

カーボンニュートラルと熱の脱炭素化に向けた取組

2021年11月6日

資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部長

茂木 正

2050年カーボンニュートラル宣言 と 2030年排出削減目標

- 菅前総理は2020年10月26日の所信表明演説において、我が国が2050年にカーボンニュートラル（温室効果ガスの排出と吸収でネットゼロを意味する概念）を目指すことを宣言。
- 「地球温暖化対策計画」、「エネルギー基本計画」、「パリ協定に基づく長期戦略」の見直しの加速。
- 2021年4月の気候サミットで、菅前総理は、我が国が、2030年度において、温室効果ガスの2013年度からの46%削減を目指すこと、さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく決意を表明。

10月26日総理所信表明演説（抜粋）

<グリーン社会の実現>

我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします。

10月30日総理大臣指示（抜粋）

2050 年カーボンニュートラルへの挑戦は、日本の新たな成長戦略。この挑戦を産業構造や経済社会の発展につなげ、経済と環境の好循環を生み出していきたい。

「成長戦略会議」や「国と地方で検討を行う新たな場」等において議論を重ね、「地球温暖化対策計画」、「エネルギー基本計画」、「パリ協定に基づく長期戦略」の見直しを加速してほしい。

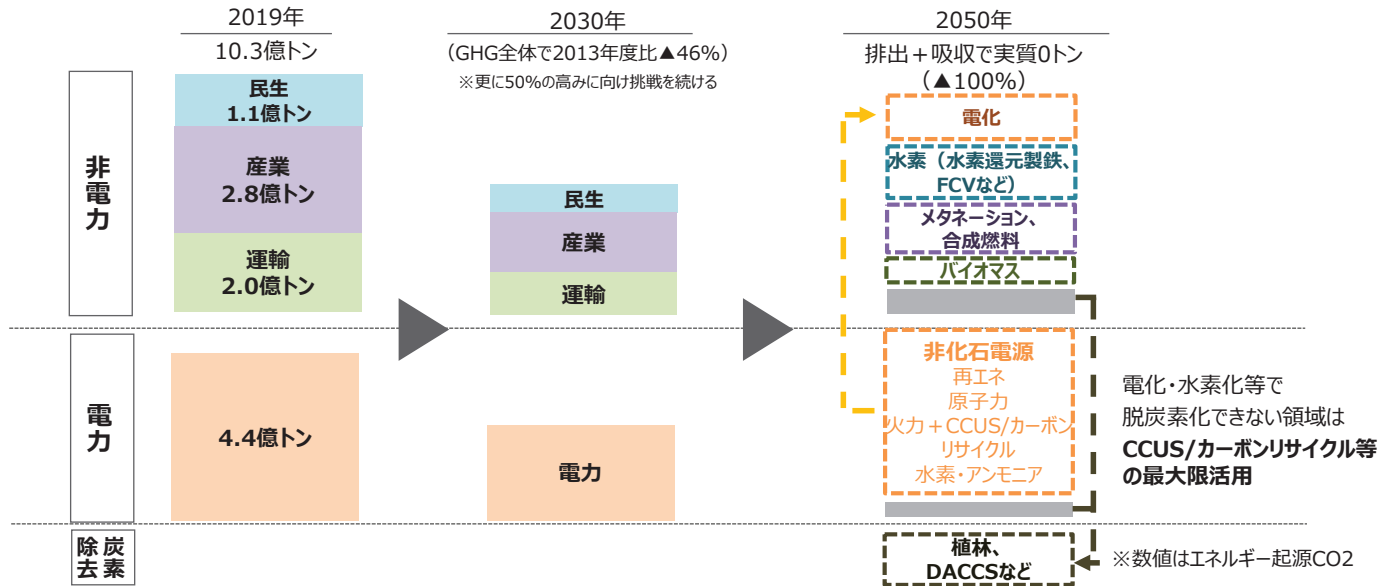
4月22日総理スピーチ（抜粋）

<2030年目標>

地球規模の課題の解決に、我が国としても大きく踏み出します。2050年カーボンニュートラルと総合的で、野心的な目標として、我が国は、2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指します。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けてまいります。

カーボンニュートラルへの道筋（政策の方向性）

- **全部門を通じて、省エネの徹底。**
- **次に電力の脱炭素化。**そのため、①再エネは、最大限導入、②原子力は可能な限り依存度を低減しつつ安全最優先の再稼働、③水素、アンモニア、CCUS/カーボンリサイクルなど新たな選択肢を追求。
- **産業・民生・運輸（非電力）部門では、電化推進。熱需要には、水素化やCO2回収で脱炭素化を目指す。**最終的に脱炭素化が困難な領域では、DACCSやBECCSなど炭素除去技術による対応も求められる。
- **カーボンニュートラルへの道筋**は、技術革新・社会変化など不確実性の道。**目指すべき「ビジョン」**と捉える。



2

2030年エネルギー需給見通しのポイント（ミックス）

- 今回の見通しは、2030年度の新たな削減目標を踏まえ、徹底した省エネルギーや非化石エネルギーの拡大を進める上での需給両面における様々な課題の克服を野心的に想定した場合に、どのようなエネルギー需給の見通しとなるかを示すもの。
- 野心的な見通しに向けた施策の実施に当たっては、安定供給に支障が出ることのないよう、施策の強度、実施のタイミングなどは十分考慮する必要。（例えば、非化石電源が十分に導入される前の段階で、直ちに化石電源の抑制策を講じることになれば、電力の安定供給に支障が生じかねない。）

(2019年 ⇒ 現行目標)

**2030年ミックス
(野心的な見通し)**

省エネ	(1,655万kl ⇒ 5,030万kl)	6,200万kl
最終エネルギー消費（省エネ前）	(35,000万kl ⇒ 37,700万kl)	35,000万kl
電源構成	再エネ (18% ⇒ 22~24%)	36~38%※
発電電力量： 10,650億kWh ⇒ 約9,340 億kWh程度	水素・アンモニア (0% ⇒ 0%)	※現在取り組んでいる再生可能エネルギーの研究開発の 成果の活用・実装が進んだ場合には、38%以上の高み を目指す。
	原子力 (6% ⇒ 20~22%)	1% (再エネの内訳)
	LNG (37% ⇒ 27%)	20~22% 太陽光 14~16%
	石炭 (32% ⇒ 26%)	20% 風力 5%
	石油等 (7% ⇒ 3%)	19% 地熱 1%
		2% 水力 11%
		バイオマス 5%

(+ 非エネルギー起源ガス・吸収源)

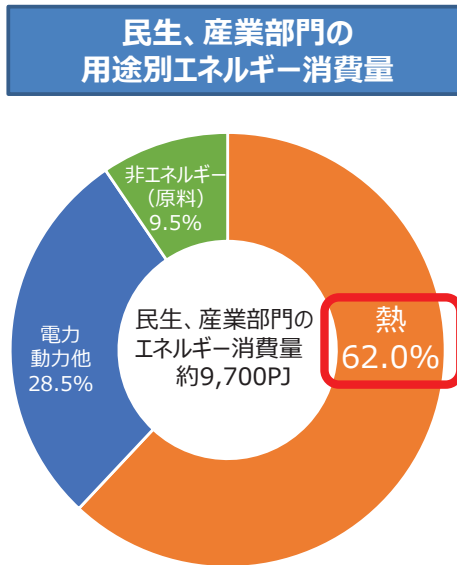
温室効果ガス削減割合 (14% ⇒ 26%)

46%
更に50%の高みを目指す

3

熱需要の脱炭素化の重要性

- 日本の民生・産業部門における消費エネルギーの約6割は熱需要。特に産業分野においては、**電化による対応が難しい高温域も存在**。
- 2050年カーボンニュートラル実現に向けては、**熱需要の脱炭素化を実現することが鍵**。



(出典) 2020年エネルギー白書を基に日本ガス協会作成

4

エネルギー基本計画の中の「熱」に関する記述①

「現時点での技術を前提としたそれぞれのエネルギー源の位置づけ：熱」

現時点において、我が国の最終エネルギー消費の過半は熱利用を中心とした非電力部門が占めており、2050年カーボンニュートラルを見据え、**省エネルギーや燃料転換などにより、更に熱を効率的に利用する必要がある**。熱の利用は、個人・家族の生活スタイルや地域の熱源の賦存の状況によって、様々な形態が考えられることから、生活スタイルや地域の実情に応じた、柔軟な対応が可能となる取組が重要である。

熱と電気を組み合わせて発生させるコージェネレーションは、熱電利用を同時に行うことによりエネルギーを最も効率的に活用することができる方法の一つであり、省エネルギー性に加え、ガスなどの既存インフラを活用するため、点在が容易である。また、季節や時間によっては発電容量に一定の余裕がある場合もあり、緊急時における電力供給不足のバックアップや、再生可能エネルギー等の変動電源導入時に必要となる調整電源としての役割も期待できる。また、地域の特性を活かした太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱等の再生可能エネルギー熱をより効果的に活用していくことも重要である。

