

資源エネルギー庁

省エネルギー・新エネルギー部 省エネルギー課 御中

令和6年度エネルギー需給構造高度化対策調査等事業（2050年カーボンニュートラル実現に向けた中小企業の構造転換のための調査事業）」最終報告書

EYストラテジー・アンド・コンサルティング株式会社

2024年12月16日

目次

1. 調査の目的とスコープ、アプローチ

1.1 背景

1.2 目的

1.3 調査スコープ・アプローチ

2. キーとなる事例と示唆

2.1 国内外動向を踏まえた主要事例・位置づけ

2.2 各部門毎での先進事例

2.3 スマートファクトリー化に関する動向と省エネ効果量

3. 日本での省エネ取組の現況

3.1 アンケート実施概要

3.2 アンケート分析結果からの示唆

4. 調査結果に基づく提言

4.1 自主的な省エネ取組のAs-Is改善アプローチ

4.2 日本が目指すべき製造業の生産効率向上に向けたTo-Be像

Appendix① 事例集

Appendix② 省エネルギー量試算プロセス

Appendix③ アンケート調査結果一覧

2030年エネルギー効率改善率2倍や2050年CN実現の国際合意を踏まえ、これまでの省エネ法による業界努力に加え、省エネ技術のイノベーション誘引が必要な状況と理解

本事業の背景

1. 2050年カーボンニュートラル目標達成

- ▶ パリ協定での合意を受け、我が国は
 - ▶ **2030年度の温室効果ガス 2013年度比46%削減**
 - ▶ **2050年カーボンニュートラルの実現**
- という国際公約を掲げ、気候変動問題に対して国を挙げて対応することを表明

2. 2030年までのエネルギー効率改善率2倍

- ▶ **2030年までにエネルギー効率改善率を世界平均で2倍**にすることがCOP28の決定文書で合意

国際会議での省エネに関する議論

- COP28において、「**年間のエネルギー効率改善率を世界平均で2倍とする**」ことに合意。
- 6月のG7首脳声明では、省エネはエネルギー転換における「**第一の燃料(first fuel)**」と位置づけられた。

G7首脳声明（2024年6月、イタリア、プーリア・サミット）

我々は、COP28で打ち出された、2030年までに世界全体の再生可能エネルギー容量を3倍にし、年間のエネルギー効率改善率を世界平均で2倍にするというコミットメントを歓迎する。**省エネルギーは第一の燃料であり、クリーン・エネルギー移行に不可欠な要素である。**



- ▶ 以上の実現に向け、2050年カーボンニュートラルに向けて、脱炭素化（GX）だけでなく、「**第一の燃料(first fuel)**」としての**産業・業務・家庭・運輸の各部門における省エネの取組を強化する必要**
 - ▶ 特に**デジタル技術活用(AIやIoT、統合マネジメントシステム等)**による**省エネポテンシャル**が大きい見込み
- ▶ これまでの省エネ法を中心とした省エネ努力に加え、更なる大幅な省エネを実現するためには、**イノベーションによる非連続的な技術革新・社会実装が必要と理解**

以上の背景から、本事業では国内外動向を踏まえた事例調査や省エネ効果試算、アンケート調査により、我が国の省エネ技術のAs-Isの課題とTo-Be像の抽出と描述を目指した

本事業の目的

技術の開発・イノベーションを促すための制度・支援策のあるべき姿のご検討に資するよう、国内外のグローバルトレンドを踏まえつつ、特にデジタル技術活用に着目しながら下記具体化を目指して本事業を推進

- ▶ 現状の国内外動向を踏まえた日本の省エネ取組の**現状(As-Is)の把握と更なる加速に向けた課題**
- ▶ 先進事例を踏まえた特に産業部門で**我が国が目指すべき製造業における生産性向上のTo-Be像に関する初期仮説**

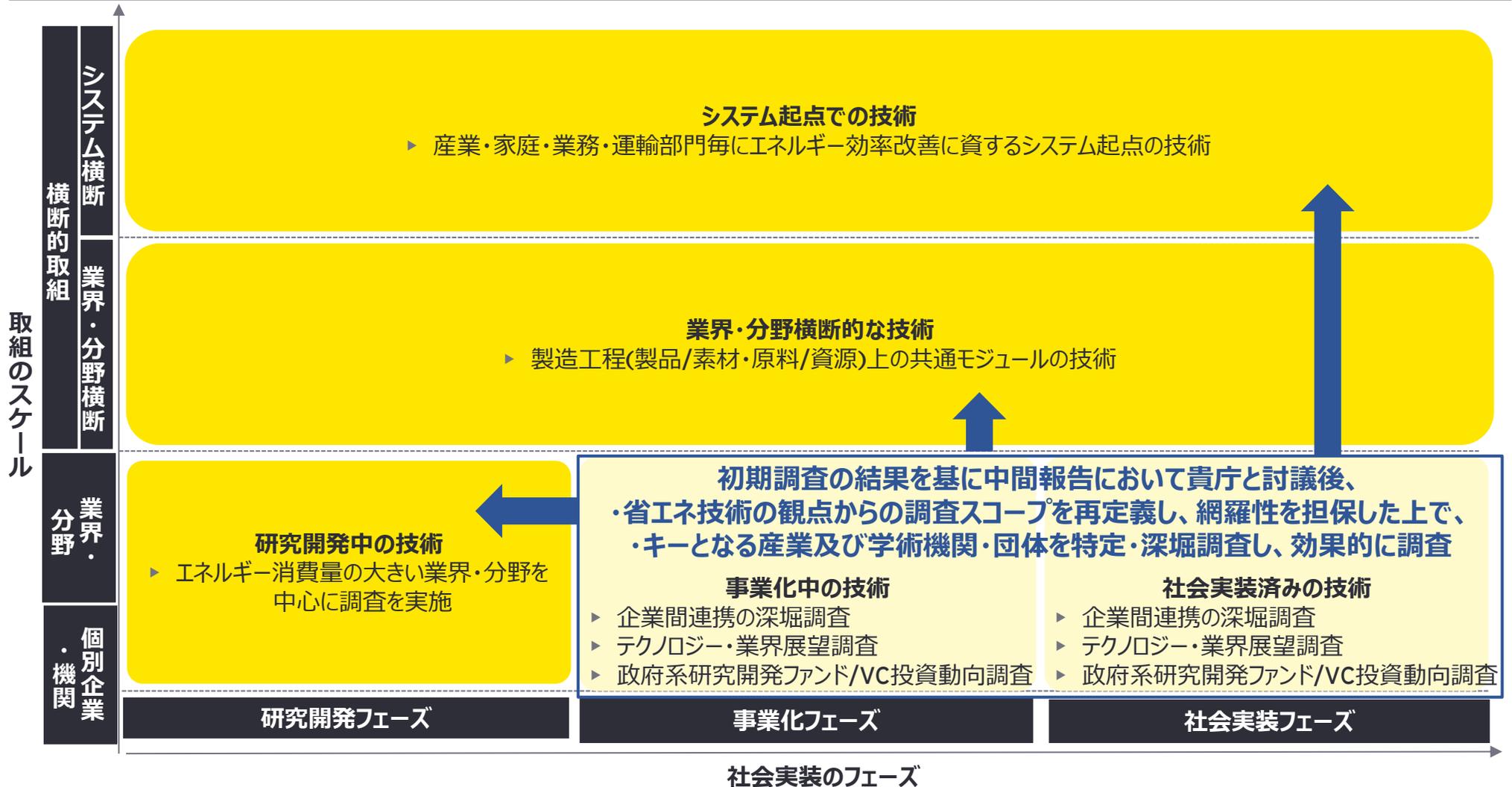
本事業で実施した調査概要と目的

実施した調査	目的	調査概要
国内外動向調査	▶ 日本の省エネ取組に関する現状の位置づけを明確化するための国内外の技術動向把握	▶ 「省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略2024」で定義されている重点4分野に関し、日本・主要国でのVCや補助金に関する技術動向調査を実施
事例調査	▶ 産業・家庭・業務・運輸部門で日本が推進すべき省エネ技術の具体化に向けた海外の先進技術把握	▶ 個別の事業者・団体と業界の取組に加え、業界・システム横断的な取組から網羅的に事例抽出
省エネ効果量の試算	▶ 事例調査を踏まえ、特に日本での省エネポテンシャルが高いと見込まれる技術について社会実装した場合の省エネ効果量の定量的な試算による導入意義の検証	▶ ヒートポンプ及びスマートファクトリーが日本に社会実装された場合の省エネ効果量を試算
アンケート調査	▶ 先進事例に対し、国内事業者が現状実施している省エネ取組や政府支援の活用状況の現状(As-Is)の把握・課題抽出	▶ アンケートを合計約1100社に送付し、約130社から収受した回答を分析

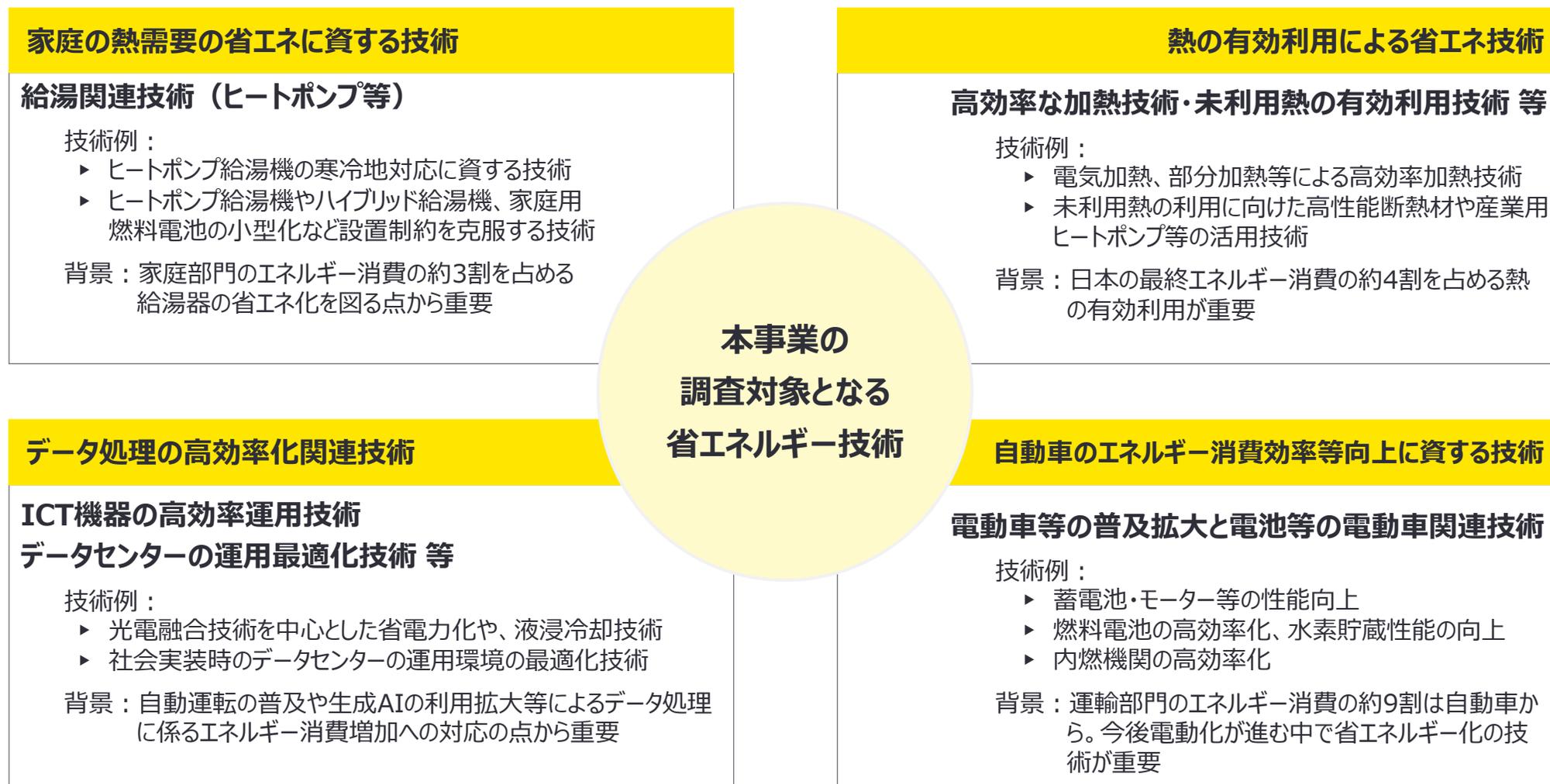
以上の調査結果を受け、本日の最終報告において4章で提言をとりまとめ

国内・欧米中での産業・家庭・業務・運輸部門の技術調査を行い、省エネポテンシャルが高いシステム及び業界・分野横断的な統合システムに調査スコープを拡大・網羅性を担保した

産業・家庭・業務・運輸部門における技術調査スコープ



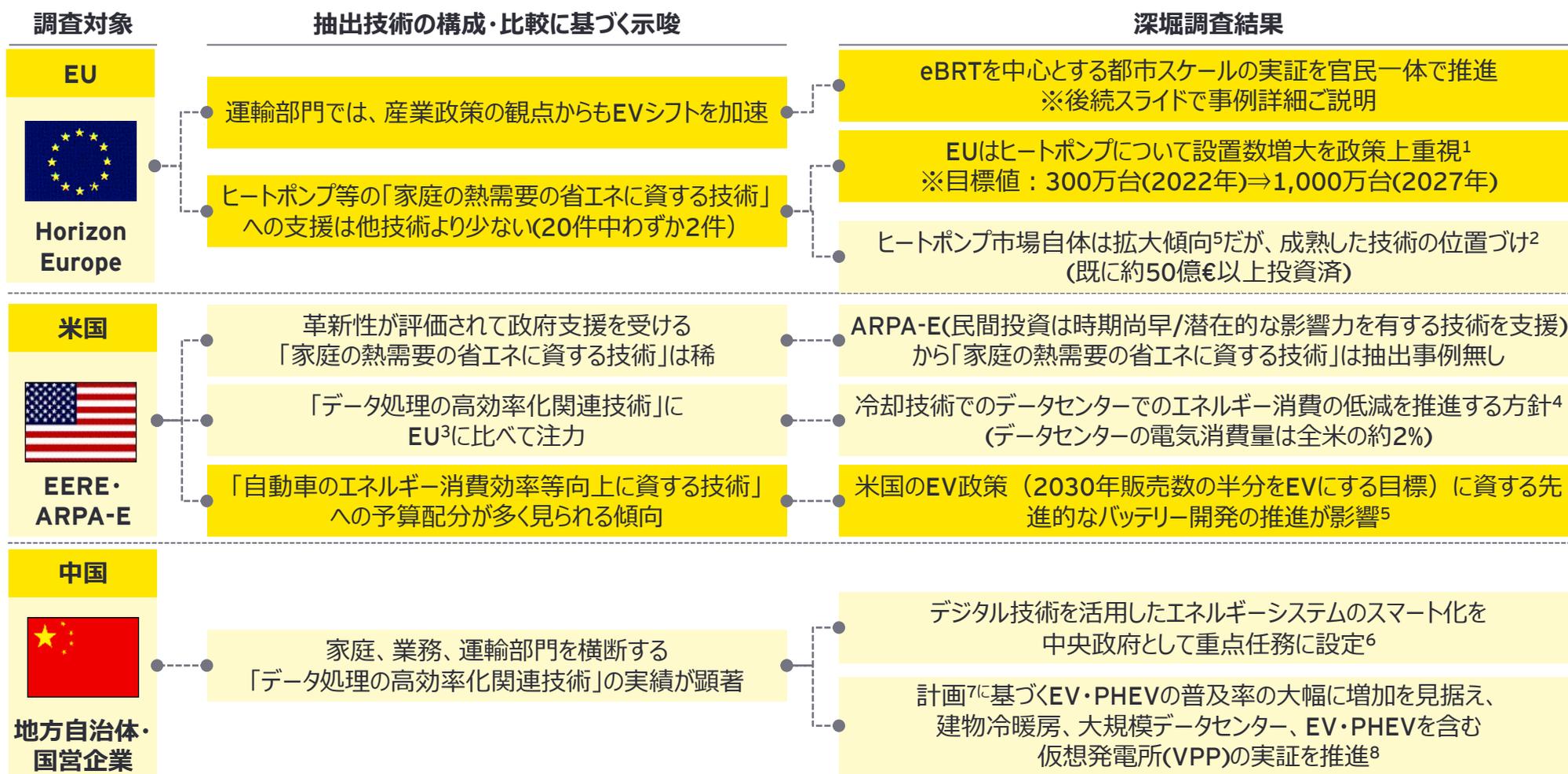
産業・家庭・業務・運輸の各部門について、国内注力領域について日米欧中の省エネ政策・技術を調査・整理を行った



4分野における情報処理技術(特にAI/IoT技術)の活用動向に特にご関心があると理解

各国の主な補助金毎に動向を調査・深堀し、運輸部門でのeBRTやヒートポンプのリプレース、HEMS・BEMSの統合管理やコミュニティ化を主要国での大きなトレンドとして把握した

諸外国(EU、米国、中国)の政府系研究開発ファンドが対象とする省エネルギー技術開発に関する調査に基づく主要国動向



¹出典：欧州委員会「エネルギー政策 [ヒートポンプ](#)」, ²市場導入済台数1979万台、販売量300万台(2022年) 出典：欧州ヒートポンプ協会「欧州ヒートポンプ市場および統計レポート(2023)」, ³中国は比較対象となる情報が現状不足, ⁴出典：米国エネルギー省(2023年)「[DOE Announces \\$40 Million for More Efficient Cooling for Data Centers](#)」, ⁵出典：米国エネルギー省(2022)「[DOE Announces \\$45 Million to Develop More Efficient Electric Vehicle Batteries](#)」, ⁶出典：中国国家エネルギー局(2021年)「[『第14次5か年\(2021~2025年\) 規画』エネルギー領域科学イノベーション規画](#)」, ⁷出典：中国国务院(2020年)「[新エネルギー車産業発展計画\(2021-2035\)](#)」, ⁸出典：中国国家発展改革委員会、国家エネルギー局(2021年)「[『第14次5か年\(2021~2025年\) 規画』期間の現代エネルギーシステム規画](#)」

また欧州製造業ではアジア企業台頭を受けたソリューションビジネスのシフトが進み、Industry4.0によるスマートファクトリーの技術を有するプレイヤーの勃興のトレンドも深堀

～2000年代初頭アジア圏企業の台頭を受けた欧州製造業のソリューションビジネス化¹

- ▶ 欧州では2000年初頭までリーン生産方式の導入を通じてコスト競争力の堅持を試みていた
- ▶ 一方、アジアを中心とする新興国での安価な人件費による低コストな工場での品質向上の傾向が継続
- ▶ 同逆境を受け、フランスやドイツ、オランダ、スペイン、イギリスなどの多数の工場では 自社の技術力を起点に製品を高度にカスタマイズすることで付加価値を向上させるソリューションビジネスのアプローチが主流化

Industry4.0によるスマートファクトリー推進による大手プレイヤーの勃興²

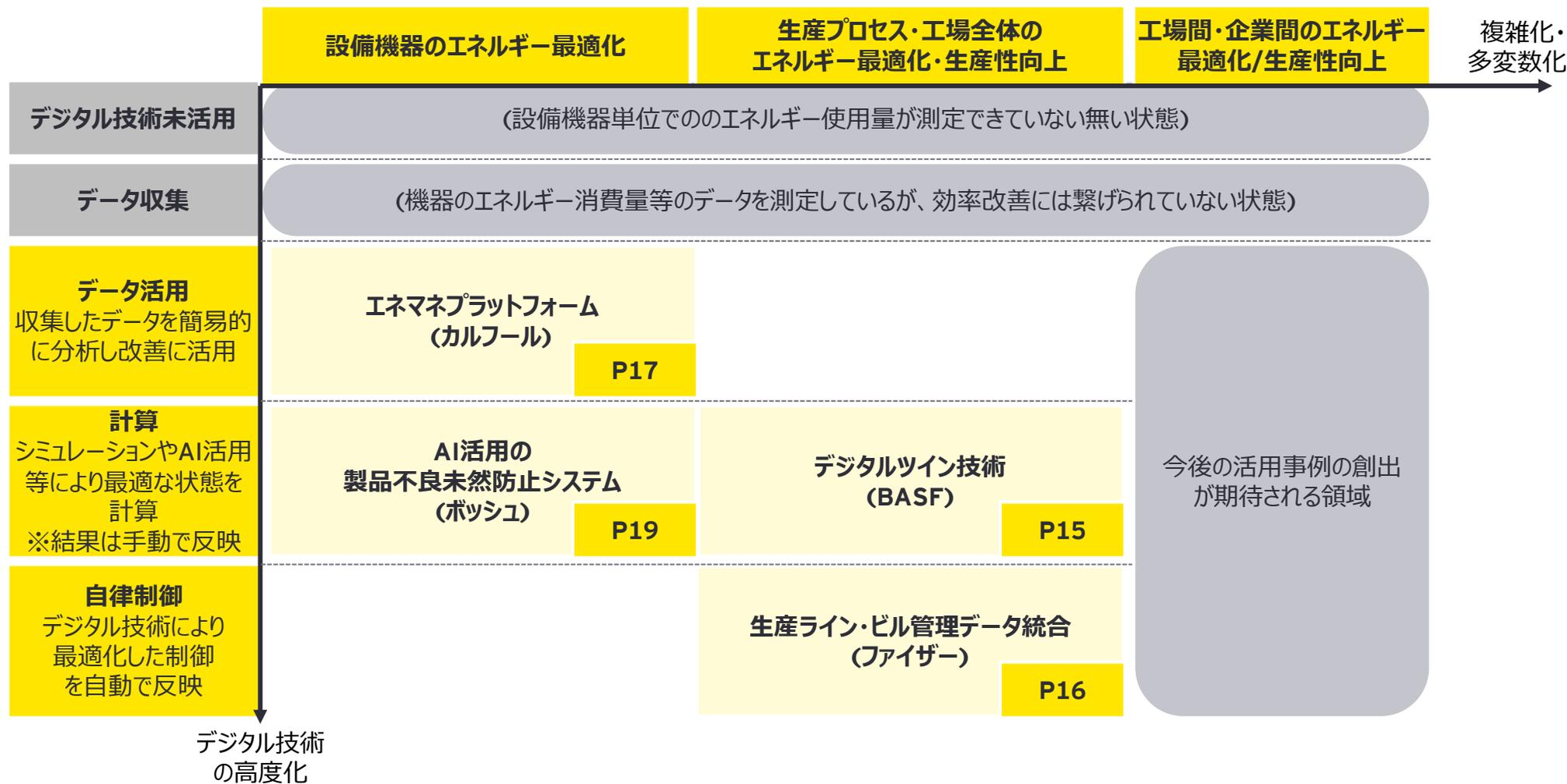
- ▶ 2015年にEUとして打ち出したIndustry4.0ではスマートファクトリーに関して設計原則を定義・推進
 - ▶ 相互運用性
 - ▶ 情報の透明性
 - ▶ 技術的アシスト ※センサーやデバイスを用いたデータ収集と重労働・危険な作業の機械代替
 - ▶ 分散型意思決定
※現実空間のデータをサイバー空間で分析し、生産ライン単位での意思決定をサイバー・フィジカルシステムで実現
- ▶ 結果としてスマートファクトリーに関するソリューション提供が可能なプレイヤーが多数勃興
 - ▶ シーメンス（ドイツ）
※製品事例 Desigo CC：エネルギー使用量を従来より40%削減（ファイザーの工場に導入した事例）
 - ▶ シュナイダーエレクトリック（フランス）
※製品事例 EcoStruxure：エネルギー消費を年間約30%削減、フランス本社では4年間で75%の電力削減を達成
 - ▶ ABB（スイス）
※製品事例 ロボットメガファクトリー：
全自動化されたフレキシブルなロボット生産施設
バーチャルプランニングと生産管理システムを利用して、生産性を最大化するデジタル製造エコシステムを構築

