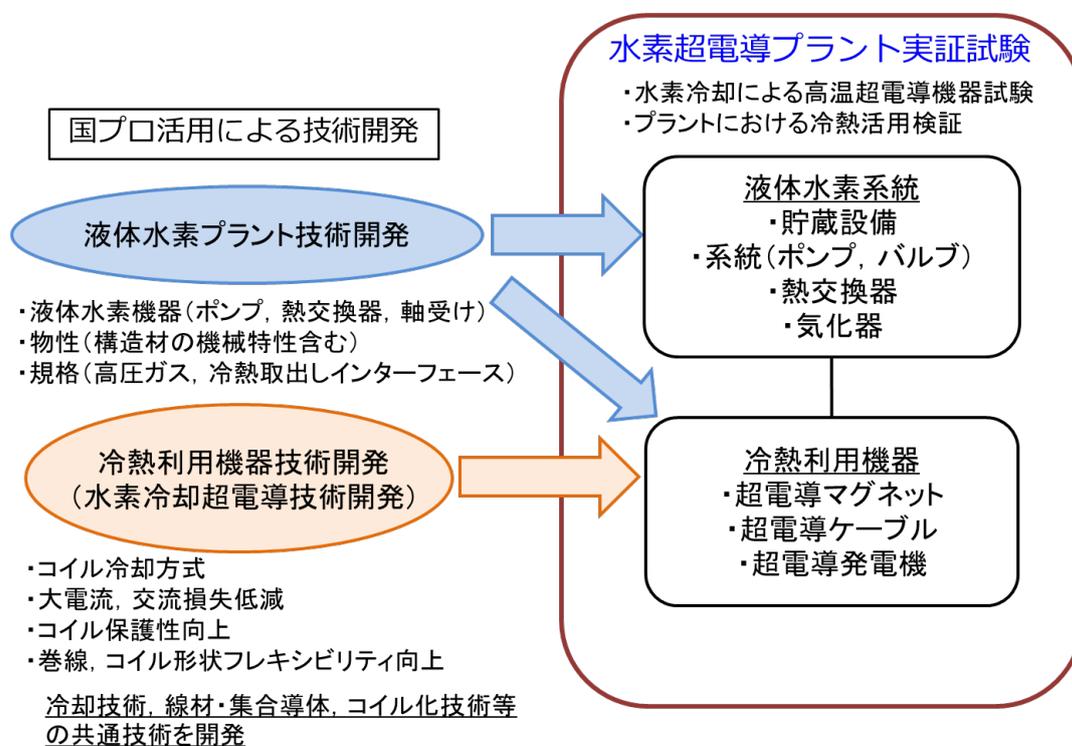


図 4-3. 開発アイテム

4. 2. 3. 水素冷却超電導機器試験設備

図 4-4 に超電導機器試験設備の構想を示す。冷却用のクライオスタットに加えて、液体水素の供給設備、通電のための電源設備を構成し、共通試験設備として国内に保有することで、開発を加速し、社会実装を加速することが期待できる。