「徹底した省エネルギーの更なる追求」

鉄鋼業などの一部業種においては、世界的に見ても省エネルギー技術の導入が進展しているため、更なる省エネルギーには省エネルギーポテンシャルの高い新たな省エネルギー技術の開発や導入、**工場排熱等の未利用エネルギーの活用に向けた取組強化等が必要**である。

2030年度目標を踏まえた省エネルギーポテンシャルの更なる深掘りを目指すため、経済産業省及びNEDOで策定している「省エネルギー技術戦略2016」（2016年9月）を改定し、省エネルギー技術開発のロードマップとして位置づけながら、**工場排熱等の未利用エネルギーの更なる活用を含め、先進的な技術開発・実用化支援・普及拡大に取り組んでいく**。

「再生可能エネルギー熱」

再生可能エネルギー熱は地域性の高い重要なエネルギー源であることから、下水汚泥・廃材によるバイオマス熱などの利用や、運輸部門における燃料となっている石油製品を一部代替することが可能なバイオ燃料の利用、廃棄物処理における熱回収を、経済性や地域特性に応じて進めていくことが重要である。

太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱等の再生可能エネルギー熱について、**熱供給設備の導入支援を図るとともに、複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行うことで、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す**。

5

エネルギー基本計画の中の「熱」に関する記述②

「天然ガスシフトと熱の脱炭素化」

我が国の産業・民生部門の消費エネルギーの約6割は熱需要であり、特に産業分野においては電化による対応が難しい高温域も存在しているため、熱需要の脱炭素化の実現に向けて、需要サイドに熱エネルギーを供給するガスの脱炭素化が大きな役割を果たすとともに、需要サイドにおける天然ガスへの燃料転換や天然ガス利用機器の高効率化は熱需要の脱炭素化に向けた選択肢の一つとなる。

天然ガスは化石燃料の中でCO₂排出量が最も少ないため、天然ガスへの燃料転換等によって熱需要の低炭素化に貢献できるとともに、供給サイドにおいてメタネーション等の技術が確立すれば、既存インフラや設備を利用可能な合成メタン等が天然ガスを代替できるようになるため、燃料転換等を行った需要サイドは将来的に合成メタン等の供給を受けることにより、2050年に向けてコストを抑えつつ円滑な脱炭素化への移行が期待できる。需要サイド・供給サイドそれぞれが熱の低炭素化・脱炭素化に資する取組を進めていくことが重要である。

「効率的な熱供給の推進」

熱の有効利用に対する関心が高まる中、熱導管を面的に敷設して行う地域型の熱供給、都市再開発事業などに伴いビル単位での事業や生活機能の確保も意識した地点型の熱電一体供給など、冷温熱を供給するサービスの形態も多様化してきているところである。

こうした中、主に高温域を占める産業用に関しては、製造プロセス技術開発、省エネルギー設備の導入促進、コージェネレーションの利用や廃熱カスケード利用促進を行うことが重要である。また、主に低温域を占める民生用に関しては、まずは省エネルギー住宅・建築物の普及により熱需要自体の削減を図るとともに、エネファームやヒートポンプなどの省エネルギー機器の普及を促進することが重要である。これらに加えて、引き続き省エネ法による規制を通じて熱の効率的な利用を促進する。

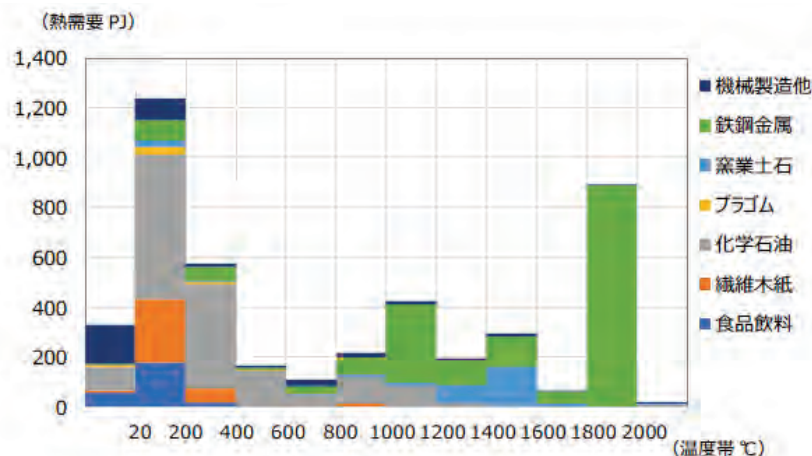
熱供給事業に関するシステム改革により、熱電一体型の熱供給を行うための環境整備が進んだことを踏まえ、コージェネレーションや廃熱等のエネルギーの面的利用を推進する。これにより、地域の省エネルギーの実現に貢献するとともに、災害時のレジリエンス強化やエネルギーの地産地消等を後押しする。

6

産業部門の熱需要の実態①（業種別）

- 産業部門の熱需要は低温帯から高温帯まで多岐にわたる。
- 鉄鋼業、窯業土石は比較的高温の熱需要が多いのに対し、食品飲料、繊維木紙、機械製造業は比較的低温の熱需要が多い。化学工業は広範な温度領域の熱需要を有している。

産業部門の業種別・温度帯別の熱需要 イメージ



（出典）平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査

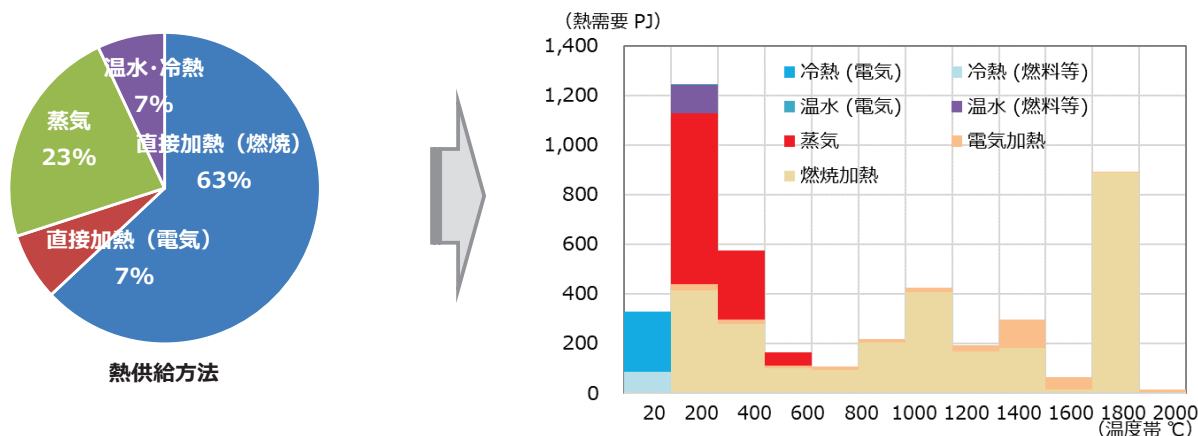
（出典）令和3年1月27日第36回基本政策分科会資料

7

産業用熱需要の実態②（温度別、供給方法別）

- 直接加熱は広範な温度帯で実施。直接加熱（燃焼加熱、電気加熱）が全体の約7割を占め、蒸気需要が約23%、残りが温水、冷熱需要。
- 鉄鋼業のような高温帯が必要な業種における熱需要は、電気では経済的・熱量的にも供給することが難しい。化学分野は幅広い温度帯を活用しているが、石油化学のように高温帯を扱う分野では既存の大型設備で適用できる電化設備は存在しない。

【供給方法で分類】



出所）平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査
（熱供給及び熱供給機器の特性等に関する調査）調査報告書 より作成

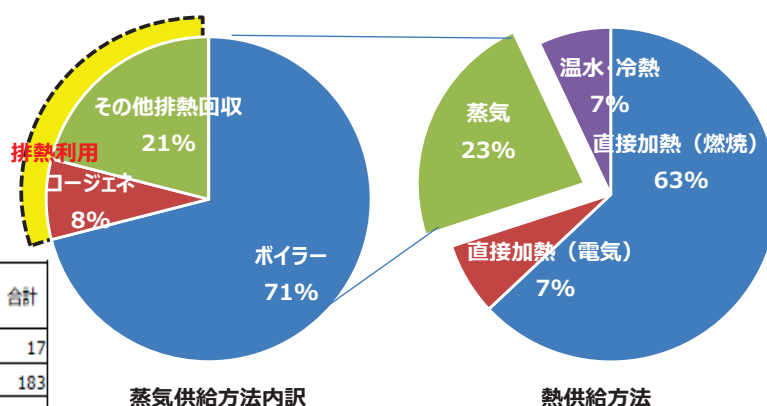
8

産業用熱需要の実態③（蒸気利用）

- 蒸気需要の7割はボイラー、3割は排熱回収による供給（約300PJ程度）。
- 蒸気利用の温度帯は多くの業種で200℃以下が中心であるが、化学石油、鉄鋼金属では200℃以上の高温需要も多い。熱が使用される工程（加熱、乾燥、洗浄等）やその工程で求められる温度帯による蒸気需要は異なる。

