

【産業競争力懇談会 2013年度 研究会 最終報告】

## 【エネルギーネットワークへの最先端技術適用】

2014年3月3日

産業競争力懇談会 **COCN**

# 【エクゼクティブサマリ】

## 1. 本研究会の背景

先の東日本大震災により我国のエネルギー供給構造の弱さが明らかになった。この状況から、我が国の経済活動や生活を支えるエネルギーの3E+Sを確保するために、エネルギー源の多様化と利用効率向上が課題となっている。

注記：3E+S：Energy security, Environment, Efficiency + Safety

エネルギーの利用は、貯蔵性・利便性・経済性で優れる化石エネルギーと再生可能エネルギー(RE)から電気・熱・水素に効率的に転換し、各々の特長を生かしたベストミックスを実現する必要がある。

本研究会では最適なエネルギー運用（次世代エネルギーネットワークシステム【Next generation Energy Network System：NENS】）を創出し、必要な技術開発と普及に向けた課題解決の提言を行う。

## 2. NENS の概念

NENS はエネルギー媒体（電気・熱・水素）の貯蔵性と輸送性の特長を活かして、3E+Sを実現するためのものである。電気はネットワーク構築が容易で、熱は小エリア利用（地産地消）に向いている。水素は長期間貯蔵と長距離輸送が可能である。図1にNENSの構成図を示す。その規模は市町村レベルをベースに、更にそれらを広域連携することを想定している。

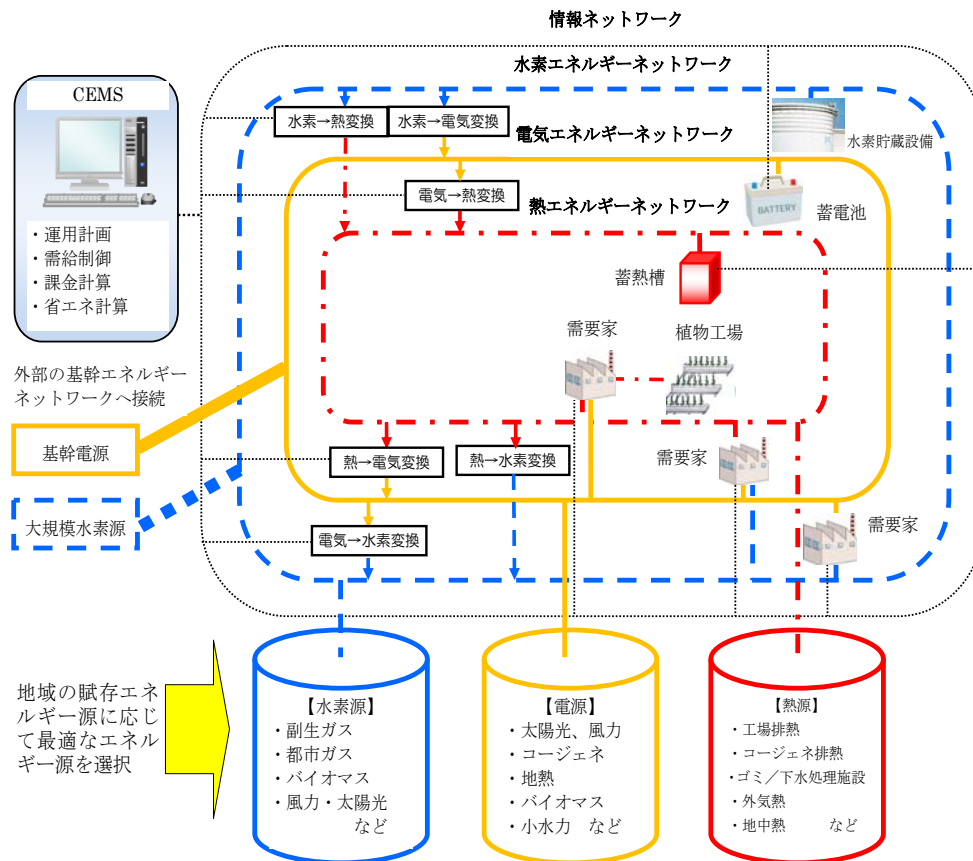


図1 NENSの構成図

## 3. NENSの目指す姿と課題

NENSの目指す姿と課題を表1に示す。NENSは我が国の素材・モノづくり産業の強みを活かせる分野であり、課題解決に向けては技術開発・実証を一層加速すると共に、規制・制度改革の見直し等、政策的な支援が必要不可欠である。NENSを導入した社会のイメージを図2に示す。電気・熱・水素を相互変換・融通し合う事で有効利用し、再生可能エネルギー導入が極大化する社会となる。

表 1 目指す姿と喫緊の課題

形態	目指す姿	課題	解決策	
			技術	社会制度等
電気	3E+S の実現に資する、 (1) エネルギー多様化によるエネルギーセキュリティの向上	・ RE 大量導入に耐える電力網の構築 ・ 配電線の利用率向上	・ 高度な電圧・潮流制御を可能にする小型軽量パワエレ機器の開発・導入 (SVC・SVR・LBC) ・ 新材料半導体 (SiC, GaN 等) の開発	・ パワエレ機器整備費用の総括原価方式への組み入れ
熱	(2) 地域に賦存する未利用エネルギーの活用と基幹ネットワークとのベストミックス	・ 50-90℃の未利用熱有効活用のための熱利用機器の普及	・ 熱利用機器の効率改善・量産化・コストダウン ・ 吸着式ヒートポンプの小型化 ・ 未利用熱利用システムの運用最適化 ・ 熱インターフェース技術	・ 機器導入への補助、税制優遇等 ・ コージェネ等への FIT 適用範囲拡大 ・ 未利用熱利用へのインセンティブ導入
水素	(3) エネルギーの柔軟な相互融通	・ エネルギーキャリアとしての大規模/広域水素供給網の構築 ・ 熱・電気エネルギーとの相互変換	・ 水素混焼発電 ・ 脱水素装置の小型化/低温化 ・ 熱電需給マッチングシステムの構築	・ 規制見直し (水素ステーション・国際水素輸送等) ・ 水素発電・水素コージェネに対する補助、税制優遇等 ・ 水素ステーション・水素供給設備等に対する補助、税制優遇等

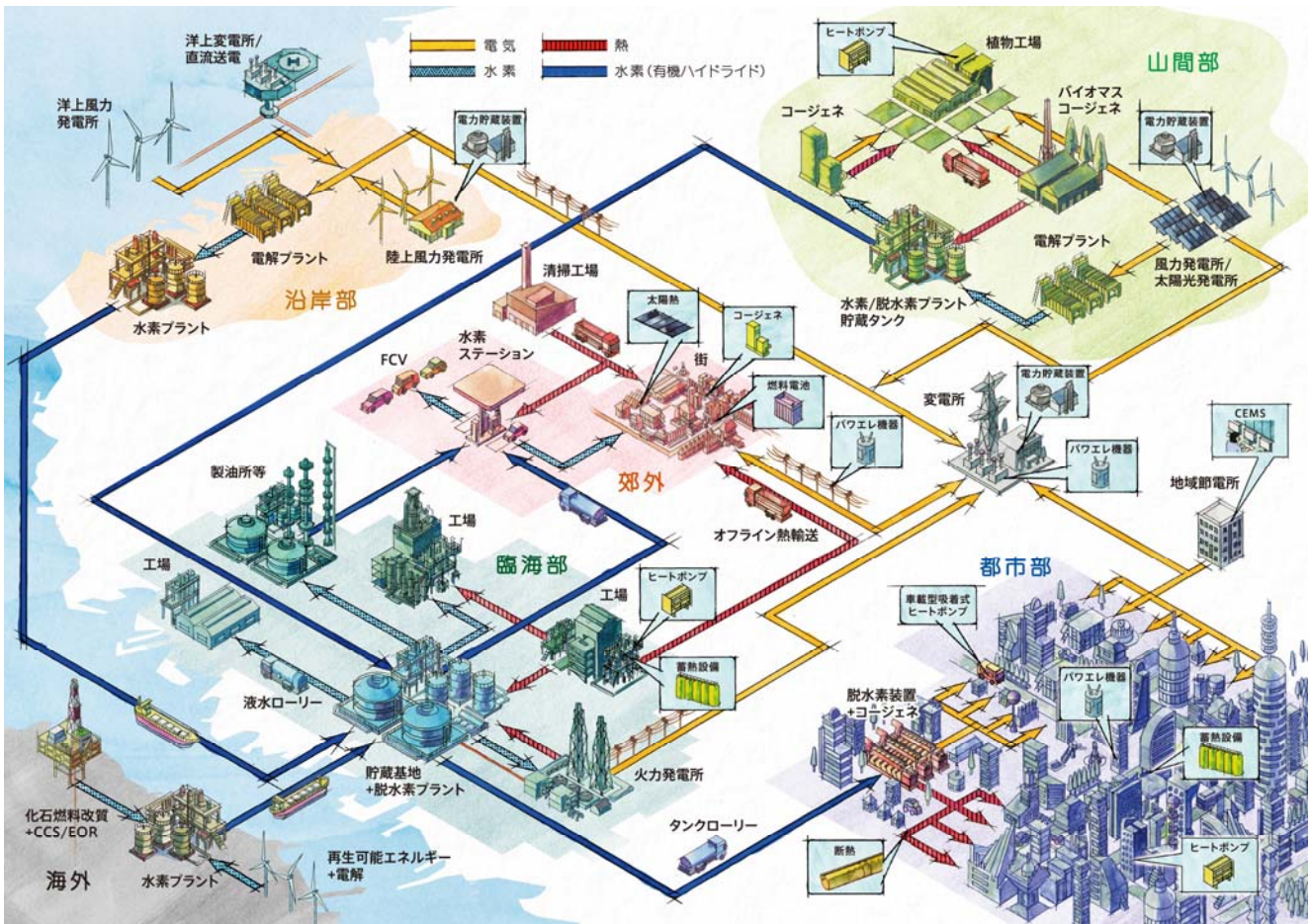


図 2 社会の中の NENS (イメージ)

#### 4. NENS の効果試算

NENS による一次エネルギーの削減効果は、2050 年において 4,130PJ/年 (電気: 636PJ、熱: 684PJ、水素: 2,810PJ) と試算され、国内一次エネルギー供給量 21,000PJ の 20% に相当する大きな効果が期待できる。

## 5. 産業競争力強化のための提言

NENSの実現は、エネルギー多様化・地域の未利用エネルギー活用を促進すると共に、社会インフラ構築における我が国の国際競争力を確立するものである。この実現には、技術開発・実証・社会導入の3つ領域において産学官一体となった総力的な取り組みが必要である。産業界としては業界横断的な取り組み体制を構築するが、一方で国には省庁を横断したシームレスかつタイムリーな支援を期待する。

### I 技術開発

電気では、小型軽量パワエレ機器の開発や、同機器に使用する新材料半導体(SiC, GaN 等)の開発を進める。熱では、熱利用機器(吸着式ヒートポンプ等)の効率改善・小型化・量産化・コストダウンを進めるとともに、熱インターフェース技術・未利用熱利用システムの運用最適化を検討する。水素では、水素混焼発電における混焼率の向上、脱水素装置の小型化/低温化を推進するとともに、熱電需給マネジメントシステムの構築も検討する。

### II 実証

社会導入の前段階としての実証を国内十数か所にて計画中であり、参加団体数は数十団体を予定している。主要なものを以下に示す。

- ①分散型エネルギー一次世代電力網構築実証事業（西日本の電力系統、2014-18年度、電気事業者・電機メーカー・研究機関）：系統安定を目的とした新系統対策機器とシステムを使った次世代配電網の実証
- ②再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発
- ③洋上風力用直流送電システムの実証：系統共振対策を目的とした洋上風力直流送電の実証
- ④小型吸着式ヒートポンプ量産化・コストダウン等技術開発（三河地区等：製造・運輸業）：ヒートポンプの量産化開発とコストダウン
- ⑤産業・熱エネルギー実証事業（北九州地区、鹿島地区等：製造業、北陸地区：製造業・大学）：エネルギー再生技術の確立を目的とした実証
- ⑥オフライン熱ネットワーク実証（中部地区、大学・窯業）：化学蓄熱を用いた高密度蓄熱システムの要素技術開発
- ⑦水素混焼発電（川崎臨海部）
- ⑧有機ハイドライド型水素ステーションの実証
- ⑨分散型水素エネルギーシステムの開発・実証

### III 社会導入

NENSは3E+Sという国家的な便益に資する社会インフラであり、国の政策として社会全体でコストを負担して整備を進める必要がある。特に、普及初期は市場原理に任せるのみではNENSの整備が進まない。一定の市場規模に成長するまでの期間は、初期投資・運用コストに対する助成・優遇・補助等による後押しが必要である。

例えば、電気ではパワエレ機器整備費用の総括原価方式への組み入れ、熱では、機器導入への補助・税制優遇、コージェネ等へのFIT適用範囲拡大、未利用熱利用へのインセンティブ、水素では、水素発電・水素コージェネに対する補助・税制優遇、水素ステーション・水素供給設備等に対する補助・税制優遇等の施策が望まれる。また、水素の長距離・大量輸送に関しては既に商用化の目処

がついた有機ハイドライドの利用が期待されるが、従来エネルギーキャリアとして利用することを想定していない物質(メチルシクロヘキサン、トルエン)を利用する。水素ステーションや国際水素輸送への同技術の適用を念頭においた、規制の見直しや法制度や運用ルールの整備が不可欠である。

上記の提言を時系列で取りまとめた NENS 実現へのロードマップを図 3 に示す。社会導入時における事業主体は、エネルギー事業者、ICT 企業、商社、自治体及び、これらのコンソーシアムが挙げられ、新産業分野の創出が期待できる。

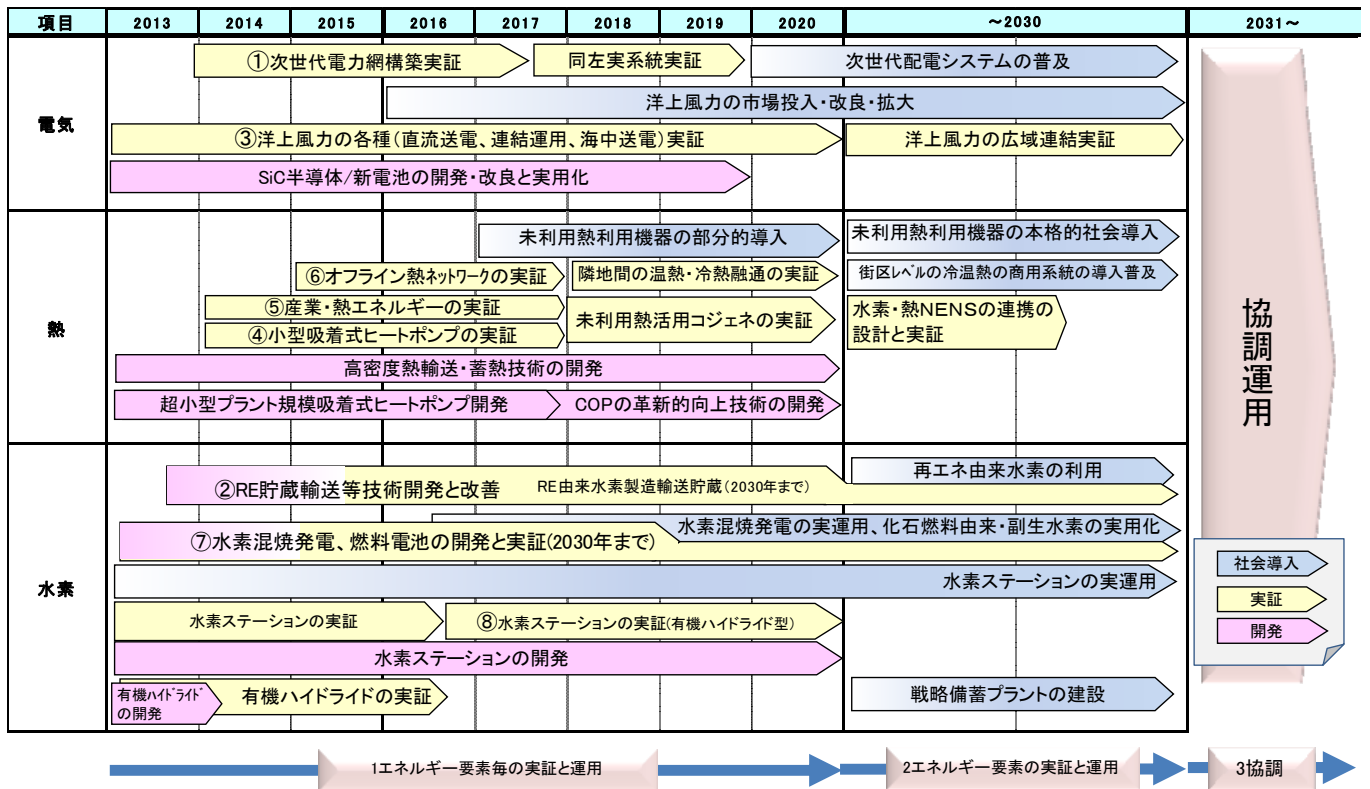


図 3 NENS 実現へのロードマップ

以上

## 【目 次】

1. 背景・目的
2. 国内政策及び海外の取り組み状況
  2. 1 国内政策
    2. 1. 1 成長戦略創造プラン
    2. 1. 2 科学技術イノベーション総合戦略
  2. 2 海外の取り組み状況
3. 次世代エネルギーネットワークシステムの目指す姿
  3. 1 NENS の概念
    3. 1. 1 ローカルフェーズの NENS
    3. 1. 2 広域フェーズの NENS
  3. 2 NENS を取り込んだ社会の仕組み
4. NENS を実現するための施策の立案
  4. 1 電気エネルギーネットワーク<再生可能エネルギーの導入状況と課題>
    4. 1. 1 単体技術の開発
    4. 1. 2 システム技術の開発
  4. 2 熱エネルギーネットワーク
    4. 2. 1 熱エネルギーネットワークの意義
    4. 2. 2 熱エネルギーネットワークの要素技術
    4. 2. 3 施設レベルのシステム技術開発
    4. 2. 4 施設群・街区レベルのシステム開発
  4. 3 水素エネルギーネットワーク
    4. 3. 1 必要性和具現化の方向性
    4. 3. 2 有機ハイドライドを軸とした水素エネルギーネットワークの意義と構築シナリオ
    4. 3. 3 用途別の発展シナリオと課題
  4. 4 エネルギーネットワーク間の相互変換とエネルギー貯蔵
5. 施策実現による定量的な効果試算
  5. 1 電気エネルギーネットワークにおける NENS 導入の効果試算
  5. 2 熱エネルギーネットワークにおける NENS 導入の効果試算
  5. 3 水素エネルギーネットワークにおける NENS 導入の効果試算
  5. 4 まとめ
6. 政策提言
  6. 1 電気エネルギーネットワーク普及のための政策提言
    6. 1. 1 NENS 普及に向けた課題と制度改革案
    6. 1. 2 海外展開に向けた国際標準化の推進
    6. 1. 3 実証プロジェクト



6. 2 熱エネルギーネットワーク普及のための政策提言
  6. 2. 1 技術開発支援
  6. 2. 2 普及促進のための施策
6. 3 水素エネルギーネットワーク普及のための政策提言
6. 4 NENS 実現のための実証事業の提言
7. NENS 実現のためのロードマップ（活動の工程）
8. 結言

## 【はじめに】

我が国では長い間、大規模な火力発電所や原子力発電所を核とした大規模集中型電力供給システムを推進してきた。ところが東日本大震災以降電力供給が不安定になりこのシステムの弱点が浮き彫りになった。更に不足した電力供給の緊急対策として老朽化した火力発電所の稼働を行ったが、その結果として化石燃料の大量購入により貿易赤字が拡大する問題が生じた。

また日本で使われる一次エネルギーに目を向けてみると、その55%は有効なエネルギーとして利用されているが残りの45%はほぼ熱として捨てられており、利用率向上は大きな課題となっている。日本はエネルギー資源に乏しいため化石燃料代替の開発と導入も喫緊の課題であり、水素エネルギー等の利用を急がれている。

一方、2013年9月にIPCC（国連気候変動に関する政府間パネル）が、地球温暖化に関する第五次報告書を公表した。報告書によると、地球温暖化の原因は人間の活動に起因する可能性が最も高く21世紀末には気温で最高4.8℃上昇、海水面は最大82cm上昇すると予測し深刻な問題提起を行っている。

このように、我が国ではエネルギー供給のセキュリティ向上と地球温暖化の防止が大きな課題になっており、この課題への施策の一例として「太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの普及促進」がある。この施策を加速するため、固定価格買取制度（FIT）の導入等様々な政策的後押しが行われている。しかし一方で、再生可能エネルギーの多くは出力が不安定で接続される電力系統に対し電圧問題や周波数問題等の問題を生じさせる。また利用されないで捨てられる熱の利用も課題である。更にエネルギー貯蔵に有利で電気や熱への変換時にCO<sub>2</sub>を排出しない水素も、輸送や貯蔵インフラ整備が課題で利用は限定的なものとなっている。

この研究会ではこのような背景や状況を踏まえ、CO<sub>2</sub>を排出しないクリーンで経済的なエネルギーの実現、エネルギー多様化によるエネルギーセキュリティの向上及び安定的なエネルギーの供給を目的とし、電気、熱、水素が相互補完する最適なエネルギーネットワークの構築を目指して検討と提言を行っている。

世界に先駆けて次世代のエネルギーネットワークシステムを構築することにより、安定的で安価なエネルギー供給を実現することで、我が国の国際競争力を高め、さらには、新たな事業創出により経済再生に寄与することができる。

これらの提言の実現のために、関係各位のご理解とご協力をお願いする次第である。

産業競争力懇談会  
会長（代表幹事）  
西田 厚聰



## 【プロジェクトメンバー】

プロジェクトリーダー : 川村逸生 (富士電機株式会社)  
サブリーダー : 中西要祐 (富士電機株式会社)  
メンバー : 横田昌久 (旭化成株式会社)  
(団体名 50 音順) 山口浩、中納暁洋 (独立行政法人 産業技術総合研究所)  
菅原周一 (JSR 株式会社)  
荒巻聡、立石大作 (JX 日鉱日石エネルギー株式会社)  
沼田茂生 (清水建設株式会社)  
岩野宏 (住友電気工業株式会社)  
池田修、伊藤正、白崎智彦、成毛将利 (千代田化工建設株式会社)  
岡本義之 (株式会社デンソー)  
小林広武 (一般財団法人 電力中央研究所)  
進士誉夫 (東京ガス株式会社)  
小田拓也 (東京工業大学)  
堤敦司 (東京大学)  
川本雅之、広瀬雄彦 (トヨタ自動車株式会社)  
小林敬幸 (名古屋大学)  
安達和弘 (日立化成株式会社)  
青木純一、秋本修、市野澤昌弘 (株式会社日立製作所)  
北川賢治 (富士通株式会社)  
太田敏之、大月章弘、勝野徹、樺澤明裕、桑山仁平、腰一昭、  
篠原博、鈴木明夫、仁井真介、萩野憲三、橋本親、堀内義実、  
松本康 (富士電機株式会社)  
伊東一敏、小松富士夫 (株式会社前川製作所)  
垣内博行、近藤豊光 (三菱樹脂株式会社)  
泉井良夫、米澤崇 (三菱電機株式会社)  
林清史 (ヤンマーエネルギーシステム株式会社)  
光島重徳 (横浜国立大学)  
小林直人 (早稲田大学)  
事務局 : 保川幸雄、小倉英之 (富士電機株式会社)