¹出典：スティーブン E. チック、アーンド・フックツァマイヤー、セルゲイ・ネテツシン、生き残る欧州メーカーの4つの戦略 コストの不利をソリューションで埋める、ハーバードビジネスレビュー（2014年10月号）

²出典：Hung, Wei-Hsi, et al. "Analysis of key success factors for industry 4.0 development." *Proceedings of the 2019 International Conference on E-business and Mobile Commerce*. (2019)

以上のトレンドから各部門毎の先進事例に加え、スマートファクトリーについて 特に生産プロセス・工場全体のエネルギー生産の最適化の事例を調査・とりまとめ

産業部門でのエネルギー効率向上に関する各スマートファクトリー化事例の位置づけ



以降、部門毎の先進事例をP11～15で、スマートファクトリーの事例をP16以降でご説明

高速輸送バスの自動化・電動化とその統合管理をスマートシティのデータ連携基盤と相互運用することでエネルギー高効率化と炭素排出量削減の相乗効果を都市規模で創出

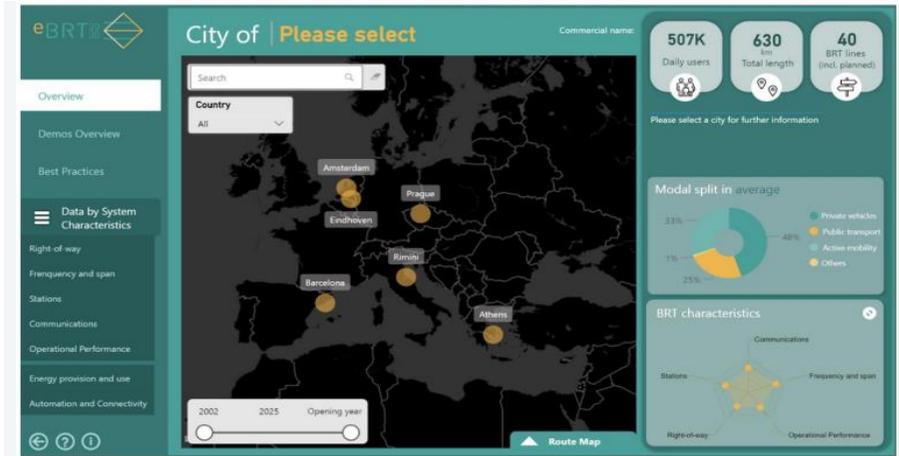
開発事例：eBRT2030 国際公共交通連合（UITP）によるEU圏のプロジェクト

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 国際公共交通連合（UITP）はeBRT2030プロジェクトでEU内外の計7都市のスマートシティでEVバス高速輸送システムの電動化や自動化、相互運用性に関する技術実証中



完全電化されたBRTライン（オランダ）
出典：BRT STATE OF ART A report of eBRT2030（20 Jul 2023）



運行やメンテナンス等包括的な情報を示すコンポーネント「ダイナミック・マッピング」
出典：BRT STATE OF ART A report of eBRT2030（20 Jul 2023）

- ▶ EU運輸業界の炭素削減目標である2050年までに90%削減に貢献すべく、UITPがeBRT2030プロジェクトを推進
- ▶ バスでの高速輸送について電動化や自動運転、相互運用性（接続性）に関する先進技術を開発
- ▶ 統合管理（フリートマネジメント）システムをスマートシティのシステムに組み込み、EU内外7都市で実証中
- ▶ **自動・電動化されたバスに効率的なルートや速度をシステムから直接反映することで省エネ効果を創出**

出典：eBRT2030ホームページ <https://ebrt2030.eu/> , [D2.1 BRT state of the art](#)（2024年8月28日アクセス）

ボイラーのリプレイスに特化した事業戦略に基づく技術開発により、商用ビルや住宅のBEMS・HEMS活用を推進

開発事例：発電装置を内蔵したスマートワットボイラー Enviro Power（米国）

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

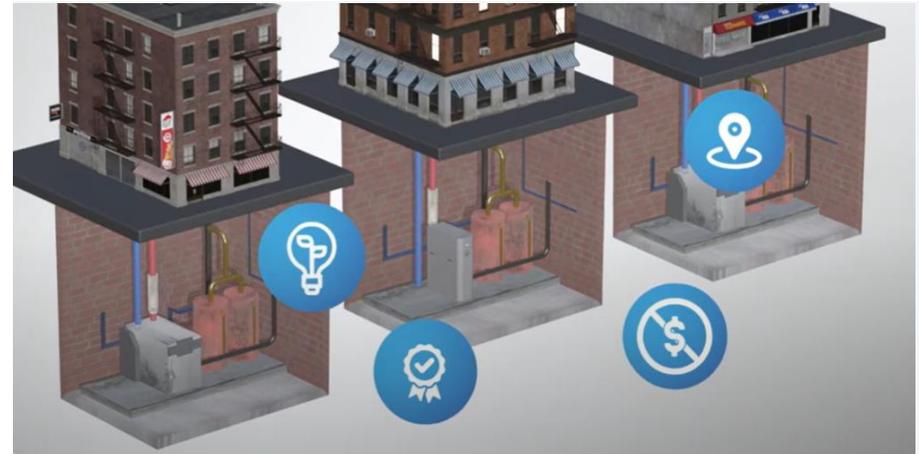
- Enviro Power社は、リプレイスを容易にする技術として、ボイラーの高効率化技術と発電装置を内蔵したボイラー「スマートワットボイラー」を開発。事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中



スマートワットボイラーの商用ビル地下ボイラー室での設置状況

出典：ENVIRO POWERホームページ

<https://www.enviropowertec.com/>（2024年9月2日アクセス）



既存ボイラーと交換するだけで、省エネとコスト削減、ボイラーと発電装置の連携を実現

出典：EnviroPower-SmartWatt Boiler、

<https://www.youtube.com/watch?v=SaulinxBx6M&t=20s>（2024年9月2日アクセス）

- ▶ 設置済のヒートポンプのリプレイスが容易な高効率ボイラーへの発電機内蔵技術を開発
- ▶ 米国安全基準の準拠を証明するIntertek ETL認証は取得済みであり、2024年までに800ユニット販売する見込み
- ▶ 空調システムにおける**ボイラー排熱の電気変換機能を有するボイラー**で建物単位で**エネルギー効率を改善**
- ▶ 同社では1,000台のスマートワットボイラーが、30,000トンの二酸化炭素削減につながると試算

出典：ENVIRO POWERホームページ <https://www.enviropowertec.com/>（2024年9月2日アクセス）

フロリダ州の一地区において冷暖房施設を最小限にとどめたスマートハウスを建設し、家庭のエネルギー効率向上とクリーンエネルギーを促進するコミュニティを形成

開発事例： Pearl Homesによるネットゼロコミュニティ

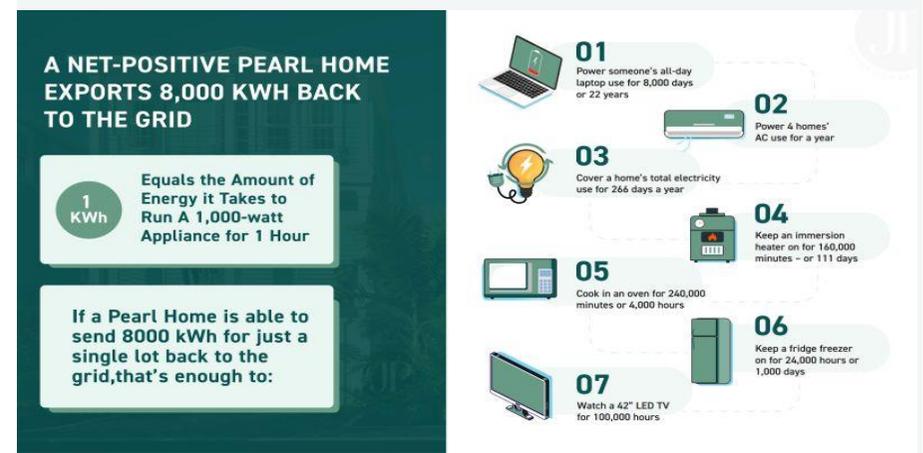


- スマートホームを推進する米国住宅開発会社 Pearl Homes によるプロジェクトで、地区全体に大規模なスマートコミュニティを形成



モデルハウスのデザイン

出典：USGBCホームページ 2024年10月3日アクセス



スマートホームの効果の解説

出典：USGBCホームページ 2024年10月3日アクセス

- ▶ フロリダ州ガルフコーストにおいて86戸のソーラーパネル、蓄電池、十分な屋外生活スペースを組み込んだスマートコミュニティを建設
- ▶ アプリによって Pearl Homes は各住宅の電力使用量とエネルギー生産を追跡可能
- ▶ この会社のプロジェクトで**世界初のLEEDゼロ(水や廃棄物まで含めたより包括的なアプローチ)エネルギー住宅の建築に成功**
- ▶ 日本においては国が「コミュニティZEHによるレジリエンス強化事業」を設立しており、セキスイハイムが4地域でコミュニティZEHを形成している

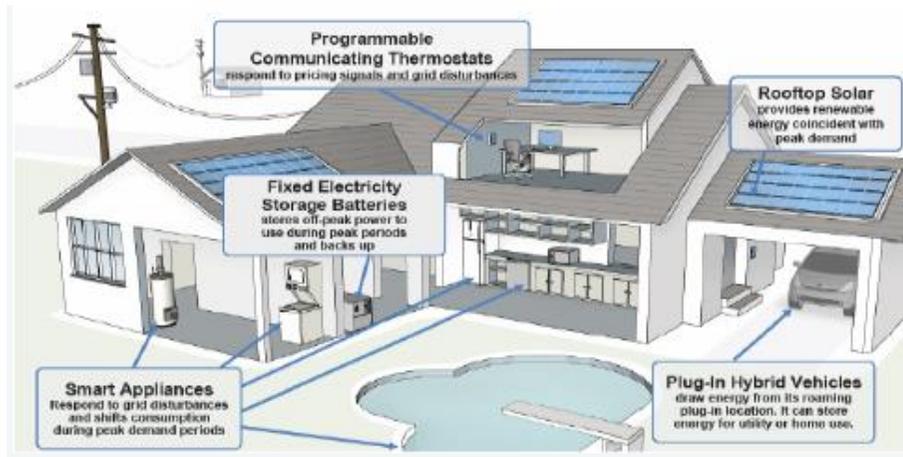
出典：USGBCホームページ <https://www.usgbc.org/articles/hunter-s-point-residential-community-florida-pursues-net-positive-power> (2024年10月3日アクセス)

エネルギーの見える化と制御が可能なエネマネシステムを大規模導入することで地域全体における家庭や企業のスマートエネルギーが実現される

開発事例 : Connectivity Standards Alliance (CSA) によるZigbee Smart Energy

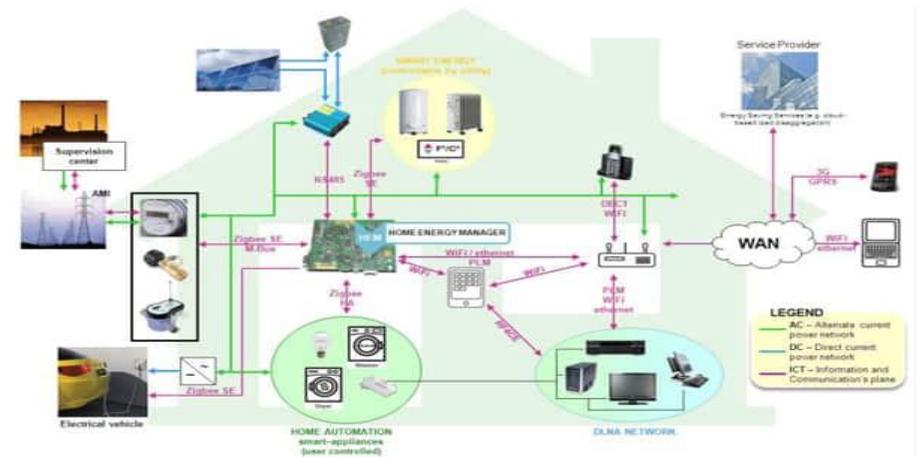
技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- CSAはエンドユーザーレベルでエネルギー消費を監視し、積極的に管理するために設計されたプロトコルを英国を中心に導入し、3,000万世帯以上が利用している



家庭での使用イメージ

出典 : ResearchGate 2024年9月19日アクセス



Zigbee Smart Energyの仕組み・流れ

出典 : Digikey 2024年9月19日アクセス

- Zigbeeという通信規格を推進するCSAにより欧州を中心に社会実装されているプロジェクト
- エネルギーの使用状況をリアルタイムでモニタリングし、消費確認を瞬時に行える
- その他にも需要の高い時間帯の使用を制限するなど自動で消費電力の最適化を行う
- エネルギー消費を最適化し、無駄な電気使用を削減することで炭素排出量の抑制に貢献している**

出典 : CSAホームページ <https://csa-iot.org/newsroom/is-zigbee-smart-energy-the-answer-to-growing-electric-vehicle-consumption/> (2024年9月19日アクセス)

BASF社は化学プラントのデジタルツインを構築し、気候や燃料供給・価格変化に対して常に最適なプラント制御・機器変更をシミュレーション可能にすることでエネルギー効率を最大化

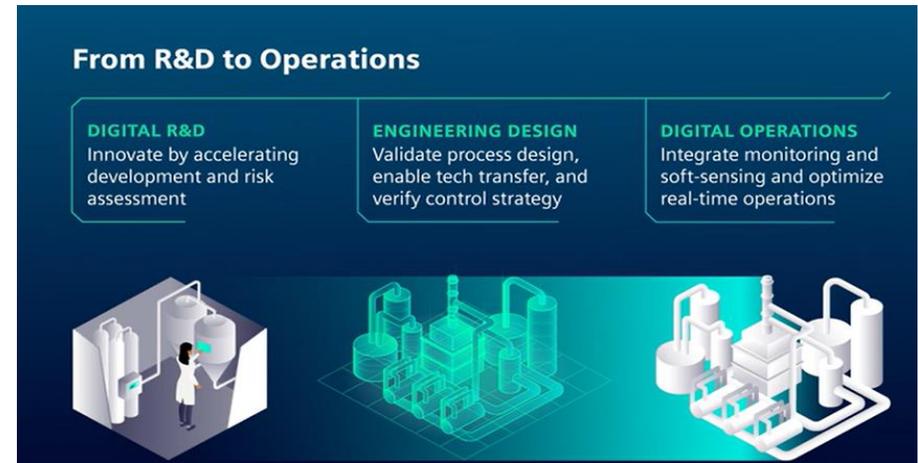
開発事例：デジタルツイン技術 シーメンス社・BASF社（ドイツ）

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	事業化	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	-----	------	------------------	------	----	------	------

- BASFは、化学プラントにIoTセンサをくまなく設置し、実データを収集して仮想プラント（化学プラントの運用をシミュレーション可能なデジタルツイン）を構築。不安定な生産条件に応じた常に最適な機器制御/変更を徹底可能に
- 化学プラントについて欧州では電化/日本ではグリーン化が進むが、本アプローチは同様に導入可能と見込まれる



BASF社本社工場（ドイツ・ルートヴィヒスハーフェンの化学製品生産拠点）
出典：[Staying competitive with the Digital Twin - Siemens Global](#)



シーメンス社「デジタルプロセスツインテクノロジー」のイメージ図
出典：[Staying competitive with the Digital Twin - Siemens Global](#)

- ▶ 経済安全保障の影響を受け、エネルギー供給・価格や気候といった生産環境の不安定化が今般の化学業界の課題
- ▶ そのためBASFは、シーメンスとルートヴィヒハーフェンの世界最大の生産拠点で構築した**仮想プラント(デジタルツイン)**を用いて**生産環境の変化が生じる度に化学プラントの制御や機器変更をシミュレーションし、常に最適化することで生産効率最大化を徹底**
 - ▶ BASFはまず化学プラントのプロセス制御システムを既存ソフトウェアへ組み込み、施設全体のデータフローとの相互接続を実施
 - ▶ その後デジタルツイン上でのシミュレーション結果とIoT機器でのセンシング結果のデータ突合・整合化を行い、仮想プラントを構築

出典：シーメンス社HP <https://www.siemens.com/>（2024年10月30日アクセス）

2. キーとなる事例と示唆 > 2.3 スマートファクトリー化に関する動向と省エネ効果量

ファイザー社は、製造環境を維持する高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用によりエネルギー消費量を40%削減

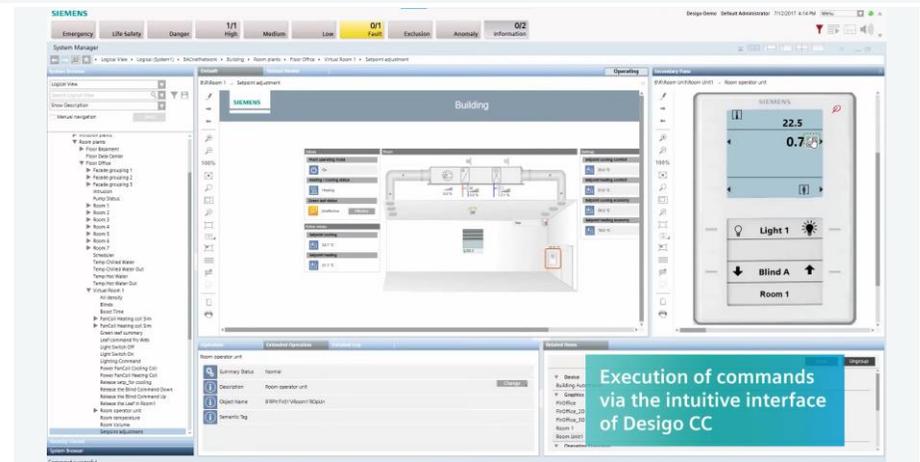
開発事例：工場生産プロセス・ビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用技術 ファイザー社（ドイツ）

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	事業化	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	-----	------	------------------	------	----	------	------

- 医薬品は製造環境の影響を強く受け、配電や換気、空調といった工場全体のビル管理システムが生産性に直結
- ファイザー社は、工場の生産プロセス管理システム及びビル管理システム（プラットフォーム）のデータを集約し、製造状況や環境変化に対して製造ラインとビル設備機器の双方からの予測制御を実現して生産性を向上



生産工程可視化ツール「SCADA system SIMATIC WinCC」
出典：SCADA system SIMANTEC WinCC



シーメンス社ビル管理プラットフォーム「Designo CC」
出典：Designo CC intuitive interface

- ▶ ファイザー社はスマートファクトリー化をサービス提供するシーメンス社と連携。高度密閉装置付設した工場の生産性向上を推進
- ▶ まずシーメンス社の管理プラットフォーム「Designo CC」を導入し、俯瞰的に工場内の生産機械類単位での電気や熱等のエネルギー消費状況のモニタリングし、デスクトップ/スマートフォンからの制御を実現
- ▶ さらに生産工程を可視化する「SCADA system SIMATIC WinCC」を組み合わせることで、ビル管理データと生産管理データが統合され、生産状況/環境に応じたライン制御・空調などの環境管理が自動化され、**結果40%の省エネ効果を実現**

出典：シーメンス社ホームページ <https://press.siemens.com/>（2024年11月7日アクセス）

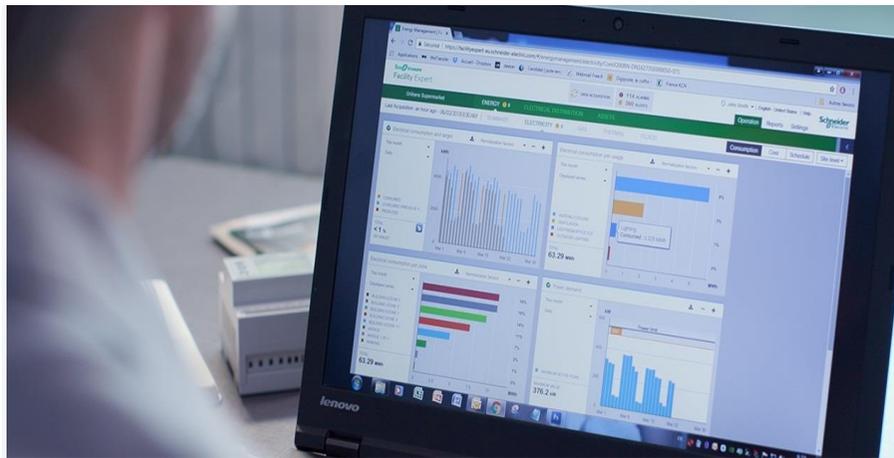
2. キーとなる事例と示唆 > 2.3 スマートファクトリー化に関する動向と省エネ効果量

フランスの大手小売業者であるカルフルは店舗ごとのエネルギー使用を監視するシステムを広く導入し、一元的に管理することで効率化を実現

開発事例：カルフルによるエネマネプラットフォームの導入（フランス）

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- フランスを中心に世界中にスーパーマーケットを展開するカルフルは、シュナイダーエレクトリックのEcoStruxureプラットフォームを94の店舗に導入し、店舗ごとのエネルギー消費を可視化することで効率化を実現
- 日本では費用対効果やインフラ整備の観点から導入した際のメリットは限定的と思料



エネルギー使用状況の管理画面

出典：[シュナイダーホームページ](#)（2024年11月27日アクセス）



Ecostruxureの概念図

出典：[AGE Technologies](#)（2024年11月27日アクセス）

- ▶ 同プラットフォームの中でBEMSの機能を有するEcoStruxure Buildingと電力管理の機能を有するEcoStruxure Powerを導入し、店舗ごとの照明監視、HVACの統合管理を実現して省エネ化を達成
- ▶ それらの機能を店舗間で横断的に活用することでグループ全体のエネルギー使用状況が可視化され、組織として省エネを実現

出典：カルフルホームページ <https://www.carrefour.com/en/news/energy-efficiency-priority-carrefour-and-schneider-electric>（2024年11月27日アクセス）