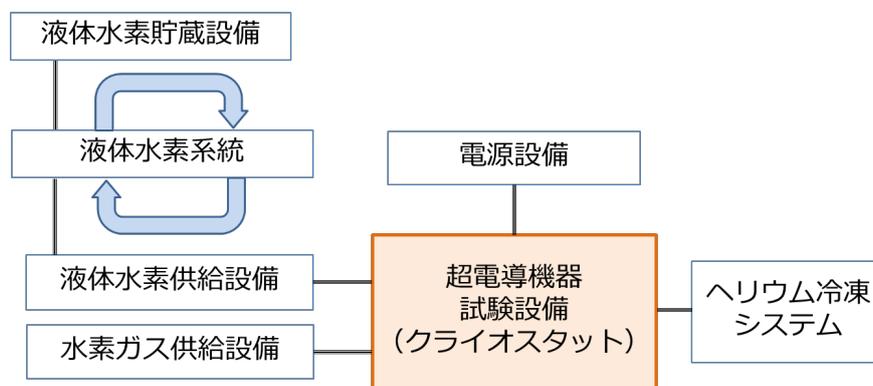


図 4-4. 水素冷却超電導機器試験設備

4. 3. 環境効率（エコ・エフィシエンシー）の評価

本プロジェクトが提案する「超電導活用液体水素ベース社会システム」の 3 分野における環境効率の影響を評価した。環境効率の定義は各メーカー、製品毎で異なっているため、本プロジェクトでは以下で定義する。環境効率は、製品の性能向上の時系列を示す場合や、複数社の製品比較に用いられるが、今回は超電導機器に一部が置き換わったときの定量的な効果を示すのが目的であるため、環境効率の絶対値の評価でなく、相対的にどの程度変わるか（ファクターが何倍変わるか）という観点で評価を実施した。

$$\text{環境効率（エコ・エフィシエンシー）} = \frac{\text{製品価値（売上高）}}{\text{環境負荷（CO}_2\text{排出量）}}$$

超電導機器の環境効率の改善効果および CO₂ 削減に対する効果の評価結果を表 4-1 に示す。（詳細は APPENDIX-6 参照） 超電導機器による環境効率の直接的な効果は省エネであり、冷却にかかる電力を考慮しても改善につながっている。また 2 次的な効果として省スペースによる設備規模の低減、機器の長耐久性等のメリットがあり、廃棄物削減による環境負荷低減効果を期待できる。

表 4-1. 超電導機器の活用による環境効率の改善効果 (詳細は APPENDIX-6 参照)

	環境効率の改善効果 (ファクター)	CO ₂ 削減効果 (2050年国内規模)
広域再エネ 連系構想	石炭火力電源削減効果：×1.14 調整火力電源削減効果：×2.00 超電導発電機普及効果：×1.01 送電ケーブル普及効果：×2.00	石炭火力電源削減効果：0.3億 t/年 調整火力電源削減効果：0.67億 t/年 超電導発電機普及効果：0.0047億 t/年 送電ケーブル普及効果：0.0021億 t/年
製鉄プラ ント	磁気誘導加熱装置普及効果： ×1.32 超電導モータ(産業用)普及効 果：×1.02	磁気誘導加熱装置普及効果： 0.0066億 t/年 超電導モータ普及効果：0.017億 t/年

4. 4. 開発推進の枠組

水素・超電導コンプレックスの社会実装には、コンプレックスを構成するシステムおよび機器の開発が連動し、タイムリーに開発されることが望ましい。ここでは、超電導応用機器の社会実装の観点から望まれる開発推進の枠組みを考える。開発の進め方を表 4-2 に示す。液体水素プラント技術開発におけるインターフェースの標準化や高圧ガスの規制整備を協調領域にて検討し、機器に依存する技術開発は、国プロの活用と企業における個別開発との両輪で進めることを想定した。また、超電導機器試験設備の構築も共通試験設備として整備することを想定した。

開発の推進者(案)を表 4-3 に示す。線材メーカー、コイルメーカー、冷凍機器メーカーと複数メーカーが連携した開発が必要であり、開発資源の有効活用のために目標設定や情報の共有を積極的にすすめることが重要であると考えられる。

表 4-2. 開発推進の枠組

	協調領域	競争領域 (国プロ活用, メーカー自主開発)
液体水素プラント 技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ インターフェース標準化 ・ 高圧ガス規制整備 <p>水素インフラ構築との同調</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ モータ ・ ポンプ ・ 熱交換器 ・ 軸受け ・ 低温材料
冷熱利用機器 (超電導機器) 技術開発	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ HTS 線材開発 (電気・機械特性向上, 量産化, コスト低減) ・ HTS 集合導体開発 (大電流, 巻線自由度向上, 交流損失低減) ・ HTS コイル, 冷却技術, コイル保護技術開発
水素冷却超電導機器 試験設備構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ クライオスタット ・ 電源設備 ・ 液体水素供給設備 (液体ヘリウム供給設備) <p>公的機関の設備活用</p>	—