## 【本 文】

### 1. 背景・目的

東日本大震災以降、エネルギーセキュリティの向上から多様なエネルギー導入の必要性が高まった。その対策の一つとして「再生可能エネルギーを中心とし地産地消を基本とする小規模なエネルギーネットワークシステム」の構築が有用視されている。ところが再生可能エネルギーの多くは出力不安定なものが多く、安定供給するためには貯める技術や安定して輸送する技術が必要である。

導入エネルギーの多様化における喫緊の課題としては、出力不安定なエネルギーを含む多様なエネルギー源が直接的あるいは間接的に接続される電力網の不安定化の解消である。

一方、既存の工場や発電所では大量の熱が発生するが、この熱の多くは有効に利用されていない。捨てられる熱エネルギーは使われる電気エネルギーよりも多く、熱利用はエネルギー有効利用の観点から大きな課題となっている。

また、CO<sub>2</sub>を排出しないクリーンで経済的なエネルギーの実現及びエネルギー多様化によるエネルギーセキュリティの向上のためには、電気、熱との変換対象で有望な水素エネルギーが重要となるが、貯蔵や利用方法の拡大に課題がある。

そこで、これら3つのエネルギーが相互補完する最適なエネルギー運用方法（次世代エネルギーネットワークシステム）の創出が重要となる。次世代エネルギーネットワークシステムは、熱・電気・水素等の多様な形態のエネルギーを高効率で生成、流通、消費するとともに、相互のエネルギーシステム間でエネルギーと情報のやり取りが行える柔軟性が要求される。このため、エネルギーを自在に変換・貯蔵する技術、エネルギーシステム全体を最適に制御・運用する技術及び広域なデータを高速に信頼度高く通信する技術の一体的な確立が必要である。また、世界に先駆けて次世代のエネルギーネットワークシステムを構築することにより、我が国の国際競争力を高め、経済再生に寄与するものである。

本研究会では、3E+Sを実現する次世代エネルギーネットワークシステムについて、国内及び海外の動向調査、あるべき姿、それを実現するため施策の立案並びに効果試算を行う。続けて、制度上の課題の明確化、実証プロジェクトの計画の検討、ロードマップを作成し、関連府省庁、業界、学会等へ実現に向けた提言を行うことを目指す。

注) 3E+S : Energy security, Environment, Efficiency + Safety

### 2. 国内政策及び海外の取り組み状況

#### 2. 1 国内政策

##### 2. 1. 1 成長戦略創造プラン

2013年6月に内閣府の産業競争力会議において、新しい成長戦略として「戦略市場創造プラン（ロードマップ）」が提示された。「戦略市場創造プラン」では、エネルギー・健康長寿・次世代インフラ・地域資源の4分野について、2030年時点の達成すべき社会像、指標等を設定している。その中で、本研究会テーマに関連するエネルギー分野「クリーン・経済的なエネルギー需給の実現」は、

表 2.1.1 の内容となっている。

表 2.1.1 「クリーン・経済的なエネルギー需給の実現」の概要

	項目	概要
(1)	クリーンで経済的なエネルギーが供給される社会	国際的に競争力のあるエネルギー利用価格の実現を目指し「再生可能エネルギーの導入推進」、「高効率火力の技術開発と導入促進」、「未来を担う可能性のあるエネルギー技術の開発」を行う。
(2)	競争を通じてエネルギーの効率的な流通が実現する社会	電気利用の選択肢や電力事業に参入する企業を拡大し国際的に競争力のあるエネルギー利用価格の実現を目指し「エネルギー流通の効率化と成長基盤の確立(電力システム改革)」、「蓄電池の導入促進」、「次世代デバイス・部材(パワーエレクトロニクス等)の技術開発と普及促進」を行う。
(3)	エネルギーを賢く消費する社会	世界最高のエネルギー効率の更なる向上を目指し「エネルギーマネジメントシステムの普及」、「次世代自動車の導入促進」、「燃料電池・省エネ家電等の省エネ技術の普及拡大」を行う。

## 2. 1. 2 科学技術イノベーション総合戦略

2013年6月、総合科学技術会議が策定した「科学技術イノベーション総合戦略」の中で、科学技術イノベーションが取り組むべき5つの重点的課題を掲げており、その一つが「クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現」である。この課題はエネルギーを次の3つの段階で捉えて論じている。

- ・クリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化（生産）
- ・新規技術によるエネルギー利用効率の向上と消費の削減（消費）
- ・高度エネルギーネットワークの統合化（流通）

この中で高度エネルギーネットワークの統合化（流通）では、地域又は広域の各レベルで構築されたエネルギーネットワークを連繫することでエネルギー消費のクリーン化を目指す。特に分散エネルギーを供給源として相当量想定するため、出力変動を克服し、安定的なエネルギー供給のためにも、エネルギーを「貯める」・「運ぶ」といった機能を持つ定置用、移動用のエネルギーキャリア、媒体や次世代蓄電池等とそれを利用する技術及び情報通信技術を活用したエネルギーマネジメント技術が重要とされている。

## 2. 2 海外の取り組み状況

欧州委員会はいわゆる“20 20 by 2020”と呼ばれる欧州指令を出しており、その中で2020年における最終エネルギー消費における再生可能エネルギー（RE：Renewable Energy）の割合を20%に引き上げること、ならびにCO<sub>2</sub>排出量を1990年比で20%削減することを加盟各国に求めている。この影響もあり、欧州では課題はあるものの、日本よりも早くREの導入が進んでいる。また、地域内にコージェネレーション（熱電併給）、水素コミュニティを導入し、電力基幹系の潮流に課題はあるものの、効率的にエネルギーを利用する取り組みが進められている。

ドイツとデンマークの取り組み事例については、添付資料 別項 1. 1と1. 2にて述べる。

### 3. 次世代エネルギーネットワークシステムの目指す姿

電気・熱・水素を貯蔵した場合の時間的利用の容易さと、輸送した場合の空間的利用の容易さを表 3.1 にまとめた。電気は長距離の空間的利用が容易であり、熱は小さいエリア（地産地消）に向いている。水素は長時間の貯蔵が容易であり、長距離輸送も可能であるが、エネルギーとして更なる需要の開拓が必要である。

表 3.1 電気・熱・水素の時間・空間的利用における特徴

	時間的利用の容易さ	貯蔵手段（例）	空間的利用の容易さ	輸送手段（例）
	短 ← → 長		短 ← → 長	
電気	← →	蓄電池、揚水発電、圧縮空気、フライホイール	← →	送電線
熱	← →	ゼオライト、氷蓄熱、貯湯	← →	配管（蒸気・温水等）
水素	← →	有機ハイドライド、液化水素、圧縮水素	← →	タンカー、タンクローリー、水素ポンプ、パイプライン

次世代エネルギーネットワークシステム（Next generation Energy Network System : NENS）は電気・熱・水素の時間的・空間的利用の容易さの特徴を生かして、相互の変換を無駄なく統合的に利用することで、3E+S を実現するためのものである。

表 3.2 に NENS の目指す姿、課題についてまとめた。

表 3.2 目指す姿と喫緊の課題

形態	目指す姿	課題	解決策	
			技術	社会制度等
電気	3E+S の実現に資する、 (1) エネルギー多様化によるエネルギーセキュリティの向上	・ RE 大量導入に耐える電力網の構築 ・ 配電線の利用率向上	・ 高度な電圧・潮流制御を可能にする小型軽量ハワイル機器の開発・導入（SVC・SVR・LBC） ・ 新材料半導体（SiC, GaN 等）の開発	・ ハワイル機器整備費用の総括原価方式への組み入れ
熱	(2) 地域に賦存する未利用エネルギーの活用と基幹ネットワークとのベストミックス	・ 50-90℃の未利用熱有効活用のための熱利用機器の普及	・ 熱利用機器の効率改善・量産化・コストダウン ・ 吸着式ヒートポンプの小型化 ・ 未利用熱利用システムの運用最適化 ・ 熱インターフェース技術	・ 機器導入への補助、税制優遇等 ・ コージェネ等への FIT 適用範囲拡大 ・ 未利用熱利用へのインセンティブ導入
水素	(3) エネルギーの柔軟な相互融通	・ エネルギーキャリアとしての大規模/広域水素供給網の構築 ・ 熱・電気エネルギーとの相互変換	・ 水素混焼発電 ・ 脱水素装置の小型化/低温化 ・ 熱電需給マッチングシステムの構築	・ 規制見直し（水素ステーション・国際水素輸送等） ・ 水素発電・水素コージェネに対する補助、税制優遇等 ・ 水素ステーション・水素供給設備等に対する補助、税制優遇等

また、NENS の対象とするエネルギーリソースを添付資料 別項 2 に述べる。

### 3. 1 NENS の概念

#### 3. 1. 1 ローカルフェーズの NENS

図 3.1.1 にローカルフェーズの NENS の構成図を示した。エネルギーネットワークとしては、電気エネルギーネットワーク、熱エネルギーネットワーク、水素エネルギーネットワークの 3 つから構成される。各エネルギーネットワークにはエネルギーを貯める装置（蓄電池、蓄熱槽、水素タンク等）が接続されており、エネルギー形態を相互変換するための装置も設置される。

NENS を運用するために地域節電所等に CEMS（Cluster/Community Energy Management System）を構築する。CEMS はその地域に賦存する電源（太陽光、風力、地熱等）、熱源（工場排熱、コージェネ排熱、外気熱等）、水素源（副生ガス、都市ガス等）等をエネルギー提供者から回収し、変換システムで流通可能な形のエネルギー（電気、熱、水素）に変換して効率的に運用・管理するシステムであり、エネルギーの運用計画・需給制御・課金計算・省エネ計算等を行う。

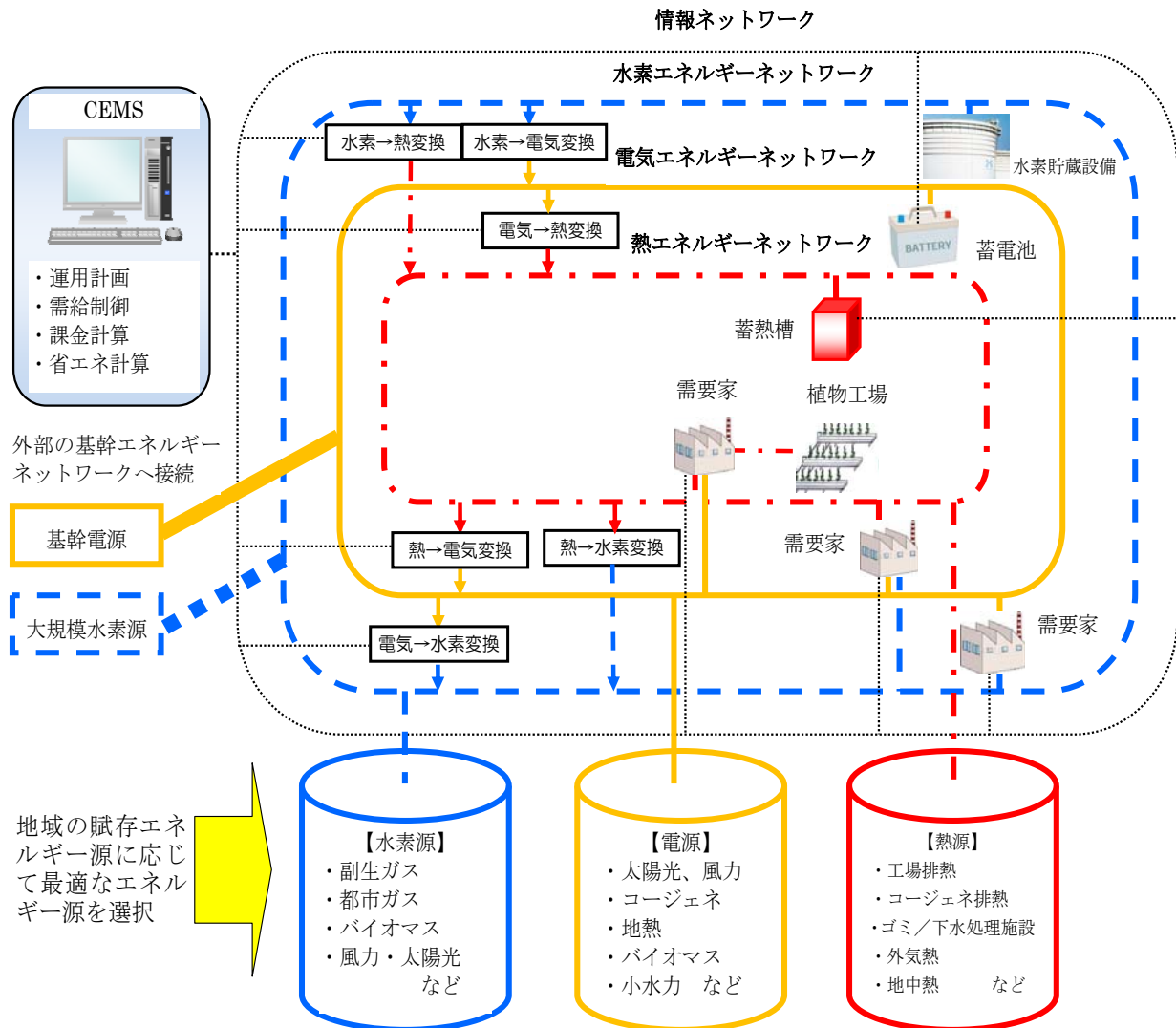


図 3.1.1 NENS の構成図 (ローカルフェーズ)

### 3. 1. 2 広域フェーズの NENS

図 3.1.2 に広域フェーズの NENS の構成図を示す。ローカルフェーズで整備された NENS が相互連携することにより、次第に広域フェーズに移行すると想定する。NENS の内、電気エネルギーネットワークと水素エネルギーネットワークは、大規模な基幹のエネルギーネットワーク（大規模エネルギー源と大消費地を連結）に接続して運用し NENS の安定性を担保している。

CEMS はローカルエリアのエネルギーの需給を管理すると同時に、CEMS 相互間及び中央指令所に代表される基幹のエネルギーネットワークを制御するシステムと情報のやり取りを行い、最適なエネルギー運用を行う。

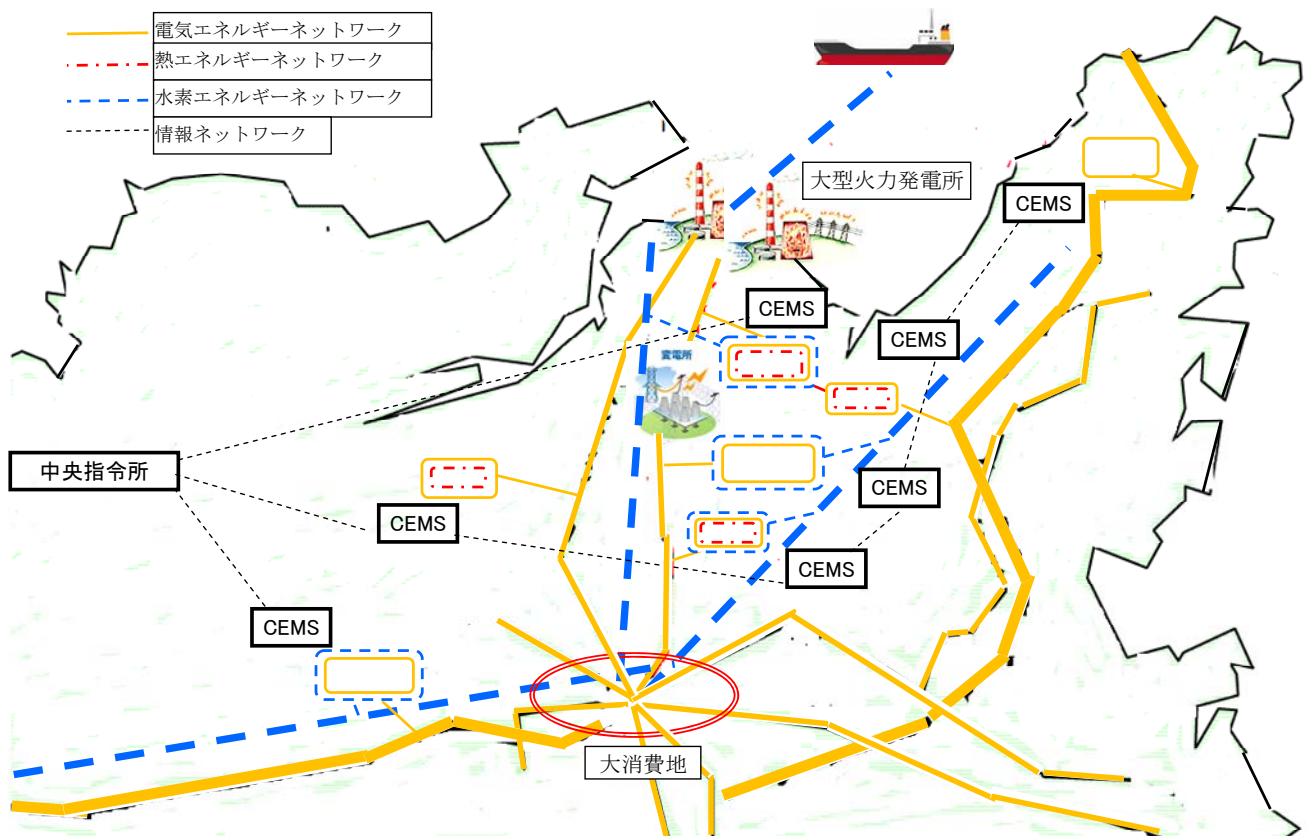


図 3.1.2 NENS の構成図（広域フェーズ）

今後 NENS は、①輸送技術の開発による運用地域の拡大と、遠隔地の多様なエネルギーソースの利用、②貯蔵技術の開発による運用時間の広がりが期待でき、より効率的で安定したエネルギー運用を目指すことができる。



### 3. 2 NENS を取り込んだ社会の仕組み

NENS を取り入れた場合に想定される社会と生活の仕組みのイメージを、図 3.2.1 に示す。図 3.2.1 では沿岸部、臨海部、山間部、都市部、郊外さらには海外での3つのエネルギー形態に対する発生、輸送、貯蔵、消費の流れを示している。これらは、地域賦存のエネルギーを最大限活用し、効率的かつ安定に利用する社会を目指すものである。

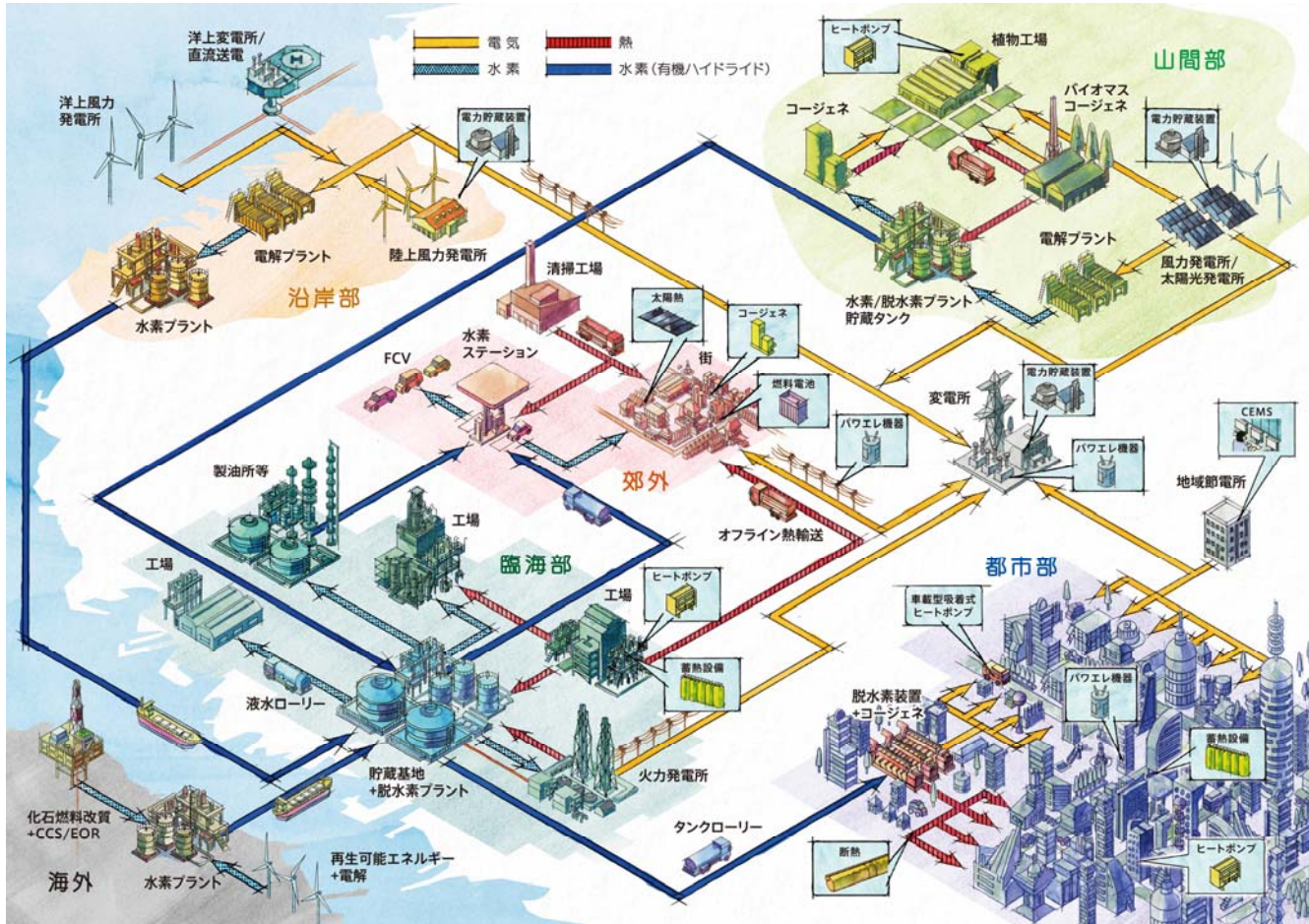


図 3.2.1 社会の中の NENS (イメージ図)

### 4. NENS を実現するための施策の立案

#### 4. 1 電気エネルギーネットワーク

##### <再生可能エネルギー (RE) の導入状況と課題>

##### 1) RE の導入状況

図 4.1.1 に太陽光発電の導入状況を示す。日本の電力システムは、太陽光発電を 1,000 万 kW 程度まで未対策で受け入れ可能と評価されている (次世代送配電ネットワーク研究会の試算による<sup>(1)</sup>)。これに対し、政府目標である「2020 年に太陽光発電を 2,800 万 kW 設置」を実現するためには、新たな電力システムの構築が必要となる。