デジタルツイン技術を用いた製造フローのシミュレーションと、工場でのエネルギー利用の監視システムにより、製造・エネルギー効率の最適化を実現

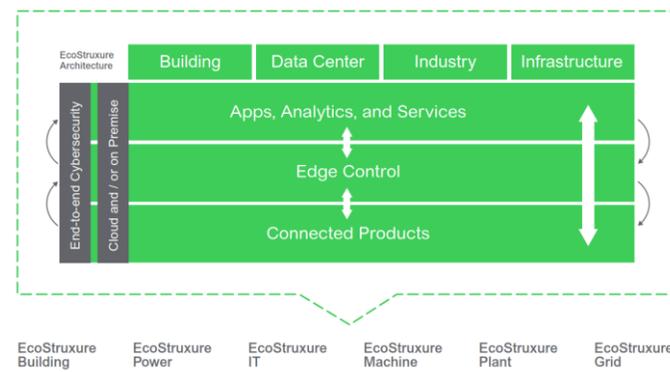
開発事例：デジタルツイン技術（ユニリーバ社・シーメンス社）、エネマネプラットフォーム（ユニリーバ社・シュナイダー社）



- シーメンス社のデジタルツインを用いて機械のシミュレーションを行うことで製造を効率化
- シュナイダーエレクトリックのEcoStruxureプラットフォームも活用してエネルギー使用を最適化



シーメンス社「産業における主要なデジタル化例」のイメージ図
 出典：[Staying competitive with the Digital Twin - Siemens Global](#) (2024年11月25日アクセス)



Ecostruxureの仕組み
 出典：Schneider Electronic HP [EcoStruxure: IoT - Internet of Things | Schneider Electric Global](#) (2024年11月25日アクセス)

- ▶ シーメンス社の制御システムを導入し、ドライブ技術、モーション制御、安全機能、投入制御などの全機械機能を一元管理。管理データとデジタルツインを用いたパッケージ包装工程をシミュレーション・最適化
- ▶ シュナイダー社によるリアルタイムデータ収集とAI分析によるエネルギー使用の最適化技術により、脱炭素・省エネ効果を創出

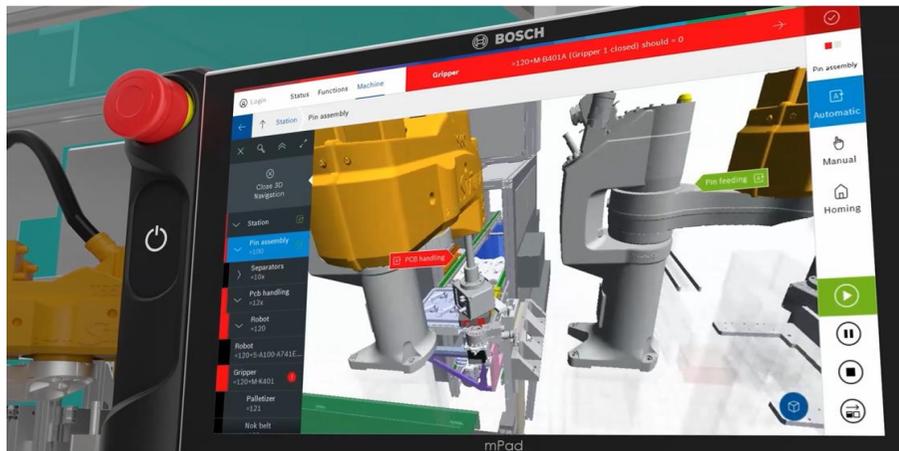
出典：Siemens HP [シュライヤー・ユニリーバ - Siemens Global](#) (2024年11月25日アクセス) , Schneider Electronic HP (JP) [EcoStruxure : IoT - モノのインターネット | Schneider Electric 日本](#) (2024年11月25日アクセス)

ボッシュ社は、全工程の設備機器にIoTセンサをきめ細やかに設置して稼働状況や製品品質をビッグデータ化し、設備・製品不良の予兆をAIの機械学習で検知・未然防止して生産性向上

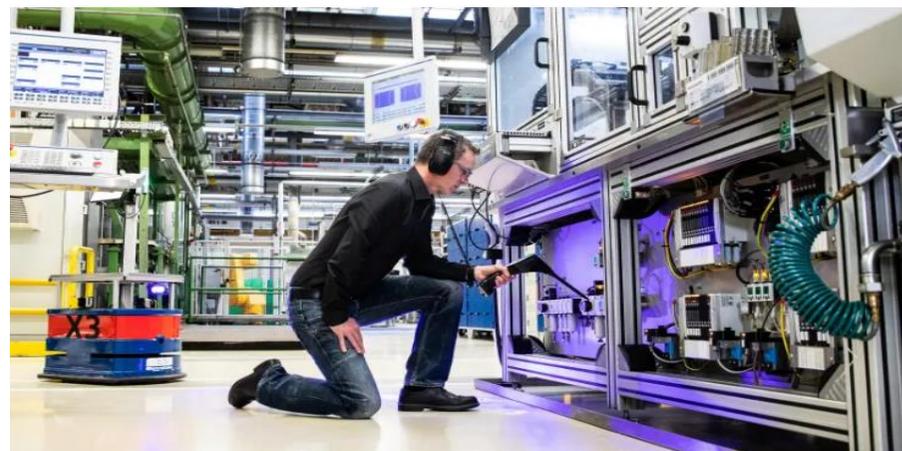
開発事例：機械学習を通じた設備・製品不良の未然防止システム ボッシュ社（ドイツ）

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	事業化	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	-----	------	------------------	------	----	------	------

- ボッシュは、全工場・生産ラインの設備機器に設置したIoTセンサから得られる稼働状況や製品品質のビッグデータをAIが機械学習し、設備・製品不良の予兆がどの工場/ライン/設備機器で生じるか予め検知・対応可能にした
- 同アプローチは工場規模によらず、ライン単位での導入を通じてデータ蓄積・分析による生産性向上に繋がり得る



3D診断で設備のメンテナンスを実施している様子
出典: [Bosch](https://www.bosch.co.jp/) (2024年11月11日アクセス)



AIによって特定された設備不良に対応する様子
出典: [Bosch](https://www.bosch.co.jp/) (2024年11月11日アクセス)

- ▶ 世界最大級の製造メーカーであるボッシュは、50以上の工場/800以上のラインを活かし、機械設備に組み込まれたIoTセンサで設備の稼働状況や製品品質をAIが機械学習可能なビッグデータ化。設備の余地保全・製品不良の未然防止による競争力の源泉に
 - ▶ まず各製造工程での規格化された基準値からの変動を自動的に分析・検知してエラーの原因が従来より容易に把握可能に
 - ▶ さらに、各設備の標準的な挙動をAIで分析・蓄積することで、イレギュラーな挙動に対し、自動的に判断・修正する機能も具備
- ▶ ヒルデスハイムの工場では、この予知保全システム導入の結果、**生産ラインのサイクルタイムが15%短縮**された

出典：ボッシュ社ホームページ <https://www.bosch.co.jp/> (2024年11月11日アクセス)

テスラは電気自動車の関連部品を大量生産する大規模拠点を設立。高度な自動化技術で生産効率を高め、工場での二酸化炭素排出の最小化を実現

開発事例：テスラによるギガファクトリーでの大量生産（米国）

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- 米国の輸送用機器製造大手であるテスラは、電気自動車の関連部品を大規模生産するための生産施設「ギガファクトリー」を運営。ネバダ州を皮切りに国内外に現在5つの拠点を持つ



ギガファクトリーの上空写真

出典: <https://www.teslarati.com/tesla-gigafactory-effect-reno-economy-education/> (2024年10月10日アクセス)



産業用ロボットの使用状況

出典: https://www.tesla.com/ja_jp/giga-texas (2024年10月10日アクセス)

- ▶ 高度な自動化技術を駆使し、部品やバッテリーの組み立てに数千台の産業用ロボットを使用
- ▶ ロボットによる生産とAI・ビッグデータを用いたメンテナンスニーズの予測により高効率で高品質な製造プロセスを確立
- ▶ 工場の運営には再生可能エネルギーを用い、最新の建築技術を採用することで工場の炭素排出量を最小限に抑え、製造プロセスのエネルギー効率を最大化
 - ▶ 結果、一台当たり生産コストが2017年度比で約58%低減、バッテリーコストも約1.9万ドル(2013年)から半減

テスラマガジンホームページ <https://www.tesla-mag.com/en/tesla-gigafactories-pioneering-the-future-of-sustainable-manufacturing/> (2024年10月10日アクセス)

TESLARATI <https://www.teslarati.com/tesla-vehicle-manufacturing-cost-84k-to-36k-per-car/> (2024年10月10日アクセス)

以上の事例を踏まえ、ヒートポンプのリプレース及び2業種でのスマートファクトリー化について省エネ効果量を試算した

カタログ掲載事例

事例紹介 > 産業 > リプレイス促進技術 > BEMS・HEMS事例 概要
ヒートポンプのリプレイスに特化した事業戦略に基づく技術開発により、商用ビルや住宅のBEMS・HEMS活用を推進

開発事例：究極納品を内蔵したスマートワットボイラー Enviro Power (米国)

- Enviro Power社は、リプレイスを容易にする技術として、系外への高効率化技術(発電装置を内蔵したボイラー+スマートワットボイラー)を開発し、事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中
- 2024年10月に導入されたスマートワットボイラー
- 2024年10月に導入されたスマートワットボイラー

・ 従来のボイラー+ヒートポンプの導入に比べて、系外への高効率化技術(発電装置を内蔵したボイラー+スマートワットボイラー)を開発し、事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中

- 従来のボイラー+ヒートポンプの導入に比べて、系外への高効率化技術(発電装置を内蔵したボイラー+スマートワットボイラー)を開発し、事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中
- 従来のボイラー+ヒートポンプの導入に比べて、系外への高効率化技術(発電装置を内蔵したボイラー+スマートワットボイラー)を開発し、事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中

- ▶ 商用施設から一般家庭へ、認知度の浸透を図りながら、段階的な普及を目指すスマートワットボイラーの海外事例を紹介
- ▶ 試算事例として、この普及ヒートポンプの社会実装が進んだ場合の省エネ効果を試算

リプレイス促進技術

事例紹介 > 産業 > デジタルツインによる工場全体の効率化事例 概要
デジタル化を推進するシームレスは工場においてデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

開発事例：シームレスによるデジタルツインの導入事例 (ドイツ)

- 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立
- 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

・ 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

- 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立
- 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

- ▶ 工場全体にデジタルツイン技術を導入したスマートファクトリーの事例を選定
- ▶ 日本におけるスマートファクトリー化も同様の事例にて普及されると見込まれるため、同事例の想定される普及状況で、省エネ効果を試算

海外導入事例1

事例紹介 > 産業 > 生産プロセス管理の効率化事例 概要
ファイザー社は、製造現場を維持する高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用によりエネルギー消費量を40%削減

開発事例：工場生産プロセス管理プラットフォームのデータ集約・統合運用例 (ドイツ)

- ファイザー社は、製造現場を維持する高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用によりエネルギー消費量を40%削減
- ファイザー社は、製造現場を維持する高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用によりエネルギー消費量を40%削減

・ 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

- 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立
- 工場全体のデジタル化を推進するシームレスは工場全体にデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

海外導入事例2

- ▶ 製薬会社の工場におけるビル管理と製造設備のシステム統合を実現したスマートファクトリーの事例を紹介
- ▶ エネルギー削減率30%前後の高い省エネ効果を実現しているヘルスケア製品工場の省エネ効果を試算

試算事例

2. 省エネ効果量の試算に関する基礎状況 > 2.1 ヒートポンプに関する省エネ効果量の基礎状況

産業用ヒートポンプ（以下HP）は高い省エネ性能を有する一方、単独での運用には未解決の課題も多いため、先進的HP+ボイラのハイブリッドシステムの開発が行われました

ヒートポンプ導入の現状と課題

日本の企業での導入は2020年以降に77.7kWであるが、これは、実績は188.7kWであった。また、HPの高効率化は、2020年以降の20%程度で留まっている。HPの導入は、省エネ効果が高い一方で、導入コストが高いため、普及が進んでいない。導入コストを削減し、省エネ効果が高いHPを開発することが必要である。

打倒原油に先進技術

左記の課題を解決するために、メーカー業界からはHPとボイラとのハイブリッドシステムが提案されている。ハイブリッドシステムは、省エネ効果が高いHPと、比較的コストが低いボイラを組み合わせたシステムである。このシステムは、HPの省エネ効果とボイラの安定性を両立させ、省エネ効果が高いシステムを実現している。

一般的なHP (左) と先進的なHP (右) の対比

一般的なHP (左) の省エネ効果は、約10%程度である。一方、先進的なHP (右) の省エネ効果は、約30%程度である。これは、先進的なHPが、より高い省エネ性能を有しているためである。

省エネ効果の対比

一般的なHP (左) の省エネ効果は、約10%程度である。一方、先進的なHP (右) の省エネ効果は、約30%程度である。これは、先進的なHPが、より高い省エネ性能を有しているためである。

省エネ効果の対比

一般的なHP (左) の省エネ効果は、約10%程度である。一方、先進的なHP (右) の省エネ効果は、約30%程度である。これは、先進的なHPが、より高い省エネ性能を有しているためである。

産業用ヒートポンプ

2. 省エネ効果量の試算に関する基礎状況 > 2.2 スマートファクトリーに関する省エネ効果量の基礎状況

産業オートメーション製品の生産工場では、総合的エネシステム、AIを活用した廃棄物分別、デジタルツインによる持続可能な設計によってエネルギー消費量を24%削減しています

事例概要

2019年(中国)に建設されたスマートファクトリーは、産業オートメーション製品の生産工場です。この工場では、総合的エネシステム、AIを活用した廃棄物分別、デジタルツインによる持続可能な設計が導入され、エネルギー消費量を24%削減しています。

導入技術

- 工場全体のエネルギー消費量を削減するためのデジタルツインを導入し、エネルギー消費量を削減しています。
- 工場全体のエネルギー消費量を削減するためのデジタルツインを導入し、エネルギー消費量を削減しています。

製品

- 製品生産量92%増加
- 廃棄物削減48%
- エネルギー消費量24%削減

総合的エネシステム

AIとロボットの活用

デジタルツインによる持続可能な設計

スマートファクトリー（産業機械）

Appendix 省エネ率・削減率の試算 > 2. スマートファクトリーに関する省エネ効果量の試算 > 2.2. ヘルスケア製品工場の省エネ効果量の試算

ヘルスケア製品の工場では、製品設計プロセスの最適化や、稼働状況の監視などによって、30%前後のエネルギー削減を達成しています

ヘルスケア製品工場の省エネ効果量の試算

事例	生産品目	導入技術	エネルギー削減率
Henkel Düsseldorf (独)	洗濯用洗剤	材料の割合が最終製品の出来までの工程をデジタルツインを用いて監視し、プロセスの最適化により一定の時期には削減	36%
Kemura Bangkok (タイ)	マウスケア用品 スクワンパ用品	デジタルツインによる部品加工工程の最適化、データ駆動型設計を用いた工場全体の最適化によるエネルギー削減	34%
Unilever Dusseldorf (独)	住宅用洗剤	エネルギー管理システムと機械学習によるエネルギー使用の最適化、AIによる製品開発の最適化によるエネルギー削減	31%
Johnson & Johnson Xifen (中)	眼科、口腔用 グルメチン	AI/MLによるエネルギー使用の最適化、デジタルツインの活用	23%
Johnson & Johnson Cork (アイルランド)	バイオ医薬品	デジタルツインによるエネルギー使用の最適化、稼働状況の監視によるエネルギー削減	23%

エネルギー削減率の中央値は32.5%

スマートファクトリー（産業機械）

電力需要が大きい業種のうち、詳細な事例*が掲載されていた機械器具製造と、熱需要が大きいヘルスケア製品製造を試算対象として選定

*シーメンス社の事例

■ スマートファクトリー導入事例と、スマートファクトリー導入による国内省エネポテンシャル

スマートファクトリー導入事例				スマートファクトリー導入による国内省エネポテンシャル		
業種 ※EYが便宜的に分類	製品分類 () は事例数	導入技術	エネルギー削減率	対象となる産業分類 ※区分は日本標準産業分類に基づく	当該産業の消費エネルギー量 (TJ/y)	省エネルギーポテンシャル* (TJ/y)
機械器具製造	・産業オートメーション製品 (2) ・家電 (4)	▶ デジタルツインによる設計・プロセス・エネルギーの最適化	17～ 35%	▶ 汎用機械器具製造業 ▶ 生産機械器具製造業 ▶ 業務用機械器具製造業 ▶ 機械器具製造	98,440 (総合エネルギー統計から集計)	16,384～ 34,454
		▶ エネルギーマネジメントシステム				
電子部品製造	・電子部品 (6) ストレージ、インバータ、無線機、など	▶ デジタルツインによるプロセスの最適化	24～ 59%	▶ 電子部品・デバイス・電子回路製造業 ▶ 情報通信機械器具製造業	112,398 (総合エネルギー統計から集計)	26,975～ 66,314
		▶ エネルギーマネジメントシステム				
ヘルスケア製品製造	・医薬品 (2) ・ホームケア (3) スキンケア、洗剤	▶ デジタルツインによるプロセスの最適化	23%	▶ 化学工業 (うち石油化学製品、アンモニア及びアンモニア誘導品、ソーダ工業製品を除く)	116,964 (総合エネルギー統計から集計)	26,901～ 44,446
		▶ エネルギーマネジメントシステム				
飲料品製造	・ビール (1)	認定後間もないため詳細情報なし (2024年10月認定)	25%	候補なし 「飲料・たばこ・飼料製造業」は含まれる業種が多いため適応不可の想定	—	—

試算検討

主に電力を使用

主に熱を使用

*省エネルギーポテンシャル = エネルギー削減率 × 消費エネルギー量

省エネ効果量は、1工場あたりの省エネ効果量（省エネ率）×ターゲット市場×普及率で計算し、省エネ率は事例値、市場は統計値、普及率は政府目標値を採用した

■ 試算モデル案 ※凡例： **試算結果**、省エネ率、市場/普及率

必要なデータ候補

スマートファクトリー導入による省エネ効果量

機械器具製造における省エネ効果量

1工場あたりの省エネ効果量（省エネ率）

ターゲット市場

普及率

▶ 先進事例の省エネ実績値

▶ 対象業種のエネルギー消費量（製造部門）

▶ 政府目標値

ヘルスケア製品製造における省エネ効果量

1工場あたりの省エネ効果量（省エネ率）

ターゲット市場

普及率

▶ 先進事例の省エネ実績値

▶ 対象業種のエネルギー消費量（製造部門）

▶ 政府目標値

機械器具製造におけるスマートファクトリー技術の普及によって、日本全体で2050年に最大11.3PJ*の省エネ効果が見込まれると試算した

*日本の製造業の最終エネルギー消費量5,007PJ¹の0.23%

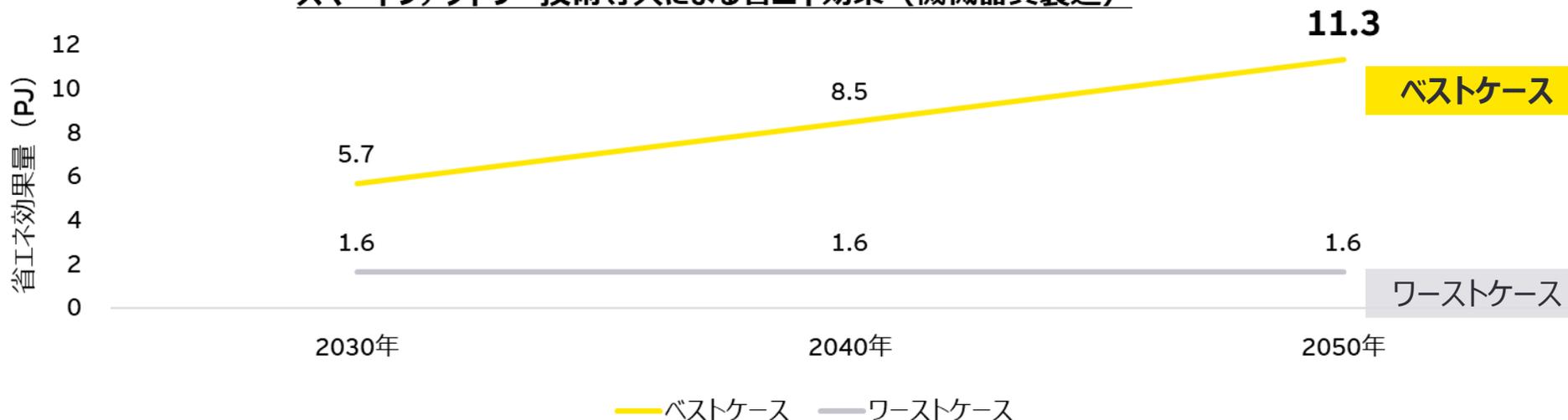
- スマートファクトリー技術の普及による省エネ効果（機械器具製造）
 - ▶ 省エネ率：産業オートメーション製品工場の事例を参考に、技術導入により24%エネルギーが削減されると仮定
 - ▶ ターゲット市場：総合エネルギー統計から該当する業種の消費エネルギーを集計
 - ▶ 普及率/シナリオ：地球温暖化対策計画のFEMSカバー率から設定
 - ▶ 試算式：ターゲット市場×省エネ率×普及率

■ 試算結果

シナリオ	【ターゲット市場】 業種エネルギー消費量 (PJ)	【省エネ率】 事例の省エネ実績	【普及率】			省エネ効果量(PJ)		
			2030年	2040年	2050年	2030年	2040年	2050年
ベストケース	98.4	24%	24%	36%	48%	5.7	8.5	11.3
ワーストケース	98.4	24%	7%	7%	7%	1.6	1.6	1.6

※2050年のベストケースの11.3PJは日本のエネルギー消費量の約0.2%

スマートファクトリー技術導入による省エネ効果（機械器具製造）



¹出典：資源エネルギー庁総務課戦略企画室 令和4年度(2022年度)における エネルギー需給実績(確報) (2024年4月)

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/honbun2022fykaku.pdf

ヘルスケア製品製造におけるスマートファクトリー技術の普及によって、日本全体で2050年に最大18.2PJ*の省エネ効果が見込まれると試算した

*日本の製造業の最終エネルギー消費量5,007PJ¹の0.36%

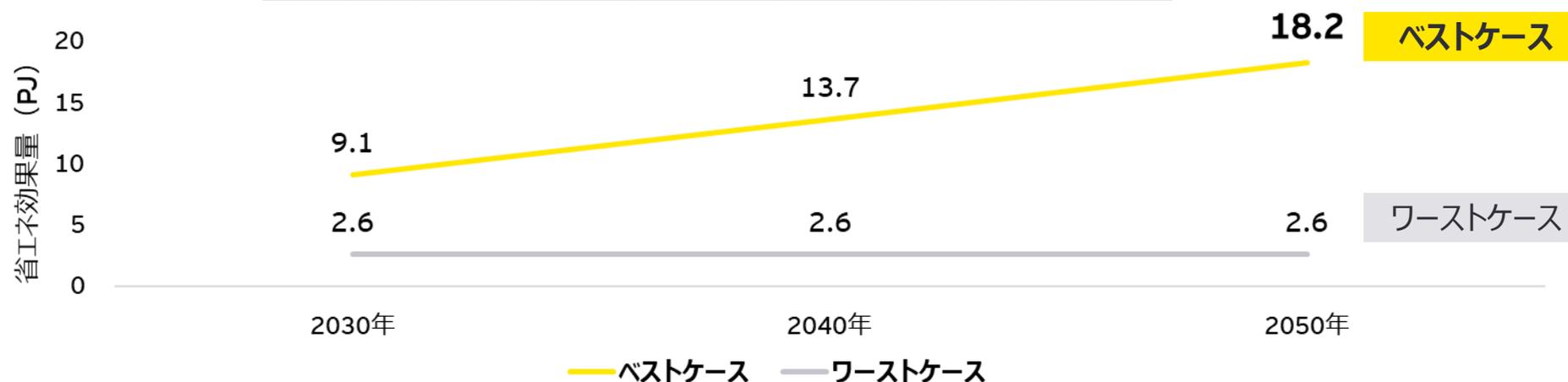
- スマートファクトリー技術の普及による省エネ効果（ヘルスケア製品製造）
 - ▶ 省エネ率：ヘルスケア製品製造の工場の事例を参考に、技術導入により32.5%のエネルギーが削減されると仮定。数値は事例の中央値を採用
 - ▶ ターゲット市場：総合エネルギー統計から該当する業種のエネルギー消費量を集計
 - ▶ 普及率/シナリオ：地球温暖化対策計画のFEMSカバー率から設定 ※機械器具の頁を参照ください
 - ▶ 試算式：ターゲット市場×省エネ率×普及率