蒸気需要（業種別、温度別）（単位PJ）

	農林 畜産	食品 飲料	繊維 木紙	化学 石油	方 ゴム	窯業 土石	鉄鋼 金属	機械 製造他	廃棄 物処	合計
100℃未満	0	4	2	1	0	0	5	4	0	17
100～150℃	0	42	49	50	7	5	11	19	0	183
150～200℃	0	34	167	176	13	12	55	31	2	491
200～300℃	0	3	18	12	4	2	20	2	3	173
300～400℃	0	0	28	50	0	0	26	1	1	106
400～600℃	0	0	0	54	0	0	0	1	0	55
600～800℃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800～1000℃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000℃以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	84	264	452	25	19	116	59	6	1,024



出所）平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査
（熱供給及び熱供給機器の特性等に関する調査）調査報告書 より作成

9

産業分野の排ガス熱の実態について（2019年3月NEDO調査より）

- 溶解や熱処理を伴う鉄鋼業、非鉄金属業、輸送機械業は500℃以上の高温の排ガスも多いことや、焼却を伴う清掃業やその他の製造業からは150～249℃に集中する形で比較的高温の排ガスが排出。
- これら15業種の排ガス熱量（未利用）の合計は743ペタ・ジュール年毎（PJ/y）。そのうちの76%に当たる565PJ/yは200℃未満の排ガス熱量が占めている。

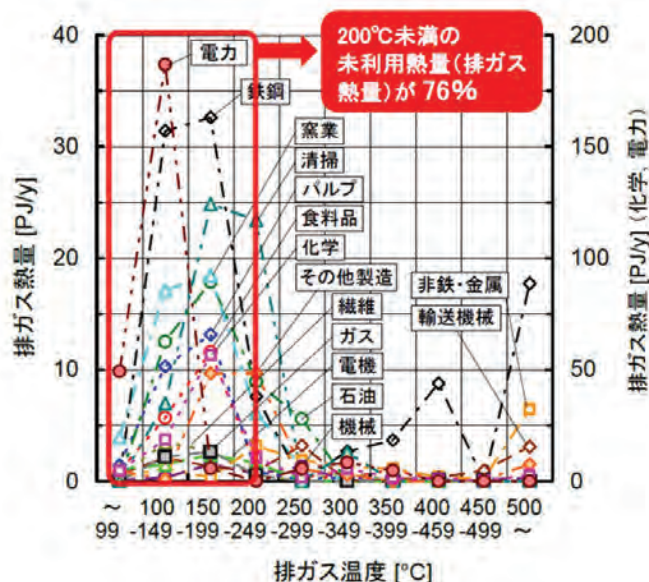


図 業種別・温度帯別の未利用熱量（排ガス熱量）の全国推定値（化学、電力は右軸）

- ※ 省エネ法の第一種エネルギー管理指定工場のうちの4138事業所、第二種エネルギー管理指定工場のうちの345事業所を対象として、2014年から2016年にかけて調査票を配布し、1273事業所（第一種1057事業所、第二種216事業所）から回答。
- ※ 回答結果に基づいて、工場への投入エネルギーと排ガスの状態で廃棄されている未利用熱との相関関係を業種別に求め、その近似式と2015年度の製造業の業種別エネルギー消費量の統計値を用いて、未利用熱量（排ガス熱量）の全国値を推定。

10

産業分野の熱利用の高効率利用に向けた課題

- 直接加熱は広範な温度帯で実施（全体の7割）。蒸気は低温を中心に2割強。
- 鉄鋼業、窯業土石は比較的高温の熱需要が多いのに対し、食品飲料、繊維木紙、機械製造業は比較的低温の熱需要が多い。化学工業は広範な温度領域の熱需要あり。
- 高温帯が必要な業種における熱需要は、電気では経済的・熱量的にも供給することが難しい（高温帯を扱う分野では既存の大型設備で適用できる電化設備は存在しない。）。
- 未利用の工場排ガス熱だけで700PJ以上。うち76%は200度未満の低温排熱。

11

1. 熱利用の高効率化（省エネ）

（課題）

- ① 高温領域の熱利用の高効率化
- ② 未利用の低温排熱の利活用拡大
- ③ 熱電併給（コージェネレーション）活用
- ④ 他者（ex.企業間）との連携

（対応）

- ① 省エネルギー投資促進支援（補助金）
- ② 未利用熱の実用化に向けた実証支援
- ③ コージェネレーション設備の導入支援
- ④ 省エネ法による制度的支援（連携省エネルギー計画）

2. 熱の脱炭素転換

（課題）

- ① 燃料転換（電化）の促進
- ② 電化できない高温領域での対応
- ③ 代替となる非化石燃料の活用
- ④ 製造プロセスの抜本的な見直し

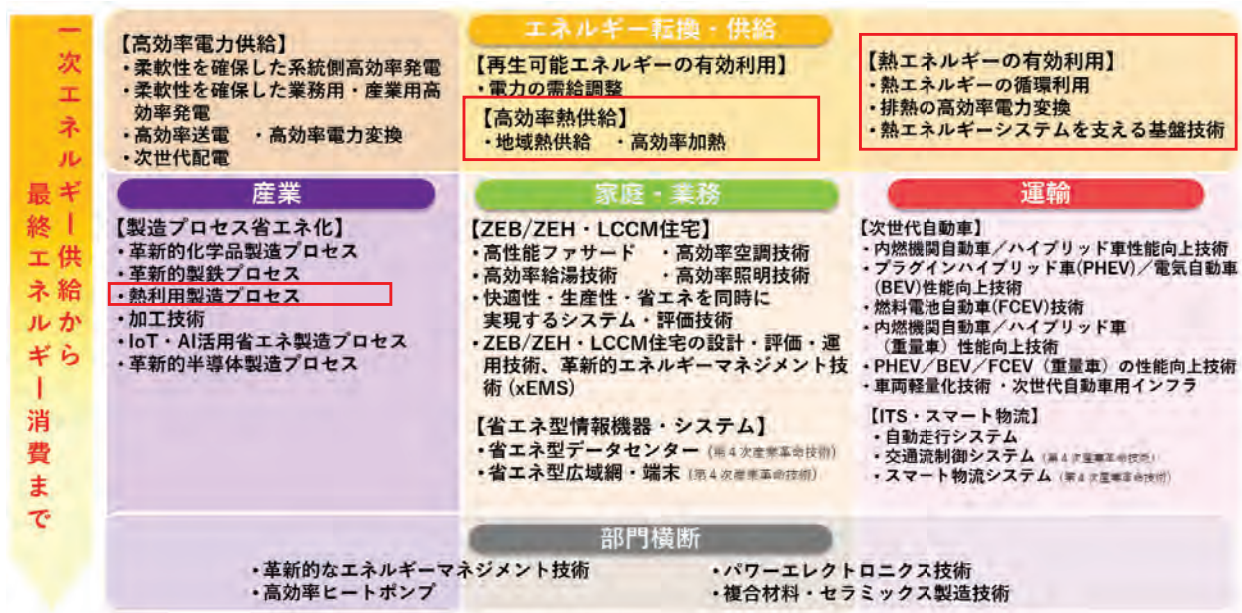
（対応）

- ① 省エネルギー投資促進支援（補助金）
- ② 水素・アンモニア燃料の混焼・専焼実証
- ③ カーボンニュートラル合成燃料の開発
- ④ 革新的な製造プロセスの開発