表 4-3. 開発の推進者 (案)

開発項目	推進者
液体水素プラント技術開発	冷凍機器メーカー 重工メーカー 大学, 研究所 水素団体 (コンソーシアム)
液体水素の冷熱利用機器 (超電導機器) の技術開発	冷凍機器メーカー 超電導線材メーカー コイルメーカー 大学, 研究所
水素冷却超電導機器試験設備	大学, 研究所
水素・超電導プラント実証試験	冷凍機器メーカー コイルメーカー 大学, 研究所 自治体, 電力会社

5. 産業競争力強化のための提言および施策

国内の液化天然ガス（LNG）においては、冷熱は必ずしも十分な活用がされないまま社会インフラの整備が進み、国内の LNG 冷熱の利用率（冷熱利用した LNG 量/全 LNG 使用量）は約 20～30%に留まっている。カーボンニュートラル社会では、水素の輸送/貯蔵において液化に要したエネルギーを最大限に回収できるように、液体水素冷熱の利用をあらかじめ計画してインフラ構築を進めるのが望ましい。カーボンニュートラルに向けて、国として積極的な液体水素の冷熱利用を検討すべきであると提言する。

本プロジェクトは、産業競争力強化のための施策として、液体水素の冷熱とそれを利用した超電導による水素・超電導コンプレックスを、エネルギー、物流・交通、情報等のネットワークを構成するように国内に広く配備することを提案する。

水素・超電導コンプレックスの実現には、水素冷熱の分配や活用の仕組みの確立、技術開発や開発環境の整備、水素に関する国際規格の動向を踏まえた法規制への対応、等が必要であり、それらは今後の議論となるが、個別企業のモチベーションだけでは推進が困難と想定され、国の後押しが必要と考える。これを踏まえて、

水素・超電導コンプレックスによる成長を目指し、液体水素冷熱の利活用の仕組みの検討、必要となる技術開発・開発環境整備、法規制対応等への対応において、国も積極的に支援して社会実装を進めることが望ましいと提言する。

そのための施策として、業界をまたいで液体水素の冷熱を利活用する仕組みを国や自治体とも連携して検討できる枠組を設置すること、また産学連携の国プロと、個別企業における技術開発を並行して基本技術の確立を加速し、国立研究機関を活用して実証を進め、実用化、社会実装を加速することを提案する。

上記を推進するためには人材育成も課題となる。1990年代をピークに、超電導・極低温分野では、技術者の人数減少と高齢化が進んでいる。超電導技術者が急激に減少する時期に差し掛かっており、次の世代への技術の伝承には、一刻も猶予がない状況にある。多くの人材に魅力を感じてもらえる新しい事業を数多く創出し、様々な機会を活用して魅力を発信し、人材を集め、育成していく必要がある。これを踏まえ、

産官学が連携して中長期視野に立った人材育成の機会を創出し、核融合を含む長期的な超電導のニーズを積極的に発信することを提言する。

そのための施策として、原子力分野の人材ネットワークの取組等、他分野での取組を参照し、効果的な取組については取り込むとともに、業界の魅力を様々な機会を活用して、積極的に情報発信していくことを提案する。

これらの推進にあたっては、民は、水素・超電導コンプレックスが産業競争力強化とカーボンニュートラルに資するような冷熱の利用方法および魅力的なエコシステムを構築すること、および産官学連携による人材育成機会創出を進めることが望ましい。官は、液体水素冷熱の利活用の仕組検討/技術開発・開発環境整備/法規制対応/人材育成機会創出における枠組づくりと経済面で協力することが望ましい。