■ 試算結果

シナリオ	【ターゲット市場】 業種エネルギー消費量 (PJ)	【省エネ率】 事例の省エネ実績	【普及率】			省エネ効果量(PJ)		
			2030年	2040年	2050年	2030年	2040年	2050年
ベストケース	116.9	32.5%	24%	36%	48%	9.1	13.7	18.2
ワーストケース	116.9	32.5%	7%	7%	7%	2.6	2.6	2.6

※2050年のベストケースの18.2PJは日本のエネルギー消費量の約0.36%

スマートファクトリー技術導入による省エネ効果（ヘルスケア製品製造）



¹出典：資源エネルギー庁総務課戦略企画室 令和4年度(2022年度)における エネルギー需給実績(確報) (2024年4月)
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/honbun2022fykaku.pdf

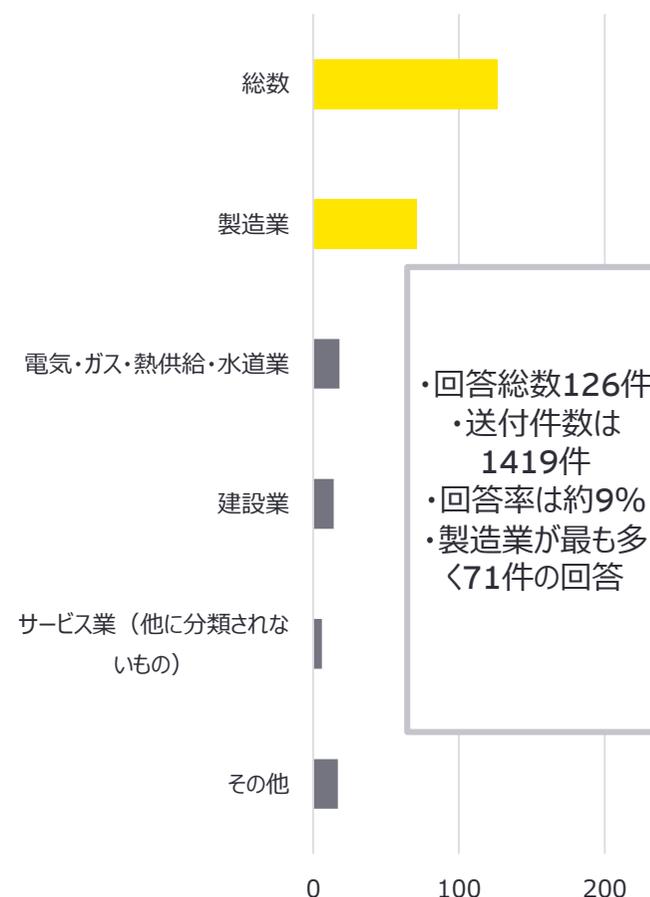
省エネ取組上の課題や補助金活用状況について11/25~12/6にかけてアンケートを実施し、製造業を中心に計126社から回答を収受

アンケート実施概要

検証項目 (目的)	<ul style="list-style-type: none">▶ 省エネ効果創出に繋がる先進事例の過不足・妥当性▶ 情報通信技術の活用状況(As-Is)と導入済みの事例(To-Be)での効果▶ 省エネ効果創出に向けた先進事例の社会実装課題(初期仮説)の検証▶ 省エネ施策の活用状況
方式	<ul style="list-style-type: none">▶ セキュリティ性の高い“Qualtrics”によるwebアンケート<ul style="list-style-type: none">▶ アンケートURL/QRコードを送付し、あらゆるデバイスで回答受付可能
実施時期	<ul style="list-style-type: none">▶ 第1回：11/25(月)~12/4(水)▶ 第2回：11/27(水)~12/6(金)
送付対象	<ul style="list-style-type: none">▶ 第1回：事例集記載の中小・スタートアップ企業▶ 第2回：貴省関係事業団体

回答者総数・構成

回答総数と業種別の構成



3. 日本での省エネ取組の現況 > 3.1 アンケート実施概要

【ご参考】質問項目一覧

No	回答	質問内容
1-1-1~4	記述	貴社名をご記載ください（業種は選択）
1-1-5	選択	中小企業に該当しますか
1-2-1~2	選択	ご所属の部署についてご回答をお願いします（その他の場合は記述）
1-2-3	選択	省エネにも資する技術（製品・サービス）の開発・販売等を自ら手掛けている事業者か、ユーザー事業者かの回答をお願いします。
2-1-1	選択	貴社で現在エネルギー効率改善に向けて研究開発や導入を推進/検討中の技術/社会実装の課題/想定している適用先はありますか。技術単位でご回答ください。
2-1-2~7	記述	ご回答いただいた貴社の技術について、コアとなる要素技術をご教示ください。
3-1-1	選択	現在、貴社の業務プロセスにおいてデジタル技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取り組みを実施されていますか
3-1-2	選択	貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施・計画するにあたっての主な相談先についてご記載をお願いします
3-1-3	記述	相談先について、差し支えなければ具体的に記載をお願いします。（企業、団体名）
3-2-1	選択	デジタル技術を活用した省エネの取組を実施した時期のご選択をお願いします
3-2-2	選択	導入したデジタル技術で活用されている省エネにも資する技術をご選択をお願いします
3-2-3	選択	デジタル技術の導入により関係する製品やサービス、プロセスでどの程度、事業所全体の省エネ効果が生じましたか
3-2-5	記述	デジタル技術を具体的にどのように活用していますか。（例：AIを活用して生産管理、IoT機器で取得したデータを活用して空調の最適化 等）
4-1-1	選択	貴社でデジタル技術（AI、IoTなど）を活用した省エネの取組を実施する上で課題となっている項目のご選択をお願いします
4-1-2	選択	貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施する上で、前問で選択された課題の詳細のご記載をお願いします
4-1-3	選択	貴社がデジタル技術を活用した省エネ計画を実施しようとする上で課題となり得る項目のご選択をお願いします
4-1-4	記述	貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施しようとする上で、前問で選択された最も課題となり得る課題の詳細をご記載をお願いします
5-1-1	選択	省エネ補助金についてご存じですか
5-1-2	選択	省エネ補助金を活用したことはありますか
5-1-3	記述	省エネ補助金の活用に至らなかった理由のご選択をお願いします
5-1-4	記述	選択した内容について、詳細をご記載ください。
5-1-5	記述	省エネ補助金とは、事業者の省エネ設備への更新を支援する制度です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか
5-1-6	記述	Noを選択した理由についてご記載をお願いします
5-2-1	記述	省エネ診断についてご存じですか
5-2-2	選択	いずれかの省エネ診断を活用したことはありますか
5-2-3	選択	省エネ診断の活用に至らなかった理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他を選んだ方は、詳細をご記載ください
5-2-4	選択	省エネ診断とは、省エネの専門家、工場・事務所・店舗・病院・福祉施設・学校・宿泊施設などを訪問して、エネルギーの無駄遣いや省エネに繋がるヒントを見つけ、コスト削減につながるような設備の運用改善などをご提案する事業です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか
5-2-5	記述	Noを選択した理由についてご記載をお願いします
5-2-6	選択	国や地方自治体が措置する補助金等に関する情報はどのように入手していますか。また、その他を選んだ方は、具体的な情報の入手先を、入手していない場合はその理由をご記載ください。
5-3-1	選択	NEDOの助成事業である「脱炭素PG」及び「戦略PG」についてご存じですか
5-3-2	選択	脱炭素PGまたは戦略PGに応募した（不採択含む）ことはありますか
5-3-3	選択	Noを選択した理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他を選んだ方は具体的な理由をご記載ください
5-3-4	選択	脱炭素PGとは「重要技術」の事業化を前提として2040年度に高い省エネルギー効果が見込まれる技術開発を支援するプログラムですが、応募を検討されますか
5-3-5	選択	Noを選択した理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他の理由について、差し支えない範囲でご記載ください

現在、特に事業者の省エネ取組に関してボトルネックは事業性(費用対効果)で、対応策となり得る補助金も認知されているが、実際の利用率は40%程度と伸び悩んでいる

事業者のボトルネック

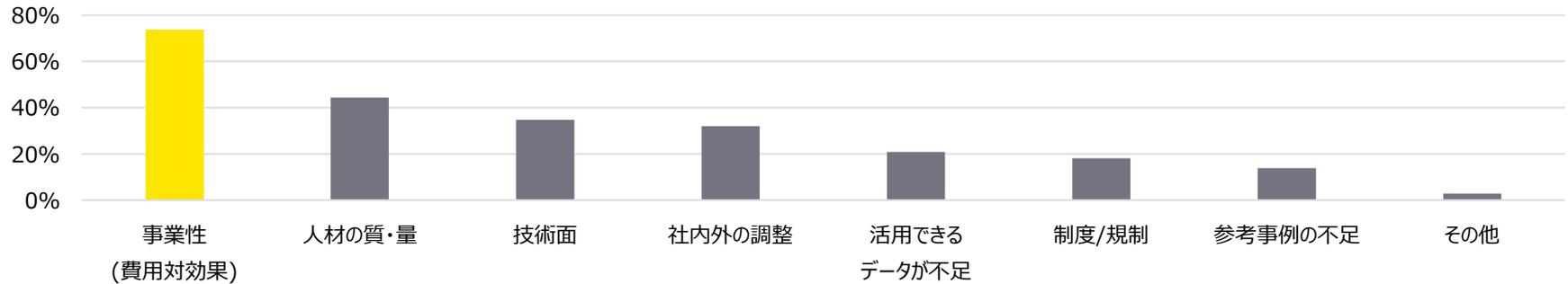
II

補助金の認知度

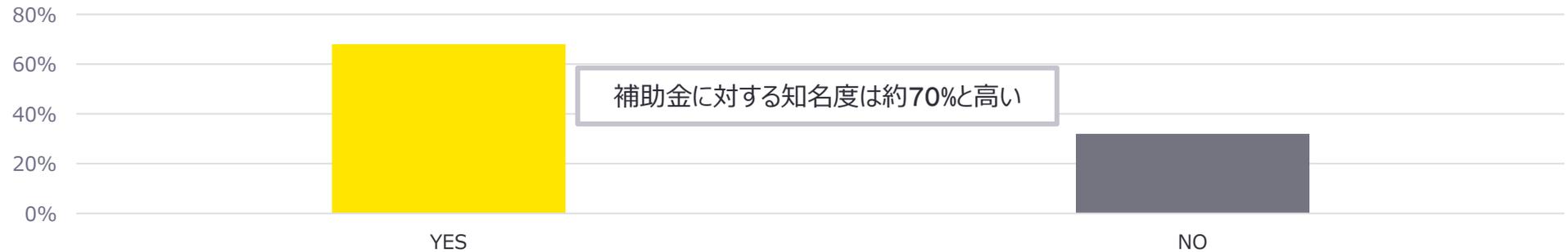
X

補助金の活用率

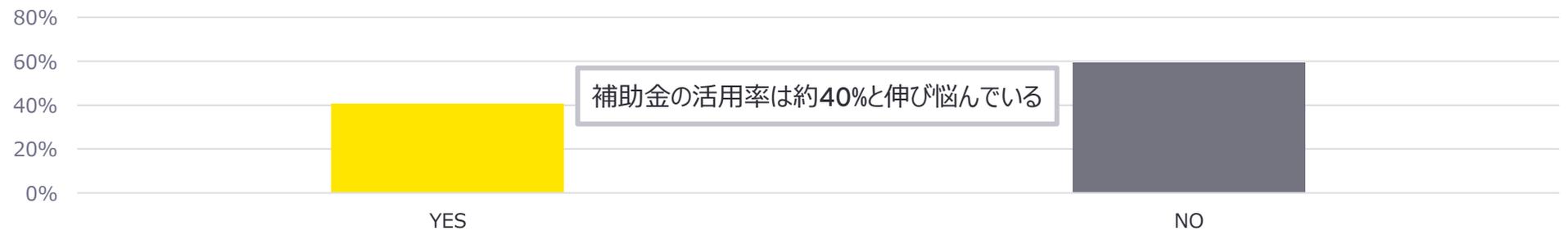
デジタル技術（AI、IoTなど）を活用した省エネの取組を実施する上で課題となっている項目（複数選択可）



省エネ補助金を知っているか



省エネ補助金を活用したことがあるか



補助金活用が進まない理由として事業者が①省エネ取組の実態の効果がわからず、②技術的知見も不足し、③申請しようとしても用途が当てはまらない点が段階的にボトルネックに

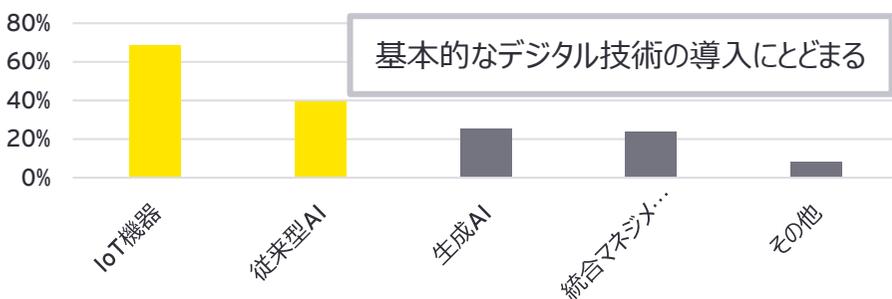
① 効果がわからない

デジタル技術の導入により事業所全体でどのくらい省エネ効果が生じたか



② 技術的にできない

活用しているデジタル技術

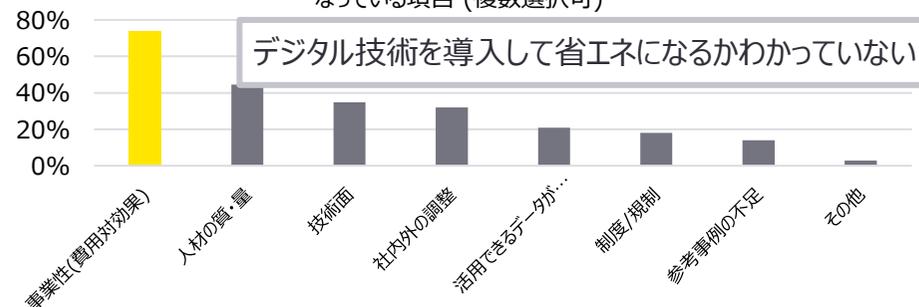


③ 申請できない

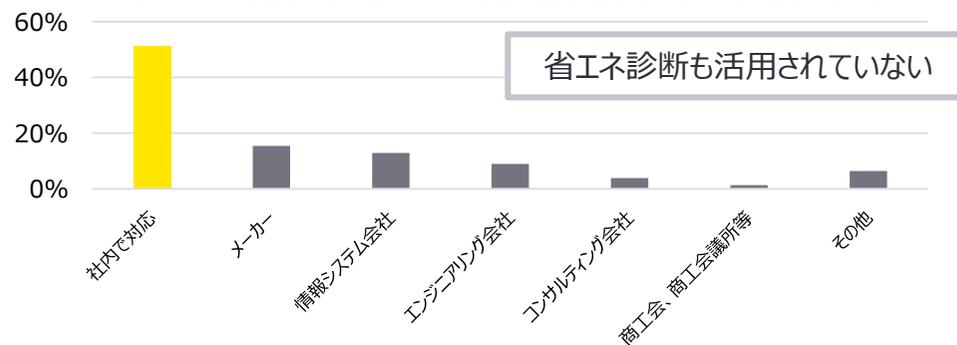
条件が合えば省エネ補助金を活用したいか



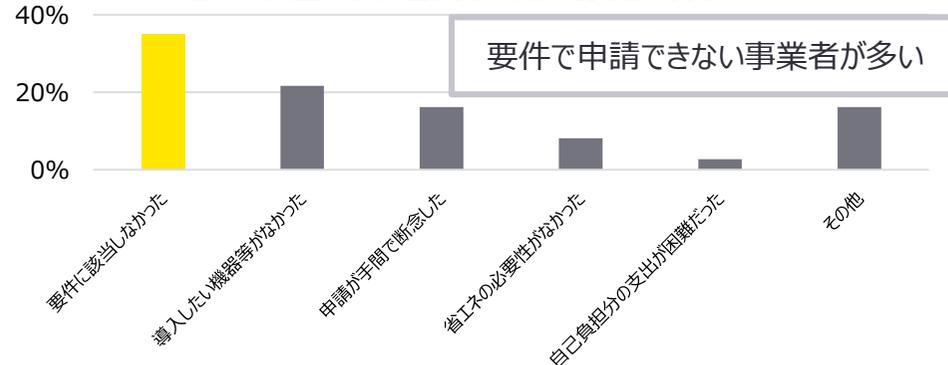
デジタル技術（AI、IoTなど）を活用した省エネの取組を実施する上で課題となっている項目（複数選択可）



デジタル技術を活用した省エネの取組を実施・計画するにあたっての主な相談先



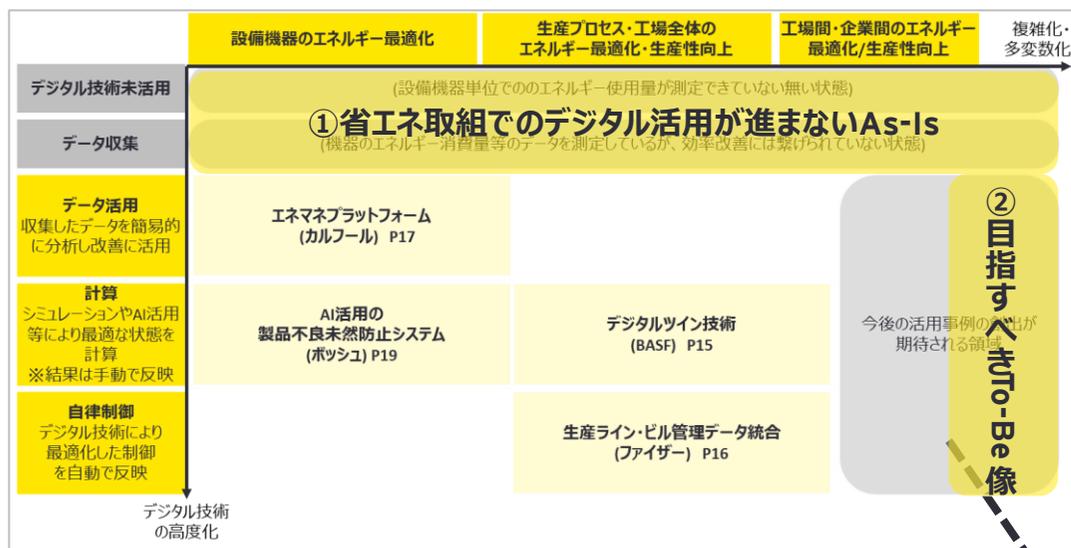
省エネ補助金の活用に至らなかった理由として当てはまる項目



4. 調査結果に基づく提言

以上の結果からデジタル活用での日本のエネルギー効率改善策として①自主的な省エネ取組のAs-Isのボトルネック解消と②製造業の生産効率向上に向けたTo-Be像をご提案致したい

デジタル技術を活用した効率改善の現況(貴庁資料抜粋)



日本のエネルギー効率改善に向けた初期仮説

- 1**

As-Isのボトルネック解消

自主的な省エネ取組のAs-Isのボトルネック抽出・解消

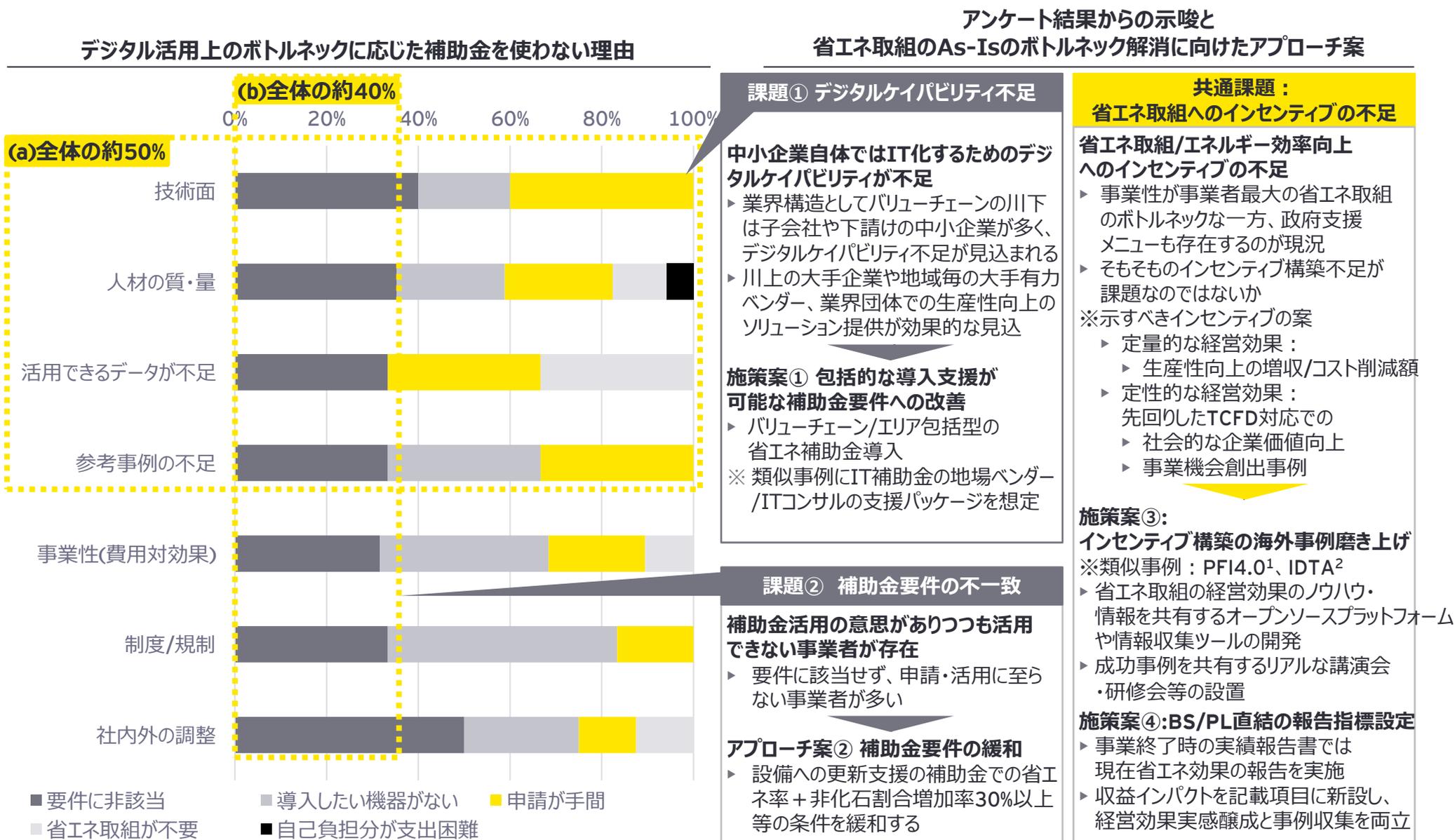
 - ▶ 4. の結果から事業者の観点では、
 - ▶ 費用対効果の事業性の観点から特に省エネ取組推進のボトルネックで、
 - ▶ 補助金が有効な施策となるはずが
 - ▶ ①省エネ取組の実態の効果が不明
 - ▶ ②技術的知見の不足
 - ▶ ③申請しようとしても要件非該当
 - ▶ といった点が段階的にボトルネックに
 - ▶ 同現状に適切に打ち手を講じることでまだ省エネ取組に積極的でない大多数の事業者からの省エネ効果が見込まれる
- 2**