12

「省エネルギー技術戦略」に定める重要技術

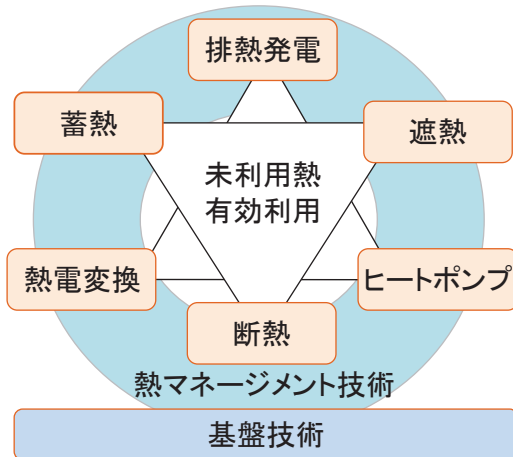
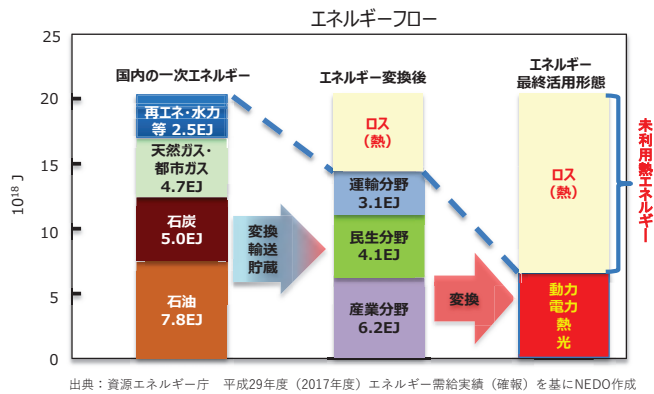
（2016年策定、2019年7月改定）



「省エネルギー技術戦略」：省エネルギー技術開発の具体的な方向性を示すガイドライン・ロードマップ的位置づけとして、資源エネルギー庁とNEDOが策定。

13

未利用熱エネルギーの革新的な活用技術研究開発事業（概要）



事業の目標

工場の製造工程等から排出される未利用熱を有効的に活用するための革新的な要素技術の技術開発を通じて、世界最先端の省エネ工場の実現を目指す。

実施内容

令和2年度以降、以下のテーマに特化。

断熱：1,500℃以上で使用できる断熱材で、圧縮強度20MPa以上（レンガの強度）、かつ熱伝導率0.2W/m・K以下（断熱性に優れたファイバー系断熱材料の熱伝導率）の材料の開発

ヒートポンプ：200℃までの供給温度に対応し、エネルギー消費効率※3.5以上を達成する高温型ヒートポンプシステムの開発

熱電変換：無機系材料で出力密度1.5W（LED豆電球の3個分程度）/cm²〔世界最高水準〕の熱電変換技術の開発

その他：熱マネジメント技術、基盤技術。

※エネルギー消費効率とは、電力1kWで得られる効果の指標。

例えば、電気ヒーターの場合、1kWで860kcalの熱が得られるが、エネルギー消費効率3.5のヒートポンプの場合、3010 kcalの熱量が得られる。

実用化により期待される効果

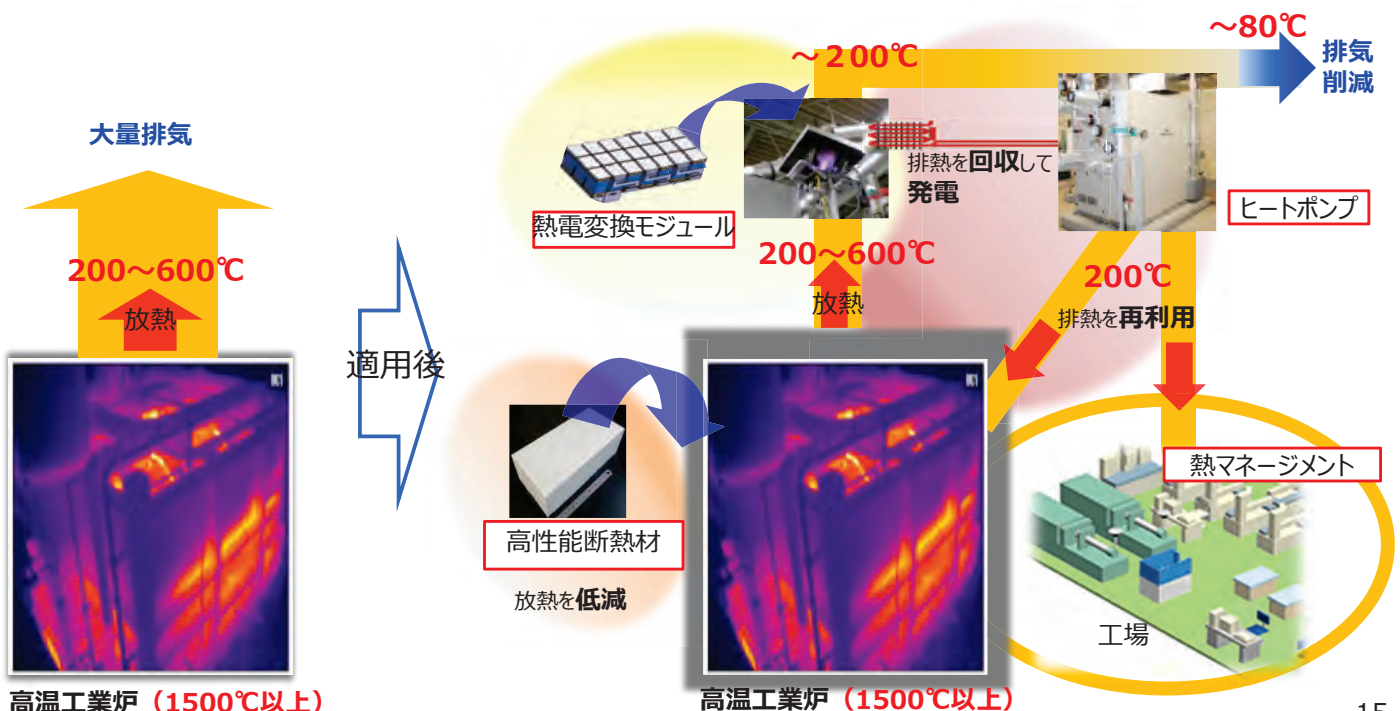
・産業部門の省エネルギー

CO₂削減効果：487万t／年以上（2030年）

14

未利用熱エネルギーの革新的な活用技術研究開発事業（産業部門への適用イメージ）

- 高温工業炉（1,500℃）等から大量の熱が放熱・排気（200～600℃）されている中、高温に耐える高性能断熱材により、放熱量を抑制。
- それでも放熱された熱（200～600℃）は熱電変換モジュールを使って、電気として活用。
- さらに、発電にも使われなかった低温の熱（～200℃）はヒートポンプ技術により回収し、200℃までの熱として工場内に供給。



15

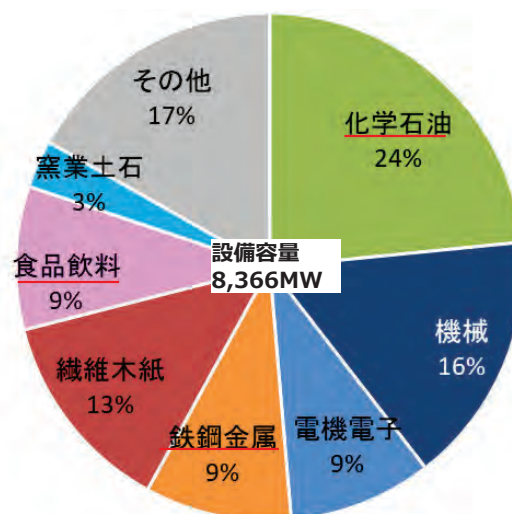
未利用熱エネルギーの革新的な活用技術研究開発事業（成果事例）

テーマ	実施主体	実施内容	進捗状況・成果
断熱	美濃窯業、 産総研	高温下(1500℃以上)で耐熱性と強度を持つ、安価な高性能断熱材を開発。	一定の条件下において、1500℃の耐熱性を有する断熱材の開発に成功。実用化に向けた高強度化を開発中。
蓄熱	パナソニック、 三菱ケミカル等	10℃前後で長時間(24h以上)使用できる蓄熱材を開発。	10℃前後の温度で冷却する食品造製造プロセス等へ主に適用することを想定し、安全性評価を完了した蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールを開発した【令和2年度事業終了】
熱電変換	古河機械金属、 日立製作所等	高温(600℃)でも使用可能な、高性能熱電変換システムを開発。	ラボレベルで600℃での耐久性試験を実施しており、引き続き実用化に向けた実証試験を行う予定。
廃熱発電	パナソニック	低温(200℃以下)の排熱を利用した発電装置(効率:従来比2倍)を開発。	200℃の定常運転の条件において、平均発電出力1kWを達成した。【令和2年度事業終了】
ヒートポンプ	前川製作所等	高温(200℃)の熱供給が可能なヒートポンプ技術を開発。	200℃の熱供給が可能となるヒートポンプの基本仕様や試作を完了し、今後実証試験を行う予定。
熱マネジメント	マツダ、マレリ等	断熱・蓄熱等の要素技術を組み合わせた熱のマネジメント技術を確立。	自動車内の熱の流れをモデル化するために必要なデータを取得しており、モデルの構築と様々な車両に対する適用に向けて開発中。
基盤技術	産総研、 金属系材料研究センター等	熱関連材料特性等の情報整備。未利用熱利用に係る評価・計測法の開発。	企業等が導入の検討に有用なヒートポンプシュミレータを開発とともに、材料のデータベース化に向けて業界共通となる基盤を構築している。