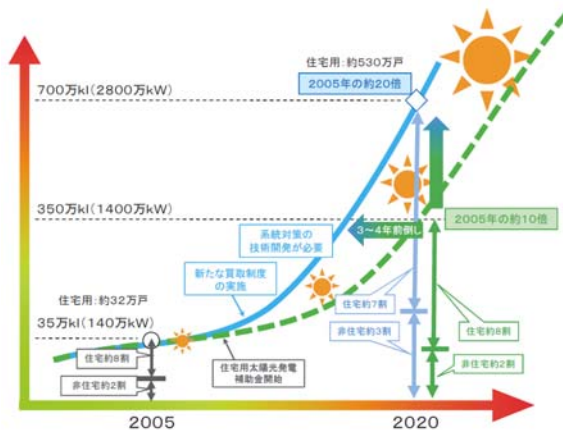


図 4.1.1 太陽光発電の導入状況



一方、図 4.1.2 に風力発電の導入状況を示す。これによると 2020 年には 500 万～1,000 万 kW の導入量が予想されている。風力発電の導入についても太陽光発電と合わせて新たな電力システムの構築が必要となる。

参考文献：

- (1) 低炭素社会実現のための次世代送配電ネットワークの構築に向けて 平成 22 年 4 月 次世代送配電ネットワーク研究会
- (2) 太陽光発電の導入シナリオ（試算）2009, 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会
- (3) 長期エネルギー需給見通し（再計算）」2009, 総合資源エネルギー調査会
- (4) 風力発電利用率向上調査委員会の風力発電ロードマップ検討結果報告書 005, NEDO
- (5) 風力発電長期導入目標値と風力発電導入拡大への要望 2008, JWPA
- (6) 風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定（Ver1.1）」2010, JWPA
- (7) Global Wind 2009 Report”（2010, GWEC）

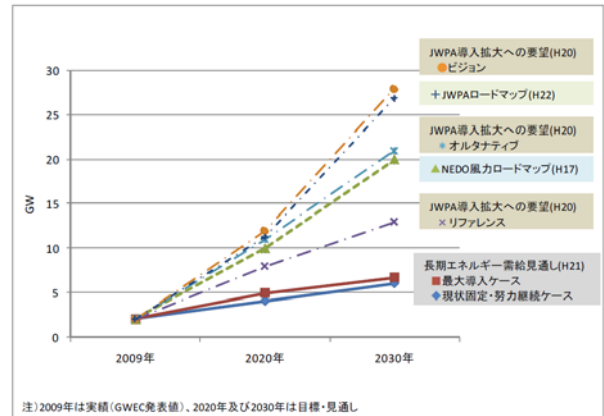


図 4.1.2 風力発電の導入状況

## 2) RE 導入上の課題と対策

RE の大量導入により予測される配電系統上の課題と系統側の対策を、表 4.1.1 に示す。

表 4.1.1 RE 大量導入による配電系統上の課題と系統側の対策

	課題	系統側の対策
1	<p><u>配電線の電圧上昇</u></p> <p>発電量が消費量を上回ると配電線の電圧が適正値を超過する恐れがあるため次の問題が発生。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ RE 装置が自動的に出力抑制し十分発電されない</li> <li>・ 柱上変圧器の増設で需要家のコスト負担が発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電圧調整と無効電力補償（SVC）機能を持ったパワエレ柱上変圧器による電圧制御。</li> <li>・ パワエレ SVR による電圧制御。</li> </ul>
2	<p><u>配電網の潮流アンバランス</u></p> <p>配電網は樹枝状構成でフィーダ間の電力融通が困難。1 フィーダへの RE 接続可能性が制限される。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電力融通装置（LBC）によるフィーダ間の電力融通（配電網末端、バンク間）</li> </ul>
3	<p><u>変電所内のバンク逆潮流</u></p> <p>配電網へ大量の RE が接続された時、バンク逆潮流が発生。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電力貯蔵装置の設置</li> <li>・ FACTS（LBC、SVC、UPFC）による潮流制御と電圧制御</li> </ul>
4	<p><u>共振現象の発生</u></p> <p>RE 用パワーコンディショナー（PCS）、連系用変圧器と送電ケーブルの静電容量によって長周期の系統共振現象が発生し RE 用 PCS が運転不可となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 蓄電池を用いた共振抑制装置。</li> <li>・ 洋上風力用連系線の直流送電化。</li> </ul>

現在 RE の導入による配電網の電圧上昇に対しては、系統側では高圧配電線は変圧器タップ制御を使った自動電圧調整装置（SVR）で、低圧配電線は柱上変圧器の増設で対応している。このうち、SVR はタップ切替えによる機械的な動作であり、太陽光発電や風力発電等の短時間変動に対して追従できない場合がある。またタップ部の定期メンテナンスも必要で維持管理にコストがかかる。

これに対して、SVC や LBC は高速で連続的制御が可能で配電網の電圧が極めて安定化されると同時にメンテナンスの省力化が可能なので、SVR の代用もしくは併用が有利となる。更に LBC はフィーダ間の潮流制御でバンク逆潮流の抑制や1フィーダにおける過大潮流も抑制可能となる。

蓄電池を用いた共振抑制装置によって、PCS、変圧器と送電ケーブル静電容量によって生じる長周期の共振現象を抑制するとともに、出力変動を平準化することも可能となる。

これらの対策を実現するためには、対策に用いる機器の一層の低損失化、小型軽量化及び低コスト化が重要である。又、6.6kV の配電システムに導入する場合はそれに見合った高耐圧・大容量化も必要である。これらの課題に対して、最先端研究開発支援プログラム (FIRST) で要素技術開発が完了した SiC デバイスを適用すれば表 4.1.1 の対策が実現できると考える。

NENS 実現のためには表 4.1.1 に示す対策の実施が急がれるが、その他にも多くの技術が必要である。それらを図 4.1.3 にまとめる。

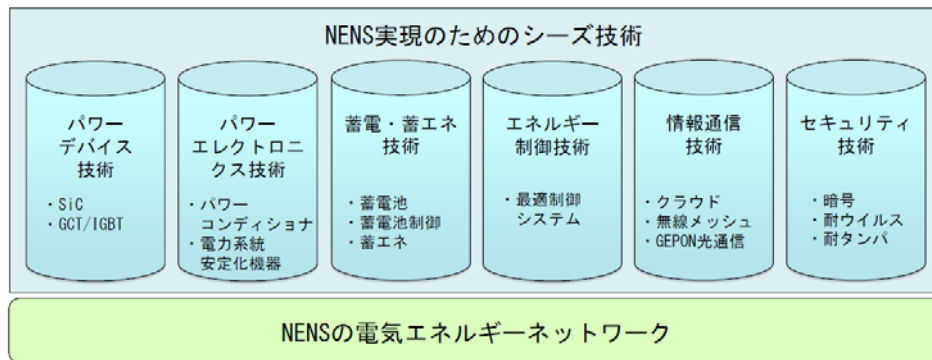


図 4.1.3 NENS 実現のためのシーズ技術

<課題解決のためのシステム>

出力が変動する RE が大量導入されても安定的に系統運用できる次世代電気エネルギーネットワーク例を図 4.1.4 に示す。電力系統安定化対策として SiC を適用した SVC, UPFC, LBC, 共振抑制装置, 洋上風力用交流/直流変換装置 (直流送電), 電力貯蔵装置を設置している。実系統ではこれら対策装置の中から必要に応じて選択し設置する。

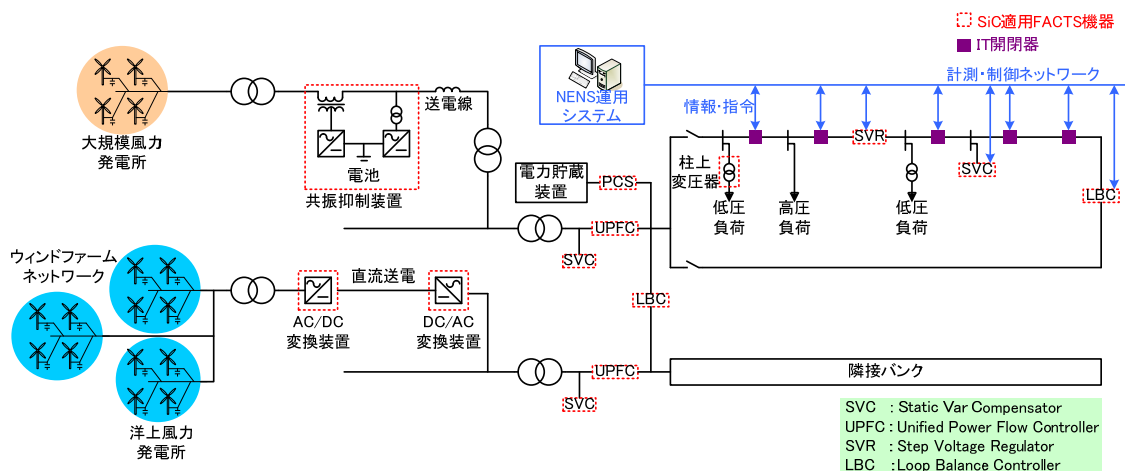


図 4.1.4 次世代電気エネルギーネットワーク概念

出典：泉井良夫：「スマートコミュニティの構築」、pp. 589-592, 電気設備学会、Vol. 33, No. 8, 2013 (2013年8月号)

#### 4. 1. 1 単体技術の開発

次世代電気エネルギーネットワークシステム構築の目的は導入エネルギーの多様化に対応するもので、REの普及、排熱等の未利用エネルギーの有効利用、燃料電池やコージェネの普及及び電気・熱・水素の各エネルギーネットワーク間の相互変換利用に対応するものである。これを実現するためには、表4.1.2の機器・技術の開発が必要となる。

表4.1.2 電気エネルギーネットワークシステムにおける技術開発項目

開発項目	機器・技術	
再生可能エネルギーの導入促進	風力	・新型風車(浮体式等)技術、風車の大容量化 ・直流送電技術、変換器、大容量・長距離送電ケーブル
	太陽光	・高効率太陽電池 ・SiCデバイス適用高効率PCS
	地熱	・地熱タービン(バイナリー発電等)の高度化
蓄電蓄エネルギー	・新型蓄電池(革新的二次電池)、蓄電池の最適運用 ・余剰電力による水素発生(電気分解等)	
電気⇄水素変換	・燃料電池	
電気⇄熱変換	・高効率コージェネレーション発電 ・排熱(低温)発電技術	
共通技術	・SiCパワーデバイス(新素材、半導体製造技術を含む) ・系統安定化のためのSiCパワーデバイス適用FACTS機器(SVC、LBC、SVR、UPFC、スマートトランス等) ・単体機器間の通信技術 ・超電導(送電線、限流器)	

#### 4. 1. 2 システム技術の開発

機器開発とともに、機器を相互に連携して動作させることで、エネルギーの効率的な運用を可能とするシステムの開発が必要である。

配電システムにおいては、機器の集中的な制御や他の機器との連携による自律的な制御の研究が進められている。こうした制御技術の成果を反映させつつ、今後の新型パワエレ機器の開発や実用化にともない、新しい機器の特徴を活かした最適な電圧制御や潮流制御機能を搭載した次世代配電システム(DEMS)を開発する必要がある。特に、パワエレ機器が持つセンサーの情報を配電システムの制御に取り込み利用する技術の開発は重要であり、ICT技術を融合させたシステム化を進めていく必要がある。また、スマートメーターの導入が進められていく中で、系統側の情報だけでなく、需要家側のメータ情報を利用することで詳細な系統の情報を得ることができるので、この情報を制御に生かしていく技術も、システムの効率的な運用に対して有効な手段と考えられる。

さらに、機器間やシステム間の相互運用性を高めデータを効果的に活用するためには、ネットワークプロトコルの標準化が必須であり、ユースケースを特定しデータモデルを共通化する等の

標準化作業が必要となる。従って、技術開発と同時に標準化も進めていくことが重要である。

パワーレ技術の進展は、REの利用をより高効率で行うための直流配電技術、洋上風力に対する送配電システム、あるいは送配電損失の最小化をめざす超電導送配電システム等、従来の系統配電システムの概念を超えた新しいシステムの出現を可能とするものと考えられ、今後、実現に向けた検討が必要になるものと思われる。

## 4. 2 熱エネルギーネットワーク

### 4. 2. 1 熱エネルギーネットワークの意義

熱エネルギーは電気や水素に比べ輸送が難しいという課題があるため、できるだけ小さいネットワーク内で利用することが好ましい。熱エネルギーネットワークは、その時間・空間的な広がりや施設レベル（ビル、ごみ焼却場、プラント等）、施設群・街区レベル（ビル群、コンビナート等）、エリアレベルで検討されることが望ましい。これら施設は民生と産業に大別され、それぞれの施設レベル、施設群・街区レベルで熱エネルギーネットワークを構築し、更に民生と産業間でも熱エネルギーネットワークを通じて有効活用する必要がある。また、電気や水素のエネルギーネットワークと熱エネルギーネットワークが有機的につながることがNENSとしては重要である。一方、熱需要密度に着目すると、地域冷暖房（地冷）があるような熱需要密度が高い地域（都市部）においては従来の地冷を有効に活用して熱ネットワークを構築し、電気ネットワークと補完しあうことが重要である。このことは、2020年に控えている東京オリンピック・パラリンピックの開催に際して、都市のレジリエンスを保つことに寄与すると考える。熱ネットワークを構築するほど熱需要密度が高くない地域（周辺部）では、オフラインによる熱輸送を行い、熱需要密度が低い地域においてはその建物内にコージェネレーション（コージェネ）を置き、その施設内でエネルギーの有効活用を図ることが重要と考える。

エネルギーネットワークを担うものの一つとなるのが分散型電源である。仮に2030年に15%の電力を供給するには現行発電量（約314億kWh）を5倍にする必要がある。そのためには大規模コージェネだけでは不可能で、小型・中型規模のコージェネが普及する必要がある。東日本大震災以降、BCP（Business continuity plan）対策として普及が進んでいるコージェネだが、排熱が利用できないと効率性・経済性の両面から普及が難しい。これまで給湯需要のある施設を中心にコージェネが導入されてきたが、給湯需要のない中小規模オフィス、学校、データセンター・サーバーーム等への導入が必要不可欠である。25kW、35kW等マイクロコージェネでは排熱温度が75-85℃程度と低く、この排熱を冷熱転換し、冷房や除湿につかう等の技術が必要である。

もう一つのエネルギーネットワークを担うものが未利用熱エネルギーである。国内の運輸、民生、産業分野で消費されるエネルギーは約 $15,000 \times 10^{15} \text{J}$ であり、その内の50%以上が使われない熱（未利用熱）エネルギーとして環境中に排出されている。産業からの排熱は約70%が200℃以下の中低温排熱であり、更に50%以上が100℃以下の低温排熱である（図4.2.1）。90℃程度の排熱は吸収式冷凍機や吸着式冷凍機で利用されており、実際に多量に賦存しているのは50-90℃程度の排熱と考えられる。未利用熱エネルギーに関しては、平成25年に未来開拓研究プロジェクトの一環として、「未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発」が開始された。ここでは未利用熱エ

エネルギーを有効活用するための蓄熱技術、熱電変換技術、熱発電技術、ヒートポンプ技術、熱マネジメント技術等の技術課題、目標が詳細に設定されている。これら要素技術の研究開発に加え、熱エネルギーネットワークでは熱輸送技術を加え、地域に存在するごみ焼却場や工場・プラントからの未利用熱エネルギーの具体的な活用方法を提言、実証したいと考える。まずは施設レベルでの未利用熱利用を目指す、利用困難な場合には、コンビナートや工業団地レベルの施設群、更に民生－産業間での熱エネルギーネットワークを考える。

これまで述べてきたように熱エネルギーの有効利用には、分散型電源からの低温排熱や工場等からの低温未利用熱の活用が重要である。これは“熱エネルギーをカスケード利用によって無駄なく使う”、という基本概念のもと、カスケード利用できる下限をもっと低くするという技術課題への取り組みである。ところが、エネルギー保存の法則により、本質的にエネルギーを消費することはできず、消費されるのはエクセルギーである。世界に向けて新炭素社会の在り方を発信するには、COP等のエネルギー効率だけでなく、“エクセルギー消費”にも着目したエネルギー利用技術体系が必要と考える。エクセルギー消費の少ない技術やエクセルギー再生技術等、例えば、90°Cの温排熱をヒートポンプで150°Cに昇温（エクセルギー再生）してもう一度、利用する。消費したエクセルギーを再生するに必要なエネルギーを投入すれば、繰り返し何度でも熱エネルギーを利用できることになる。大学等の教育現場でもエクセルギーにもっと重点を置くことで、正しい省エネルギー技術を体得した技術者が養成され、新炭素社会の実現が可能となると考える。

注) 新炭素社会：地球環境のサステナビリティのためには、単に炭素を減らすということだけでなく、自然本来のバランスを保つように炭素の活用と排出を図ることが最良の方法と考え、科学技術のイノベーションを通して炭素が循環する社会を「新炭素社会」と定義する。

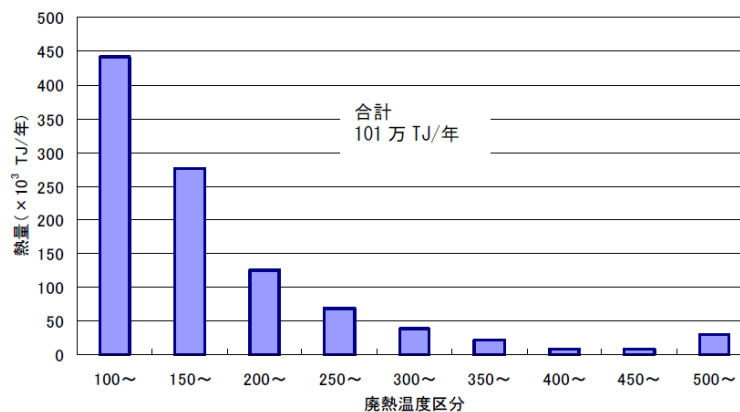


図4.2.1 ガス排熱温度分布

出典：財団法人 省エネルギーセンター 平成13年4月 発行  
 広域エネルギー利用ネットワークシステム開発 エネルギーシステム設計技術の研究  
 「工場群の排熱実態調査研究 要約集」P14 表8 業種別温度別全国排熱量 よりグラフ化

#### 4. 2. 2 熱エネルギーネットワークの要素技術

熱エネルギーネットワークに必要な要素技術は、新炭素社会に向けた次世代エネルギーシステムの基盤整備（2008年度COCN提言書）や未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発の提案書

に詳細が記載されている。未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発の提案書をベースに NENS に開発が必要と思われる要素技術と目標を追記したものを表 4.2.1 に示す。

表 4.2.1 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発の各テーマの目標（抜粋）  
及び NENS に必要とされる要素技術の目標（太字部分）

	【中間目標(H29年度末)】	【最終目標(H34年度末)】
蓄熱技術	120℃以下で、蓄熱密度0.5MJ/kgを有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発	120℃以下で、蓄熱密度1MJ/kgを有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発
	-20℃～25℃環境下で12h以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発	-20℃～25℃環境下で24h以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発
	蓄熱材の占有体積が9割以上であり、蓄熱材単体の20倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発	蓄熱材の占有体積が9割以上であり、蓄熱材単体の50倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発
	<b>50-150℃の蓄熱温度、0.5MJ/kgの蓄熱量を有する潜熱蓄熱材、化学蓄熱材(吸着材、化学反応)の技術開発</b>	
排熱発電技術	200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率14%(従来比2倍)を有する出力1kWクラス小型排熱発電装置の開発	200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率14%(従来比2倍)を有する出力10kWクラス小型排熱発電装置の開発
		200℃以下の中低温排熱に対応した、従来の大型機(500kWクラス)と同等性能を有する50kWクラス排熱発電装置の開発
ヒートポンプ技術	200℃までの供給温度範囲に対応し、80→160℃加熱でCOP:3.5以上を達成するヒートポンプシステムの開発	200℃までの供給温度範囲に対応し、100→200℃加熱でCOP:3.5以上を達成するヒートポンプシステムの開発
	<b>50-90℃の温熱から蒸気を生成するヒートポンプ技術</b>	
	75℃以下の熱源で、供給温度-10℃を実現するヒートポンプシステムの開発	60℃以下の熱源で、供給温度-10℃までの幅広い温度範囲に適合するヒートポンプシステムの開発
	<b>50-90℃の温熱から冷房に使用可能な7-10℃の冷熱への変換技術開発(小型・低コスト吸着式ヒートポンプ、超低温再生型吸着ヒートポンプ、エクセルギー再生型吸着ヒートポンプ等)及び中・小規模低温排熱利用を採算ベースに載せて広汎に普及促進させるための量産技術開発</b>	
	<b>50-90℃の温熱から直接冷風を生成する変換技術。気化冷却による冷房技術</b> <b>化学プラント等に適応可能な500RT超の現場施工型吸着式ヒートポンプ。</b>	
温熱-潜熱変換技術	50℃程度の温熱で効率的に除湿を行うデシカント技術。潜熱熱分離空調による省エネルギー技術。	
熱輸送技術	50-300℃の温熱を輸送可能にする技術、吸着材による熱輸送、ケミカルヒートトランスフォーマーの開発等	
	<b>狭域ネットワークに対応可能な小型蓄熱輸送コンテナの開発</b>	

省エネルギー機器の一つに日本発のシリカゲルを用いた吸着式ヒートポンプがあるが、低温排熱が使用できないことや装置が大きいこと等の課題があった。カーエアコンやルームエアコンを代替できるほど吸着式ヒートポンプを小型化、高性能化するには、低湿度で水蒸気を吸着し、かつ 50～90℃で再生可能、かつ何十万回という繰り返し耐久性を有する新しい水蒸気吸着材が必要であった。これまで吸着式ヒートポンプの吸着材として、シリカゲル、アルミノシリケートゼオライト（Y型ゼオライト）、活性炭等が知られており、これら吸着材の吸着等温線と、低温熱源を利用する場合のおおよその作動相対湿度範囲を図 4.2.2（A 図）に示した。図 4.2.2 中の AQSOA は三菱樹脂の製品名である。50-90℃の低温熱源を利用する場合のコンパクトな吸着式ヒートポンプを実現するのに望ましい吸着材の吸着性能は、図 4.2.2（A 図）に示すような、「低湿度ではほ



とんど吸着せずに、ある相対湿度（但し、比較的低い相対湿度）で急激に吸着するような特性である」ことが判る。近年、アルミノフوسفート系ゼオライトを用いた低温再生型水蒸気吸着材が開発された。そのゼオライトの水蒸気吸着等温線を図 4.2.2 (B 図) に示す。

図 4.2.3 に AQSOA-Z05 とシリカゲルを排熱温度 50°C、冷却水温度 27°C、冷水温度 11°C で吸着ヒートポンプを運転した場合の有効吸着量を比較する。この場合、AQSOA-Z05 はシリカゲルの約 4 倍の吸着容量を有し、50°C の低温排熱で 11°C の冷水を生成することができることが判る。