6. 今後の課題と展開

プロジェクトを通して確認した今後の主な課題を以下4点にまとめる。

(1) 「超電導活用液体水素ベース社会システム (LHSS)」は、構成する機器単独の技術向上だけでは実現せず、社会システムとしての統合が必要になるため、社会全体での将来ビジョンの共有が必須であり、実現には国や自治体の協力も必要となる。

現在の国の水素基本戦略では、液体水素の冷熱利用については取り上げられていないため、今後の進め方を検討するための枠組みづくり、および業界の垣根を超えた更なる仲間づくりが課題である。

(2) 「広域再エネ連系構想」は、超電導発電機等による新システムを発電サイトに導入し、広域に系統連系することでカーボンニュートラルに貢献しつつ、送電インフラの増強を最小限におさえる構想である。本システムは発電事業者を導入される必要があるが、直接的な効果としては送電事業者の設備投資が軽減されることになるため、発電事業者も含めてインセンティブが働く仕組みづくりが課題である。

(3) 社会実装済の超電導応用製品 (例: MRI マグネット, NMR マグネット, シリコン単結晶引き上げ装置用マグネット等) は、カーボンニュートラル用途のものではなく、また経済合理性を向上するための液体水素の冷熱利用についても技術的に経験が少ないため、「超電導活用液体水素ベース社会システム」のための技術開発には相応の期間が必要になると想定される。社会が必要とする時期までにタイムリーに必要な技術を確立しておくことが課題である。

(4) 過去の超電導に関する国プロ社会実装を断念したケースの原因を推定すると共通の傾向が見て取れ、開発期間中に需要が変化し製品化を見送ったと考えられるケース、または技術実証後に経済合理性の確立目途が立たず製品化を見送ったと考えられるケースの2つに大別できる。

(詳細は APPENDIX-7 参照)

過去の経験も踏まえ、市場・社会動向や、経済合理性に十分に留意したうえで、社会の動きと連動した実行計画にしていくことが課題である。

また、今後の具体的な展開として、上記の課題をふまえ、プロジェクト終了後に有志メンバーを再度集め、今後の進め方を検討する枠組みを設置することを検討する。

7. まとめ

昨年度のプロジェクト「超電導で拓くカーボンニュートラル社会」を継承し、本年度に実施した本プロジェクト報告を以下にまとめる。

1章で、本プロジェクトの背景を説明するとともに、本プロジェクトの目的が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と、超電導応用の国際競争力を強化して欧米・中国に対する国内産業の優位構築であることを述べた。

2章では、本プロジェクトの進め方として、昨年度の検討成果を継承し、本年度は水素・超電導コンプレックスを核とした成長シナリオおよび開発シナリオを中心に検討を進めることを述べた。

3章では、2050年に液体水素と高温超電導とのシナジーにより「超電導活用液体水素ベース社会システム(LHSS)」が構築され、液体水素の貯蔵拠点をハブとして、エネルギー・物流・情報・人流等の新しいネットワークが構築されること、および液体水素貯蔵拠点には水素・超電導コンプレックスが構成されること、広域再エネ連系構想や、製鉄産業や水素モビリティ分野での具体的な成長シナリオを検討した。また本構想導入時のCO₂排出量削減効果（最大ポテンシャル）を評価し、水素・超電コンプレックスの経済効果を試算した。

4章では、上記の成長シナリオを実現するための開発シナリオとして、開発重点注力分野を抽出し、国プロ併用による開発加速、および国立研究機関の共同試験利用施設の設置を骨子とした開発シナリオを提案した。また本構想導入による環境効率への影響度を評価した。

5章では、国への提言として、水素・超電導コンプレックスを核とした成長をめざすこと、そのための人材育成等の必要性等を提言した。

6章では、水素・超電導コンプレックスの実現に向けた今後の課題と展開をまとめ、プロジェクト終了後も引き続き継続する枠組みを検討することを述べた。

7章では、本報告書の概要として、本頁をまとめた。

以上

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 6階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 山口雅彦