生産効率向上に向けたTo-Be像

製造業の生産効率向上に向けて日本が目指すべき工場のTo-Be像

 - ▶ 3. の結果からスマートファクトリー化について特に欧州を中心にデジタルツインによるソリューション提供のトレンドが存在
 - ▶ グローバルトレンドは踏まえつつも、今後日本としてのTo-Be像が省エネ小委でも論点となっていると理解
 - ▶ 今回、以上の観点からインダストリアルメタバースをご提案させていただきたい

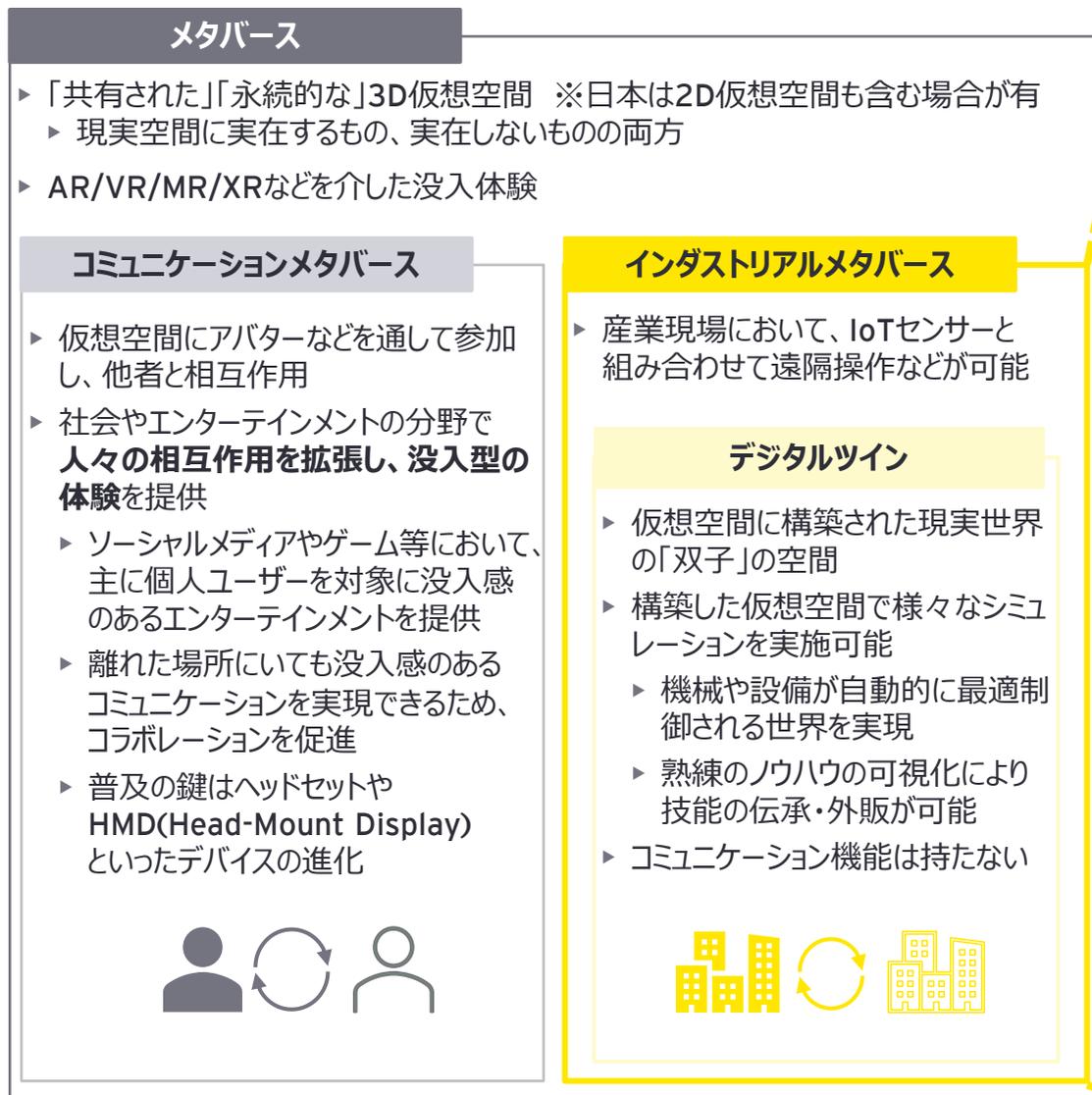
自主的な省エネ取組のボトルネックに、各事業者の(a)デジタルケイパビリティ不足 (b)補助金要件の不一致が存在し、本質的課題としてインセンティブ不足が存在するのではないか



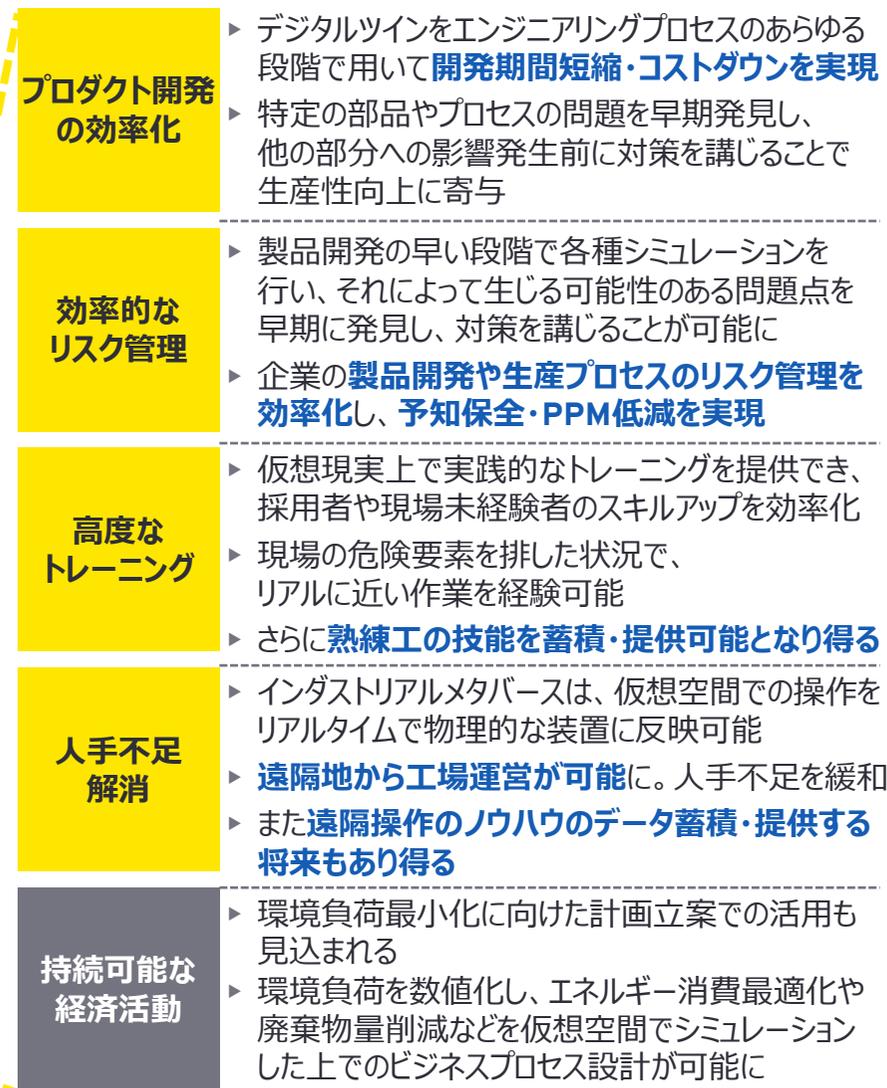
¹プラットフォームインダストリー4.0, ²インダストリアル・デジタルツイン協会

インダストリアルメタバースの弊社内有識者にインタビューし、エンジニアリングチェーンや熟練工の技能伝承による省エネ効果創出について工場のToBe像の初期仮説を示す

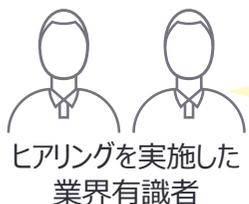
インダストリアルメタバースの概念



インダストリアルメタバース実現の効用



大手でもスマートファクトリー化は劣後しているのが実態で、まだ競争力源泉である熟練工の技能継承含むデジタル化が日本流のエネルギー効率向上の勝ち筋の一つと考える



- ▶ いわゆるJapan As No1の時代に興隆した産業のデジタル化は、**日系大手だとしてもまだまだ途上**
 - ▶ PLM(Product Lifecycle Management)や PPM(Parts per Million: 製品の不良率管理)すら大手でもまだ海外と比べ劣後
 - ▶ いっそ半導体ほどゼロベースから構築された工場くらいでないともスマートファクトリー化はあまり進んでいない
- ▶ 従って**インダストリアルメタバースによるエンジニアリングプロセスの効率化**に加え、上記のような日本の現状では、**熟練工の技能がまだ競争力の源泉であるため、インダストリアルメタバースで蓄積し、伝承するのは勝ち筋になり得る**

リコーインダストリーでの導入事例¹

	現場とオフィスの生産性と働き方		データドリブンマネジメントによる付加価値創出
	Before (当たり前の日常)	After	
経営層	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 国内外生産拠点それぞれに、各種生産状況を聞いて情報を取っている ▶ 過去のレポートを見て指示や意思決定を行っている 	バーチャルOneファクトリー 国内外生産拠点が あたかも1つの工場である	使う <ul style="list-style-type: none"> ▶ Lv3: 設備制御アプリによる制御・最適化 ▶ Lv2: 分析アプリによる分析・予測 ▶ Lv1: 各種ダッシュボードによる可視化
管理層	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 工場スタッフは、ラインごとに生産状況を開いて情報を取っている ▶ 工場間や遠隔地からのサポートは出張・現地入りして対応している 	デジタルオフィス リアルタイムモニタリングや遠隔コントロールにより工場スタッフ、本社スタッフの働き方が変革されている	ための <ul style="list-style-type: none"> ▶ クラウドを活用
現場層	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 生産現場に管理・監督者を複数名配置し、日々の生産状況の把握や現場でさまざまな情報を取っている 	無人化/人とロボットの協働 自動化技術革新、設備や人などあらゆる情報のデジタル化により、付加価値の高い業務(改善)に注力	取る <ul style="list-style-type: none"> ▶ データ収集/連携アプリを活用



¹インダストリアルメタバースが切り開く未来—デジタルトランスフォーメーションによる次世代工場の実現 (EY Japan, 2024年6月7日)

Appendix①

事例集

本事業で調査を行った以下の表の事例について、要素技術とイノベーションのポイント、省エネ効果、炭素排出量削減効果、社会実装上の課題の5観点から概要・詳細を整理致しました

産業部門における事例化対象一覧

No.	該当部門	事例名	関係機関
01	産業	フレキシブル熱電発電モジュール	株式会社Eサーモジェンテック
02	産業	3Dプリンタによる積層造形製造技術	(複数事業者が該当)
03	産業	CFD(流体解析)を活用した高炉内の燃焼シミュレーション技術	ニューサウスウェールズ大学
04	産業	メタン排出の可視化技術	OGCIなど
05	産業	改質装置内の同心円状チューブ及び構造体触媒による水素生成の効率化技術	Clariant, Technip Energy
06	産業	酸素燃焼方式のガラス溶融窯技術	東洋ガラス
07	産業	営業用B2Bアプリ開発	AB InBev
08	産業	オーバースプレー塗料粒子のドライ分離技術	EcoDryScrubber
09	産業	デジタルツインによる工場全体の効率化技術	シーメンス
10	産業	高温貯蔵システム技術	Kraftblock
11	産業	デジタルツインによる化学プラント運用のシミュレーション技術	BASF
12	産業	生産プロセス・ビル管理統合運用技術	ファイザー
13	産業	エネルギー使用監視システムの管理技術	シュナイダー・カルフル
14	産業	デジタルツイン技術とエネルギー監視システムによる製造・エネルギー効率の最適化	ユニリーバ・シーメンス・シュナイダー
15	産業	IoTセンサーによる設備・製品不良の検知技術	ポッシュ
16	産業	テスラによるギガファクトリーでの大量生産	テスラ

産業部門含む4部門における事例化対象一覧

No.	該当部門	事例名	関係機関
17	産業,業務,家庭	ループヒートパイプ技術を活用したループ型排熱回収・利用網構築	名古屋大学
18	産業,業務,家庭	量子水素エネルギー活用技術	株式会社クリーンプラネット・東北大学
19	産業,業務,家庭,運輸	ダイヤモンド半導体技術	株式会社Power Diamond Systems・早稲田大学
20	産業,家庭	地熱を活用するヒートポンプ用ルートパイプ埋設のためのモデリング・ソフトウェア技術	Bedrock Energy
21	業務(家庭)	分散型エネルギー資源の相互接続技術	EX4Energy株式会社
22	業務	ZEBによるエネルギー効率改善技術	パーキンスなど大手建築事務所 2社
23	業務,家庭	HEMS・BEMSに向けたリプレイス容易化技術	Enviro Power
24	業務,家庭	遮熱および放射冷却性能を有する光学フィルム技術	SPACECOOL株式会社
25	家庭	ネットゼロコミュニティ形成技術	Pearl Homes
26	家庭	スマートエネルギーによるエネルギー効率改善技術	Connectivity Standards Alliance
27	家庭	地熱エネルギーを利用した高効率ヒートポンプ技術	Dandelion Energy
28	運輸	船舶の入港時における待機時間を最小化するためのポートコールシステム	ストックホルム大学など
29	運輸	EV向け自動充電制御技術	株式会社Yanekara・東京大学
30	運輸	排熱を利用したバイナリー発電技術	モビリティエナジーサーキュレーション株式会社
31	運輸	バス自動・電動技術と運行合理化による公共交通の脱炭素・省エネ技術	eBRT2030 国際公共交通連合
32	運輸	港と船舶の燃料消費の削減を目標としたポートコールシステム技術	SINTEF Ocean

各事例の概要として、省エネ効果が見込まれるエネルギー消費の部門や技術観点・ビジネス観点での社会実装の進捗度、詳細情報からポイントを抜粋して掲載致しました

概要スライドの凡例

主に関係するエネルギー消費部門を黄色、
関係し得る部門を薄黄色で着色

事例名・実施主体を記載

事例01：フレキシブル熱電モジュール
これまで廃熱としていた300℃以下の低温排熱を利用するためのフレキシブル熱電発電モジュールを開発し、従来の約3倍の熱回収効率を実現して省エネ効果を創出

開発事例：フレキシブル熱電発電モジュール「フレキナー」（株式会社Eサーモジェンテック）（日本）

技術的観点での社会実装段階：基礎研究 実証 社会実装 社会実装 ビジネス観点での実用段階：概念検証 実証 スケール 安定成長

これまで利用が困難であった300℃程度以下の低温排熱を回収し、電気エネルギーに変換するフレキシブル熱電発電モジュールを開発

空冷型自立電源システムへの利用構成図
出典：<https://e-thermo.securesite.jp/pr20240830.pdf>

フレキシブル熱電発電モジュール「フレキナー」
出典：<https://e-thermo.securesite.jp/product.html#netudenhatudenjigenyou>

- 低温排熱を利用したフレキシブル熱電発電モジュール
- 熱電発電モジュールを搭載した空冷型自立電源システムの開発・試作に成功
- 円筒状熱源に対して密着して装着可能なフレキシブル構造により、従来のセラミック基板型に比べて約3倍の熱回収効率を実現
- 排熱を電気エネルギーに変換する技術により、2030年度は2.05万KL/年の省エネ効果を見込む

出典：株式会社Eサーモジェンテック <https://e-thermo.securesite.jp/pr20240830/>（アクセス2024年10月9日）

詳細スライド記載の下記5点からポイントを抜粋・画像合わせて掲載

- ▶ 要素技術
- ▶ イノベーションのポイント
- ▶ 炭素排出量削減の効果詳細
- ▶ エネルギー効率の改善効果(省エネ効果) 詳細
- ▶ 想定される社会実装上の課題

社会実装の進捗の定義¹ ※着色部を指標に採用

Technology Readiness Levels		Business Readiness Level	
基礎研究	科学的な基本原理・現象・知識が発見された状態	基礎研究	潜在的課題や顧客、解決方法が発見された状態
仮説	技術コンセプトや実用的な用途と利用者にとっての価値に関する仮説が立っている	仮説	課題と顧客が明らかにされ、事業モデルに関する仮説が立てられている状態
検証	技術コンセプトの実用性が確認されるまで仮説・検証が繰り返されている状態	概念検証	顧客価値が確認されるまで仮説と検証が繰り返している状態
初期テスト(研究室)	制御された環境下での要素技術の機能・性能が実証された状態	初期テスト(実用最小限)	提供価値が想定顧客にとって有用であることが実証された状態
初期テスト(使用環境)	模擬的な想定運用環境での機能・性能が実証された状態	想定顧客FB²テスト	顧客要望を満たす機能・性能が設計され、事業モデルの妥当性が実証された状態
実証	実運用環境かで要求水準を満たすシステムの機能・性能が実証された状態	実証	初期顧客に提供された事業モデルの成立性や顧客満足度が実証された状態
生産計画	サービスや製品供給に係る全ての詳細な技術情報が揃い、生産計画が策定された状態	事業計画	上記事業モデルに基づく事業計画が策定された状態
スケール	初期顧客の需要を満たす製品・サービスの供給できる状態	スケール	定期的な顧客FB ² を基にサービス・製品が新規顧客に展開可能な根拠がある状態
安定供給	製品・サービスを安定的に供給することが可能な状態	安定成長	プロダクト・提供者が良く知られ、売上高など健全に成長する状態

- ▶ TRL (技術成熟度)とBRL (ビジネス成熟度)というISO16290:213標準化され、NASAやEU Horizon 2020 program、日本のJAXAや内閣府SIP・環境省等で導入されている進捗マネジメントの概念から社会実装の進捗を定義
- ▶ 本事例集上では社会実装段階を示すべく、概念検討中・実応用への取組中・社会浸透に向けたスケール中・社会浸透済の4段階で評価

¹SIP第3期の社会実装に向けた戦略の作成及び社会実装に係る指標の活用について(内閣府科学技術・イノベーション推進事務局、令和5年2月15日)

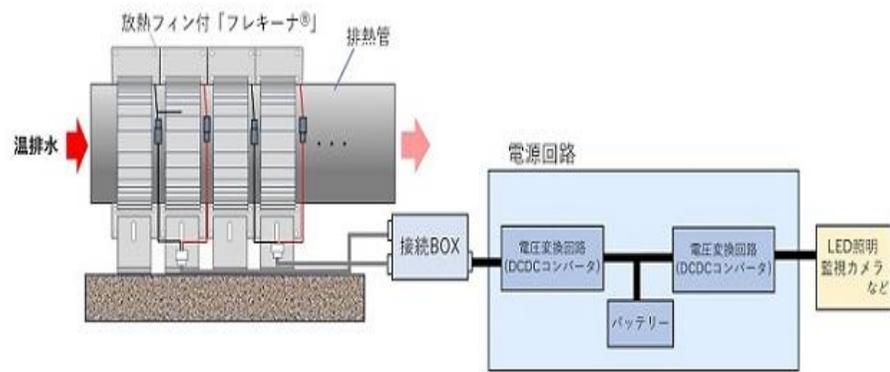
事例01：フレキシブル熱電発電モジュール

これまで廃熱とされていた300℃以下の低温排熱を利用可能かつ形状の自由度が高いフレキシブル熱電発電モジュールを開発。従来の約3倍の熱回収効率による省エネ効果を創出

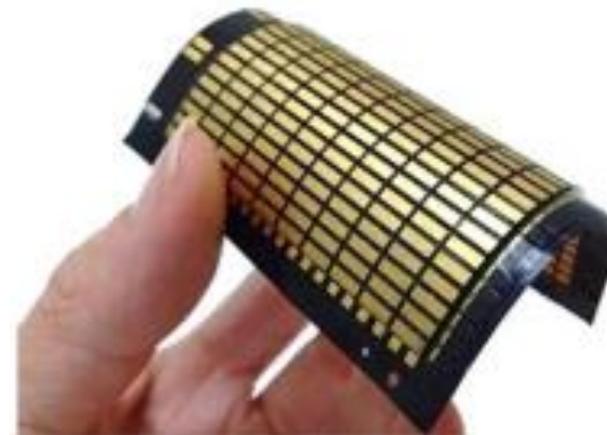
開発事例：フレキシブル熱電発電モジュール「フレキーナ」(株式会社Eサーモジェンテック) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- これまで利用が困難であった300℃程度以下の低温排熱を回収し、電気エネルギーに変換する形状の自由度が高いフレキシブル熱電発電モジュールを開発



空冷型自立電源システムへの利用構成図
出典: <https://e-thermo.securesite.jp/pr20240830.pdf>



フレキシブル熱電発電モジュール「フレキーナ」
出典: <https://e-thermo.securesite.jp/product.html#netudenhatudenjigyou>

- 低温排熱を利用したフレキシブル熱電発電モジュール
- 熱電発電モジュールを搭載した空冷型自立電源システムの開発・試作に成功
- 円筒状熱源に対して密着して装着可能なフレキシブル構造により、従来のセラミック基板型に比べて約3倍の熱回収効率を実現
- 排熱を電気エネルギーに変換する技術により、2030年度は2.05万KL/年の省エネ効果を見込む

出典: 株式会社Eサーモジェンテック <https://e-thermo.securesite.jp/pr20240830.html> (アクセス2024年10月9日)