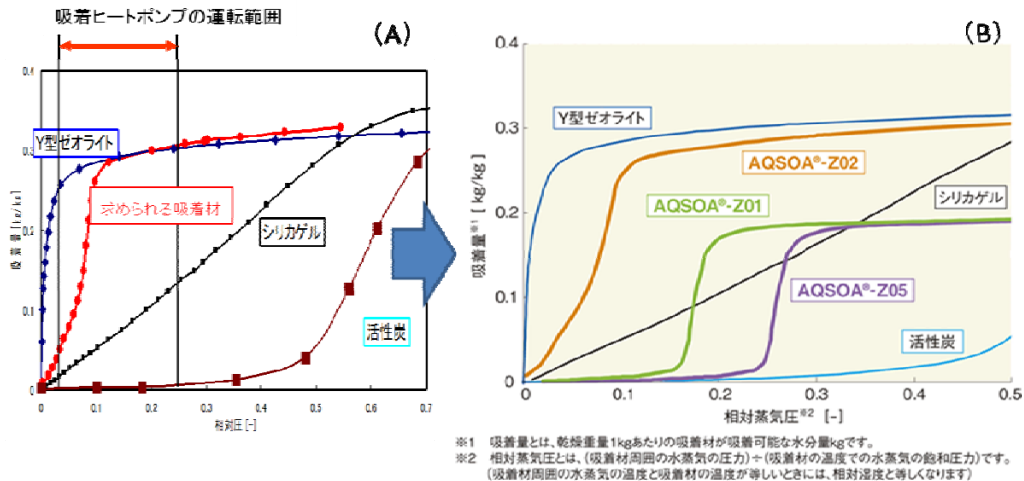


図 4.2.2 求められる水蒸気吸着材と AQSOA の吸着等温線（三菱樹脂）

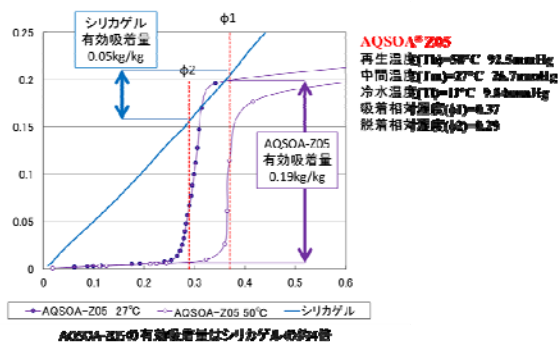


図 4.2.3 50°Cで吸着ヒートポンプを運転した場合のシリカゲルと AQSOA-Z05 の性能比較（三菱樹脂）

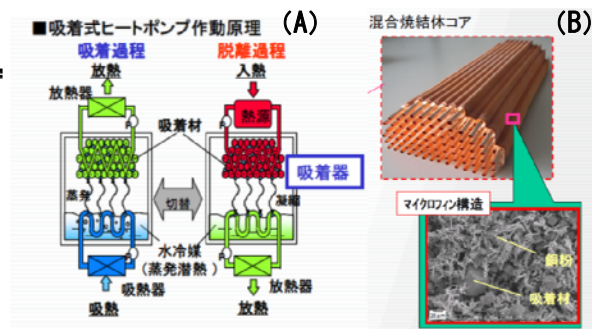


図 4.2.4 吸着式ヒートポンプの作動原理と吸着器の一例（デンソー）

吸着ヒートポンプはシリカゲルやゼオライトを吸着材として使用し、吸収式ヒートポンプに比べ、低温で駆動できることが特徴である。図 4.2.4 (A 図) に吸着ヒートポンプの原理を示す。吸着ヒートポンプを低温排熱利用機器として採算ベースに載せて広汎に普及させるためには吸着材が充填された吸着器を小型、高性能化する必要がある。図 4.2.4 (B 図) にはマイクロフィンと呼ばれる小型化された吸着器の一例である。これら低温再生型水蒸気吸着材やマイクロフィン熱交等日本独自の最先端技術を量産化、コストダウンし、実用化することが重要である。



#### 4. 2. 3 施設レベルのシステム技術開発

実施例を以下に示す。

##### 4. 2. 3. 1 中小規模オフィス、学校、データセンター・サーバールーム等

- ・ガスヒートポンプやガスコージェネ（25kW、35kW）等の70～90℃程度の未利用熱を利用する冷熱変換、潜熱変換システム技術の開発。コージェネ（9.9kW）と低温再生可能な小型吸着ヒートポンプの使用イメージ（図4.2.5）。
- ・コージェネと小型吸着式ヒートポンプを組み合わせたデータセンター・サーバールーム向けエネルギーシステム技術の開発。コージェネの排熱で小型吸着式ヒートポンプを駆動し冷却しデータセンター・サーバールームを冷房し、発電した電気はFITで販売するドイツの導入事例（図4.2.6）。

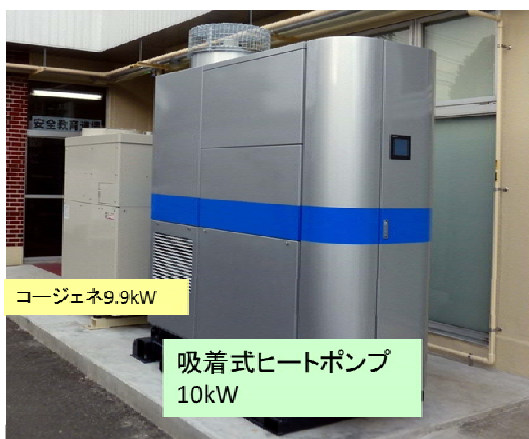


図 4.2.5 コージェネレーションと小型吸着式ヒートポンプの使用例(三菱樹脂)

Serverroom / CHP

invensor  
making life cooler

Technical data	
Chillers.....	3x InvenSor LTC 09
Chilling capacity.....	27 kW
Driving energy.....	CHP unit (Energiewerkstatt) 46 kW th / 21 kW el
Chilled air distribution.....	Fan coils
Chilling station.....	InvenSor KSL 27

**ペイバックタイム: 3年**  
**CO2発生量: 70%off**

Location.....Goslar, Germany  
Operating since .....March 2011

ドイツ・Invensor社パンフレットより<http://www.invensor.com/en>

図4.2.6 ドイツにおけるサーバールームへのコージェネ、小型吸着式ヒートポンプの適用事例（三菱樹脂）

##### 4. 2. 3. 2 ごみ焼却場、プラント等

- ・ごみ焼却場や化学プラント等、カスケード利用の最終段階で利用が困難な60～90℃の排熱をプラント内でエクセルギー再生と冷熱変換をするシステム化技術。500RT以上の低温再生型吸着式ヒートポンプ、温排熱利用ヒートポンプ、電気自動車、燃料電池自動車で熱を輸送する狭域熱輸送システム、高温熱輸送用ケミカルヒートトランスフォーマーの開発等。

##### 4. 2. 3. 3 スマート（熱）EMS

- ・変動する自然エネルギーを最優先活用するための予測／計画技術により、低温未利用熱の有効活用を最大化する。低温未利用熱を直接利用可能な空調システム、低温未利用熱の最適活用制御ロジック等の開発。以上の機能を有する制御システムを開発／実装することで一層の高度化（省エネルギー）が可能となる。

##### 4. 2. 3. 4 小規模に散在する低温未利用熱を効率的に活用する技術の開発

- ・比較的小さな規模で散在する低温未利用熱を、温・冷熱変換等で活用し、省エネルギーや生

産性向上を図る技術の実証。生産現場において未利用熱を空調に活用する事例（図 4.2.7）

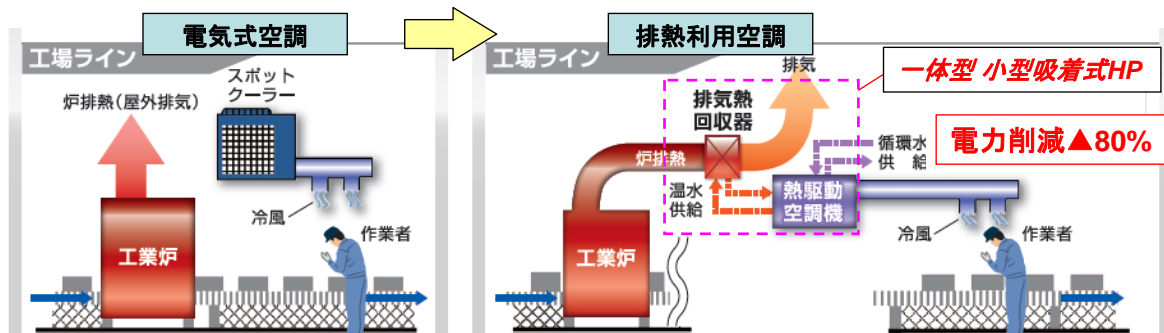


図 4.2.7 生産現場での未利用熱利用化の一例（デンソー）

#### 4.2.4 施設群・街区レベルのシステム開発

実施例を以下に示す。

- ・新築建物を中核として、隣接する既存建物を束ねる方式で複数建物での統合的エネルギー運用、ならびに分散型電源を活用した電力／熱の面的利用によるコージェネ導入の推進。「隣三軒型」の連携・協定による特区としての推進
- ・施設群・街区レベルの熱エネルギーネットワークとしては地域冷暖房がある。ドイツ等寒冷地では冬季の暖房を目的に地域熱供給ネットワークが構築され、日本では公害対策として地域冷暖房ネットワークが構築されが、家庭用エアコンやビル用マルチエアコンの急速な高性能化にともない、当初の目的の公害対策の意義は薄れつつある。そこで分散型電源の最大の課題であるコージェネの排熱を地冷配管に流し、エネルギーセンターに集約することを考える。コージェネの排熱も電気のように既設インフラに流すことで、都市部での分散型電源の普及を図る。コージェネ排熱を地域冷暖房ネットワークにつなぎこんだ際の熱利用技術開発。

##### 4.2.4.1 オフライン熱エネルギーネットワーク

- ・広く・薄く存在する排熱を回収し、再利用するコンセプトはオンライン熱エネルギーネットワークと同様であるが、地域冷暖房ネットワークが存在しない地域の方が日本では多い。そこで、コージェネの排熱を蓄熱容器に蓄熱し、熱輸送し、病院、老人ホーム、スーパー銭湯等熱需要のある比較的大きな施設で給湯需要として使用する、あるいは冷熱転換し、オフィスや劇場等冷房需要がある比較的大きな施設で冷房として使用するシステム技術の開発。

##### 4.2.4.2 水素エネルギーネットワークとの連携

- ・水素エネルギーネットワークでは、水素ステーションや大規模燃料電池サイトにて水素キャリアのメチルシクロヘキサン（MCH）の脱水素反応に MCH を加熱する必要がある。この加熱源として、民生・産業での未利用熱エネルギーをオンラインもしくはオフラインで熱輸送し、MCH の加熱に利用するシステム技術の開発。

#### 4. 3 水素エネルギーネットワーク

##### 4. 3. 1 必要性と具現化の方向性

###### 4. 3. 1. 1 水素エネルギーネットワークの意義

NENSに水素エネルギーネットワークを組み込む意義・メリットを3E (Economy, Energy Security, Environment)の視点で整理すると以下が挙げられる。

###### Economy (経済性)

- ・熱エネルギーや電気エネルギーへの変換が比較的容易に行える
- ・熱エネルギーや電気エネルギーに比して時間の経過によってエネルギー量が減じにくいいため、貯蔵／輸送に際して時間的・空間的な制約が少ない

###### Energy Security (エネルギー安全保障)

- ・石油、天然ガス、石炭等の化石燃料や、太陽光、太陽熱、風力、水力、バイオマス等の非化石エネルギー等、多様な一次エネルギーより製造可能
- ・製油所で製造する水素に加え、製鉄、電解等からの副生水素も供給源として利用可能

###### Environment (環境)

- ・熱エネルギーや電気エネルギーへの変換時にCO<sub>2</sub>を排出しない

従って、NENSの構築に際しては熱や電気のエネルギーネットワークでは難しい長期・大量の貯蔵や国境を超えるレベルの長距離輸送を水素が担うことが期待される。例えば需要地から離れた適地にて水素を製造し、需要地へ輸送したうえで水素そのものや、熱・電気エネルギーに変換して供給する形態が考えられる。既に海外では、水素の特性を活かしたPower to Gas実証が進められている。(添付資料 別項4. 参照)

###### 4. 3. 1. 2 水素エネルギーの現状

これまでは、水素は天然ガス・石油等の化石燃料と比較し、単位体積当たりのエネルギー密度が低く、貯蔵・輸送の観点では不利であるため、一部の産業用途に限定されており、エネルギーキャリアとして大規模かつ広域的に活用されてこなかった。

###### 4. 3. 1. 3 有機ハイドライドによる大規模・広域水素エネルギーネットワーク

大規模・広域エネルギーネットワークを支える貯蔵・輸送キャリアの要件としては、3E+S (Safety)の観点で以下が求められる。

- ・取扱いが容易で安全
- ・長期間かつ大量の貯蔵が可能
- ・大量の輸送が可能
- ・貯蔵・輸送に伴うロスが少ない
- ・低コストで輸送・貯蔵が行える

水素の輸送・貯蔵キャリアとしては、有機ハイドライド(※1)、液体水素、圧縮水素、水素吸蔵合金等考えられるが、現在このうち液体水素・圧縮水素のみが産業用途向けに商業化されている。

今後、水素がエネルギー用途に利用拡大を図るにあたり、有機ハイドライドが期待されている（別項5. 参照）。同方式はトルエン等の性質が石油と類似した常温常圧で液体の物質を水素のキャリアとして、輸送・貯蔵を行うもので、前述のエネルギーネットワークを支える貯蔵・輸送キャリアの要件を満たす。加えて、有機ハイドライド方式は既存の石油精製・流通インフラをそのまま活用でき、輸送・貯蔵インフラ整備に必要な投資を最小限とすることができる。

また、有機ハイドライドから水素を取り出す反応は吸熱反応であり、この熱に他の未利用排熱源を利用することができれば、社会全体で無駄に捨てているエネルギーの有効活用も寄与できる。

（図 4.3.1 参照）

すなわち、有機ハイドライドによる大規模・広域水素エネルギーネットワークは、3E+S の実現に大きく寄与するものである。

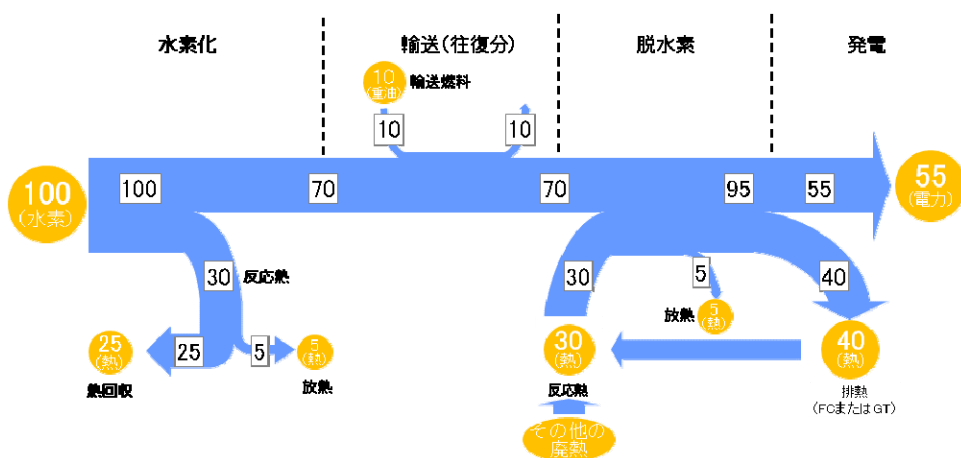


図 4.3.1 有機ハイドライドのエネルギー効率（例）

※1:有機ハイドライドとは（例）

トルエン（TOL、常温常圧で液体）と水素を結合させて得られるメチルシクロヘキサン（MCH、常温常圧で液体）として水素を輸送する。MCH から水素を取り出した後の TOL は返送し、再び水素キャリアとして利用する。（図 4.3.2 参照）同方式の実証プラントは 2013 年 4 月に神奈川県横浜市の千代田化工建設子安リサーチパーク内にて運転を開始した。（添付資料 別項 3. 参照）

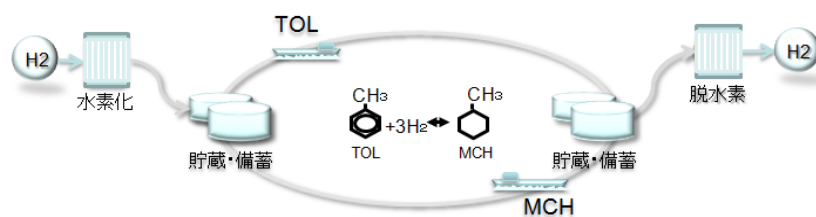


図 4.3.2 有機ハイドライドの MCH/TOL 循環システム

4. 3. 1. 4 水素の供給源

現在、商業化されている水素の供給源としては以下がある。現在、高分子電解法や光触媒法等、様々な水素製造技術が研究開発段階にあるが、今後、これらが実用レベルになれば、再生可能エネルギー等を用いた水素製造も可能となる。

### 商業化済の水素供給源

- ・化石燃料を由来とする製油所等での目的生産水素
- ・製鉄プラントのコークス由来の副生水素
- ・ソーダ電解プラントからの副生水素

### 研究・開発・実証段階の水素製造方法

- ・水電解法による再生可能エネルギーからの水素製造
- ・光触媒法による再生可能エネルギーからの水素製造
- ・熱化学法（IS法等）による、核燃料炉、太陽焦光炉での水素製造

再生可能エネルギーは需要地の遠隔地に賦存しており、水素の大量貯蔵／輸送技術を同時に確立することが欠かせない。有機ハイドライド方式が実用化すれば、これら再生可能エネルギー由来の水素を需要地に大量に輸送することができ、多様な一次資源をベストミックスすることが可能になると考えられる。

#### 4. 3. 2 有機ハイドライドを軸とした水素エネルギーネットワークの意義と構築シナリオ

##### 4. 3. 2. 1 普及ポテンシャル

発電用燃料への適用に着目した場合、CO<sub>2</sub>発生量を2010年度版エネルギー基本計画で目標とした1.6億トン／年に抑制する一つの方策として水素を利用することが考えうる。そのために例えば、2030年で発電用燃料の24%程度を水素へ転換すると、1,390億Nm<sup>3</sup>/年の水素が必要となる。（図4.3.3参照）

また、燃料電池車への水素供給に着目した場合、2013年の国内乗用車保有台数5,900万台（自動車情報センターHPより）すべてが燃料電池自動車へ転換された場合の必要水素量は446億Nm<sup>3</sup>/年と想定される。

双方合わせて、エネルギー用途としては約1,800億Nm<sup>3</sup>/年の水素の普及ポテンシャルとなる。

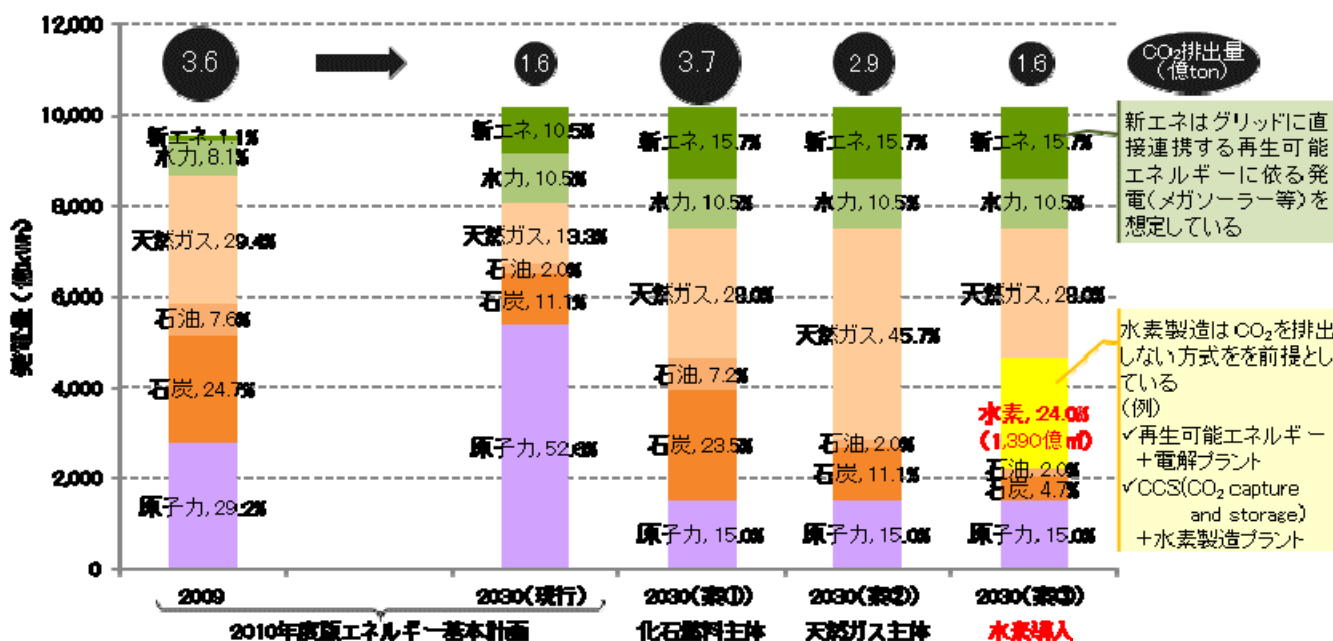


図 4. 3. 3 2030年時点の発電エネルギーソース構成

#### 4. 3. 2. 2 産業競争力への貢献

有機ハイドライド方式の水素エネルギーネットワークは、日本オリジナルのエネルギー流通インフラ技術であり、海外におけるエネルギーインフラビジネスの展開も期待できる。また、既存の高圧方式と比べ、貯蔵・輸送性に優れ、経済的に水素を流通可能な距離が拡大する。燃料電池自動車の本格普及期には、全国各地で水素需要が増加するが、有機ハイドライド方式によって需要に見合う供給手段を確保できれば、燃料電池自動車の円滑な普及拡大を下支えする。国際的にも高いレベルで燃料電池自動車の技術を保有している国内自動車メーカーの競争力を一層強化することが期待される。

加えてこれまで活用されてこなかった世界各地に豊富に賦存する再生可能エネルギー資源を新たな水素源として活用することが可能となる。世界各地からクリーンな再生可能水素を安価に安定的に調達できれば、エネルギー資源に乏しい我が国にとって、国内の経済活動の発展と産業競争力の強化にも大きく寄与するものである。

#### 4. 3. 2. 3 導入・普及の方策

需要、供給、輸送、貯蔵の4つに分けて整理をする。

##### ①需要

製油所では、水素等を含むオフガス（副生ガス）をボイラ燃焼して発電する等の実績がある。従って、まず自家発電・IPP等で比較的小規模の技術・社会実証を行い、その後、スケールアップして事業用大型発電に展開するシナリオがあり得る。