16

コージェネレーションの活用・普及

- 現状、コージェネは化学、鉄鋼、食料品など、熱需要の多い分野に多く導入されているほか、相対的に熱需要が小さい機械、電機電子などの分野においても、BCP目的で導入がすすんでいる。



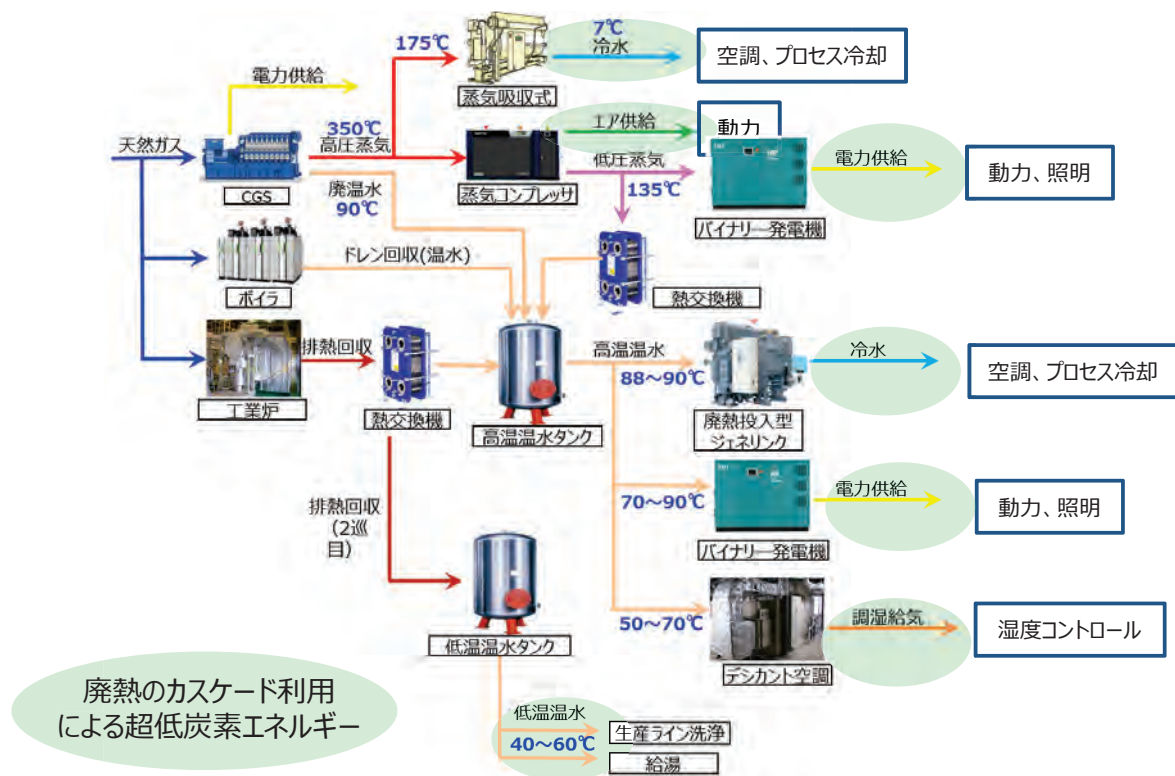
産業用コージェネの業種別導入量

出所) コージェネ財団HPより作成

17

熱のカスケード利用（イメージ）

- コージェネからの高温・高圧の蒸気を多段階に再利用することでシステム全体でのエネルギー効率の向上、低炭素化を実現する



18

停電対応型コージェネ等の導入促進

- 停電対応型コージェネ等は、全国の都市ガス供給エリアの自治体の約50%は導入した施設がなく、避難所等の施設数を考えれば不十分。
- 今回の予算措置により、導入した施設がない自治体にある避難所等への導入を優先して進め、レジリエンスの向上を図っていく。

＜導入を進める施設とイメージ＞

自治体等と災害時の協定を締結した民間施設（宿泊施設、商業施設、温浴施設等）

【導入例】ホテルアンピア松風閣（コージェネ）

- 災害発生時、避難所として貢献。



【導入例】イオンモール浦和美園（コージェネ）

- 災害発生時、一次避難所として貢献。



防災計画指定の避難所等施設

【導入例】芝浦工業大学（コージェネ）

- 災害発生時、指定避難所として貢献。



【導入例】ゆめが丘保育園（GHP）

- 災害発生時、指定避難所として貢献。



防災上中核となる施設（市役所、役場庁舎、自治体施設等）

【導入例】昭島市スポーツセンター（コージェネ）

- 災害発生時、ボランティアと救援物資を受入。



【導入例】白井市保健福祉センター（GHP）

- 災害発生時、ボランティアを受入。

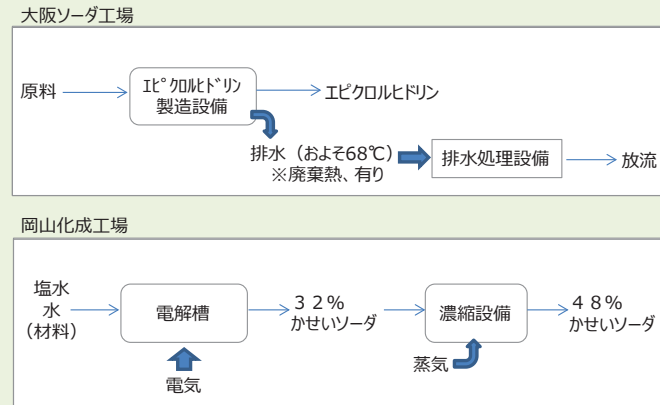


19

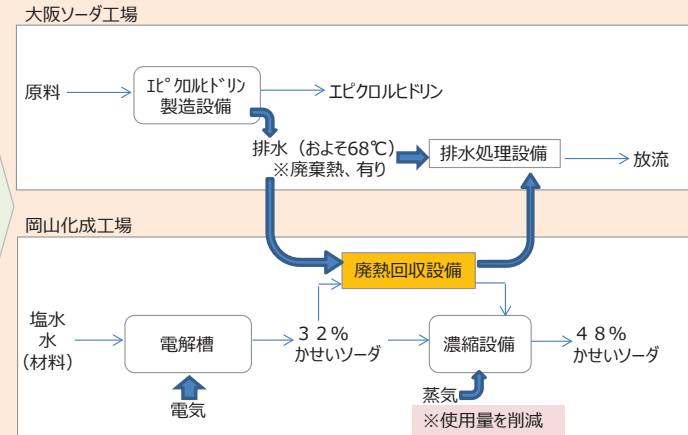
複数企業連携による省エネ事例（廃熱利用）（H30年度補助金採択）

- 大阪ソーダの工場の製造設備から排出される排水（約68℃）の熱を回収し、岡山化成の苛性ソーダの濃縮装置において有効活用することにより、蒸気使用量を削減し、省エネを図る。
- 補助対象経費：734.9百万円（2カ年事業）

■ Before



■ After



■ 事業効果（計画）

【省エネ量】1,327.2 kL/年

【省エネ率】0.9%

【費用対効果】270.9 kL/千万円

20

省エネ法による連携省エネルギー計画の認定制度（平成30年度法改正）

【改正前】

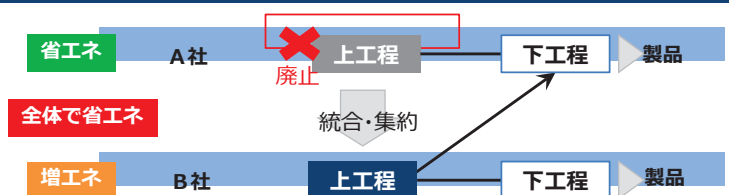
事業者ごとのエネルギー消費量に基づき評価

【改正後】

「連携省エネルギー計画」の認定を受けた者は、連携省エネの省エネ量を事業者間で分配して定期報告可能に

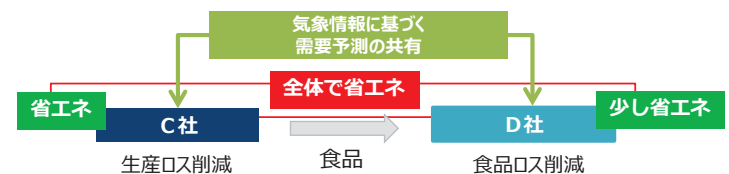
ケース1 同一業界の事業者間の設備集約

- 改正前では、設備統合側の評価は悪化。省エネ量を分配可能とし、双方にとってプラスとなるようにした。



ケース2 サプライチェーン連携による最適化

- 改正前でも双方ともプラスに評価されるが、取組への関与の度合い等に応じた柔軟な省エネ量の分配を可能としたことで取組を促進する。



ケース3 荷主間連携による物流効率化

- 荷主についても同様に連携による省エネ量の分配を認めた。



21

省エネ法における未利用熱の活用促進

- 省エネ法において、未利用熱を他者に供給した事例があれば、定期報告書において報告可能とする未利用熱活用制度を平成29年度より実施。

未利用熱活用制度とは、外部で発生した未利用熱を購入し、自社の工場等で使用した場合に省エネ取組として評価するものです。具体的には、定期報告のエネルギー消費原単位の算出にあたって、エネルギー使用量から差し引くことで、原単位の改善が可能となります。