フレキシブル熱電発電モジュール開発によって円筒状熱源に対しても密着して装着が可能となり、廃熱利用の範囲が拡大し、エネルギーの効率利用に貢献

<p>要素技術</p>	<p>フレキシブル基板技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 基盤の湾曲形成技術 極薄かつ均一加工技術 	<p>熱電素子の実装技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 省スペースでの高密度実装技術 高熱電変換効率素材 	<p>熱回収効率技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 密着性能向上技術 熱損失防止技術 熱伝導性能向上 	<p>熱電変換効率技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 回路設計の最適化 熱電素子の材料と構造を最適化
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>低温排熱を利用したフレキシブル熱電発電モジュール</p> <ul style="list-style-type: none"> 極薄のフレキシブル基板上に、既存のBiTe(ビスマス/テルル)系熱電素子を高密度に実装 円筒状熱源に対して密着して装着可能なフレキシブルなモジュール構造の開発 			
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>高い熱回収効率により省エネ効果を創出</p> <ul style="list-style-type: none"> 熱源に対して密着して装着可能なフレキシブル構造により従来のセラミック基板型に比べて約3倍の熱回収効率を実現。空冷型自立電源システムに搭載することで数百Wから数kWクラスの発電が可能となる 2027年度は1.71万KL/年、2030年度は2.05万KL/年の省エネ効果を見込む 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>低温排熱利用による炭素排出量削減への貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> 全一次エネルギー供給量の60%以上が廃熱として排出されており、そのうちの75%は300℃以下の「低温排熱」に分類される 低温排熱をフレキシブル熱電発電モジュールを用いて電気に変換することで炭素排出量削減に貢献 			
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>耐久性およびメンテナンス性能の向上が課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 空冷型自立電源システムに実装し、製造工場や温泉などから排出される水蒸気/熱ドレン水を回収し、監視カメラやIoT機器の電源として活用を想定。すでに試作機は開発されているが、耐腐食性の向上と熱電発電用バッテリーマネージメントシステム(BMS)を装備した二次電池システムの開発が課題 			

出典：株式会社Eサーモジェンテック <https://e-thermo.securesite.jp/index.html> (アクセス2024年10月9日)
 NEDO <https://www.nedo.go.jp/content/100971706.pdf> (アクセス2024年10月9日)

3Dプリンタ技術といったAM技術(積層造形技術)により、製品の機能性向上や部品製造での鋳型に流し込む素材を溶融させる工程の省略を通じて省エネ・脱炭素を実現

開発事例：3Dプリンタ技術・AM(Additive Manufacturing) 技術の産業横断的な活用事例

技術的観点での
社会実装段階

基礎研究

実証

スケール

安定供給

ビジネス観点での
実装段階

概念検証

実証

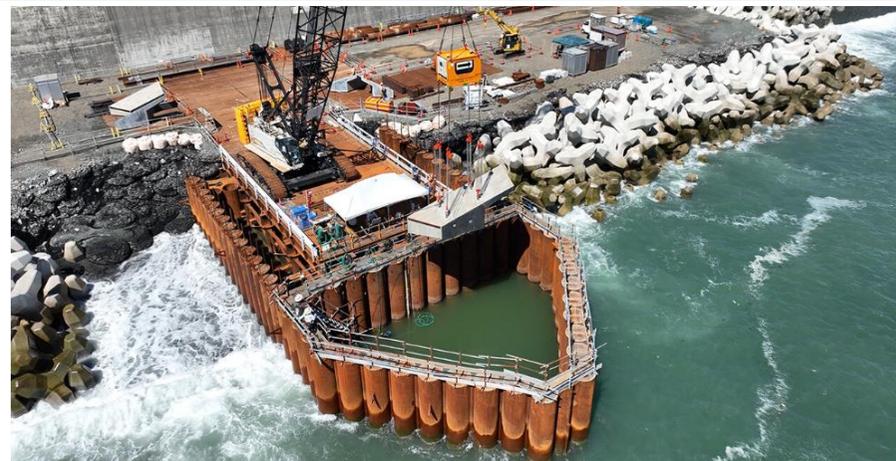
スケール

安定成長

- 複数の材料を層ごとに付加・積載しながら造形を行うAM技術(3Dプリンタ技術)の採用により、製造工程の効率化と高性能な部品の迅速な生産に成功した



エアバス社 A320旅客機のエンジンナセルに用いられるナセルヒンジブラケット
出典：<https://i-maker.jp/blog/3d-print-costcut-428.html>(2022.4.13)



大林組 3Dプリンターで製作したPCa部材の海中据え付け状況
出典：

https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20230830_1.html(2023.11)

- 既存の鋳造技術では造形が困難とされた機能性に優れた部品の製造を実現し、今後継続的に、自動車産業、医療産業、航空宇宙産業、建設産業をはじめとする多くの業界へ適用される見込み
- 鋳造に寄らず、材料を付加・積層で製造する技術により、鋳型等の治具作成省略、製造工程の省略化、製品の強度向上・軽量化等複合的な要因により、**製造工程及び最終製造物そのものの省エネ化・二酸化炭素削減を実現**

出典：Metal additive manufacturing in aerospace: A review (1.Nov.2021)

産業横断的なAM技術(3Dプリンタ技術) の活用により、製造から据付、製品の活用までのあらゆる過程における省エネ効果と炭素排出量の削減が期待される

<p>要素技術</p>	<p>材料技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属粉末加工 セラミクス加工 	<p>プロセスエンジニアリング</p> <ul style="list-style-type: none"> 電子ビーム溶融 溶融堆積 	<p>3D設計技術</p> <ul style="list-style-type: none"> CAD トポロジー最適化 	<p>プロセス制御技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 温度管理 サポート構造 	<p>機械加工技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 熱処理 表面処理
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>AM技術(3Dプリンタ技術) による、製品の精密かつ強度・耐久性の実現¹</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋳造技術はマスコダクトの生産には有効であるが、精密性や耐久性の求められる製品の造形には課題があった 材料を直接付加又は積層し、それをデジタルで制御する3Dプリンタ技術は、精密な製品を成型することを可能にした さらに、金属粉末やセラミクスの付加・積層を可能にしたAM技術は、製品に強度と耐久性が付与された 				
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>構造物の軽量化がもたらす建設現場での省エネ効果実現(大林組 プレキャスト(PCa) 部材)²</p> <ul style="list-style-type: none"> 先端部 PCaブロック 揚重時の重量を約50%削減し、敷設の際の省エネを実現 建設現場内での作業を削減され、約60%の省人化(96人→42人)と工期短縮(15日→6日)実現 <p>※一般論として製造業では部品成型に用いる鋳型等における鉄やセメントの融解に必要な熱エネルギーが不要となる分エネルギー効率が改善</p>				
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>製造工程と製品性能向上など複合的な要因による炭素排出量削減効果(エアバス社 ナセルヒンジブラケット)¹</p> <p>以下の相乗効果により、炭素排出量削減を創出</p> <ul style="list-style-type: none"> 火を使う鋳造プロセスを省略の上、製品の強度向上による運用ライフサイクル改善で、炭素排出量を40%削減 製造過程における治具・部品の削減により、原材料を75%削減 				
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>品質基準の定義に関する標準化・法整備が日本での社会実装上のボトルネックに³</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本ではまだ品質基準の定義に関する標準化や法整備途上であり、社会実装は途上 一方、世界的には大量生産よりも少数製造・高品質が求められる航空宇宙産業、建設業、医療機器産業で3Dプリンタ及びAM技術の導入は実現済 				

出典 1 Metal additive manufacturing in aerospace: A review (1.Nov.2021)
 2 大林組ホームページ(<https://www.obayashi.co.jp/>) (2024年9月19日アクセス)
 3 ShareLabホームページ(<https://news.sharelab.jp/>) (2024年9月19日アクセス)

事例03：CFD(流体解析) を活用した高炉内の燃焼シミュレーション技術

高炉は鉄鋼プラントにおける最大の二酸化炭素排出源であり、低炭素な燃料・還元剤の実用化に向けた高度な熱化学反応の分析が業界全体の省エネ・脱炭素の鍵を握る

開発事例：ニューサウスウェールズ大学(豪州) 高炉内に水素を注入した際の高炉内の多相流の解析・シミュレーション

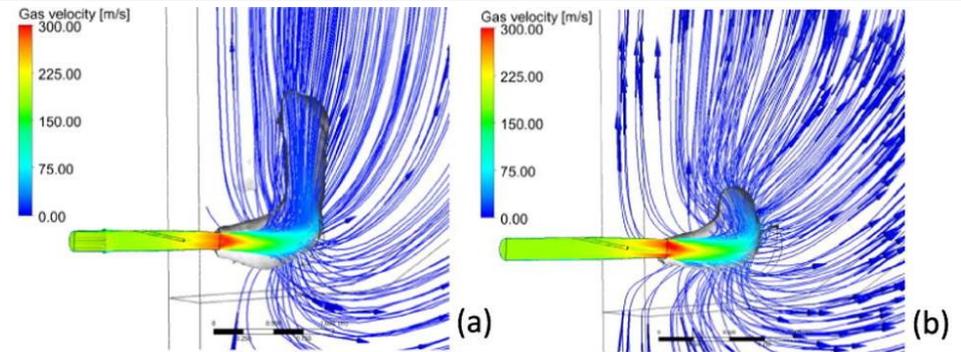
技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- 三次元CFDモデルにより、高炉で水素を活用した際の燃化学挙動を立体的にシミュレーション分析することで、水素製鉄の早期の実用化と燃焼・還元効率の最適化を目指す



Arcelor Mittal社の製鉄高炉

出典：Arcelor Mittal社 HP [ArcelorMittal Belgium inaugurates blast furnace of the future - ArcelorMittal in Belgium](https://www.arcelormittal.com/en/press-releases/2024/09/02/arcelormittal-belgium-inaugurates-its-new-100-million-100-million-euro-iron-plant) (2024年9月2日アクセス)



Raceway profile and flow field under different auxiliary fuel injections: (a) hydrogen injection; and (b) pulverised coal injection.

水素と石炭を注入した際のレースウェイと流動場の解析結果の比較

出典：[FD study of hydrogen injection through tuyeres into ironmaking blast furnaces](https://www.researchgate.net/publication/351111111) (School of Chemical Engineering, University of New South Wales, 2021.1.30)

- 三次元CFDモデルにより超高温環境(1500℃以上)にある高炉内の多相流の解析及び立体的なシミュレーションを実現
- 電炉の導入が困難である日本において環境負荷の少ない燃料・還元剤の実用化は急務の要件
- 代替クリーン燃料の採用と燃焼・還元効率の改善により脱炭素・省エネ効果を創出
- 日本製鉄では高炉水素還元技術の実機展開に伴い、2040年までに50%以上の炭素排出量の削減を標榜

出典：[FD study of hydrogen injection through tuyeres into ironmaking blast furnaces](https://www.researchgate.net/publication/351111111) (School of Chemical Engineering, University of New South Wales, 2021.1.30), 日経クロステック <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/24/00194/> (2024年9月3日アクセス)

事例03：CFD(流体解析)を活用した高炉内の燃焼シミュレーション技術

高炉内環境の高精度なシミュレーションモデルが今後、高精度化・高速化することでさらなる環境負荷の低減と経済性を兼ね備えた製鉄技術の確立を促進されていく見込み

<p>要素技術</p>	<p>高炉</p> <ul style="list-style-type: none"> 石炭・クリーン燃料混焼技術 	<p>Computational Fluid Dynamics (CFD、流体力学シミュレーション)</p> <ul style="list-style-type: none"> 3次元多相流解析モデル ※ 石炭・クリーン燃料の液相・気相の混相流解析
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>三次元CFDモデルにより高炉内の多相流の解析と立体的な視覚化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 複雑な製鉄プロセスや特殊な流体(溶けた鉄)の解析・モデリングには莫大な計算負荷がかかるが、事前に設計されたモデルに基づいた分析により負荷を軽減し、迅速なシミュレーション化を実現 近年開発の進むデータ駆動型のセンシング技術との掛け合わせにより、予測値と実測値(実際の高炉内の多相流の温度)との正確な差分評価に基づいた予測精度の向上を実現 	
<p>エネルギー効率の改善効果(省エネ効果) 詳細</p>	<p>燃焼・還元効率の改善に伴う燃料の削減によりエネルギー効率改善を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> CFDシミュレーションにより高炉内の挙動を詳細に解析し、データドリブンな燃焼・還元プロセスの最適化を実現することで、熱エネルギーの損失を最小化し燃料の使用量を削減 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>石炭・天然ガスの使用量の削減と熱効率の向上により高炉における炭素排出量の33%を削減</p> <ul style="list-style-type: none"> 低炭素な燃料・還元剤への置換や燃焼・還元効率の改善により製鉄における炭素排出を削減 2024年2月時点、日本製鉄の水素還元製鉄を行う試験炉にて既に33%の二酸化炭素削減を達成 	
<p>社会実装上の課題(初期仮説)</p>	<p>商用機への適用に向けクリーンエネルギーを用いた高炉の安定的な稼働と経済的側面の両立が不可欠</p> <ul style="list-style-type: none"> 高炉の電化が困難な日本では低炭素な燃料・還元剤の活用の推進が特に重要 国内大手鉄鋼メーカー3社を中心に水素還元技術の整備と商用化を目指す試験炉の運用を実施中 海外でも高炉製鉄における脱炭素・省エネ化の研究が進んでいるが、商用化の実現は依然として難航しており、高炉内の高温環境を非化石燃料を活用しながら継続的に維持する技術の開発とコスト面の改善が必須 	

出典：[FD study of hydrogen injection through tuyeres into ironmaking blast furnaces](#) (University of New South Wales, 2021.1.30), [Data-driven soft sensors in blast furnace ironmaking: a survey](#) (Zhejiang University, 2023.11.22), 日経クロステック <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/24/00194/> (2024年9月3日アクセス)

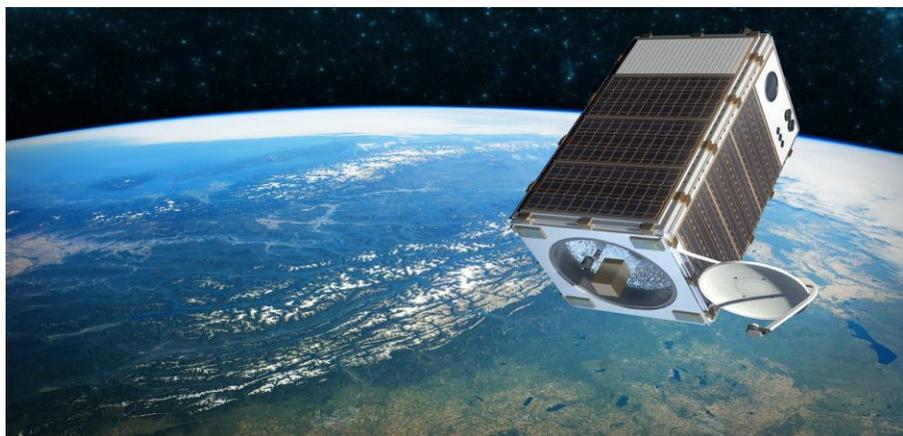
事例04：メタン排出の可視化技術

衛星画像技術によって石油・天然ガス業界のメタンの排出量を可視化し、排出源を特定することでサプライチェーンにおける上流でのメタンの絶対排出量を半減させることに成功

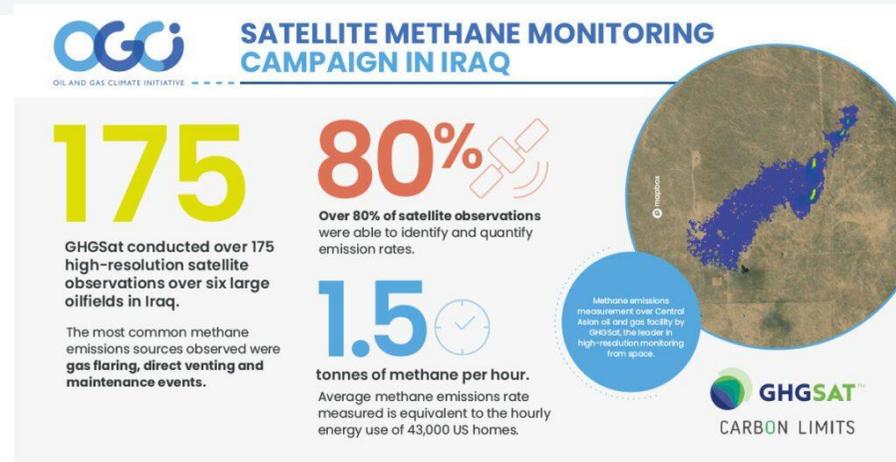
開発事例：衛星画像技術を用いたメタン排出の可視化技術 石油・天然ガスの業界団体による共同プロジェクト



- OGCI(石油・ガス気候イニシアチブ)をはじめとする4つの団体は衛星画像技術を用いて業界全体のメタン排出を削減し、2050年までに石油・ガス事業からの排出量を実質ゼロにすることを旨す



プロジェクトの共同運営者のEDF(米国の環境保護団体)による衛星の実際の使用のイメージ図
 出典：EDF NEWS <https://www.edf.org/media/edf-announces-satellite-mission-locate-and-measure-methane-emissions> (2024年9月2日アクセス)



イラクでの衛星画像技術と実績
 出典：OGCI NEWS <https://www.ogci.com/news/ghgsat-satellite-monitoring-project-in-iraq-helps-tackle-methane-emissions-at-oil-fields> (2024年9月2日アクセス)

- メタンループに関する高解像度のデータを収集できる衛星画像技術を使用
- 各団体の会員企業が世界中でプロジェクト実施中
- 衛星画像を用いてメタンの排出源を特定することで漏洩するメタンを削減して石油・ガス事業におけるメタンが関連する工程の生産効率を向上し、省エネ効果を創出
- 2017年以来OGCIの会員企業は、上流でのメタンの絶対排出量を合計で半減させ、フレアリングを45%削減した

出典：IOGPホームページ <https://www.iogp.org/blog/news/leading-technical-experts-team-up-to-help-oil-and-gas-companies-meet-ogdc-methane-emissions-and-flaring-goals/> (2024年9月2日アクセス)

衛星画像技術でのメタン排出源毎の排出量可視化により工程毎に必要な漏洩などへの対応策が明確化され、各プロセスでの効果的なエネルギー運用が実現される

<p>要素技術</p>	<p>衛星画像処理技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 衛星画像の高解像度化 衛星画像分析 メタン漏洩・排出源可視化 	<p>メタン漏洩の防止</p> <ul style="list-style-type: none"> 石油・ガス業界のバリューチェーン管理システム 特定工程のメタン漏洩低減
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>メタンの排出源の可視化</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術革新や大規模な業界団体同士の連携が進んだことにより用途別のメタンブルーム可視化に成功 具体的には漏れ・通気・フレアリングなど、どの用途でどれ位排出されたかが可視化された 	
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>各産業においてプロセス全体のエネルギー効率が上昇する</p> <ul style="list-style-type: none"> メタン漏れの早期発見が可能になることでガス損失を削減 さらにメンテナンスのタイミングが最適化され設備のダウンタイムが減少する 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>衛星によって集まったメタンに関するデータを基に効率的な排出減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> メタン排出の用途が見える化されることで各事業者がより効果的な打ち手を検討できる 上流でのメタンの排出量を合計で半減させ、フレアリングを45%削減 	
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>グローバルな団体との連携不足により日本では実装が進んでいない</p> <ul style="list-style-type: none"> 各団体の会員企業を中心に世界中で事業化フェーズにある 日本でも石油連盟などの業界団体を中心に革新的技術開発は進んでいるが海外団体との連携は進んでいないのが実情 	

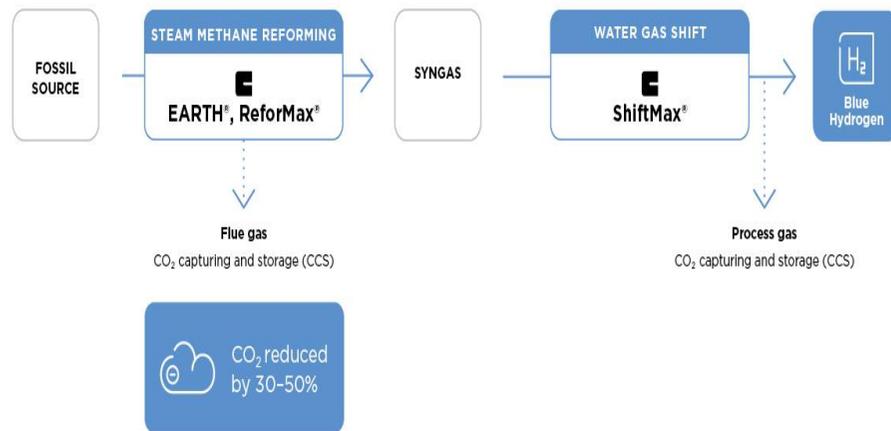
事例05：改質装置内の同心円状チューブ及び構造体触媒による水素生成の効率化技術

改質装置と触媒の独自の構成により、化学工業における主要な二酸化炭素排出源である水蒸気改質工程の省エネ化と脱炭素化を実現

開発事例：EARTH(Clariant, Technip Energy) (米国・仏国)



- 水蒸気改質器内に同心円状のチューブと構造化触媒を配置することで、装置全体の高い処理能力と優れた熱回収を実現し、水素生成プロセスにおけるエネルギー消費量と炭素排出量の削減を目指す



Blue hydrogen via steam methane reforming
 出典: Clariantホームページ [Blue hydrogen \(clariant.com\)](https://www.clariant.com/blue-hydrogen)
 (2024年10月3日アクセス)



3D image new Repsol plant, Spain
 出典: Clariantメディアリリース <https://www.pressreleasefinder.com>
 (2024年10月3日アクセス)

- 改質器内の部品や触媒の構造を改良することで、装置の熱効率向上と触媒の高い反応活性を実現
- 2023年に稼働を開始したスペイン・カルタヘナの2万1千Nm³/h規模の水素工場での導入実績が存在
- 装置構造と触媒配置の最適化**によりスループットと熱効率が向上し、**エネルギー消費量の削減**とそれに伴う**脱炭素化**を実現
- 2019年に開始したトルコの水素工場での先行運用では約40%の化石燃料消費量削減と約20%の脱炭素化を達成