小型分散型発電・輸送用燃料向けの需要も、小型の脱水素設備の開発に伴い伸長が期待できる。

##### ②供給

現存する国内の製油所・化学工場等からの水素に加えて、海外での化石燃料由来の水素製造等が、経済的な大量の供給源として期待できる。その際に発生する二酸化炭素は、EOR (Enhanced Oil Recovery) での利用を推進する。

将来は、需要の拡大に伴い、水素製造を主目的とした水素供給プラントの整備が進むものと想定される。その際には以下に例示するようなCO<sub>2</sub>排出を伴わない方式も考えられる。

- i 化石燃料(天然ガス・随伴ガス・石炭・石油残渣等) + CCS (Carbon capture and storage)
- ii 再エネ発電(風力、水力、太陽光等) + 電解

##### ③輸送

幹線部の輸送に関しては、大型タンカーを活用した輸送インフラの整備が進む。また、面的な小ロットの輸送インフラの整備には、有機ハイドライドの性状が石油と近い事を活かし、既存の石油物流インフラを活用する。

##### ④貯蔵

高い貯蔵性を活かし、太陽光・風力発電等の電力の需給の時間的ギャップを解消するエネルギー貯蔵も期待される。特に、季節間の需給ギャップ(例：春は発電量>需要量、夏は発電量<需要量、等)の調整は二次電池等では難しく、水素が補完できると考えられる。

具体的には発電設備の近傍に電解設備と水素化設備を設けて、低需要期の余剰電力をMCHとし



て貯蔵、高需要期に電気・熱エネルギーに変換する形態が想定される。

#### 4. 3. 2. 4 導入・普及に向けた課題

以下の3つが挙げられる。

##### ①研究開発、技術・社会実証

有機ハイドライド方式のサプライチェーンにおいて、製造（水素化）・貯蔵・輸送に関しては基本的な技術は既に確立しているが、脱水素技術については個別の用途（自家発電・IPP、事業用大型発電、小型分散型発電、水素ステーション等）毎に検討状況が異なり、さらなる研究開発や技術・社会実証の推進が必要である。とりわけ、小型の脱水素システム技術は確立しておらず、水素ステーションや小型分散型発電等への適用において大きな課題となっている。また、光触媒等により、再生可能エネルギーから直接的に有機ハイドライドを合成する次世代技術については、基礎研究の端緒についたところで、今後更なるブレークスルーが望まれる。

##### ②法規制の適正化

有機ハイドライドによる水素エネルギーネットワークの構築は、表面的にはMCHとTOLの物流網の構築を意味する。技術的には既存の石油・化学品物流のインフラが利用可能で大きな課題はないが、法制度は両物質を中間製品・製品として化学工場等で取扱うことを前提としており、エネルギーキャリアとして大量に輸送・貯蔵することを想定していない。このため、安全対策等を前提に、法規制の適正化は重要な課題である。

海外から水素を有機ハイドライドで輸送することを想定した場合、例えば、IMO(International Maritime Organization・国際海事機構)コードによりケミカルタンカーの船倉サイズの上限が定められている。これにより、タンカーの大型化によるコスト低減が減殺されることが懸念される。

また、有機ハイドライド型の水素ステーションを想定した場合、市街地に設置するための規制・基準が未整備なため、仮に化学工場を前提とした法規制に則ると、広大な敷地が必要となり、コスト上昇とともにステーション立地選定の大きな障害となる。

##### ③社会的便益に見合った制度設計

水素エネルギー導入は、3E+S という国家的な便益に資する基盤インフラを新たに整備する国家事業を伴う。事業者のみがすべてのコストを負担することは困難である。国の確固たるエネルギー基本戦略に従って、国民全体が享受する社会的便益に見合ったコスト負担を広く薄く行う制度設計が不可欠である。

発電用途に関しては系統連系を行う水素発電向けにはFITが一つの選択肢としてあるが、系統に連系しない自家発電やコージェネ発電等の分散型電源向けには、どのような制度（補助・優遇等）でインセンティブを付与するかの検討が必要となる。

尚、個別の用途への導入に際しては上記も含めて、より多くの具体的な課題が想定される。本提言では水素エネルギーネットワークの構築に重要と考えられる用途の中から以下の2つに着目



し、現状と発展シナリオ、そのために解決すべき課題を用途毎に整理する。

- i) 大型発電への水素導入
- ii) 小型分散（水素ステーション・コージェネレーション等）水素供給

#### 4. 3. 3 用途別の発展シナリオと課題

##### 4. 3. 3. 1 大型発電への水素供給

###### I 現状と想定される将来像

現状、製油所のオフガス中の水素やソーダ電解工場にて副生する水素について、自家発電での混焼や、配管や液体水素により産業向けに小規模な供給は行われている。しかし、その多くは余剰分の有効利用の範囲にとどまり、発電用途を主目的とした水素導入は進んでいない。

まずは自家発電・IPP等の比較的小規模の発電設備の実証からスタートし、将来的には大規模に調達した水素の利用を想定した事業用大型発電での実証が必要となる。また、長期的には水素専焼発電も期待される。

###### II 解決すべき課題

大型発電への水素供給の実現のために解決すべき課題を①研究開発、技術・社会実証、②法規制の2面から取りまとめると以下のとおりとなる。

###### ①研究開発、技術・社会実証

###### **【水素混焼率の向上】**

ガスタービンやボイラでの水素混焼は既に行われているが、大量の水素混焼を前提としていない。混焼率の向上のためには研究開発が必要となる。

###### **【排熱と脱水素プロセスとのインテグレーション】**

有機ハイドライドから水素を取り出す脱水素プロセスは吸熱反応であるから、外部からの排熱を取り込むことで総合効率の向上が期待できる。すなわち、発電設備等の排熱設備と脱水素設備のプロセスのインテグレーションが重要である。

具体的には、以下のようなケースについて一体的なプロセスとしての最適化が必要となる。

- i) ガスタービン⇒(排熱)⇒脱水素プロセス
- ii) 燃料電池⇒(排熱)⇒脱水素プロセス
- iii) 一般の工場等⇒(排熱)⇒脱水素プロセス

###### ②規制の適正化

従来、エネルギーキャリアとしての利用を想定していなかったMCH・TOLによるエネルギーネットワークの構築に対応した関連法規制の適正化及び、電気ネットワークとの結合のための関連法規制の適正化が必要となる。

##### 4. 3. 3. 2 小型分散（水素ステーション・コージェネレーションシステム）水素供給

###### I 現状と想定される将来像

現在、技術・社会実証が進められている水素ステーションは、化石燃料を水素ステーションで改質するオンサイト型と、製油所等で改質した水素をステーションに供給するオフサイト型に大

別される。このうち、オフサイト型については、圧縮水素トレーラーによる高圧水素輸送方式は一度に輸送できる量が限られ(※)、大量供給・輸送コストの削減が課題である。

有機ハイドライドは、既存の石油流通インフラ(出荷基地、タンクローリー等)を利用し、大量の水素を常温常圧で安全かつ安価に貯蔵・輸送が可能(※)であり、FCVの本格普及期の水素需要に応えることが可能と考えられる。

※ガソリン用タンクローリー(20kL)1台 ⇒乗用車400台分の燃料が輸送可能

圧縮水素トレーラー(300kg)1台 ⇒乗用車90台分の燃料が輸送可能

ケミハイ用タンクローリー(20kL)1台 ⇒乗用車300台分の燃料が輸送可能

さらに、小ロットの水素輸送ネットワークの整備によって、商業施設や住宅向けのコージェネレーションシステムへの水素導入につながる。具体的には以下の2つが想定される。

- ・燃料電池式コージェネ
- ・ガスタービン式コージェネ

また、発展形として水素ステーションがコージェネレーションシステムを取り込む形で地域の水素・電力・熱供給拠点となる姿も想定される。このような小型分散型のエネルギー供給拠点の整備には次のようなメリットが期待できる。

#### ①災害にも強い自立型のエネルギー供給機能の提供

常温常圧の液体で安定的に水素を大量に貯蔵し、自立分散で電力・熱供給が可能であることから、災害時の地域のエネルギー供給拠点としての役割が期待できる。

#### ②再生可能エネルギーを有効利用するための電力貯蔵機能の提供

各地で、太陽光・風力等の再生可能エネルギーによる発電施設の計画・建設が推進されているが、出力変動が大きく系統安定の観点から電力網の受け入れが困難な状況も発生している。この課題に対し、短周期の変動吸収は二次電池や機械的エネルギー貯蔵機構により行い、長周期需給ギャップを水電解設備と有機ハイドライド貯蔵で解消することが考えられる。貯蔵されたエネルギーは、水素・電力・熱として近傍の需要先へ供給され、再生可能エネルギーの有効利用が期待できる。

## II 解決すべき課題

### ①技術

#### **【脱水素装置の小型化】**

有機ハイドライドから水素を取り出す脱水素装置は、大型プラントへのスケールアップを念頭においた実証プラントが現在稼働中である。一方で、水素ステーション等の小型分散用途を実現するためには、脱水素装置の小型化技術の開発が不可欠であり、今後の課題である。

#### **【脱水素プロセスの低温化】**

小規模な装置を分散して配置するために、ローカル熱エネルギーネットワークから熱供給を受け、総合効率を上げる必要がある。現状より低い温度で運転可能な脱水素装置の開発が課題となる。

### 【燃料電池の大容量化&負荷追従対応】

大規模商業施設等向けに負荷追従が行える大型燃料電池が必要となる。

### 【熱電需給マネジメントシステムの構築】

水素ステーションやコージェネレーションシステムにおいては、周辺部との熱融通と周辺部への電力供給を考慮し、システム全体（脱水素・発電・熱供給）としての総合効率を上げるマネジメントシステムの構築が必要となる。具体的には以下のような姿が想定される。

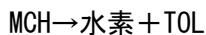
- i) コージェネレーションシステムから得られる電力・熱を周辺部に供給するとともに発電装置の排熱を脱水素装置に供給。
  - ii) 熱発生施設（ごみ焼却場、工場等）近傍に脱水素プロセスを設置、熱発生施設からの排熱を脱水素プロセスに供給
- i、ii いずれも熱輸送技術の発展により、遠隔地間での熱融通が可能となることも期待できる。

## ②法規制の適正化

以下の3つの観点から法規制の適正化が必要になると想定される。

### 【脱水素プロセスの位置づけ】

脱水素プロセスにおいては、以下の反応が行われる



水素とそのキャリアである TOL が結合した MCH から水素を分離する、まさに「脱水素反応」であるが、法律上危険物（TOL）の製造とみなされる可能性がある。脱水素反応で生じる TOL は、回収して水素化工程で再利用される。つまり水素の容器であり、TOL の製造を目的に MCH から水素を分離するわけでは無い点を踏まえた法規制の適正化が必要となる。

### 【燃料としての位置づけ】

現在、軽油・ガソリンは主要な燃料の一つとして位置づけられ、面的な輸送ネットワーク構築を想定して法が整備されている。一方で、軽油やガソリンとリスクが大きく違わない MCH・TOL は化学工業の中間製品・製品として主に化学工場で取扱うと想定して法が整備されている。安全対策を前提に、燃料の供給ネットワークを念頭に置いた法規制の適正化が必要となる。

### 【エネルギー供給拠点としての位置づけ】

水素ステーションやコージェネレーションシステムが周辺地域へ水素・電気・熱を供給するケースも想定される。水素・電力・熱の融通を行い易くするために関連法規制の適正化が必要となる。

## 4. 4 エネルギーネットワーク間の相互変換とエネルギー貯蔵

表 4.4.1 は、電気・熱・水素間の相互変換技術について例示したものである。電気から水素のエネルギー変換技術については、今後、出力変動が激しい、風力や太陽光発電の増加が見込まれ、これらの連系により系統問題が生じる可能性が高い。そこで再生可能エネルギーの電力を電気分解により水素に変換し、大量貯蔵する技術開発が期待される。熱から電気のエネルギー変換技術については、日本は世界第3位の地熱資源量を有しており、地熱発電やバイナリー発電の積極的

な利用が期待される。水素から電気のエネルギー変換技術については、既に実用化されているリン酸形燃料電池 (PAFC) 及び、発電効率が 60%に達すると期待される固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の実用化が望まれる。

表 4.4.1 電気・熱・水素間の相互変換技術

	電気	熱	水素
電気	/	誘導加熱 マイクロ波誘電加熱 抵抗加熱 遠赤外加熱 アーク・プラズマ加熱	水電気分解
熱	バイナリー 熱電素子 蒸気タービン LNG 冷熱 スターリングエンジン	ヒートポンプ 吸着式ヒートポンプ	高温ガス炉 熱化学分解法
水素	燃料電池 水素発電 (ガス混焼)	燃料電池 水素発電 (ガス混焼)	/

また広域に分散配置された NENS のエネルギー融通を行う CEMS を統合する機関としては、送配電システムを運用する広域的運用機関相当が想定され、そのような機関は公平性・独立性を持ち、エネルギーバランスの実現に対して権限を持たせるような制度の構築が必要である。

## 5. 施策実現による定量的な効果試算

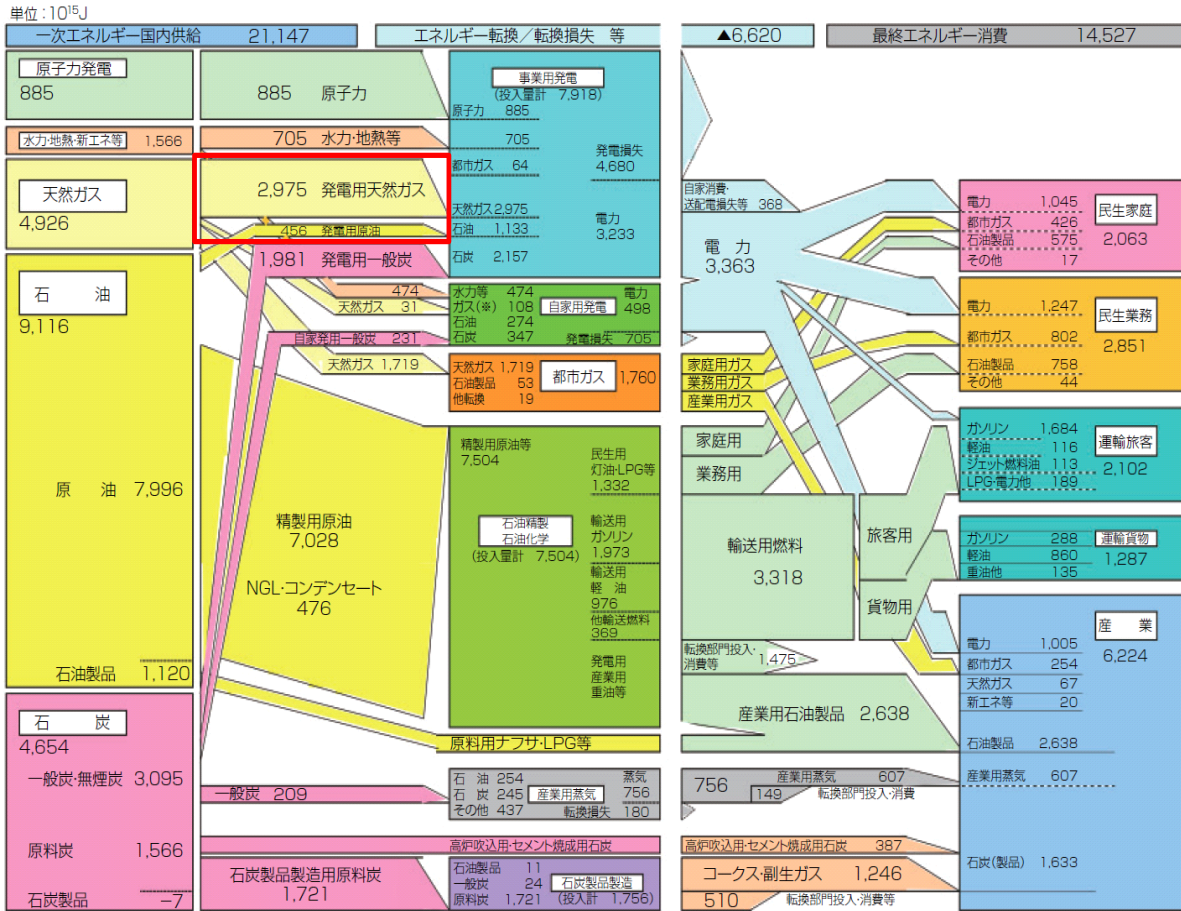
### 5. 1 電気エネルギーネットワークにおける NENS 導入の効果試算

図 5.1.1 に我が国のエネルギーバランス・フローの概要を示す。発電・転換部門で生じるロスを含め国内において必要となるすべてのエネルギー供給量を一次エネルギーとし、最終的に消費者に使用されるエネルギー量を最終エネルギー消費と呼ぶとすると、日本の国内一次エネルギー供給を 100 とすれば、最終エネルギー消費は 2011 年度では 69 程度であった (文献 1)。

これを踏まえて、NENS 導入による効果試算が可能な電気エネルギーネットワークの項目を以下に列挙し効果試算を行う。

#### (1) 再生可能エネルギー導入量の増分による一次エネルギーの削減量

太陽光発電設備の導入目標は 2020 年で 28GW であるが、配電システムに SiC パワエレ機器を適用した NENS を導入すると、8GW 増やすことが可能と試算している。この 8GW が火力発電設備からすべて置き換わると仮定し、太陽光発電設備の設備利用率が 12%、設備利用率の低い石油火力発電設備の設備利用率を 30%と想定すると (文献 4)、 $8\text{GW} \times 12\% \div 30\% = 3.2\text{GW}$  の石油火力発電設備を太陽光発電設備に置き換えることが可能となる。また、2011 年において石油による火力発電設備の容量はおよそ、47.5GW (250GW の 19%) であるから、6.7%の石油火力発電設備が太陽光発電設備に置き換わる計算になる。図 5.1.1 から石油火力発電用に使われる一次エネルギーは、1,407PJ であるので、この 6.7%の 94.3PJ が本開発により減らせる一次エネルギーとなる。



- (注1) 本フロー図は、我が国のエネルギーフローの概要を示すものであり、細かいフローについては表現されていない。特に転換部門内のフローは表現されていないことに留意。
- (注2) 「石油」は、原油、NGL・コンデンサートの他、石油製品を含む。
- (注3) 「石炭」は、一般炭、無煙炭の他、石炭製品を含む。
- (注4) 「自家発電」の「ガス」は、天然ガス及び都市ガス。

図 5.1.1 我が国のエネルギーバランス・フロー概要 (2011年度、単位 10<sup>15</sup>J) (文献1)

表 5.1.1 に太陽光発電設備の導入量を 2020 年度に 28GW、2030 年度に 53GW、2050 年度に 100GW 導入したシナリオにて、火力発電設備を太陽光発電設備に置き換えた場合の一次エネルギーの減少による削減量を試算した結果を表 5.1.1 にまとめた。

表 5.1.1 太陽光発電設備の導入量増分と一次エネルギーの削減量の試算

シナリオ	太陽光発電設備 導入量の増分	火力発電設備か らの置き換え分	一次エネルギー 一の削減量	備考
2020 年度	8 GW	3.2 GW	94PJ	従来 PV 導入量 28GW
2030 年度	15 GW	6.0 GW	177PJ	従来 PV 導入量 53GW
2050 年度	29 GW	11.6 GW	343PJ	従来 PV 導入量 100GW

(2) 発電効率の向上による一次エネルギーの削減量

太陽光発電設備において、PCS に使用するデバイスが 2020 年から従来の Si から SiC にすべて置き換わると仮定する。この場合、2020 年度は表 5.1.1 より、PV 導入量は 28GW+8GW=36GW となる。

2030 年度は同様に、PV 導入量は 53GW+15GW=68GW であり、2050 年度では 129GW となる。

従って、2020 年度を起点に 2050 年度迄で、SiC を搭載した PCS は 72GW 増設されることになり、PCS の効率が 95%から 98%へ 3%効率が向上すると想定すると、 $72\text{GW} \times 3\% = 2.2\text{GW}$  の発電損失が改善される。さらに、全体の発電設備容量を 250GW とすると、2.2GW は 0.9%に相当する。図 5.1.1 より総発電損失が 4,680PJ とすると、この 0.9%が SiC-PCS 導入による一次エネルギーの削減量に相当し、 $4,680\text{PJ} \times 0.9\% = 42.1\text{PJ}$  となる。

2030 年度、2050 年度における上記の一次エネルギーの削減量の試算結果を表 5.1.2 にまとめた。

表 5.1.2 SiC-PCS の導入量と一次エネルギーの削減量の試算

シナリオ	SiC-PCS 導入量	一次エネルギーの削減量	備考
2020 年度	0 GW	—	PV 導入量 36GW
2030 年度	25 GW	15PJ	PV 導入量 68GW
2050 年度	72 GW	42PJ	PV 導入量 129GW

### (3) 送配電損失の改善による一次エネルギーの削減量

図 5.1.1 によれば、送配電損失は 368PJ ある。このうち 60%が配電システムの損失と考えられている。配電システムパワエレ機器を適用した NENS の導入によりシステムの効率的運用が可能となり、配電システムの潮流アンバランス等が改善されると考えられる。ここでは、その効果として配電損失が 20%低減すると想定した。これより、送配電損失改善による一次エネルギー低減は、 $368 \times 0.6 \times 0.2 = 44\text{PJ}$  となる。

### (4) 再生可能エネルギーの大量導入による対策費の抑制額

配電システムへの太陽光大量導入対策として、以下の配電機器の設置を仮定する。

- ・ SVC=1 変電所当たり 20 台、15 百万円/台 (Si 素子)
- ・ LBC=1 変電所当たり 4 台、180 百万円/台 (Si 素子)
- ・ SVR= 1 変電所あたり 80 台、5 百万円/台

上記より、1 変電所当たりの対策費は、9.8 億円となる。これを SiC 素子で作成したパワエレ機器に置き換えると、コストは SVC で 1/2、LBC で 1/3 になり、SVR は廃止し、代わりに電子式柱上変圧器 (1 変電所当たり 1440 台、0.2 百万円/台) を置くことになる。このときの 1 変電所当たりの対策費は 5.6 億円となる。したがって、SiC パワエレ配電機器の導入により、1 変電所あたり 4.2 億円のコスト削減効果がある。

全国に配電用変電所は約 5,000 箇所あるが、2050 年の PV 導入量 129GW においては、全変電所の 50%に上記対策が必要であると仮定すると、SiC パワエレ配電機器による対策費削減効果は、累計で  $4.2 \text{ 億円} \times 2,500 = 1.05 \text{ 兆円}$  である。2020 年以降 30 年かけて設備導入を行うとすると、対策費の抑制額は 350 億円/年となる