注）本制度の利用は任意となります。省エネ取組として評価を望む場合、ご利用ください。



22

熱需要の脱炭素化に向けた取組①

		脱炭素技術	克服すべき主な課題（※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの）	コストパリティ
電力部門	発電	再エネ	導入拡大に向け、系統制約の克服、コスト低減、周辺環境との調和が課題	
		原子力	安全最優先の再稼働、安全性等に優れた炉の追求、継続した信頼回復が課題	
		火力+CCUS/カーボンサイクル	CO2回収技術の確立、回収CO2の用途拡大、CCSの適地開発、コスト低減が課題	
		水素発電	水素専焼火力の技術開発、水素インフラの整備が課題	水素価格 約13円/Nm3
		アンモニア発電	アンモニア混焼率の向上、アンモニア専焼火力の技術開発が課題	
産業部門	熱・燃料	電化	産業用ヒートポンプ等電化設備のコスト低減、技術者の確保、より広い温度帯への対応が課題	
		バイオマス活用（主に紙・板紙業）	黒液（パルプ製造工程で発生する廃液）、廃材のボイラ燃料利用の普及拡大に向け、燃料コストの低減が課題	
		水素化（メタネーション）	水素のボイラ燃料利用、水素バーナー技術の普及拡大に向け、設備のコスト低減、技術者の確保、水素インフラの整備が課題	水素価格 約40円/Nm3
		アンモニア化	火災温度の高温化のためのアンモニアバーナー等の技術開発が課題	
	製造プロセス（鉄鋼・セメント・コンクリート・化学品）	鉄：水素還元製鉄	水素による還元を実現するために、水素による吸熱反応の克服、安価・大量の水素供給が課題	水素価格 約8円/Nm3
		セメント・コンクリート：CO2吸収型コンクリート	- 製造工程で生じるCO2のセメント原料活用（石灰石代替）の要素技術開発が課題。 - 防錆性能を持つCO2吸収型コンクリート（骨材としてCO2を利用）の開発・用途拡大、スケールアップによるコスト低減。	
		化学品：人工光合成	変換効率を高める光触媒等の研究開発、大規模化によるコスト低減が課題	

※ 主なエネルギー起源CO2を対象に整理、製造業における工業プロセスのCO2排出も対象
コストパリティは既存の主要技術を対象に燃料費のパリティ水準を算出

* 水素発電のパリティはLNG価格が10MMBtuの場合、水素還元製鉄は第11回CO2フリー水素WGの資料より抜粋（100kW級の純水素FCで系統電力+ボイラーを置換）

23

熱需要の脱炭素化に向けた取組②

脱炭素技術			克服すべき主な課題 ※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの	コストパリティ
民生部門	熱・燃料	電化	➢ エコキュート、IHコンロやオール電化住宅、ZEH、ZEB等を更に普及させるため、設備コスト低減が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」④住宅・建築物/次世代型太陽光産業	
		水素化	➢ 水素燃料電池の導入拡大に向けて、設備コスト低減、水素インフラの整備が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑨水素産業	
		メタネーション	➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
運輸部門	燃料 (乗用車・トラック・バスなど)	EV	➢ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、充電インフラの整備、充電時間の削減、次世代蓄電池の技術確立が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業	電力価格 約10~30円/kWh
		FCV	➢ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、水素インフラの整備が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑨自動車・蓄電池産業	水素価格 約90円/Nm3
		合成燃料 (e-fuel)	➢ 大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑩自動車・蓄電池産業	
	燃料 (船・航空機・鉄道)	バイオジェット燃料/ 合成燃料 (e-fuel)	➢ 大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑩航空機産業	
		水素化	➢ 燃料電池船、燃料電池電車の製造技術の確立、インフラ整備が課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑨水素産業⑦船舶産業⑩航空機産業	
		燃料アンモニア	➢ 燃料アンモニア船の製造技術の確立 * グリーン成長戦略「実行計画」⑫燃料アンモニア産業	
炭素除去	DACCS、BECCS、植林		➢ DACCS：エネルギー消費量、コスト低減が課題 ➢ BECCS：バイオマスの量的制約の克服が課題 ※ CCSの適地開発、コスト低減は双方共通の課題 * グリーン成長戦略「実行計画」⑪カーボンサイクル産業	

*DACCS：Direct Air Carbon Capture and Storage、BECCS：Bio-energy with Carbon Capture and Storage

**ガソリン自動車との比較。ガソリン価格が142.8円/Lの時を想定（詳細は第11回CO2フリー水素WGの資料を参照）

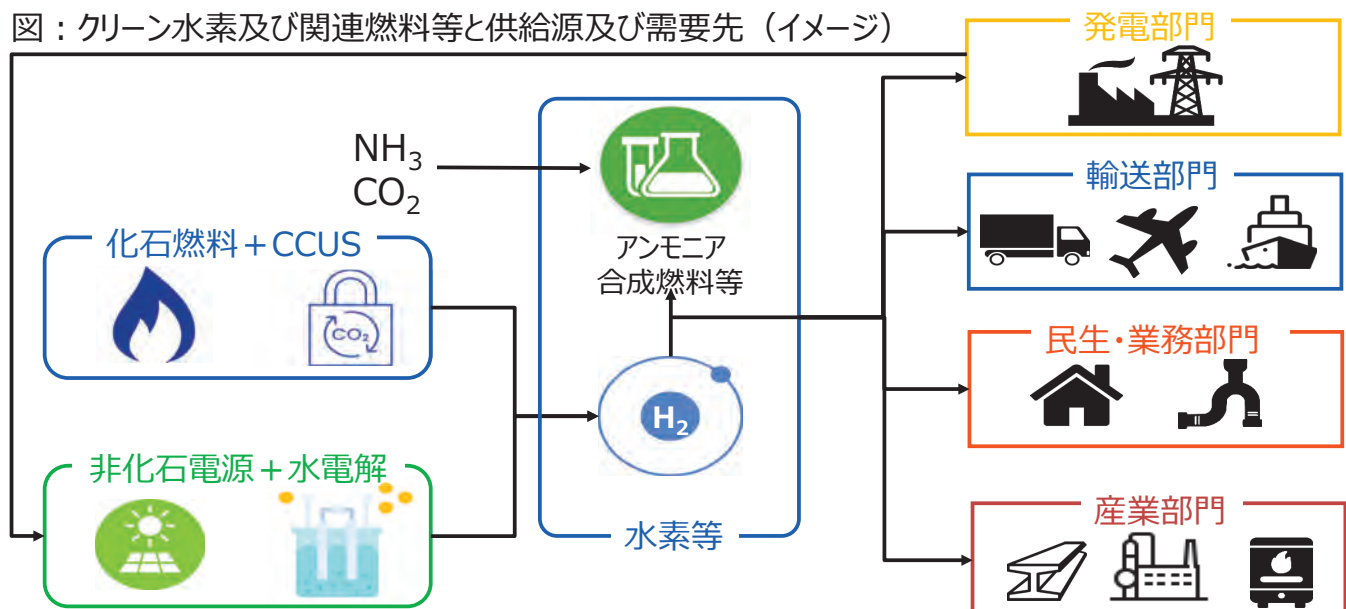
※ 主なエネルギー起源CO2を対象に整理、製造業における工業プロセスのCO2排出も対象
コストパリティは既存の主要技術を対象に燃料費のバリティ水準を算出

24

カーボンニュートラル時代の水素の役割

- 水素は直接的に電力分野の脱炭素化に貢献するだけでなく、余剰電力を水素に変換し、貯蔵・利用することで、再エネ等のゼロエミ電源のポテンシャルを最大限活用することも可能とする。
- 加えて、電化による脱炭素化が困難な産業部門(原料利用、熱需要)等の脱炭素化にも貢献。
- また、化石燃料をクリーンな形で有効活用することも可能する。
- なお、水素から製造されるアンモニアや合成燃料等も、その特性に合わせた活用が見込まれる。