既存の改質装置との高い適合性を誇る本技術は他国での実証実験において既に一定の脱炭素化・省エネ化効果を示しており、近い将来日本市場における導入の拡大が期待される

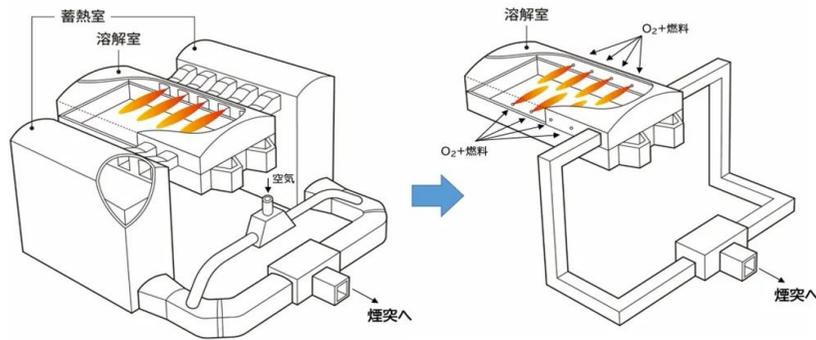
<p>要素技術</p>	<p>同心円状チューブ</p> <ul style="list-style-type: none"> 独自の構成により優れた熱回収を実現 	<p>構造体触媒</p> <ul style="list-style-type: none"> 高熱や圧力の影響を受けた環境下でも卓越した安定性と機械的堅牢性を保持する
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>改質器の部品や触媒の構造を最適化することで、触媒活動の安定化と旧来の改質器との適合性を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 触媒床の体積が減少した条件下でも触媒の高い反応活性と耐久性を実現 従来の改質器の内部空間を活用する設計により既存の改質チューブへの取り付けが可能 	
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>触媒の活性化により装置内の処理能力・熱効率を改善し約40%のエネルギー消費量の削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 改質器内のスループットの向上と熱の効率的な再利用により外部エネルギーの必要量を低減 2019年に開始したAkkim社(トルコ)の水素工場での実証実験では約40%の化石燃料消費量を削減 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>触媒の活性化によるエネルギー消費量の削減に伴い、約20%の脱炭素化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 触媒の活性化により改質工程における燃料消費を抑制することで二酸化炭素排出を低減 2019年に開始したAkkim社(トルコ)の水素工場での実証実験では約20%の炭素排出量を削減 	
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>従来の改質装置との適合性から知名度の上昇に伴い日本国内でも社会実装が進むと思慮</p> <ul style="list-style-type: none"> Clariant社は日本法人を設立し、2021年に富山県の研究センターに対し触媒製品の開発能力強化を目的とした投資を実行していることから、日本市場での販路拡大に意欲的であると思料 	

大型ガラス溶融窯への酸素燃焼方式の導入により、ガラス瓶製造の省エネ化実現のボトルネックの1つである溶融工程におけるエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の削減を目指す

開発事例：酸素燃焼方式のガラスびん用大型ガラス溶融窯(東洋ガラス) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 日本国内初となる一日当たりの生産能力が200 t を超えるガラスびん用大型ガラス溶融窯に酸素燃焼方式を導入し、業界に先駆けて省エネ効率の改善と環境負荷の少ないガラスびん製造を両立



東洋ガラスが大型ガラス溶融窯に酸素燃焼方式を国内初導入
 出典：東洋製罐グループホームページ [大型ガラス溶融窯に酸素燃焼方式を導入](#)
 (2024年10月9日アクセス)

<ガラスびん応援隊> 東洋ガラス株式会社・千葉工場を見学！
 出典：日本ガラスびん協会 ホームページ [日本ガラスびん協会 | <ガラスびん応援隊> 東洋ガラス株式会社・千葉工場を見学！ \(glassbottle.org\)](#) (2024年10月9日アクセス)

- ガラス溶融の伝熱に寄与しない空気中の不純物を取り除くことで燃焼効率を向上するとともに、空気燃焼窯で排熱ガスの蓄熱に用いられたレンガの必要性を排することで窯の構築における省資源の観点からも省エネ化・脱炭素化を実現
- 東洋ガラス社では2025年12月に千葉工場に日本初の酸素燃焼方式の溶融窯が導入される予定であり、従来の生産量を維持しつつ溶融窯 1 基あたり約20%のGHG排出量を削減する見込みがあると公表される

出典：東洋製罐グループホームページ [大型ガラス溶融窯に酸素燃焼方式を導入](#)(2024年10月9日アクセス)

ガラス溶融窯における酸素燃焼方式の採用は理論上一定の省エネ・脱炭素効果を見込まれるものの、導入には多額の費用が必要であり、社会実装の広がりには時間がかかると推測

<p>要素技術</p>	<p>CFD(流体解析)を中心とした熱化学挙動の分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ガラスの溶融に最適な酸素と燃料の比率を解明する 	<p>溶融窯内部のセンサー技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶融窯の環境を測定し、リアルタイムでの燃焼プロセスの精密制御を可能にした
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>空気中の不純物や蓄熱媒体(レンガ等)の除去を徹底して大型ガラス溶融窯における酸素燃焼方式を確立</p> <ul style="list-style-type: none"> 大型ガラス溶融の燃焼効率の低減要因として、空気中の不純物やレンガ等の蓄熱プロセスの除去を徹底 結果、直接酸素を燃焼してガラスを溶融する新たな方式を確立・実運用着手まで実現 	
<p>エネルギー効率の改善効果(省エネ効果) 詳細</p>	<p>溶融窯の燃焼効率の向上に伴いエネルギー消費量の抑制に成功する見込み</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来の空気燃焼方式でガラス溶融の伝熱に寄与せず省エネ化の阻害要因となっていた窒素をはじめとした空気中の不純物を取り除くことで、燃焼効率向上に伴う省エネ化を実現 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>溶融窯の燃焼効率の向上に伴い溶融窯 1 基あたりのGHG排出量が約20%削減される見込み</p> <ul style="list-style-type: none"> 東洋ガラスは溶融窯 1 基あたりのGHG排出量が約20%削減されると試算 空気燃焼窯で排熱ガスの蓄熱に用いられたレンガが不要となることで、省資源の観点から溶融窯を構築するプロセスの脱炭素化を実現 	
<p>社会実装上の課題(初期仮説)</p>	<p>日本国内での実装にあたり明確な技術的課題は存在せず導入コストが唯一の障壁になると思料</p> <ul style="list-style-type: none"> 東洋ガラスが2025年12月に予定している千葉工場ガラス溶融窯 1 基の大規模修繕にあたり、燃焼方式を空気燃焼から酸素燃焼に変更。一日当たりの生産能力が200 t を超えるガラスびん用大型ガラス溶融窯に酸素燃焼方式を導入するのは国内初の事例 	

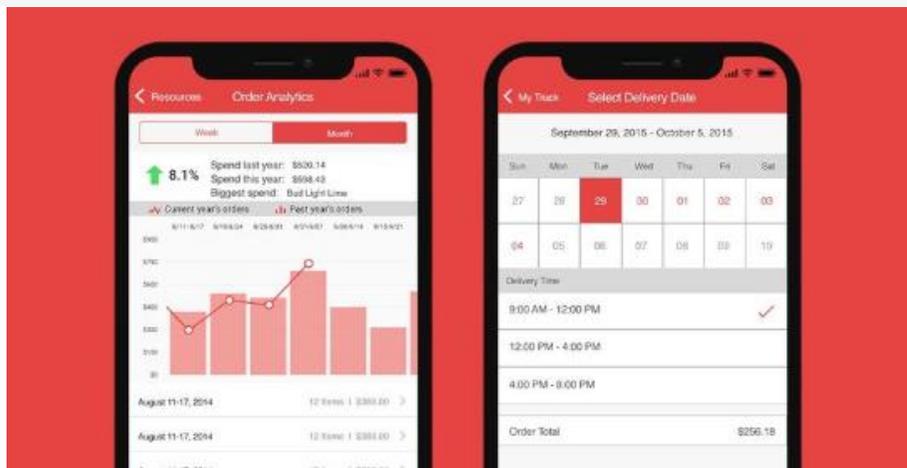
出典: International Federation of Robotics ホームページ [Environmentally-friendly complete solution for Togg](#) (2024年10月8日アクセス)

米国ビール業界最大手が開発した営業用B2Bアプリは、小売店側が求めるタイミングで商品の補充要請や新商品の提案などを可能とした

開発事例：AB InBevによる営業用B2Bアプリ「Tapwiser」の開発(米国)

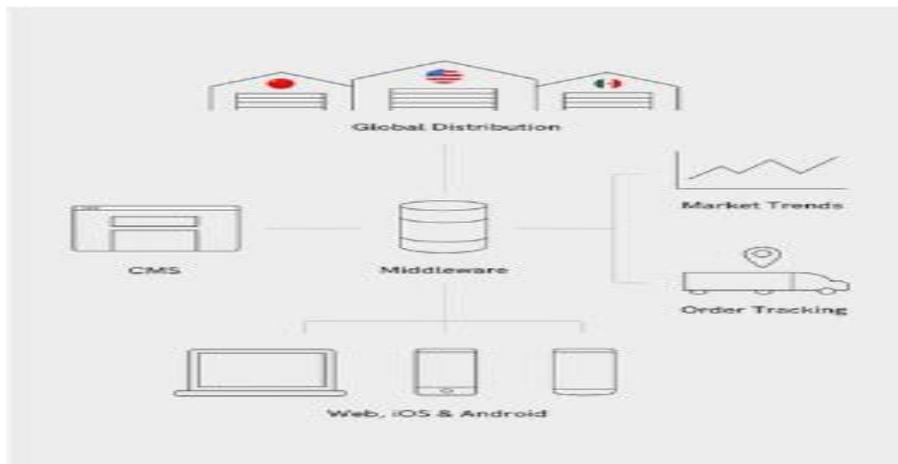
技術的観点での社会実装段階 基礎研究 実証 **スケール** 安定供給 **ビジネス観点での実装段階** 事業モデル検証 実証 **事業化** スケール・安定成長

- AB InBevは米国ビール業界の最大手企業である。従来の営業方法では電話やメールなど顧客によってオーダー方法にバラつきがあり、社内システムへの入力作業に多くの工数が発生していた
- そこで商品発注が可能なアプリを開発することで無駄が省き、効率化につながった



アプリの使用画面

出典：Monstar Lab <https://monstar-lab.com/work/abi> (2024年10月9日アクセス)



アプリを使用したサプライチェーンの図

出典：Monstar Lab <https://monstar-lab.com/work/abi> (2024年10月9日アクセス)

- 小売店側が商品を補充する必要がある場合にモバイルアプリから発注を行う
- 発注するだけでなく、補充する商品のリコメンデーションなども行うことができ、新商品や販売戦略を提案するなど新たな関係を構築
- 実際に新製品開発につながり、低炭素のアルミ缶や再生可能エネルギーを使用した製造により温室効果ガスの排出削減に寄与

出典：Monstar Labホームページ <https://monstar-lab.com/work/abi> (2024年10月9日アクセス)

アプリ上で商品の注文や在庫管理を一元的に行うことにより、対面でのやりとりが減少することでエネルギー消費が最小限に抑えられる

<p>要素技術</p>	<p>アプリケーション技術</p> <ul style="list-style-type: none"> UI プッシュ通知機能 	<p>データ管理</p> <ul style="list-style-type: none"> リアルタイム在庫管理 オーダー管理システム(OMS) データ分析ツール 	<p>コラボレーション技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 営業支援システム(SFA) 顧客関係管理システム(CRM)
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>中小規模の飲食店やリテール店舗との取引における効率化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 簡単なインターフェースで商品注文、在庫管理、価格情報提供、プロモーションの管理を一元化する 営業の効率を大幅に向上させ、従来の人手を介した営業活動から、デジタルプラットフォームによる取引にシフト 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>リアルタイムでの在庫情報が把握でき、エネルギー効率の良い営業プロセスが実現される</p> <ul style="list-style-type: none"> 受注や在庫管理のプロセスが自動化・効率化され、無駄な作業が削減 過剰な在庫が回避され、必要なタイミングで最適な量の商品を配送することが可能 営業チームの移動が減少し、全体としてエネルギー消費が抑制される 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>営業上のやり取りが減少し、それに伴う不必要な荷物輸送が減ることで炭素排出の機会が削減</p> <ul style="list-style-type: none"> 営業担当者が直接店舗に足を運ぶ必要が減少し、出張や車移動の頻度を大幅に削減 在庫管理が効率化されることで、必要以上の出荷や無駄な輸送が減り、サプライチェーン全体での炭素排出量削減に寄与 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>日本では特に中小企業や老舗企業において従来の営業スタイルからの変化に抵抗がある</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本の中小の飲食店やリテール店舗でのデジタル技術の受容が課題であり、従来のアナログな取引方法からの転換に抵抗がある 営業担当者との対面での取引を重視する日本の商習慣において、アプリベースの取引が普及しにくい可能性 		

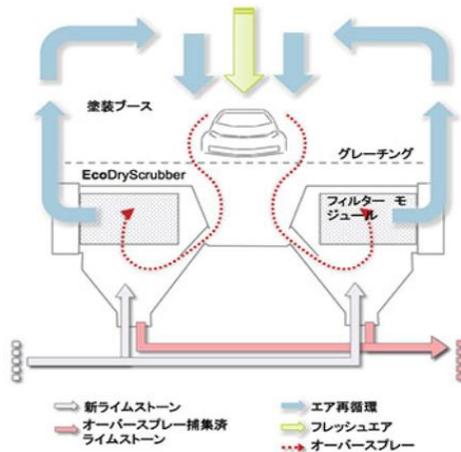
出典：Monstar Labホームページ <https://monstar-lab.com/work/abi> (2024年10月9日アクセス)

炭酸カルシウムを用いたオーバースプレー塗料粒子のドライ分離と装置内の空気循環の効率化により、自動車製造における最大のエネルギー消費源である塗装工程の省エネ化を実現

開発事例：EcoDryScrubber(Dürr) (ドイツ)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 天然の石灰石由来の自動車製造で用いられるあらゆる塗料に対応したオーバースプレー捕集材を開発し、装置内の空気循環効率を見直すことで、塗料の乾燥に必要な空調稼働率の低減による省エネ化に成功



EcoDryScrubberとは

出典：H.K.K株式会社 ホームページ [業務・製品紹介 EcoDryScrubber H.K.K株式会社 \(kojimaya-kogyo.com\)](https://www.kojimaya-kogyo.com) (2024年10月8日アクセス)

EcoDryScrubberとは

出典：H.K.K株式会社 ホームページ [業務・製品紹介 EcoDryScrubber H.K.K株式会社 \(kojimaya-kogyo.com\)](https://www.kojimaya-kogyo.com) (2024年10月8日アクセス)

- 濾過媒体となるオーバースプレー捕集材にあらゆる塗料への対応が可能な粉末状の炭酸カルシウムを採用し、装置全体の空気循環の効率化により温度と湿度を最適な状態に維持することで、塗料の乾燥工程における空調稼働に伴うエネルギー消費量を削減
- 2023年にトルコの手EVメーカーであるTogg社の工場に導入され、塗装工程全体におけるエネルギー消費量を最大60%削減した実績が存在

出典：International Federation of Robotics ホームページ [Environmentally-friendly complete solution for Togg](https://www.iforobotics.com) (2024年10月8日アクセス)

環境に優しい自動車製造の実現に向けたボトルネックである塗装工程の省エネ化を実現する 本技術は既に海外での商用化が進んでおり、日本国内でも迅速な社会実装が期待される

<p>要素技術</p>	<p>粉末状の炭酸カルシウム</p> <ul style="list-style-type: none"> 天然の石灰石由来の1種類の濾過媒体で種類を問わず全てのオーバースプレーの捕集を行う 	<p>空気の循環システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 塗装ブースとフィルターモジュール内の空気を適切な湿度と温度を維持しながら循環させる
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>炭酸カルシウムによるスプレー捕集と効率的な空気循環により塗料乾燥工程の簡素化に成功</p> <ul style="list-style-type: none"> 濾過媒体となるオーバースプレー捕集材に天然の石灰石を活用しあらゆる塗料のドライ分離を実現 空気循環の効率化により装置全体の温度・湿度を最適な状態に維持することで塗料の乾燥を迅速化 	
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>塗料を乾燥させるプロセスで用いる機器の電力消費を抑制し、最大60%の省エネ化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 塗料の水分を乾燥させる工程をスリム化することで、空調等の関連機器の電力消費を抑制し、最大60%のエネルギー消費量削減を実現 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>塗料を乾燥させるプロセスで用いる機器の電力消費量の低減に伴う脱炭素化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 塗料の水分を乾燥させる工程をスリム化することで、空調等の関連機器の電力消費を抑制し、発電に際して発生する二酸化炭素排出を削減 	
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>日本国内での実装にあたり明確な技術的課題は存在せず導入コストが唯一の障壁になると思料</p> <ul style="list-style-type: none"> H.K.K株式会社が静岡県にEcoDryScrubberのショールームを設置し日本での認知度向上に努める 導入に際して既存の塗装装置等を置き換える必要があり企業にとって大きな費用負担が発生すると推察 	

出典: International Federation of Robotics ホームページ [Environmentally-friendly complete solution for Togg](#) (2024年10月8日アクセス)

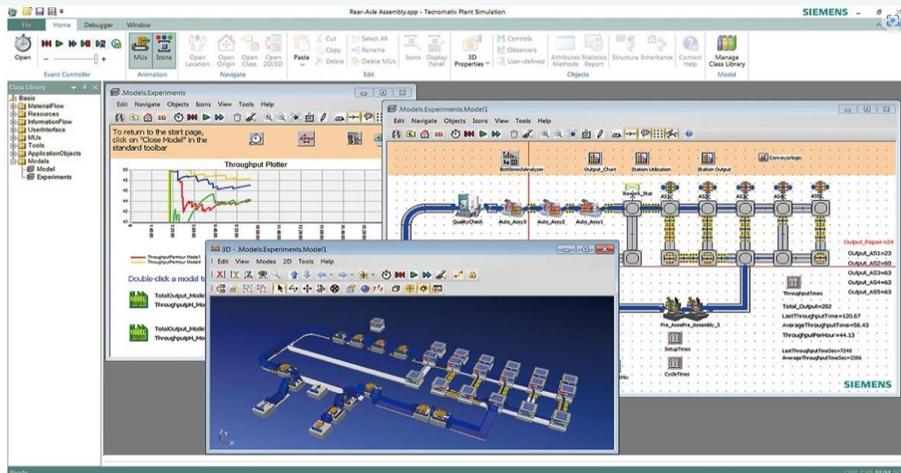
事例09：デジタルツインによる工場全体の効率化技術

デジタル化を推し進めるシーメンスは全工場においてデジタルツイン体制を導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

開発事例：シーメンスによるデジタルツインの全社にわたる導入事例(ドイツ)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	事業モデル検証	実証	事業化	スケール・ 安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	---------	----	-----	---------------

- 工場全体のデジタル化を進めるシーメンスはアンベルク工場を皮切りにIoTを使った稼働データの収集と解析や、コンピューターシミュレーションと現実の生産ラインを同期させて運用するデジタルツインを全社的に導入した



デジタルツインのためのソフトウェア

出典：日経XTECHホームページ (2024年10月9日アクセス)



工場内の様子

出典：日経XTECHホームページ(2024年10月9日アクセス)

- 工場の自動化率は75%を超え、従業員のほとんどがラインの製造装置には張り付かず、フロア内に置いた執務机でモニターを見ながら複数の仕事をこなす
- 製品1個ごとに製造工程までさかのぼって履歴を確認できるトレーサビリティを確保した体制が確保され、問題が生じた工程は即座に特定され、改善が行われる
- 1日当たり350回の工程切り替えを行い、1200種類の仕様で製品を作り分け、99.5%の製品は発注から24時間以内に出荷可能

出典：日経XTECHホームページ <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/02647/> (2024年10月9日アクセス)

製品の設計から出荷に至る工程を3つのデジタルツイン体制で構築し、常にモニタリングした上で精度を日々高めることで効率化を実現

<p>要素技術</p>	<p>IoT技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ センサー技術 ・ 通信技術 ・ エッジコンピューティング 	<p>データ解析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ビッグデータ解析 ・ 機械学習 ・ シミュレーション 	<p>クラウド技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クラウドストレージ ・ クラウドコンピューティング ・ サイバーセキュリティ技術
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>設計・製造・パフォーマンスの全てのフェーズにおいてデジタルツインを活用し、製造効率を高める</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ コンセプトの検討から3Dモデルを使い、設計の75%を自動化している ・ 工場内の生産ラインや各工程の設計もコンピューターのシミュレーションを多用し、常時モニタリングを実施 ・ 工場の稼働状況についても実機のモニタリングとシミュレーションを組み合わせ最適化を行う 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>徹底的なデジタル化と常時モニタリングシステムにより生産性と再現性の両立を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ デジタルツインの導入により、工場の面積自体が変わらないものの従来から高かった生産性をさらに約1.4倍に高める ・ 不良率も0.001%まで抑え込み、ラインのMTBF(平均故障間隔) も過去10年で20%向上させる 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>製造の過程における全体最適により、極限まで無駄を省くことで炭素排出の削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 仮想モデルでの製造プロセスのシミュレーションによりエネルギー使用の最適化を行い、リアルタイムでの最適化で炭素排出量を削減 ・ メルセデスベンツとの共同プロジェクト「Factory 56」では特定の生産拠点で炭素排出量を半減 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>大企業を中心にノウハウを積極的に吸収する必要がある</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高度なデータインフラの整備が不十分であり、リアルタイムデータ処理能力の向上が必要 ・ データサイエンスやIoTに精通した専門人材が不足しており、技術活用に課題がある ・ 初期導入コストが高いため、中小企業での普及が難しい 		

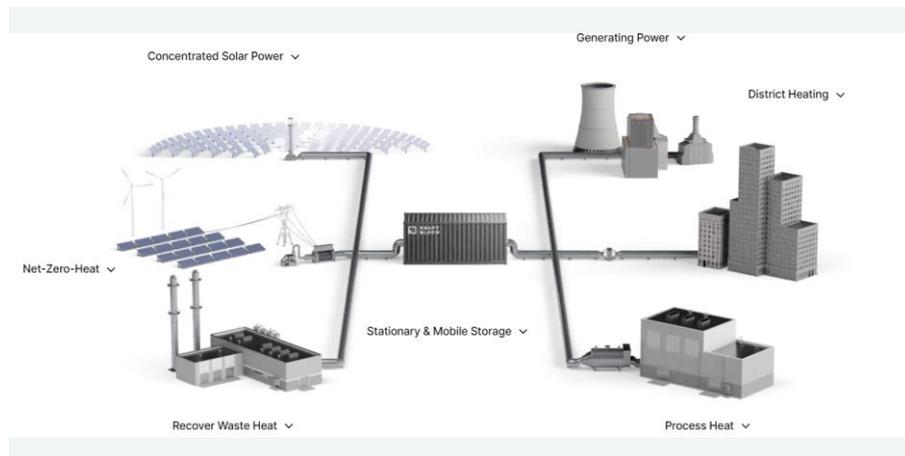
出典：日経XTECHホームページ <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/02647/> (2024年10月9日アクセス)

再生可能エネルギーで生成されたエネルギーや工場からの排熱を蓄熱技術で貯蔵。エネルギーが必要な製造工程において活用することにより、大きな省エネ効果を創出

開発事例：高温貯蔵システム「ネットゼロシステム」(Kraftblock) (ドイツ)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- 産業や地域暖房さらには発電におけるエネルギーが必要なプロセスにおいて蓄熱を利用する「ネットゼロシステム」により施設の省エネに貢献



ネットゼロシステム概念図

出典: Kraftblock <https://www.kraftblock.com/>
(2024年10月10日アクセス)



2024年末にネットゼロシステム実装予定のペプシ社ポテトチップス工場(オランダ)
出典: Kraftblock <https://www.kraftblock.com/projects/volt>
(2024年10月10日アクセス)

- ネットゼロシステムの概要
 - 再生可能な電力を熱として蓄積し、グリーンエネルギーの供給を24時間365日可能にする
 - 高温で最大1,300°Cまでのコンパクトな蓄熱を実現し、50°Cから1,300°Cの範囲でプロセスに熱を供給する
 - 蓄熱を工程に必要なエネルギーに変換させる技術により、**製造工程に必要なエネルギーの60%の省エネ**に貢献