(5) 発電で発生した熱エネルギーの再利用による一次エネルギーの削減量

NENS では、分散型発電（コージェネレーション）の導入が促進される。文献5によれば、コージェネレーションは総合エネルギー効率が約 70%（発電効率 27.2%+熱回収効率 42.7%）と高い。また、電力需要を系統電力（効率 40%）で、熱需要をボイラ（効率 90%）で賅った場合よりも、一次エネルギーを削減でき、コージェネレーション導入により一次エネルギーを約 13%削減できると試算している。

コージェネレーションの導入量は、2010年時点で 940 万 kW であり、これは全発電設備容量 250GW の 3.8%に相当する。総合資源エネルギー調査会基本問題委員会では、2030 年にコージェネレーションの発電電力量を 15%にすると想定している。

一方、図 5.1.1 より必要な電力は 3,363PJ で、内訳は、コージェネ=3,363×3.8%=128PJ、系統電力=3,235PJ、である。このとき必要な一次エネルギーは、コージェネ向け=128/0.272=471PJ、系統電力・ボイラ向け=3,235/0.272/(1-0.13)=13,671PJ、であり、必要な一次エネルギー合計は=14,142PJ (A) である。

ここで、コージェネレーションの比率を 15%に上げると、内訳は、コージェネ=3,363×15%=504PJ、系統電力=2,859PJ、となる。このとき必要な一次エネルギーは、コージェネ向け=504/0.272=1,853PJ、系統電力・ボイラ向け=2,859/0.272/(1-0.13)=12,082PJ、となり、必要な一次エネルギー合計は 13,935PJ (B) となる。

従って、コージェネレーションの比率向上による一次エネルギー削減量は A-B=14,142-13,935=207PJ となる。

上述した電気エネルギーネットワークにおける NENS 導入による効果試算結果を表 5.1.3 にまとめた。2050 年断面において、NENS 導入による一次エネルギー削減効果は、636PJ/年であると推定される。

表 5.1.3 NENS 導入による電気エネルギーネットワークの効果試算

項目	一次エネルギー削減効果 (PJ/年)	試算値算出の仮定
RE 導入量増	343	2050 年に PV 導入量 129GW
発電効率向上	42	2050 年に PV 導入量 129GW, 3%効率向上
送配電損失向上	44	送配電損失の内 60%が配電損失, 配電損失が 20%低減すると仮定
熱エネルギー-再利用	207	熱利用促進, コージェネレーション導入拡大 (15%)
合計	636	

【参考文献】

- 文献 1：経済産業省 資源エネルギー庁「平成 24 年度 エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書）」  
 文献 2：新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）に関する見直し検討委員会」報告書  
 文献 3：日経エレクトロニクス  
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/TOPCOL/20091218/178688/>  
 文献 4：電力中央研究所報告 「我が国の原子力停止の状況における火力燃料費の増加とその変動リスク」  
 文献 5：熱電併給（コージェネ）推進室 資料集, 資源エネルギー庁, 平成 24 年 9 月



## 5. 2 熱エネルギーネットワークにおける NENS 導入の効果試算

熱エネルギーネットワークとして、未利用熱利用機器の導入促進による省エネ量、経済波及効果の効果試算を行ったので、その概要を下記に詳述する。

### (1) 小型吸着式ヒートポンプ

小型吸着式ヒートポンプについて、工業炉、バスエアコン、ガスヒートポンプ、給湯器に適応された場合の指標 A（効果量）を表 5.2.1 に示す。業務用・家庭用燃料電池（SOFC）やコージェネレーションに広く普及する等適用範囲が拡大するとの前提で 2050 年時点での累計導入台数を指標 B（導入量）に示す。結果、小型吸着式ヒートポンプでは 216PJ の一次エネルギー削減効果があると試算される。

#### ① 工業炉の排熱空調

<指標 A：単位当たりの省エネルギー効果>

従来機 1 台あたりに必要な冷房エネルギーは 3.9kW、4,000h であり

$$15,600\text{kWh}/\text{年} \times 3.6\text{MJ}/\text{kWh} = 56,160\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台})$$

開発機 1 台あたりに必要な冷房エネルギーは

$$4,000\text{kWh}/\text{年} \times 3.6\text{MJ}/\text{kWh} = 14,400\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台})$$

開発機 1 台当たりの年間省エネルギー量は

$$56,160\text{MJ}/\text{年} - 14,400\text{MJ}/\text{年} = 41,760\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台})$$

<指標 B：2050 年時点の市場導入（普及）量>

マイクロフィン吸着器を用いた吸着式ヒートポンプが適用される市場規模は、2050 年で累計 911 千台である。

<省エネルギー効果量>

$$2050\text{年} \quad 41,760\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台}) \times 911,000\text{台} = 38\text{PJ}/\text{年}$$

#### ② エンジン排熱を利用したバスエアコン

<指標 A：単位当たりの省エネルギー効果>

本年度のサーベイ評価結果からバス 1 台あたり削減可能なエネルギー量は従来機 1 台あたりに必要な冷房シーズン及びアイドルでの燃料は軽油で

$$10,200\text{L}/\text{年} \times 37.7\text{MJ}/\text{L} = 384,540\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台})$$

開発機 1 台あたりに必要な冷房シーズン及びアイドルでの燃料は軽油で

$$9,050\text{L}/\text{年} \times 37.7\text{MJ}/\text{L} = 341,185\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台})$$

開発機 1 台当たりの年間省エネルギー量は

$$384,540\text{MJ}/\text{年} - 341,185\text{MJ}/\text{年} = 43,355\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台})$$

<指標 B：2050 年時点の市場導入（普及）量>

マイクロフィン吸着器を用いた吸着式ヒートポンプが適用される市場規模は、2050 年は路線バスまで展開し、累計 325 千台を見込んでいる。

<省エネルギー効果量>

$$2050\text{年} \quad 43,355\text{MJ}/(\text{年}\cdot\text{台}) \times 325,000\text{台} = 14\text{PJ}/\text{年}$$

#### ③ エンジン排熱を利用したガスヒートポンプ

<指標 A : 単位当たりの省エネルギー効果>

従来のガスヒートポンプのエネルギー効率は 1.43 であるが、本年度の研究成果よりガスヒートポンプのエンジン排熱を用いて吸着式ヒートポンプを冷房動作させ、この冷熱と冷凍サイクルのコンデンサ出口冷媒とを熱交換し過冷却させることでエネルギー効率 (COP) を 20% 向上できる。ガスヒートポンプの年間冷房負荷は、16 馬力のガスヒートポンプで年間 1,805 時間冷房稼動 (JIS-B7627-1) したとすると年間冷房負荷は 291,110MJ/年台となる。

従来機 1 台当たりに必要な冷房エネルギーは

$$291,110\text{MJ}/\text{年} \div 1.43 = 203,573\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台})$$

開発機 1 台当たりに必要な冷房エネルギーは

$$291,110\text{MJ}/\text{年} \div 1.71 = 170,240\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台})$$

開発機 1 台当たりの年間省エネルギー量は

$$203,573\text{MJ}/\text{年} - 170,240\text{MJ}/\text{年} = 32,333\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台})$$

<指標 B : 2050 年時点の市場導入 (普及) 量>

マイクロフィン吸着器を用いた吸着式ヒートポンプが適用される市場規模は、2050 年には累計で 840 千台を見込んでいる。

<省エネルギー効果量>

$$2050 \text{年} \quad 32,333\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台}) \times 840,000 \text{台} = 27\text{PJ}/\text{年}$$

#### ④吸着ヒートポンプの給湯機プレヒート利用

<指標 A : 単位当たりの省エネルギー効果>

業務用給湯器の一次エネルギー効率は潜熱回収機能のある高効率給湯器で 0.95 であるが、吸着式ヒートポンプを適用して水道水のプレヒートを行うと一次エネルギー効率は 1.20 (年間平均) まで向上する。業務用給湯器の年間給湯負荷は、50 号の業務用給湯で 15,000L/日使用、稼動日数 320 日とすると年間給湯負荷は 502,356MJ/年台となる。

従来機 1 台当たりに必要な一次エネルギーは

$$502,356\text{MJ}/\text{年} \div 0.95 = 528,796\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台})$$

開発機 1 台当たりに必要な一次エネルギーは

$$502,356\text{MJ}/\text{年} \div 1.20 = 440,663\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台})$$

開発機 1 台当たりの年間省エネルギー量は

$$528,796\text{MJ}/\text{年} - 440,663\text{MJ}/\text{年} = 88,133\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台})$$

<指標 B : 2050 年時点の市場導入 (普及) 量>

マイクロフィン吸着器を用いた吸着式ヒートポンプが適用される市場規模は、2050 年には累計で 156 万台を見込んでいる。

<省エネルギー効果量>

$$2050 \text{年} \quad 88,133\text{MJ}/(\text{年} \cdot \text{台}) \times 1,560,000 \text{台} = 137\text{PJ}/\text{年}$$

#### (2) 大型吸着式ヒートポンプ

化学プラント等で使用される高効率電気式チラー (本体 COP=6) を吸着式ヒートポンプで代替した場合の、消費電力及び原油消費量の削減メリットを算定した結果を図 5.2.1 示す。

注)算定条件:冷凍機年間稼働時間=8,400時間(\*0.5ヶ月:保守停止期間)、冷凍能力=100RT  
(350kW)クラス、原油換算係数=0.255L/kWh

結果、1年間(8,400時間)使用した場合、260MWh、原油換算66.3kL省エネ効果が得られる。  
仮に50万トンのエチレンプラントにおいて高効率電動チラーを低温再生型吸着式ヒートポン  
プに置き換えた場合、削減電力量は約17,000MWh、原油換算4,380kLとなる(三菱樹脂試算)。

注)50万トンエチレンプラントでは100RT(350kW)クラスの吸着式ヒートポンプを66台使  
用する。

国内の全エチレンプラントは740万トンの生産能力を有するが(2005年)、そこで使用する  
高効率電動チラーをすべて低温再生型吸着式ヒートポンプに置き換えた場合、原油換算省エネ  
効果は約65,700kLとなる(50万トンの15倍)。2050年に国内の全製造プロセスで使われる高  
効率電動チラーを2005年時点の国内エチレンプラントの概略10倍とすると、2050年での省  
エネ効果は原油換算で657,000kLとなり、26PJの一次エネルギー削減効果が期待される。

## 低温再生型吸着式ヒートポンプと高効率電気式チ ラーの省エネ効果比較

- (1)高効率電気式チラー(冷却能力:100RT=350kW)のシステム消費電力 65.0kW  
＜消費電力の内訳＞  
・冷凍機本体 58.3kW (COP=6)  
・ポンプ、補機類 6.7kW
- (2)低温再生型吸着式ヒートポンプ(冷却能力:100RT=350kW)のシステム消費電力 34.1kW  
＜消費電力の内訳＞  
・冷凍機本体 1.1kW  
・ポンプ、補機類 33.0kW
- (3)年間消費電力量:  
＜高効率電気式チラー＞ 65.0kW×8400h=546,000 kWh  
＜低温再生型吸着式ヒートポンプ＞ 34.1kW×8400h=286,440 kWh
- (4)年間消費電力量の削減量/削減率:  
＜削減量＞ 546,000-286,440=259,560 kWh  
＜削減率＞ 259,560/546,000=0.475 →Δ52.5%

★高効率電気式チラー(100RT)を低温再生型吸着紙ヒートポンプ(100RT)で代替す  
ることによって、消費電力量をほぼ半減(約Δ260MWh)することができる。

図 5.2.1 高効率電気式チラーを吸着式ヒートポンプで代替した場合の省エネ効果

### (3) 蒸気生成ヒートポンプ

「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」に掲げられている21の革新技術の中に、産業横  
断的な省エネ技術として蒸気生成ヒートポンプがある。その技術開発ロードマップにおいて、  
2020年までの目標COPが3(120°C蒸気)、2030年までの目標COPが4と記載されている。これ  
らの数値を踏まえ、開発した産業用高温ヒートポンプ(蒸気生成ヒートポンプ)の目標COPを  
以下のように設定した。

・開発したヒートポンプ(蒸気生成ヒートポンプ)のCOP:3.0@2020年、4.0@2030年

- ・従来の蒸気ボイラのエネルギー効率：0.90 …(式 1)
- ・産業部門における 100℃以上の蒸気ボイラ燃料消費量※※：  $1.13 \times 10^{12}$  MJ/年
- ・蒸気発生量 2,000kg × 3,000 時間/年とした場合の熱負荷：  $1.61 \times 10^7$  MJ/年・台 …(式 2)
- ・受電端電力熱量 9.63 MJ/kWh …(式 3)
- ・電力消費時発生熱量 3.60 MJ/kWh …(式 4)
- ・原油の熱量換算量 38.2 MJ/L (=  $38.2 \times 10^3$  MJ/kL) …(式 5)
- ・蒸気消費時発生熱量 2.68 MJ/kg …(式 6)
- ・2020 年の市場規模（ストック）※※※：6.31 万台 …(式 7)

※：エネルギー源別標準発熱量 2005 年度標準発熱量（別表 1）より

※※：（財）ヒートポンプ蓄熱センター編「ヒートポンプ・蓄熱白書」P41 より

※※※：（財）ヒートポンプ蓄熱センター編「ヒートポンプ・蓄熱白書」P41 より引用し  
1 台あたりの能力を仮定し推定

#### ①指標 A： 単位当たりの省エネルギー効果量

まず、開発機 1 台あたりの稼動に必要な一次エネルギーは、(式 3)と(式 4)から、

$$(式 2) \div ((式 4) \times COP 値) \times (式 3) = 1.61 \times 10^7 \div (3.6 \times 3.0) \times 9.63 = 1.44 \times 10^7 \text{ MJ}/(\text{年} \cdot \text{台}) \quad \dots(式 8)$$

一方、従来の蒸気ボイラ 1 台あたりの稼動に必要な一次エネルギーは、(式 1)と(式 2)から、

$$(式 2) \div (式 1) = 1.61 \times 10^7 \div 0.9 = 1.79 \times 10^7 \text{ MJ}/(\text{年} \cdot \text{台}) \quad \dots(式 9)$$

よって、開発機 1 台あたりの年間省エネルギー量は、

$$(式 9) - (式 8) = 1.79 \times 10^7 - 1.44 \times 10^7 = 3.5 \times 10^6 \text{ MJ}/(\text{年} \cdot \text{台}) \quad \dots(式 10)$$

#### ②指標 B： 市場導入量

2020 年における当該開発機の市場規模は、(式 7)から、6.31 万台 …(式 12)

#### ③2020 年時点の省エネルギー効果

以上の指標 A、指標 B の計算結果から、2020 年における省エネルギー効果量は以下となる。

$$(式 10) \times (式 12) = 3.5 \times 10^6 \text{ MJ}/(\text{年} \cdot \text{台}) \times 6.31 \text{ 万台} = 221 \text{ PJ}/\text{年}@2020 \text{ 年} \quad \dots(式 13)$$

本研究開発をベースに、前記の仮定の通り 2030 年に COP：4 の性能を持つヒートポンプが開発できたと仮定してその他の定数・市場規模を変更せずに上記と同様に計算すれば、指標 A は  $7 \times 10^6$  MJ/(年・台)@2030 年、省エネルギー効果量は、442PJ /年@2030 年が得られる。2050 年断面でも 2030 年同等の省エネルギー効果と推定しすると同様に 442PJ /年の一次エネルギー削減効果が期待できる。

上述した熱エネルギーネットワークにおける NENS 導入による効果試算結果を表 5.2.1 にまとめた。2050 年度断面において、NENS 導入による一次エネルギー削減効果は、684PJ/年

であると推定される。

表 5.2.1 NENS 導入による熱エネルギーネットワークの効果試算

	指標A(効果量) MJ/(年・台)	指標B(導入量) 台/年	省エネルギー効果量 (PJ/年)
工業炉	41,760	911,000	38
バスエアコン	43,355	325,000	14
ガスヒートポンプ	32,333	840,000	27
給湯器	88,133	1,560,000	137
大型吸着式ヒートポンプ	2,569,767	9,910	25
蒸気生成ヒートポンプ	7,000,000	63,100	442
			684

### 5. 3 水素エネルギーネットワークにおける NENS 導入の効果試算

#### ①CO<sub>2</sub>排出抑制効果

図 4.3.3 に示すように、発電部門へ水素導入を導入した場合、2030 年の CO<sub>2</sub> 排出量は 2009 年比 2 億トン削減し、1.6 億トンとなる。

また、燃料電池車の普及による CO<sub>2</sub> 削減効果として、2030 年時点で約 1,000 万トン、2050 年には約 7,000 万トンという試算値が報告されている（2008 年 COGN 報告書「燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト 図 4.6-3」より）。

2030 年時点で、両者を合算すると、2.1 億トンの CO<sub>2</sub> 削減が期待できる。また、2050 年時点では CO<sub>2</sub> コストと発電部門への水素導入量を 2030 年と同様と仮定した場合、2.7 億トンの CO<sub>2</sub> 削減が期待できる。

#### ②水素発電・燃料電池自動車導入による一次エネルギー消費量削減の効果

水素発電・燃料電池自動車導入による再生可能エネルギーへの転換効果を、一次エネルギー消費量削減の観点で試算する。図 4.3.3 で示す発電エネルギーソースの 24% を水素により賄う場合、水素全量が国内外の再生可能エネルギーにより製造されるとすると約 860PJ の電力が再生可能エネルギーにより発電される。この時削減される一次エネルギー量は約 2,150PJ（発電効率を 40% と仮定）と推計される。

また、燃料電池自動車の導入についても、使用される水素全量が国内外の再生可能エネルギーにより製造されるとすると 2030 年時点で 90PJ、2050 年で 660PJ の輸送用のエネルギーが再生可能エネルギーにより賄われる。

両者を合算すると 2030 年時点で 2,240PJ、2050 年時点で 2,810PJ の一次エネルギー消費量削減が期待できる。（2050 年の発電部門の水素導入量は 2030 年と等しいと仮定）

また、水素は多様なエネルギーから製造可能であるため、我が国のエネルギー安全保障にも資する。加えて、脱水素反応への排熱の取り込みや、系統への接続が難しい再生可能エネルギー発電による水素製造により未利用エネルギーの活用にも資する。

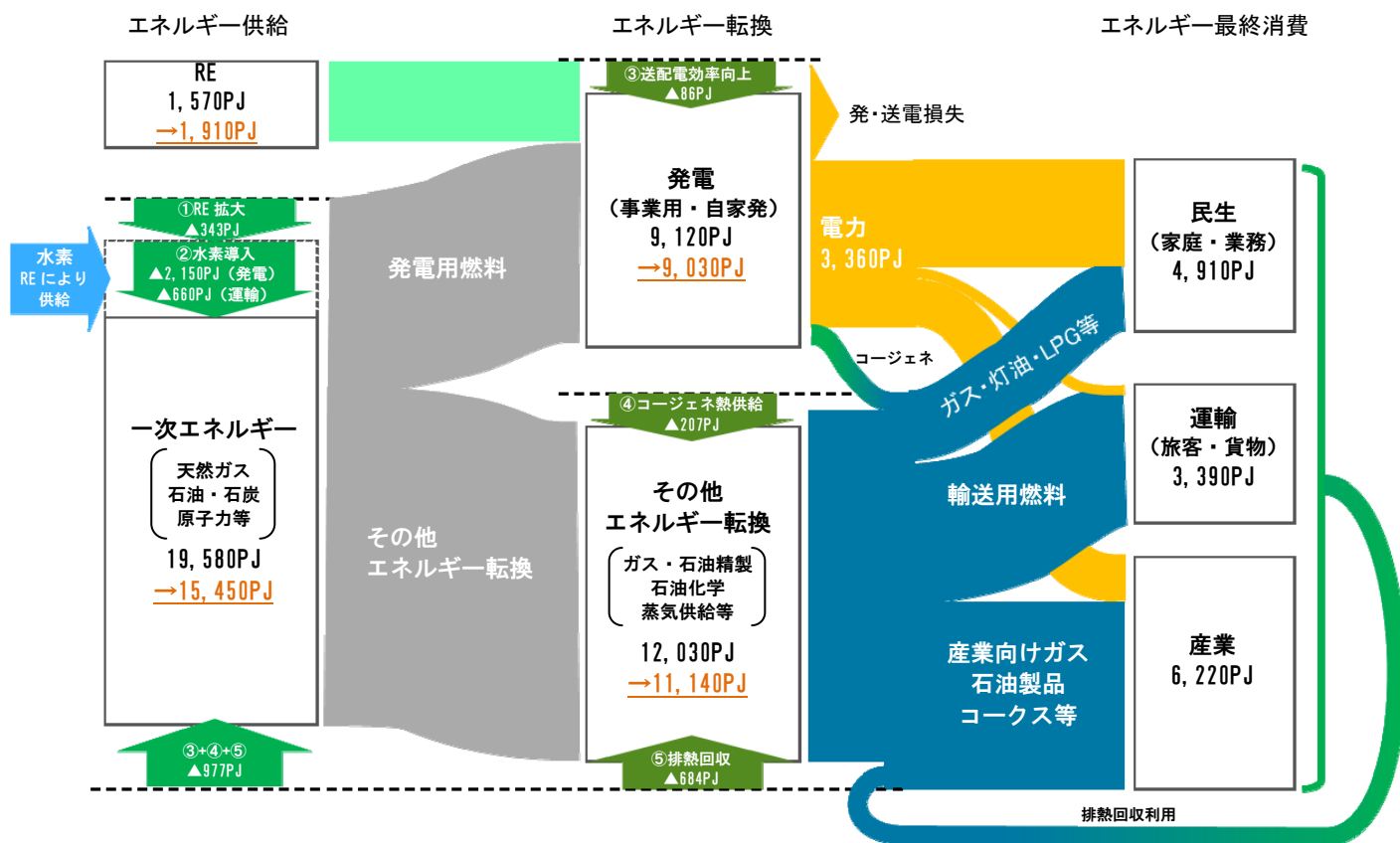
### 5. 4 まとめ

電気、熱、水素の各エネルギーネットワークにおいて、NENSを導入することによる一次エネルギー削減効果を表5.4.1にまとめた。2050年におけるNENS導入による一次エネルギー削減効果は、4,130PJ/年と試算される。

表 5. 4. 1 NENS を導入することによる一次エネルギーの削減による経済効果

エネルギーネットワークの種別	一次エネルギー削減効果 (PJ/年)	主な試算値算出の仮定
電気	636	・ 2050年にPV導入量129GW ・ SiC導入により3%効率向上
熱	684	・ 2050年に吸着式ヒートポンプ技術が普及すると仮定 ・ COP4の蒸気生成ヒートポンプが開発、普及する
水素	2,810	・ 国内外の再生可能エネルギーにより製造された水素が発電燃料と輸送用燃料として供給される ・ 2050年時点で発電エネルギーソースの24%を水素が賅う
合計	4,130	

表5.4.1に示した一次エネルギー削減効果を、図5.1.1のエネルギーバランスフローに反映させた結果を図5.4.1に示す。



NENS整備による一次エネルギー削減効果=4,130PJ(①+②+③+④+⑤)