図：クリーン水素及び関連燃料等と供給源及び需要先（イメージ）



25

今後の水素政策のポイントと5つの戦略領域

- 水素の社会実装を加速化するためには、供給と需要に関する5つの戦略分野において、**技術開発、導入支援・制度整備、インフラ整備、規制改革・国際標準化**などの政策ツールを最大限動員する必要がある。

主な政策ツール



技術開発



導入支援・制度
整備



インフラ整備



規制改革・国際
標準化

5つの戦略分野

①水電解装置

②国際水素サプライチェーン
(水素運搬船等)

③輸送部門
(FCV・商用車・船舶等)

④大規模水素発電
(混焼、専焼)

⑤産業部門での燃料・原料利用

26

水電解装置の開発加速

- 日本は世界最大級の水電解装置（FH2R;福島県浪江町）を有するものの、開発は欧州勢が先行。市場も再エネが安い欧州等が先に立ち上がる。
- 余剰再エネ等を活用した国内水素製造基盤の確立や、今後立ち上がる海外市場獲得を目指すべく、水電解装置の**大型化やモジュール化、優れた要素技術の実装といった技術開発を強力に後押し、装置コストの一層の削減や耐久性性向上等**を目指す。

福島水素研究フィールド (FH2R)における実証



(出典) 東芝エネルギーシステムズ(株)

- 商用化に向けた**水素製造効率の向上**
- **低コスト化**に向けた研究開発
- 電力、水素の需給に対応する**運用システムの確立**

各国の導入目標(2030年時点)



40GW

※EU域内・域外の
合計では80GW



6.5GW



5GW



25GW



5GW

**IEA SDS*シナリオにおける2070
年時点での導入容量は約
3,300GWの見込み**

*Sustainable Development Scenario

海外展開に向けた動向

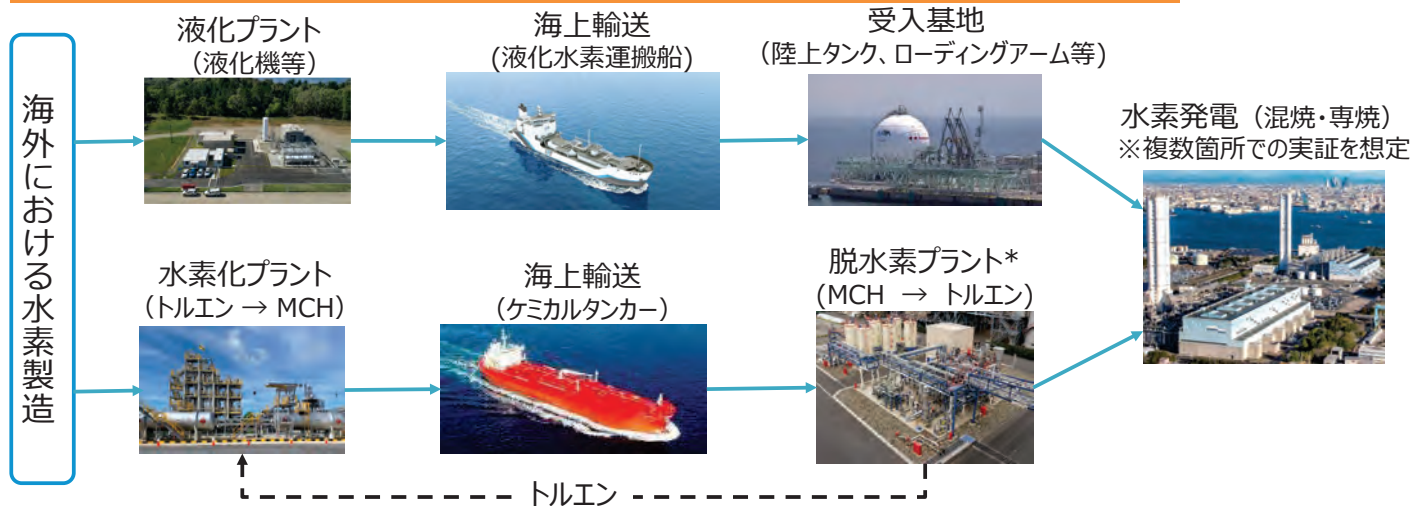
旭化成	ドイツで化学原料へのグリーン水素供給プロジェクトに参画
三菱重工	ノルウェーの水電解装置メーカー、ハイドロジェンプロ社に出資
日立造船	ドイツで、水電解装置システムの開発・販売を行う事業者Etogasを買収

27

国際的な水素サプライチェーンの構築

- 水素社会の実現に向け、**大規模水素サプライチェーン構築と需要創出**を一体的に進めることが必要。
- 将来的な**国際水素市場の立ち上がり**が期待される中、日本は世界に先駆けて液化水素運搬船を建造するなど、**技術で世界をリード**。大規模需要の見込める**水素発電技術**についても我が国が先行。
- そのため、複数の水素キャリア（液化水素、MCH）で①**輸送設備の大型化等の技術開発・大規模水素輸送実証を支援**することに加え、②**水素発電における実機での水素の燃焼安定性に関する実証**を一体で進める。

液化水素、メチルシクロヘキサン（MCH）の大規模水素サプライチェーン(イメージ)



*製油所等、既存設備を最大限活用することを想定
出典：HySTRA、AHEAD、各社H Pより資源エネルギー庁作成

28

水素の運搬方法

- 最適な運搬方法は、運搬距離や量、用途等により左右されるが、主要な特性は以下のとおり。
- MCH・アンモニア・メタネーションはサプライチェーンの大部分で**既存インフラを活用できることが強み**であり、早期のサプライチェーン構築が見込めるが、**消費エネルギーは液化水素が潜在的には最も低くなる**見込みで、高純度化も容易。

	液化水素	有機ハイドライド (MCH)	アンモニア	メタネーション
体積(対常温常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
状態・毒性	液体(-253℃、常圧) 毒性無	液体(常温常圧) トルエンは毒性有	液体(-33℃、常圧等) 毒性、腐食性有	液体(-162℃、常圧) 毒性無
高純度化*	高純度化が容易 (追加設備不要)	高純度化には追加設備が必要		
特性変化時の消費エネルギー(水素比率)	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下 ※将来はデータ無し	現在:-32% ※反応熱の有効利用で引き下げ余地有
技術的成熟度	- 国際運搬用の、大規模液化機、運搬船等は要技術開発 - 液化水素ローリー等の国内運搬設備は現在も利用し成熟	- 水素化・脱水素プラントは今年度で実証完了 - 国内外運搬には既存インフラ利用可能	- 脱水素設備以外成熟 - 国内外の既存サプライチェーン利用可能	- 国内外で実証試験が実施 - 国内外の既存サプライチェーン利用可能

(出典) IEA, The Future of Hydrogen等より資源エネルギー庁作成

29

今後の水素分野のロードマップ（水素の供給／需要拡大の道筋）

供給サイド	短期（～2025年頃）	中期（～2030年頃）	長期（～2050年）
実績・目標量	約200万トン	最大300万トン	2000万トン程度
既存供給源（副生水素等）	主要な水素供給源として最大限活用	供給源のクリーン化（CCUSの活用等）	
輸入水素	実証・準商用化等を通じた知見蓄積、コスト低減	商用ベースの大規模国際水素サプライチェーンの構築	調達源多様化・調達先多角化を通じた規模拡大
新たな国内供給源（電解水素等）	実証を通じた知見蓄積、コスト低減	余剰再エネ等を活用した水電解の立ち上がり	電解水素の規模拡大・新たな製造技術の台頭
需要サイド	短期（～2025年頃）	中期（～2030年頃）	長期（～2050年）
部門・目標量	約200万トン	最大300万トン	2000万トン程度
輸送部門	FCV、FCバスに加え、FCTラック等への拡大	水素燃料船等の市場投入	航空機等への水素等（合成燃料等）の利用
発電部門	定置用燃料電池、小型タービンを中心に地域的に展開	大規模水素発電タービンの商用化（SCと一体）	電力の脱炭素化を支える調整力等として機能
産業部門（工業用原料）	原油の脱硫工程で利用する水素のクリーン化、製鉄、化学分野の製造プロセス実証等の実施	水素還元製鉄、グリーンケミカル（MTO等）等	
産業・業務・家庭部門の熱需要	水電解装置や純水素燃料電池の導入や、既存ガス管を含む供給インフラの脱炭素化等に伴い化石燃料を代替	インフラ整備や水素コスト低減を通じた供給拡大	

30

次世代熱エネルギー産業（グリーン成長戦略（抜粋））

◆産業・民生部門のエネルギー消費量の約6割は熱需要であり、熱は国民生活に欠かせないもの。供給サイドが需要サイドを巻き込みながら、熱エネルギーを供給するガスの脱炭素化により熱需要の脱炭素化を進める。