図 5. 4. 1 NENS 導入によるエネルギーバランスフローの変化



## 6. 政策提言

### 6. 1 電気エネルギーネットワーク普及のための政策提言

#### 6. 1. 1 NENS 普及に向けた課題と制度改革案

##### ①NENS 開発のための施策

- ・ SiC デバイスの開発支援 (SiC デバイスの高耐圧化と容量拡大)
- ・ SiC デバイス応用装置の開発支援

##### ②NENS 実証のための施策

- ・ NENS 実証プロジェクトの実施 ⇒6.4 項①～③に示す

##### ③NENS 普及のための施策

- ・ NENS の計画的な展開に関する施策

現状の電気エネルギーネットワークインフラを NENS に置き換えるための原資の確保  
⇒総括原価方式への組み入れ

- ・ 系統サポート機器に導入に関する支援 ⇒補助金供与、税金優遇の支援

NENS で使用される SiC デバイスを用いた系統サポート機器、例えば SVC、LBC、パワエレ柱上変圧器等の FACTS 機器は、量産等により SiC デバイスの価格が低下するまでは、従来の機器よりも導入のための初期コストが高くなると予想される。普及初期段階には、設置者への補助金供与、税金優遇等の支援が必要と考える。また、初期支援だけでなく、運用費、保守費等を支援していくことも必要である。更に、SiC デバイスを用いた機器は従来機器より効率が高いため、結果的に省エネや CO<sub>2</sub> 削減にも貢献する。こうした観点からも、機器効率の高い系統サポート機器の導入に対して積極的な優遇処置をとる必要がある。

- ・ 送電ケーブルに関する制度改革 ⇒布設場所に応じた布設工法の条件緩和

「電気設備基準第 120 条第 6 節 地中電線路」によれば、特高ケーブルの直埋方法は深度 1.2m 以上でかつ上方及び側方を堅牢な防護板で囲う規定となっている。風力発電等では事業者が遠方の系統まで地中ケーブルを布設する必要があり、当該工法は海外での直埋工法に比べ高コストで事業費の大きな負担となり再生可能エネルギー普及の一つのネックとなっている。風力発電等の送電ケーブルは人口が極めて少ないエリアに布設される事が多く、布設場所に応じて布設工法の条件緩和措置をとることでコストダウンが図れ、再生可能エネルギー普及促進を図る事ができると考えられる。

##### ④NENS 運用のための施策

- ・ スマートメーターの収集データ (30 分値) の活用

NENS 運用システム (DEMS) におけるスマートメーターの収集データ利用促進による運用コストの削減。

- ・ 低圧系統自立システムに関する制度改革

災害時に地域で太陽光や蓄電池のエネルギーを供給し合うことが目的。そのために柱上変圧器の低圧側に遮断器を設け災害時には電力会社の系統から切り離して配電線を使う。地域内で電気を安全に融通するための制度改革とルール作りが必要である。

### 6. 1. 2 海外展開に向けた国際標準化の推進

科学技術イノベーション総合戦略でも述べられているように、我が国の成長戦略のためには、社会インフラシステムのグローバル展開も重要なポイントであり、NENSはその先兵の一つである。このためには、図 6. 1. 1 に示すように、官民一体となった標準化戦略が必要と考えられる。

### 6. 1. 3 実証プロジェクト

NENS は、電気、熱、水素の個々のエネルギーネットワーク及び、これらを連結した相互ネットワークを地域ごとに構成し、さらに、これら地域ネットワークを繋げる広域ネットワークとして構成する。そのため、実証プロジェクトは、以下のように、地域ネットワーク、広域ネットワークごとに段階的に進めていく。

#### (1) 地域ネットワーク実証プロジェクト

地域ネットワーク実証プロジェクトを表 6. 1. 1 に示す。本プロジェクトは主に配電システムを用いた実証プロジェクトとなる。

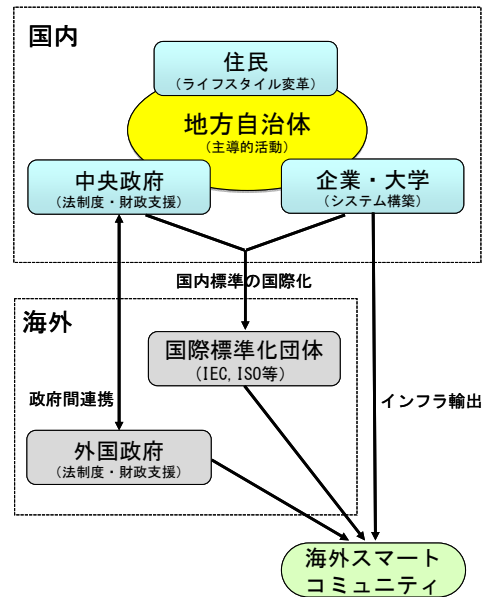


図 6. 1. 1 国際標準化促進のためのスキーム

表 6. 1. 1 地域ネットワーク実証プロジェクト

	目的	実証プロジェクト
第一段階	再生可能エネルギー導入のための単体技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>電圧上昇抑制、潮流制御、共振抑制技術</li> <li>発電電力平準化技術(蓄電池を含む)</li> <li>SiC 適用 FACTS 機器の有用性(効率・信頼性評価を含む)</li> </ul>
第二段階	エネルギー相互変換技術開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気⇄熱変換技術</li> <li>電気⇄水素変換技術</li> <li>エネルギーの輸送・貯蔵技術</li> </ul>
第三段階	地域ネットワーク運用技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>NENS 運用システム(次世代配電システム)との連携による最適運用</li> </ul>

## (2) 広域ネットワーク実証プロジェクト

広域ネットワーク実証プロジェクトを表 6.1.2 に示す。洋上ウィンドファーム等の大規模な再生可能エネルギーの導入実証のため、本プロジェクトは主に送電システムを用いた実証プロジェクトとなる。

表 6.1.2 広域ネットワーク実証プロジェクト

	目的	実証プロジェクト
第一段階	大規模再生可能エネルギー導入のための単体技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新型風車の技術取得(発電能力・機器信頼性評価を含む)</li> <li>・発電電力平準化技術(蓄電池を含む)</li> <li>・交流送電(共振抑制を含む)</li> </ul>
第二段階	大規模再生可能エネルギー間の連系技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流送電 交流⇄直流変換装置 大容量・長距離送電ケーブル(海中送電網を含む)</li> <li>・ウィンドファーム間の直流連系</li> </ul>
第三段階	大規模再生可能エネルギーの面的運用技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・広域ウィンドファーム間の環状直流連系</li> <li>・革新的二次電池を適用した電力平準化技術</li> <li>・NENS 運用システム(次世代系統制御システム)との連携による最適運用</li> </ul>

## 6. 2 熱エネルギーネットワーク普及のための政策提言

### 6. 2. 1 技術開発支援

- ・未利用熱利用機器の量産化・低価格化開発の促進

表 4.2.1 に示す要素技術と未利用熱利用機器の量産化・低価格化の開発支援が必要である。

- ・エネルギーネットワーク間をつなぐインターフェース技術開発

表 4.4.1 に示す各エネルギーネットワーク間をつなぐインターフェース技術の開発促進が必要である。

- ・実証プロジェクト支援

特に産業において未利用熱利用機器を導入促進するためには、実生産設備で実証しその効果と信頼性を示すことが重要である。実績のない機器の導入にはリスクが伴い、実生産へのリスク回避のためには運用中の既存設備(例えば電動チラー)に未利用熱利用機器(低温再生型吸着式ヒートポンプ)をアドオンする必要がある。既存設備にアドオンする場合、補助事業型では企業での設備投資の基準をクリアすることができず、実証場所を確保できない可能性が高い。そこで、実証プロジェクトは委託事業の形式で必要があると考える。

上記実証事業の成果を技術パッケージ化し、国際エネルギー消費効率化技術として新興国等の化学プラント等に戦略的に技術輸出し、我が国のエネルギー産業の海外展開、市場開拓を目指す。

### (1) 民生・熱エネルギーネットワーク実証プロジェクト

民生・熱エネルギーネットワーク実証プロジェクトを表 6.2.1 に示す。本プロジェクトは主にコージェネ排熱を中心とした実証プロジェクトとなる。

表 6.2.1 民生・熱エネルギー実証プロジェクト

	目的	実証プロジェクト
第一段階	施設レベルのシステム技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型低温再生型吸着式ヒートポンプの量産化・コストダウン技術</li> <li>・中小規模オフィス、学校、データセンター・サーバールームでのコージェネの排熱利用システム実証</li> <li>・スマート熱 EMS の実証</li> <li>・蓄熱・熱輸送技術の開発・実証</li> </ul>
第二段階	施設群・街区レベルのシステム開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・隣地でのコージェネ面的熱利用システムの実証</li> <li>・「熱の商用系統（グリッド）」としての地域冷暖房施設活用によるコージェネ導入の促進システムの実証</li> <li>・オフライン熱エネルギーネットワークの実証</li> </ul>
第三段階	エリアレベルのシステム開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・未利用熱の活用をコミュニティレベルで検討するための産官学民連携プラットフォームの構築と実証</li> </ul>

(2) 産業・熱エネルギーネットワーク実証プロジェクト

産業・熱エネルギーネットワーク実証プロジェクトを表 6.2.2 に示す。本プロジェクトは主に工場・ごみ焼却場等からの未利用排熱を中心とした実証プロジェクトとなる。

表 6.2.2 産業・熱エネルギー実証プロジェクト

	目的	実証プロジェクト
第一段階	施設レベルのシステム技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラント規模の低温再生型吸着ヒートポンプの技術</li> <li>・化学プラントで 50-90℃の低温排熱を冷熱転換・エクセルギー再生するシステム利用実証</li> <li>・蓄熱・熱輸送技術の開発・実証</li> </ul>
第二段階	施設群・街区レベルのシステム技術の開発・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・産業－民生間のオフライン熱エネルギーネットワークの実証</li> <li>・水素エネルギーネットワークへの熱エネルギーネットワークの連携実証</li> <li>・未利用熱の活用を検討するための異主体・異業種連携プラットフォームの構築と実証</li> </ul>

6.2.2 普及促進のための施策

・未利用熱利用機器に関する施策

NENS で使用される未利用熱利用機器、例えば低温再生型吸着式ヒートポンプや 50-90℃の排熱から蒸気を生成するヒートポンプ等は、量産等で価格が下がっていくまでは、電動チラー等に比べて導入のための初期コストが高くなる。普及初期段階には、設置者に補助金を出す、税金を優

遇する等の支援が必要と考える。また、未利用熱利用機器は CO<sub>2</sub> 削減効果が高く、初期費用だけでなく、利用した熱量に応じてインセンティブを与えるような施策も必要である。

- ・ 図 6.2.1 に示すような課題を整理／解決し、熱のグリッドの段階的整備を進め、エネルギー効率向上と自立的 BCP 拡充を実現する。

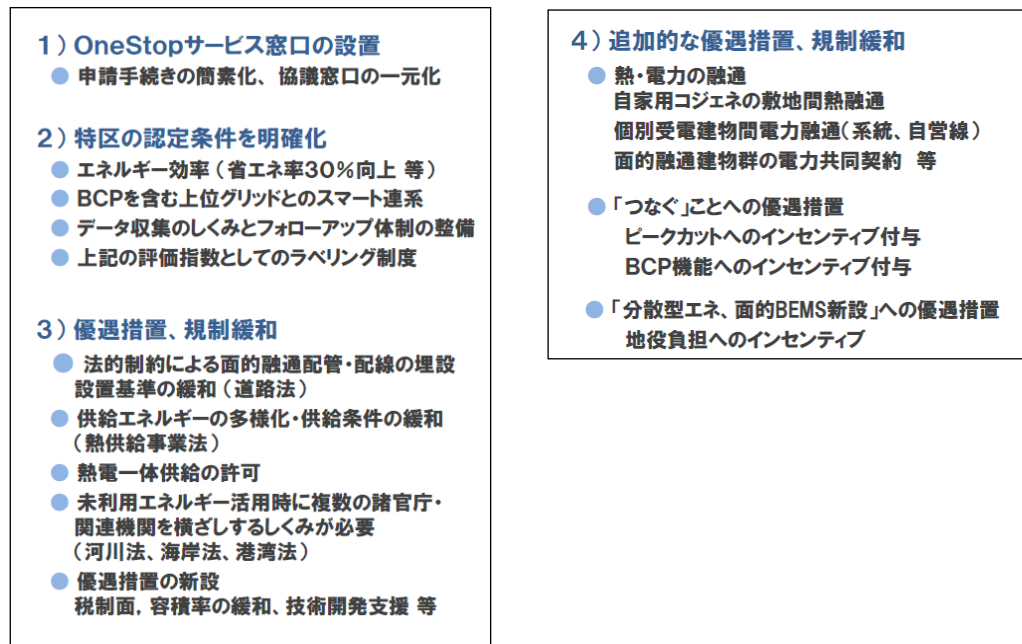


図 6.2.1 熱エネルギーネットワーク普及促進のための施策（清水建設）

- ・ 次世代型熱利用設備導入緊急対策事業等、排熱利用機器の導入促進が図られているが、公募期間と企業での設備投資を決定する期間が必ずしもマッチしていないケースがある。公募から設置完了までの期間が短く、申請に至らない事例も多い。例えば、公募から設置完了までの期間を1年半～2年とし、企業が利用しやすい制度改革が必要と考える。
- ・ 熱ネットワーク上を流通する熱や熱媒体の仕様や、熱供給側、受給側のインターフェース、システム制御方式の国際標準化の推進による海外市場の獲得
- ・ 実証事業プロジェクトにおいて、固定資産を即時償却可能に規制緩和することで、実証プロジェクトを実施しやすくする。

### 6.3 水素エネルギーネットワーク普及のための政策提言

前章までの議論を振り返り水素エネルギーネットワーク普及のために、以下の3つの領域において政策面での後押しが必要と考えられる。

#### ①研究開発・実証支援

基本的な技術は既に確立しているものの、個別の用途毎に見た場合、有機ハイドライドによる大規模・広域的な水素エネルギーネットワークを社会全体に張り巡らせるためには、更なる研究開発や技術・社会実証に対する多様な公的支援が期待される。研究開発のテーマを以下に例示する。

- ・ 水素混焼発電（混焼率向上/大型化）

- ・脱水素装置の小型化/低温化
- ・熱電需給マネジメントシステムの構築
- ・燃料電池の大容量化&負荷追従対応

## ②規制見直し・法制度の整備

水素エネルギーネットワークの構築に際しては、従来エネルギーキャリアとして利用することを想定していない物質(TOL・MCH)を利用する。また、物流網についても常に往復型(往路：MCH、復路：TOL)の輸送を行い従来と異なる形態となる。さらに電気・熱エネルギーネットワークとの緊密な連携も重要である。このため、適正なレベルの安全性を担保できる安全対策等を前提とした上での規制の見直しや、法制度や運用ルールの整備が不可欠である。以下に関連法規を例示する。

表 6.3.1 関連法規

大型発電関連	小型分散、ステーション関連
✓ 消防法	✓ 消防法
✓ 石油災害防止法	✓ 建築基準法
✓ 建築基準法	✓ 高圧ガス保安法
✓ 高圧ガス保安法	✓ 電気事業法
✓ 港則法	✓ ガス事業法
✓ 電気事業法	✓ 労働安全衛生法
✓ ガス事業法	✓ 毒物及び劇物取締法
✓ 労働安全衛生法	✓ 麻薬及び向精神薬取締法 等
✓ 毒物及び劇物取締法	
✓ 麻薬及び向精神薬取締法	
✓ 関税法 等	

### 例 1) 水素ステーションへの消防法・建築基準法の適用

TOL・MCHは、ガソリンと同様の第一石油類であり、取扱いや危険度は同等であるものの、エネルギーとしての利用が想定されておらず、ガソリンと比して厳しい規制が適用されている。

#### 【用地面積の増大】

水素ステーションの充填設備は高圧ガス保安法が定める高圧ガス設備に該当する。一方、有機ハイドライド方式の小型脱水素設備については、現状、設置基準が未整備で、仮に大規模工場並みに消防法における危険物製造所に該当するとされた場合、高圧ガス設備との距離を20m以上とすることが求められる。この結果、水素ステーションの敷地が広大なものになり、水素ステーションの用地選定にも大きな障害となる。

#### 【立地の制限】

上記同様、脱水素設備が危険物製造所に該当するとされた場合、建築基準法において市街地での立地は制限される恐れがある。

### 例 2) 有機ハイドライドによる国際水素輸送に関する税制

有機ハイドライドにより海外から水素を輸送する場合、その物流網は以下に示す様な従来の税制が想定していなかった特性を持つ。適正な税負担・過度に煩雑にならない通関手続きの実現に



向けた関連法制度及び運用ルールの整備の検討が必要となる。

- ・ 水素輸送容器である TOL が液体であり個体識別が困難
- ・ 容器である TOL の市場評価額が、水素本体の市場評価額よりも高価
- ・ (脱水素プラントを保税工場とし水素を出荷する場合)パイプラインによって連続的に大量に出荷される気体の通関手続きが必要

### ③市場創出支援

水素エネルギーネットワークが社会に浸透し、普及拡大するまでには相応の移行期間が必要であり、特に普及初期は市場がなかなか拡大せず、市場原理に任せるのみでは民間ビジネスの成立は困難である。一定の市場規模に創出されるまでの期間は、初期投資・運用コストに対する助成・優遇・補助等により社会全体としてネットワーク整備を後押する仕組みの構築が必要である。例として、以下挙げるような制度・法体系の整備が期待される。

- ・ 水素発電へ参入する際の設備投資補助や買取制度
  - ・ 水素コージェネ導入企業に対するグリーン投資減税
  - ・ 再生可能エネルギー由来の水素の固定価格買取制度
  - ・ 水素ステーション普及期の設備設置補助
  - ・ 製油所・化学工場等への水素供給設備に対する補助
- 等

## 6. 4 NENS 実現のための実証事業の提言

本研究会で提言している NENS を実現するために、以下の実証事業を提案する。

### ①分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業

(西日本の電力系統、2014-18 年、電気事業者・電機メーカー・研究機関)

太陽光発電等の RE エネルギーの導入拡大により、配電系統では電圧上昇等の課題が生じるため、新しい次世代電力網を構築する必要がある。その対策として、センサー技術を活用した電圧や潮流の集中制御や、SiC 等の高効率デバイスを組み込んだ次世代パワエレ機器の実証事業を新規に提案する。

### ②再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発 (地域検討中)

電気から水素への変換については、再生可能エネルギー等から高効率で低コストの水素製造技術の開発実証を行う必要がある。例えば、長周期の電力需給ギャップを水電解設備と有機ハイドライドによるエネルギー貯蔵機構で貯蔵したうえで需要先に電力及び熱として供給し、地産地消型のエネルギーインフラ構築の技術・社会実証を行う。

### ③洋上風力用直流送電システムの実証 (地域検討中)

今後の再生可能エネルギーの主体として洋上風力発電が期待されている。しかし、洋上風力の場合、送電用の長距離ケーブルの静電容量や多数台連系した際のインバータの平滑用コンデンサによって共振が発生する可能性がある。このため、交流ではなく直流での送電システムを実証する必要がある。

### ④小型吸着式ヒートポンプ量産化・コストダウン等技術開発 (三河地区等：製造・運輸業)

工業炉、バスエアコン、ガスヒートポンプ、給湯器、コージェネレーション等民生、業務用に適応可能な小型吸着式ヒートポンプの量産化・コストダウン技術が必要である。小型吸着式ヒートポンプをコージェネレーションと組み合わせ学校、データセンターで開発実証を行い、バスエアコン等移動用途でも開発実証を行う。

⑤産業・熱エネルギー実証事業（北九州地区、鹿島地区等：製造業、北陸地区：製造業・大学）  
エクセルギー再生技術（昇温型化学ヒートポンプ、蒸気生成ヒートポンプ）や大型吸着式ヒートポンプを生産ラインや化学プラント等で実証事業を行う。

⑥オフライン熱ネットワーク実証（中部地区、大学・窯業）

地域に存在するごみ焼却場の排熱を植物工場や大型浴場にオフライン熱ネットワークを構築するための化学蓄熱を用いた高密度蓄熱システムを要素開発し、熱利用サイドでの未利用熱機器と組み合わせた総合熱ネットワークを実証する。

⑦水素混焼発電（川崎臨海部）

有機ハイドライドで輸送した水素を系統連系する火力発電にて混焼、海外からの水素ネットワークの構築と電力ネットワークへの連携の実証を行う。

⑧有機ハイドライド型水素ステーションの実証（地域検討中）

今後、4大都市圏（首都圏、中京、関西、福岡）を中心に100箇所程度の水素ステーションの先行整備が計画されているが、有機ハイドライド型のはまだ無い。小型脱水素システムが確立され次第、水素ステーションにおける技術・社会実証を2018年頃までに行う。

⑨分散型水素エネルギーシステムの開発・実証（地域検討中）

燃料電池、水電解装置、水素貯蔵装置等から成る電気、熱、水素の併給が可能な純水素を取扱った先進的分散型水素エネルギーシステムの開発を行う。2020年を目途に都市部で運用する分散型水素エネルギーシステムの実証を提案する。

#### 【相互実証の提言】

表6.4.1は上述した電気・熱・水素に関する実証と地域名をまとめたものである。尚、「電気から電気へ」、「熱から熱へ」、「水素から水素へ」の欄については、ネットワークの構築・エネルギーの貯蔵に関する実証について記した。

表 6.4.1 相互エネルギーネットワークの実証名のまとめ

	電気へ	熱へ	水素へ
電気から	①分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業 ③洋上風力用直流送電システムの実証 ・新エネルギー系統対策蓄電システム技術開発事業 ・分散型エネルギーインフラPJ（総務省、全国）	（誘導加熱、熱電変換素子等、既に実用段階にある）	②再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発
熱から	・未利用熱活用型コージェネレーション実証 ・地熱資源開発調査事業（全国） ・地熱発電技術研究開発事業 ・未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発	④小型吸着式ヒートポンプ量産化・コストダウン等技術開発 ⑤産業・熱エネルギー実証事業 ⑥オフライン熱ネットワーク実証 ・未利用熱活用型コージェネレーション実証	・水熱分解水素製造装置を利用した実証事業（宮崎大）
水素から	⑦水素混焼発電 ⑨分散型水素エネルギーシステムの開発・実証 ・次世代エネルギー社会システム実証事業（北九州市）	⑦水素混焼発電 ⑨分散型水素エネルギーシステムの開発・実証	②再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発 ⑧有機ハイドライド型水素ステーションの実証 ⑨分散型水素エネルギーシステムの開発・実証

注）表中の①～⑨は、本文中の提案実証事業の番号を示す。

上述した表 6.4.1 の電気エネルギーネットワーク、熱エネルギーネットワーク、水素エネルギーネットワークの社会導入時における事業主体は、エネルギー事業者、ICT 企業、商社、自治体及び、これらのコンソーシアムが挙げられ、新産業分野の創出が期待できる。