	現状と課題	今後の取組
供給サイドのCN化	合成メタン等の実用化・導入拡大が必要 - 熱エネルギーを供給するガスの脱炭素化に向け、合成メタン、水素直接利用、クレジットでオフセットされたLNG、CCU/カーボンリサイクルなど様々な手段を追求することが必要。 - この中で合成メタンは既存インフラ・設備を活用可能。これまで、メタネーションの基盤技術開発、より高効率な革新的技術の先導的基盤技術開発を実施。 <u>メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、水素とCO₂を調達するサプライチェーンの構築、CNに資するCO₂削減量のカウントの検討が課題。</u> 需要サイドの求める様々なエネルギー源の供給が必要 - 再エネとガスコジェネ（分散型エネルギーシステム）をデジタル技術で制御し熱・電気を有効利用するスマートエネルギーネットワークなど、ガス事業者は需要サイドが求める熱・電気を供給する事業者に変わりつつある。 - 需要サイドの熱需要の脱炭素化等のニーズに対応するため、ガス事業者は、ガスを供給する事業者から、最適なエネルギー・サービスを提供する総合エネルギーサービス企業への転換が必要。アジアなど新市場を開拓できる可能性がある。	ガスの脱炭素化の実現 <u>2030年には既存インフラに合成メタンを1%注入</u>、その他の手段と合わせ5%のガスのCN化、<u>2050年には合成メタンを90%注入</u>、その他の手段と合わせガスのCN化を目指す。 - 技術開発等の課題解決を図り、官民が一体となって取り組む官民協議会を立ち上げ。 - アジアの脱炭素化に貢献。東南アジアの1割の天然ガス需要にメタネーション技術を導入できれば、5,000億円規模の投資。 <u>2050年までに合成メタンを2,500万トン供給、現在のLNG価格（40～50円/Nm3）と同水準を目指す。</u> - 水素直接利用、クレジットでオフセットされたLNG導入、CCU/カーボンリサイクル等の推進。 総合エネルギーサービス企業への転換 - ガスコジェネ導入促進により、分散型エネルギーシステムを構築。デジタル技術の活用により、地域における最適なエネルギー制御を実現。 - 総合エネルギーサービス企業として、需要サイドのニーズを踏まえ、エネルギーの供給・マネジメント・設備メンテナンスなど総合的サービスや脱炭素化メニューを提供。ガス供給だけでは十分取り込めていない国内外の新たな市場を開拓。
需要サイドのCN化	トランジション期の燃料転換が必要 - トランジション期の低炭素な天然ガスへの燃料転換等が重要。メタネーション技術が確立すれば、<u>合成メタンが天然ガスを代替することで円滑な脱炭素化が可能。</u> - メタネーション技術確立前も、水素直接利用、クレジットでオフセットされたLNG、<u>CCU/カーボンリサイクルなど様々な手段を追求することが必要。</u> 継続的なレジリエンス向上が必要 - ガス導管は高いレジリエンス。継続的取組が更なるエネルギー安定利用につながる。 - 停電時に対応可能なガスコジェネ普及により、災害時も社会経済活動を維持できる。 地方創生・SDGsへの貢献、地域の脱炭素化の促進が必要 - 多くのガス事業者は地域に根ざす。人口減少・少子高齢化の中、地方創生・SDGsへの貢献、再エネ・水素など地域資源活用による地域の脱炭素化の担い手として役割を果たしていくことが必要。	燃料転換を通じた脱炭素化の実現 - トランジション期の天然ガスへの燃料転換等を進める。トランジション・ファイナンスの促進、2021年度中にガスを含めた分野別ロードマップの策定。 - 地域での水素直接供給のネットワーク形成や課題検討、クレジットでオフセットされたLNGの導入促進、CCU/カーボンリサイクル技術の実用化等に取り組む。 更なるレジリエンス向上の推進 - ガスインフラの継続的なレジリエンス強化、デジタル技術を活用した更なるレジリエンス強化。 - ガスコジェネ導入促進により、分散型エネルギーシステムを構築。デジタル技術の活用により、地域における最適なエネルギー制御を実現。 地域への貢献を通じたエネルギーの安定供給の確保 - ガス事業者が、地方自治体や同業種・他業種と連携し、次世代熱エネルギー供給を主体的に推進。大手ガス事業者・業界団体・行政のサポートを通じて、地域貢献や経営基盤強化を進める。

31

	現状と課題	今後の取組
カーボンリサイクル燃料	代替航空燃料 (SAF) (※1) 安定供給・高コスト克服のための大規模化が課題 要素技術の開発が進展し、実証開始。ガス化FT合成 (※2) は、様々な原料の品質の均一化、ATJ (※3) は、触媒反応の制御、微細藻類の培養については、CO ₂ の吸収効率向上等の藻を安定的に増殖させることを可能とする技術の確立が必要。 (※1) SAF (Sustainable Aviation Fuel)。 (※2) 木くず等の有機物を蒸し焼き (ガス化) し、触媒により液化する工程によりSAFを製造する技術 (Fischer-Tropsch process (フィッシャー・トロプシュ法))。 (※3) Alcohol to jet の略。バイオエタノールを触媒等を用いてSAFに改質する技術	大規模実証を通じたコスト低減、供給拡大 ・コスト目標として、 2030年に、既存のジェット燃料と同価格 (≒100円台/L) を目指す。 ・市場規模は、2030年時点で、国内空港での総需要は約2,500億円～5,600億円を見込む。 ・国際航空に関し、ICAO (国際民間航空機関) により、「2019年比でCO ₂ 排出量を増加させない」という制度が2021年から導入。SAFの国際市場は拡大。 ①大規模実証を実施し、コストを既存のジェット燃料と同等まで低減。他国に先駆けて2030年頃には実用化。 ②SAFの国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機へ競争力のあるSAFの供給拡大 (国際認証取得済み)。
	合成燃料 (※4) 商用化に向けた課題はコストと製造技術の確立 ・CO ₂ と水素を合成して製造される脱炭素燃料。 ・特徴は、化石燃料と同様に液体燃料であるため、高エネルギー密度と可搬性。 ・商用化に向けた一貫製造プロセス未確立。 (※4) 発電所や工場等から回収したCO₂と水素を合成して作られる液体燃料。	合成燃料の大規模化・技術開発支援 ・既存技術 (逆シフト反応+FT合成プロセス) の高効率化や製造設備の設計開発。 ・革新的新規技術・プロセス (共電解、Direct-FT等) の開発。 ・ 2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し 、2030年代に導入拡大・コスト低減し、 2040年までの自立商用化 (※5) を目指す 。 ・2050年にガソリン価格以下のコストを実現することを目指す。 (※5) 自立商用化フェーズにおける合成燃料のコストは、その環境価値を含めたコストであると想定される
	合成メタン 実用化・低コスト化のための技術開発が課題 ・メタネーションの基盤技術開発、より高効率な革新的技術の先導的基盤技術開発を実施。 ・メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、水素とCO ₂ を調達するサプライチェーンの構築、CNIに資するCO ₂ 削減量のカウントの検討が必要。	メタネーション設備大型化等の技術開発、海外サプライチェーン構築を通じたコスト低減、供給拡大 ・ 2030年には既存インフラに合成メタンを1%注入 、その他の手段と合わせ5%のガスのCN化、 2050年には合成メタンを90%注入 、その他の手段と合わせガスのCN化を目指す。 ・メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、海外サプライチェーン構築、CNIに資するCO ₂ 削減量のカウントの検討を進める。 ・ 2050年までに合成メタンを2,500万トン供給、現在のLNG価格 (40～50円/Nm3) と同水準 。
	グリーンLPG 商用化に向けた技術確立が課題 ・LPガスは2050年においても一定量の需要が維持される見込み。 ・世界的に見てもグリーンなLPガス合成を主目的とした技術開発は実施されておらず、世界に先立ち、当該技術の確立及び早期の社会実装を目指す。	大規模生産に向けた実証事業を実施 ・商用化に耐え得る生産が可能な触媒等の基盤技術の開発。 ・触媒等の基盤技術と周辺基盤技術を融合させ実証プラントに実装する技術の開発。 こうした取組に対する支援を通じて、 2030年の商用化 を目指す。 (出典) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (令和3年6月18日)

32

ご静聴ありがとうございました

(参考資料)

第6次エネルギー基本計画 (令和3年10月22日閣議決定)

<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>

エネルギー白書2021

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>

再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/index.html

今後の水素政策の課題と対応の方向性 (中間整理)

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/025_01_00.pdf

グリーン成長戦略

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html

グリーンイノベーション基金事業

<https://www.nedo.go.jp/activities/green-innovation.html>

茂木 正