## 7. NENS 実現のためのロードマップ（活動の工程）

図 7.1.1 に、次世代エネルギーネットワーク実現のためのロードマップを示す。

電気エネルギーネットワークでは、2013 年度から 2020 年度にかけて、高耐圧 SiC、既存電池の改良・最適運用、革新的二次電池の開発を行う。その後、次世代配電システム、洋上風力・海中送電網、洋上風力用直流送電システムの実証を行い、これらの 2020 年頃にこれらのシステムの導入・普及を行う。

熱エネルギーネットワークでは、未利用熱を高度に利用する基盤技術に、低質の排熱を冷熱に転換可能な「吸着式ヒートポンプ」を中心に据え、さらに蓄熱や熱輸送技術等の「熱インターフェース技術」を用いて、時空間の制約なく熱エネルギーを需給可能なネットワークを実現し、これを NENS に組み込むシステムを構築することを目標とし、次の 4 段階で開発から社会導入までプロジェクトを展開する。

- ① 研究開発：吸着式ヒートポンプの冷熱生成効率（COP）の更なる革新的向上技術、将来の汎用技術とするための熱交換機の超低コスト化技術、ネットワーク構築のための熱インターフェース技術（蓄熱、熱輸送技術等）の基盤技術開発を促進する。
- ② 機器開発：基盤技術開発と平行して、吸着式ヒートポンプを民生から産業分野まで活用するため、超小型からプラント規模に亘る各出力規模に応じた固有の技術開発を、基盤技術開発で得られる新たな技術シーズを適時応用しつつ促進する。また、熱インターフェース技術、高 COP 吸着式ヒートポンプの機器試作を推進し、技術的確立を図る。

- ③ 実証評価：これら開発された技術と機器を産業規模に適用し展開するために、未利用熱の需給規模に応じた機器の実証事業を展開する。また、熱エネルギー利用をネットワーク化するために、コージェネレーション規模や隣地間等小スケールレベルの未利用熱エネルギー活用技術の技術実証を進める。また、ネットワークを拡大するため時空間の制約を超えるために重要なコア技術であるオフライン熱融通や蓄熱技術の実証も推進する。
- ④ 社会導入：これら一連の実証事業等で得られた結果と評価をもとに、エネルギー効率とコストの両観点から、実導入を可能とするシステムや制度等の諸条件を提示する。最終的に、未利用熱利用機器を汎用的に導入普及させ、街区レベルで熱利用をネットワーク化する商用システムを構築する。さらに、電力、都市ガスや新たに導入を進める水素等をエネルギー源とするコージェネレーション、産業プロセス等の熱供給源、太陽光発電、太陽熱温水器等のエネルギー供給サイトとエネルギー需要サイトで構成される NENS について、個別構成要素の時間的な変動を統合したダイナミック制御・運用技術の開発とシステム設計ノウハウを蓄積する。

水素エネルギーネットワークでは、水素混焼発電や水素ステーション等の基本要素についての実証・社会導入からスタートし、大規模輸送や CO<sub>2</sub> フリー水素源(再エネ、CCS 等)の社会導入を順次進めていく。

また、NENS の実証・運用フェーズの前に熱・水素・電気間での損得や変化してゆく設備を柔軟につなげられるような仕組み等の制度設計を行う必要がある。また、2030 年度以降の NENS の電気・熱・水素間の協調運用については、各地域で構築したエネルギーネットワークを広範囲に連結して、地域間でエネルギーを供給仕合う NENS の面的運用(広域運用)を考えて行く必要がある。

そのためには、2020 年度を目処に、賦在エネルギー(未利用エネルギー)の有効活用の促進、エネルギーの貯蔵・輸送の規制緩和、FIT 等の NENS 実現のための制度改革・法整備を行う必要がある。

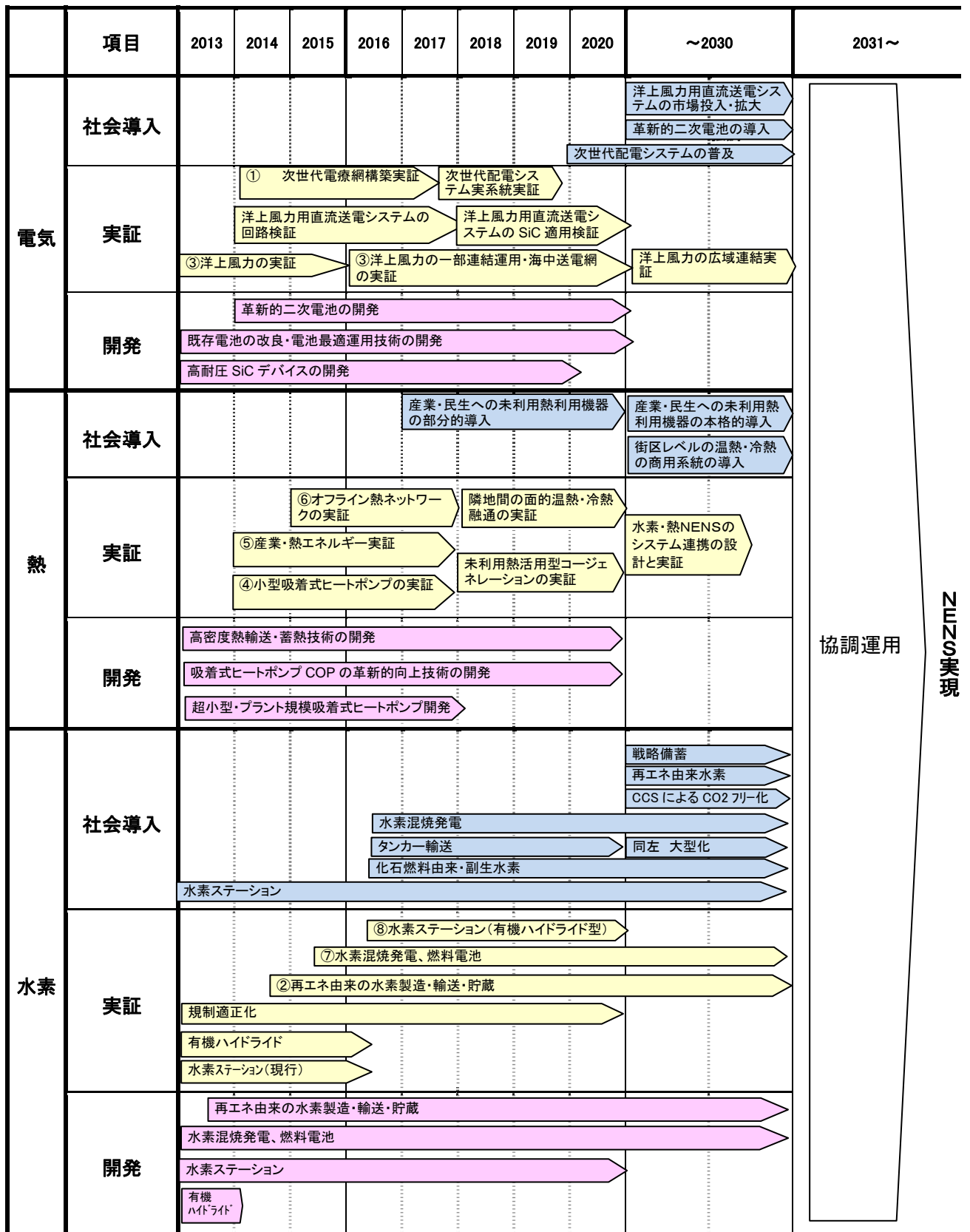


図 7.1.1 次世代エネルギーネットワークのロードマップ

## 8. 結言

2020年開催の東京オリンピック・パラリンピックでは、「低エネルギー・低カーボンの大会施設・会場」、「再生可能エネルギーの積極的な導入・利用」、「低公害・低燃費車の利用」が謳われている。この機会に、電気・熱・水素を活用した NENS の要素技術の中で、2018年時点で実用化段階にあるものによる効率的なエネルギー利用モデルを示し、我が国の先進技術を世界各国に発信すると共に、社会インフラ輸出の端緒とすることも重要と考えられる。

以上



## 添付資料：

◎本文「2.2 海外の取組状況」の事例を以下に示す。

### 別項 1. 1 ドイツ

#### (1) ドイツの再生可能エネルギー導入状況

ドイツでは2000年に固定価格買取制度（FIT）を導入して以降、REの導入が進んでおり、2012年の上期にはREの電力消費に占める割合が24%に達した（別図1.1.1、文献1）。

太陽光発電（PV）に関しては、累積設備導入量が2011年で24.7GW（政府目標は2015年で34GW）に達する等、ほぼ政府の計画通りに導入が進んでいる（文献2）。

こうした事情を背景に、電力系統に供給されるRE由来の電力が増大しており、2013年の6月には、PVと風力を合わせた発電量が、ドイツで必要とされる発電容量の61%に達したと報告されている（文献3）。このように、ドイツで大量のREが系統連系可能な理由の1つとして、国際連系線による欧州内での電力融通が挙げられる。

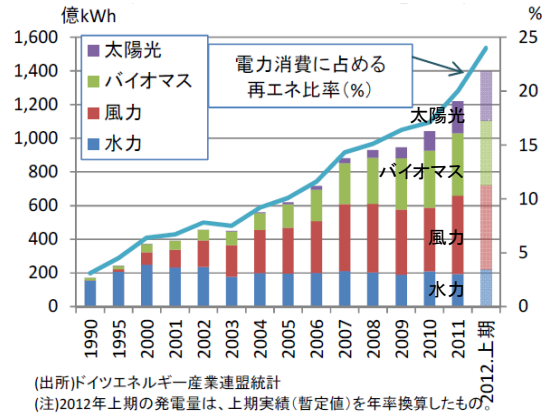
#### (2) ドイツの取り組み事例（文献4）

ドイツでは地域分散型のエネルギー源としてコージェネレーションの導入が進んでいる。

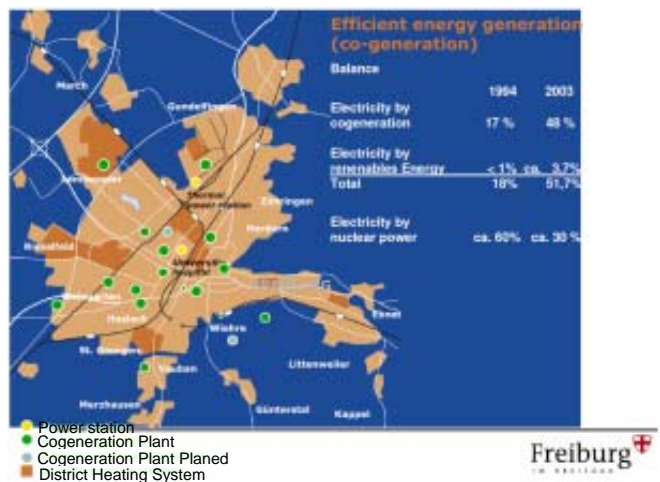
フライブルグ市は、人口22万人、面積150km<sup>2</sup>の都市で、その40%が森林に覆われている。1986年から省エネ、高効率なエネルギー生産、再生可能エネルギー導入に取り組んでおり、アクションプランとして、2030年までにCO<sub>2</sub>排出量を1992年比で40%削減することを掲げている。

高効率なエネルギー生産に向けての取り組みとしては、同市のヴォーバン地区にバイオマスによるコージェネレーションシステムを導入し、地区の電気と熱を供給している。また、市内には90の小型CHP（Combined Heat and Power）が導入されており、これらを合わせたコージェネレーションシステムによる電力供給は全電力供給の50%に達している（別図1.1.2）。

この他にも、小水力発電、風力発電、太陽光・太陽熱発電等の分散型の再生可能エネルギーが積極的に導入されている。



別図 1.1.1 ドイツの再生可能エネルギーによる発電量推移



別図 1.1.2 フライブルグ市のコージェネレーション

## 別項 1. 2 デンマーク

### (1) デンマークのエネルギー消費の状況 (文献5)

別図 1.2.1 は、デンマークのエネルギー消費構成の推移を示したものである。1980 から 1990 年代にかけて、熱電併給 (Combined Heat and Power、以下 CHP と略) 及び地域暖房 (District Heating、以下 DH と略) が普及した。それによって石炭及び石油への依存度が低下し発電に占める CHP の割合で世界をリードするようになった。また、2000 年代に入り、再生可能エネルギーの割合も増加している。

一方、別図 1.2.2 は、デンマーク国内の発電設備の変化を示したものである。1980 年代中頃までは大型発電所のみだったのが、現在では CHP

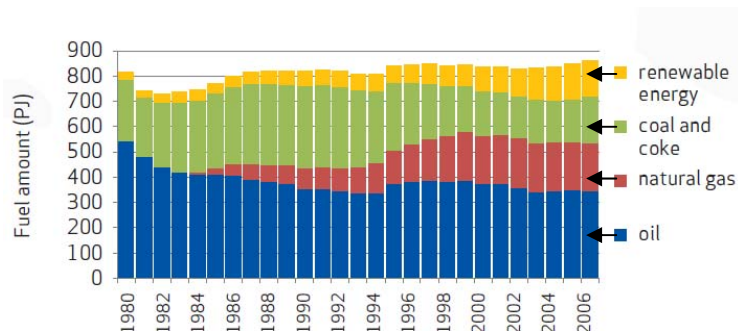
及び風力発電促進政策によって多数の小規模分散型電源が電気を供給するようになった。分散型電源は、熱需要があるところに設置された CHP と、田園地帯に分散配備されたウインド・ファームである。

### (2) デンマークの取り組み事例 (文献6)

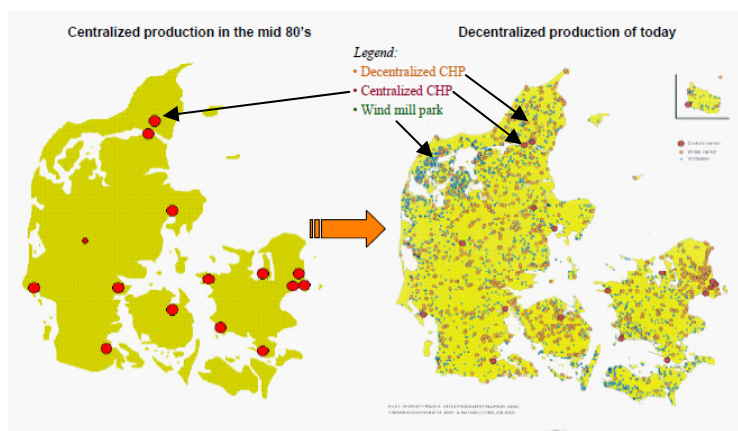
コペンハーゲンの南西に位置するロラン島では、500 基以上の洋上風力発電所が島の総電力需要を 50% 上回る電力をまかなっている。市では、余剰電力で水を分解した水素を貯めておき、電気が必要な時に燃料電池で発電する実証実験を始めた (別図 1.2.3)。

風があまり吹かない日に電気や暖房として利用できるように、電気分解施設の設置と水素を各家庭に送る仕組みの整備によって、水素コミュニティを作ろうとしている。

以上、欧州 (ドイツ、デンマーク) の状況を調査した結果、エネルギー源の分散化及び多様化に向けた先進的な取り組みが行われていることがわかった。我が国においてもこうした取り組みを積極的に進めていく必要がある。



別図 1.2.1 デンマークのエネルギー消費構成の推移



別図 1.2.2 デンマークにおける発電設備の分散化



別図 1.2.3  
水の電気分解で発生した水素を貯めるタンク

【参考文献】

- 文献1：梶山恵司，“再生可能エネルギー拡大の課題”，No. 396 September 2012  
 文献2：EPIA，“Global Market Outlook For Photovoltaics until 2016”，2012  
 文献3：Renewable Energy Industry，“Wind and solar account for over 60 percent of power supply”，  
<http://renewable-energy-industry.com>  
 文献4：Franziska Breyer，“Freiburg Energy Policy -Approaches to Sustainability-”，Local Renewables  
 Conference, Freiburg 28.4.2009  
 文献5：IEA，“The International CHP/DHC Collaborative: CHP/DHC country scorecard: Denmark”，  
 文献6：エココミュニティ・ジャパン，“2020年温室効果ガス25%削減のためのエココミュニティ化事業報告  
 書；ロラン島水素コミュニティ（デンマーク、ロラン島）”

◎NENSのエネルギーリソースについて以下に述べる

別項2. NENSのエネルギーリソース

国内のエネルギーリソースは利用されるものと廃棄されているものがあるが、すべてを対象としNENSの効率的運用やエネルギーの供給信頼度向上等の付加価値についても考慮し、エネルギーリソースの利用率向上を図ることが重要である。

(1) エネルギーリソースの賦存量とCO<sub>2</sub>排出削減可能量

NENSに適応可能な主なエネルギーリソースの全国の賦存量とCO<sub>2</sub>排出削減可能量を表3.4.1にまとめた。

別表2.1 全国のエネルギーリソース賦存量試算一覧

エネルギーリソース分類	エネルギーリソース種類	年間総量	原油換算量 (万kl/年)	CO <sub>2</sub> 排出削減可能量 <sup>注1)</sup> (万ton/年)	自事業所内消費率 (%)
排熱	工場排熱	114.0万TJ/年 <sup>1)</sup>	2,950	7,800	0 <sup>注2)</sup>
副生ガス	ソーダ電解	13.6億m <sup>3</sup> /年 <sup>2)</sup>	38	100	100
バイオマス	下水消化ガス	2.9億m <sup>3</sup> /年 <sup>3)</sup>	17	46	74
	食品製造業残渣	4,946千ton/年 <sup>4)</sup>	211	559	85
	黒液	25.4万TJ/年 <sup>5)</sup>	660	1,749	100

注1) CO<sub>2</sub>排出削減可能量は、原油換算量から算出

注2) 実際に回収利用されている排熱は含まない。

別表2.1に示すように、エネルギーリソースの中でも、工場排熱の賦存量が多い。現在の利用率を見ると排熱のように総量としては多く存在するが未利用なものがある一方で、副生ガスや黒液のように自事業所内で消費されているものも多い。

(2) エネルギーリソースの分類

別表 2.2 に NENS に利用可能な主なエネルギーリソースを示す。産業部門のエネルギーリソースに加え、地域に賦存するものとして下水汚泥、地熱発電、太陽光発電、風力発電、小水力発電等がある。現状の利用状況をもとに「未利用リソース」、「新規創出リソース」、「高付加価値リソース」の3つに分類した。

別表 2.2 主なエネルギーリソース

	発生源		リソース	エネルギー形態	利用方法例
		内容			
産業	工場等	製鉄、製油、化学、発電、ガス等	廃ガス	熱	蒸気による熱回収、発電・熱供給、ヒートポンプ熱源
			LNG	冷熱	発電等
		紙・パルプ	黒液	液体燃料	発電
		食品	生ゴミ	メタン	発電
		製油等	副生ガス	水素	発電
	ソーダ電解槽	副生ガス	水素	発電	
地域	公共設備	下水処理場	消化ガス	水素	発電・熱供給
			汚泥	固形燃料	発電・熱供給
	清掃工場	廃ガス	熱	蒸気による熱回収、発電・熱供給利用	
	利用可能資源	河川水、海水、地下水	水	冷水	ヒートポンプ熱源、冷却水等
地熱			蒸気、温水	熱	発電
土地の利活用			土地	風力、太陽光、小水力発電	発電

- 未利用リソース : 利用率の低いもの、または利用されていないもの
- 新規創出リソース : 新たなリソースとして創出可能なもの
- 高付加価値リソース : 既に有効利用されているが、今後、NENSで利便性や付加価値の向上を検討したいもの

【参考文献】

- 文献 1 : 工場群のエネルギーシステムに関する調査研究 (平成 12 年度 成果報告書)、平成 12 年、財団法人省エネルギーセンター
- 文献 2 : WE-NET タスク 1、平成 12 年度、エンジニアリング振興協会
- 文献 3 : 下水道年鑑 2006 年、日本下水道協会
- 文献 4 : 平成 17 年 食品循環資源の再生利用等実態調査結果、農林水産省統計部 HP より
- 文献 5 : 新エネルギー等導入基礎調査バイオマスエネルギーの利用・普及政策に関する調査、平成 14 年 5 月、社団法人日本エネルギー学会

◎水素エネルギーに関する補足資料を以下に示す。

### 別項3. 有機ハイドライド実証プラント

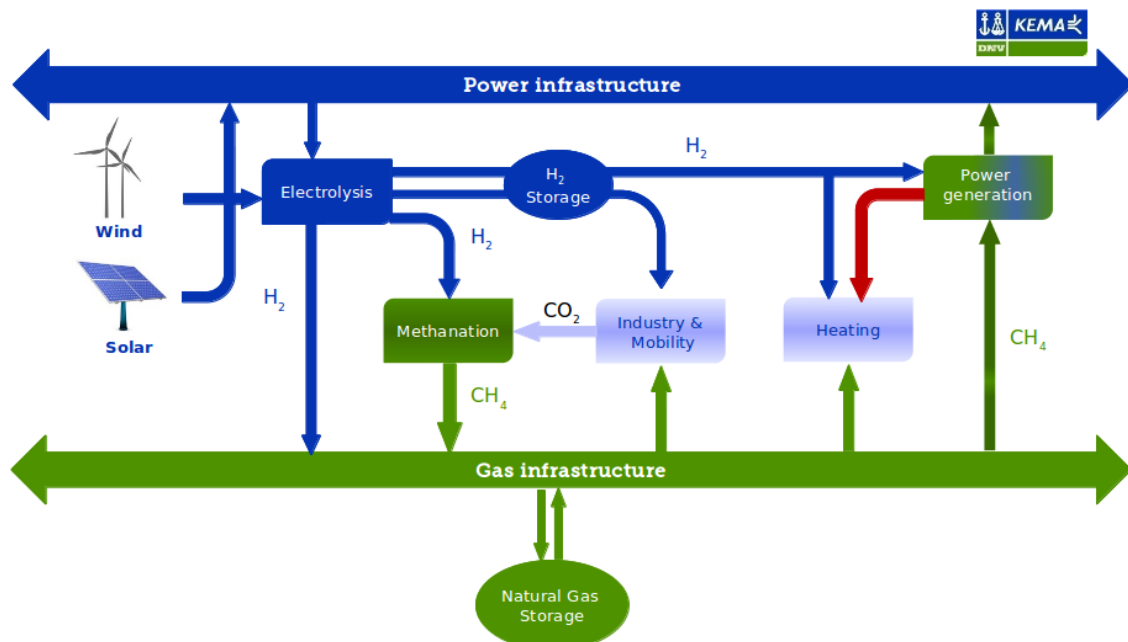
2013年4月に神奈川県横浜市の千代田化工建設子安リサーチパーク内にて運転を開始。



別図 3.1 有機ハイドライド実証プラント

### 別項4. Power to Gas 実証

ドイツでは風力発電等の電力を用いて水電解により水素を製造し、さらにその水素を原料にメタンを合成し、水素またはメタンをガス導管網へ供給する Power to Gas 実証が行われている。水素を媒介として電力ネットワークとガスネットワークを接続するものであり、エネルギーキャリアとしての水素活用の一つの姿ととらえることができる。(別図 4.1 参照)



別図 4.1 Power to Gas 概念図







産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

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

事務局長 中塚隆雄