出典: Kraftblock <https://www.kraftblock.com/>(2024年10月10日アクセス)

エネルギーの変換・貯蔵・放出技術により、様々な産業のプロセスにおいて、高い省エネ効果を発揮する

<p>要素技術</p>	<p>熱蓄積技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 蓄熱材 熱交換構造 	<p>再生可能エネルギー活用技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 電気加熱 エネルギー管理 	<p>熱供給システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 温度調整機構 パイプライン設計 	<p>熱管理技術</p> <ul style="list-style-type: none"> リアルタイムモニタリング 予知保全 	<p>モジュラー設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ライフサイクル評価 再生可能エネルギー統合
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>エネルギーを熱として蓄え、必要なプロセスで再利用する技術で、高い省エネ効果を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 変換：自社発電所からの電気や工場からの排熱を、98%の効率で熱に変換 蓄熱：熱は、コンテナ内で数分から最大2週間まで蓄えることが可能 放出：蓄熱を、空気、蒸気、熱油、水、またはガスとして放出し、損失なくプロセスに適した温度に調整される 				
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>あらかじめ適切な温度に調整された熱で、大きな省エネ効果を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ペプシ社ポテトチップ工場の場合、フライヤーに使用される蓄熱のエネルギーは150 MWhとなり、それによる省エネ効果は、ガス4.5百万m³の年間節約と同等である 				
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>製造工程に必要なエネルギーを、ネットゼロシステムの蓄熱に置き換えることで、炭素排出量削減に貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> ペプシ社ポテトチップ工場の場合、フライヤーでポテトを揚げるプロセスでガスの代わりに蓄熱を用いることで、年間8,500トンの二酸化炭素(工場排出量の98%)を削減 				
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>都市部など建物密集地域における実装に課題あり</p> <ul style="list-style-type: none"> ネットゼロシステムの蓄熱筐体はトラックで運べるコンテナサイズであり、日本で製造されている類似の技術と比較し小さいため、場所の制約を受けづらい 実装実績はすべて工場敷地内での設置であり、都市部等建物が密集する地域では、蓄熱システムのためのスペースを確保しづらいと予想される 				

出典: Kraftblock <https://www.kraftblock.com/> (2024年10月10日アクセス)

事例11：デジタルツインによる化学プラント運用のシミュレーション技術

BASF社は化学プラントのデジタルツインを構築し、気候や燃料供給・価格変化に対して常に最適なプラント制御・機器変更をシミュレーション可能にすることでエネルギー効率を最大化

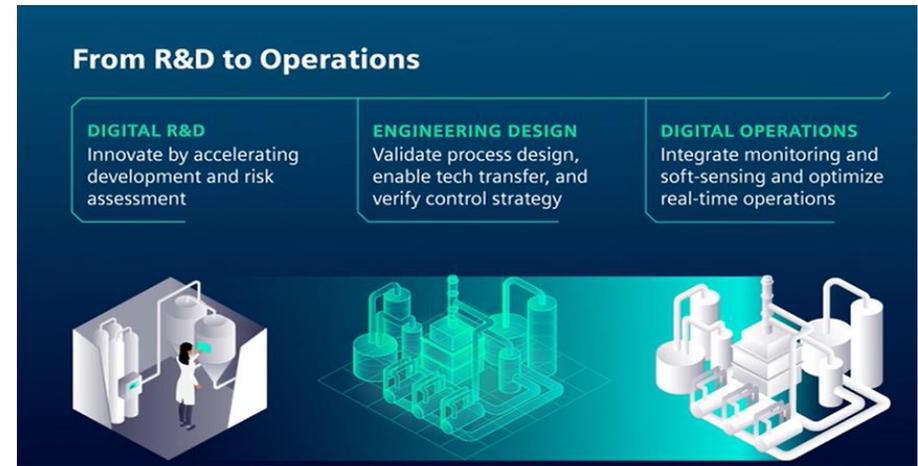
開発事例：デジタルツイン技術 シーメンス社・BASF社(ドイツ)



- BASFは、化学プラントにIoTセンサをくまなく設置し、実データを収集して仮想プラント(化学プラントの運用をシミュレーション可能なデジタルツイン)を構築。不安定な生産条件に応じた常に最適な機器制御/変更を徹底可能に
- 化学プラントについて欧州では電化/日本ではグリーン化が進むが、本アプローチは同様に導入可能と見込まれる



BASF社本社工場(ドイツ・ルートヴィヒスハーフェンの化学製品生産拠点)
出典: [Staying competitive with the Digital Twin - Siemens Global](#)



シーメンス社「デジタルプロセスツインテクノロジー」のイメージ図
出典: [Staying competitive with the Digital Twin - Siemens Global](#)

- ▶ 経済安全保障の影響を受け、エネルギー供給・価格や気候といった生産環境の不安定化が今般の化学業界の課題
- ▶ そのためBASFは、シーメンスとルートヴィヒハーフェンの世界最大の生産拠点で構築した**仮想プラント(デジタルツイン)**を用いて**生産環境の変化が生じる度に化学プラントの制御や機器変更をシミュレーションし、常に最適化することで生産効率最大化を徹底**
 - ▶ BASFはまず化学プラントのプロセス制御システムを既存ソフトウェアへ組み込み、施設全体のデータフローとの相互接続を実施
 - ▶ その後デジタルツイン上でのシミュレーション結果とIoT機器でのセンシング結果のデータ突合・整合化を行い、仮想プラントを構築

出典：シーメンス社HP <https://www.siemens.com/>(2024年10月30日アクセス)

デジタルツインの活用によって迅速に開発および生産プロセスを最適化することが可能となり、エネルギー効率の向上と効率的な資源の投入を実現

<p>要素技術</p>	<p>デジタルツイン技術</p> <ul style="list-style-type: none"> プロセスモデリング シミュレーション 最適化アルゴリズム 	<p>×</p> <p>プロセス制御システム</p> <ul style="list-style-type: none"> プロセス制御と自動化 分散制御システム プラントの監視とデータ収集 	<p>×</p> <p>データ管理技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 統合データ管理 3Dプラントデザイン マルチディシプリンエンジニアリング 	<p>×</p> <p>シミュレーション技術</p> <ul style="list-style-type: none"> シミュレーション計算 データ分析 制御システム
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>仮想プラント上での機器制御・変更のシミュレーションが可能となりエネルギー効率の最大化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギー供給や気候変動といった不安定化する外部環境に対応可能な生産体制構築の必要性 生産環境への変化に対応するため仮想プラントの構築し、プラント制御や機器変更のシミュレーションを通じて作業プロセスの最適化と生産効率の最大化を実現 			
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>開発・製造プロセスの設計や運用を迅速・正確かつ効果的に分析することで最適化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> デジタルツインを用いた仮想プラントにて開発・製造プロセスの設計やテストを行うことで、製品開発時間の短縮や原材料・エネルギー使用量の最小化を実現 仮想プラントでの運用最適化によりエネルギー調達コストを2～10%削減 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>シミュレーションによるプロセス最適化により炭素排出量削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> プロセスの効率化やエネルギー消費の最適化により、原料およびエネルギー使用量の削減を促進 蓄積されたプロセスに関するデータを基に仮想プラント上で最適なプロセス設計を行うことで、実際のプラント稼働の抑制が可能 			
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>世界のデジタルツイン市場は年間約35%で成長が予測される中、予測精度や相互接続面で課題が残る</p> <ul style="list-style-type: none"> 複雑なプラントの動作を仮想プラントで正確に再現するためのシミュレーション技術の確立 既存プラントの管理システム・機器と仮想プラントにおけるデジタルツインシステムとの相互接続技術 			

出典：シーメンス社(デジタルツインで競争力を維持 - Siemens Global) (2024年11月29日アクセス)、総務省 | 令和6年版 情報通信白書 | デジタルツイン (2024年11月29日アクセス)

ファイザー社は、製造環境を維持する高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用によりエネルギー消費量を40%削減

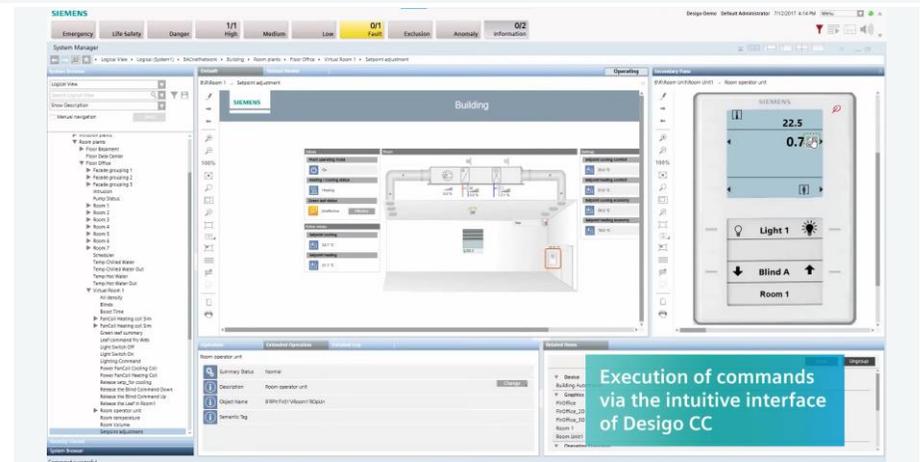
開発事例：工場生産プロセス・ビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用技術 ファイザー社(ドイツ)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	事業化	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	-----	------	------------------	------	----	------	------

- 医薬品は製造環境の影響を強く受け、配電や換気、空調といった工場全体のビル管理システムが生産性に直結
- ファイザー社は、工場の生産プロセス管理システム及びビル管理システム(プラットフォーム)のデータを集約し、製造状況や環境変化に対して製造ラインとビル設備機器の双方からの予測制御を実現して生産性を向上



生産工程可視化ツール「SCADA system SIMATIC WinCC」
出典：SCADA system SIMANTEC WinCC



シーメンス社ビル管理プラットフォーム「Designo CC」
出典：Designo CC intuitive interface

- ▶ ファイザー社はスマートファクトリー化をサービス提供するシーメンス社と連携。高度密閉装置付設した工場の生産性向上を推進
- ▶ まずシーメンス社の管理プラットフォーム「Designo CC」を導入し、俯瞰的に工場内の生産機械類単位での電気や熱等のエネルギー消費状況のモニタリングし、デスクトップ/スマートフォンからの制御を実現
- ▶ さらに生産工程を可視化する「SCADA system SIMATIC WinCC」を組み合わせることで、ビル管理データと生産管理データが統合され、生産状況/環境に応じたライン制御・空調などの環境管理が自動化され、**結果40%の省エネ効果を実現**

出典：シーメンス社ホームページ <https://press.siemens.com/>(2024年11月7日アクセス)

システム全体を統合し、リアルタイムで監視・調整することで、無駄なエネルギー消費を抑えると同時に、生産性や環境条件の最適化を達成し省エネにも貢献

<p>要素技術</p>	<p>デジタルビジネスプラットフォーム</p> <ul style="list-style-type: none"> デジタルツイン IoT データ解析・機会学習 	<p>×</p> <p>ビルオートメーションシステム</p> <ul style="list-style-type: none"> 統合プラットフォーム モバイルインターフェイス 	<p>×</p> <p>プロセス制御システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ヒューマン・マシン・インターフェイス データ可視化 	<p>×</p> <p>生産管理システム</p> <ul style="list-style-type: none"> リアルタイムデータ分析 アラーム通知
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>ビル管理と生産システムを統合することにより、安全性を確保しながらの生産性の向上を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 生産データとビル管理データを統合・可視化することで、生産工程の柔軟性と効率性が向上 高密度密閉装置が使用可能となり、OEB4レベルの医薬品を安全に製造できる環境整備に貢献 			
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>生産設備と環境制御システムの自動・通信化が進み、手動操作が極限され、効率的な工場稼働を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物内のすべてのエネルギー消費データを一元管理し、非効率な部分を特定、エネルギー消費を抑える 生産設備の稼働状況や生産スケジュールに基づき、エネルギー消費が低い時間にシステムを自動で調整する 二つの制御を、通信技術を用いて自動化することにより、最終的に40%の省エネ効果を実現 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>エネルギー消費の効率化による工場のCO2排出量減少</p> <ul style="list-style-type: none"> ビル管理で制御される対象は、主に空調、換気、暖房(HVAC) システムや照明で、これらはエネルギー消費の大部分を占めており、最適化されることで使用する電力が極限される シーメンス社の技術は再生可能エネルギーとの統合にも対応しており、更なる炭素排出の削減が期待できる 			
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>導入には初期投資の負担や既存インフラとの統合の難しさが課題となる</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存インフラとの統合や技術の導入が高額となる傾向にあり、コスト効率を重要視する企業は慎重になる 導入後のデータセキュリティ基盤や、技術を使いこなせる人材育成も導入障壁となりうる 			

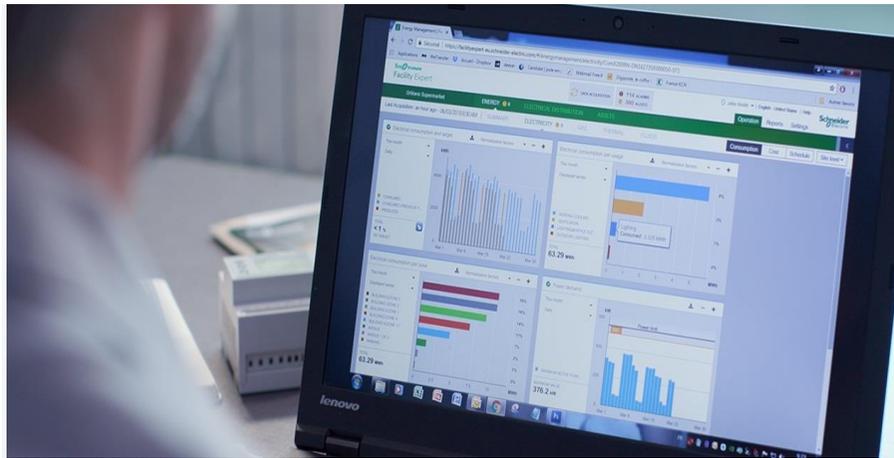
出典：シーメンス社ホームページ <https://press.siemens.com/> (2024年11月7日アクセス)

フランスの大手小売業者であるカルフルは店舗ごとのエネルギー使用を監視するシステムを広く導入し、一元的に管理することで効率化を実現

開発事例：カルフルによるエネマネプラットフォームの導入(フランス)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- フランスを中心に世界中にスーパーマーケットを展開するカルフルは、シュナイダーエレクトリックのEcoStruxureプラットフォームを94の店舗に導入し、店舗ごとのエネルギー消費を可視化することで効率化を実現
- 日本では費用対効果やインフラ整備の観点から導入した際のメリットは限定的と思料



エネルギー使用状況の管理画面
出典：[シュナイダーホームページ](#)(2024年11月27日アクセス)



Ecostruxureの概念図
出典：[AGE Technologies](#)(2024年11月27日アクセス)

- ▶ 同プラットフォームの中でBEMSの機能を有するEcoStruxure Buildingと電力管理の機能を有するEcoStruxure Powerを導入し、店舗ごとの照明監視、HVACの統合管理を実現して省エネ化を達成
- ▶ それらの機能を店舗間で横断的に活用することでグループ全体のエネルギー使用状況が可視化され、組織として省エネを実現

出典：カルフルホームページ <https://www.carrefour.com/en/news/energy-efficiency-priority-carrefour-and-schneider-electric>(2024年11月27日アクセス)

デジタル技術をビル管理と電力監視の両方に用いて店舗内・店舗間のエネルギー管理をすることでエネルギー効率が上昇し、省エネ化につながる

<p>要素技術</p>	<p>EcoStruxure Energy Management</p> <ul style="list-style-type: none"> クラウド解析 モニタリングツール 	<p>IoT</p> <ul style="list-style-type: none"> センサー技術 データ分析技術 	<p>BEMS</p> <ul style="list-style-type: none"> 最適化 制御システム
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>建物のエネルギー管理と電力使用監視を同時に行い、店舗ごとに最適な省エネを実現</p> <ul style="list-style-type: none"> EcoStruxure Buildingでは空調などを管理し修理やメンテナンスによるエネルギーの無駄を排除 EcoStruxure Powerではネットワークからデータを収集、整理して電力供給を管理 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>エネルギー・店舗間の状況を統合し、全体を通して効率的な運営をすることで炭素排出量が削減</p> <ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの統合を可能にし、店舗ごとの炭素排出量を大幅に削減 全店舗的にエネルギー消費のデータを分析することが可能となり、サプライチェーン全体での炭素削減に寄与 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>予測機能などを活用してエネルギー使用をモニタリングし、最適化を行いエネルギー効率が向上</p> <ul style="list-style-type: none"> 店舗全体のエネルギー使用を監視し、空調や冷蔵設備の最適化を行いエネルギー効率が向上 Ecostruxure Buildingに搭載されているエネルギー需要の予測機能を用い、ピーク時のエネルギー使用を抑えるための戦略を立案 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>日本では社会状況・インフラ整備などの観点から導入における実現性・効果に疑問が残る</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本ではカルフルのような大規模スーパーマーケットは限られており、小規模店舗での効果が不透明 Ecostruxureのような再生可能エネルギーの活用を前提とした施策の現実性に欠ける 		

出典：カルフルホームページ<https://www.carrefour.com/en/news/energy-efficiency-priority-carrefour-and-schneider-electric> (2024年11月27日アクセス)

事例14：デジタルツイン技術とエネルギー監視システムによる製造・エネルギー効率の最適化

デジタルツイン技術を用いた製造フローのシミュレーションと、工場でのエネルギー利用の監視システムにより、製造・エネルギー効率の最適化を実現

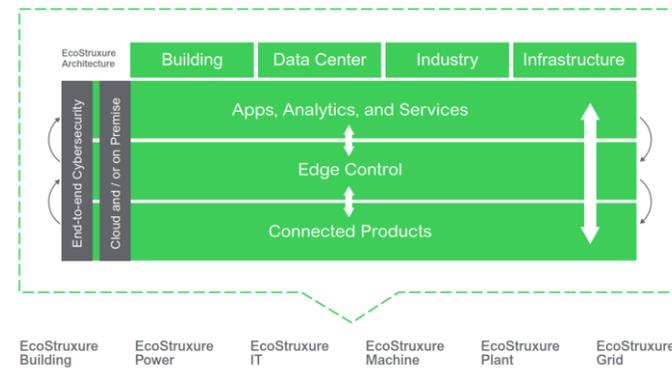
開発事例：デジタルツイン技術(ユニリーバ社・シーメンス社)、エネマネプラットフォーム(ユニリーバ社・シュナイダー社)



- シーメンス社のデジタルツインを用いて機械のシミュレーションを行うことで製造を効率化
- シュナイダーエレクトリックのEcoStruxureプラットフォームも活用してエネルギー使用を最適化



シーメンス社「産業における主要なデジタル化例」のイメージ図
 出典：[Staying competitive with the Digital Twin - Siemens Global](#) (2024年11月25日アクセス)



Ecostruxureの仕組み
 出典：Schneider Electronic HP [EcoStruxure: IoT - Internet of Things | Schneider Electric Global](#) (2024年11月25日アクセス)

- ▶ シーメンス社の制御システムを導入し、ドライブ技術、モーション制御、安全機能、投入制御などの全機械機能を一元管理。管理データとデジタルツインを用いたパッケージ包装工程をシミュレーション・最適化
- ▶ シュナイダー社によるリアルタイムデータ収集とAI分析によるエネルギー使用の最適化技術により、脱炭素・省エネ効果を創出

出典：Siemens HP [シュライヤー・ユニリーバ - Siemens Global](#) (2024年11月25日アクセス) , Schneider Electronic HP (JP) [EcoStruxure : IoT - モノのインターネット | Schneider Electric 日本](#) (2024年11月25日アクセス)

事例14：デジタルツイン技術とエネルギー監視システムによる製造・エネルギー効率の最適化

デジタル技術を用いて、建物のエネルギー管理と製造プロセスのシミュレーションを行うことで、生産工場全体として効率化・最適化を実現

<p>要素技術</p>	<p>デジタルツイン技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ プロセスモデリング ・ シミュレーション ・ 最適化アルゴリズム 	<p>EcoStruxure プラットフォーム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ EcoStruxure Energy Management ・ IoT ・ BEMS
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>デジタルツイン技術では、先進技術を統合し、IoT製品から制御システム、アプリケーションまでの3層構造で相互運用可能なプラットフォームを実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ IoT、モビリティ、センシング、クラウド、アナリティクス、サイバーセキュリティの6つの先進技術を統合 ・ オープンスタンダードを活用し、マルチベンダー環境や既存設備との相互運用性を確保しながら、業種別にソリューションを最適化 	
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>シュナイダー社のEcoStruxureプラットフォームを用いた最適な制御によりエネルギー効率改善を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー消費を年間約30%削減、フランス本社では4年間で75%の電力削減を達成 ・ ユニリーバでは複数の施設でエネルギー消費を15%以上削減 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>シュナイダー社のEcoStruxureプラットフォームを用いた最適な制御により炭素排出量削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ カーボンフットプリントを最大50%削減 ・ ユニリーバでは温室効果ガスの排出を大幅に削減 	
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>デジタルツイン技術はBASFやDMG MORIなど複数企業で実装済み</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ドイツ・BASF社の本社工場にて実装されており、現在はデジタルツイン技術を活用してエネルギー価格の高騰や原材料の高コストなど、外部環境に起因する課題に対処し、プラントの効率的な運用を実現 	

出典：Siemens HP [シュライヤー・ユニリーバ - Siemens Global](#) (2024年11月25日アクセス), Schneider Electronic HP (JP) [EcoStruxure : IoT - モノのインターネット | Schneider Electric 日本](#) (2024年11月25日アクセス), Siemens HP [How to become a Digital Enterprise](#) (2024年11月25日アクセス)

事例15：IoTセンサーによる設備・製品不良の検知技術

ボッシュ社は、全工程の設備機器にIoTセンサをきめ細やかに設置して稼働状況や製品品質をビッグデータ化し、設備・製品不良の予兆をAIの機械学習で検知・未然防止して生産性向上

開発事例：機械学習を通じた設備・製品不良の未然防止システム ボッシュ社(ドイツ)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	事業化	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	-----	------	------------------	------	----	------	------

- ボッシュは、全工場・生産ラインの設備機器に設置したIoTセンサから得られる稼働状況や製品品質のビッグデータをAIが機械学習し、設備・製品不良の予兆がどの工場/ライン/設備機器で生じるか予め検知・対応可能にした
- 同アプローチは工場規模によらず、ライン単位での導入を通じてデータ蓄積・分析による生産性向上に繋がり得る



3D診断で設備のメンテナンスを実施している様子
出典: Bosch(2024年11月11日アクセス)



AIによって特定された設備不良に対応する様子
出典: Bosch(2024年11月11日アクセス)

- ▶ 世界最大級の製造メーカーであるボッシュは、50以上の工場/800以上のラインを活かし、機械設備に組み込まれたIoTセンサで設備の稼働状況や製品品質をAIが機械学習可能なビッグデータ化。設備の余地保全・製品不良の未然防止による競争力の源泉に
 - ▶ まず各製造工程での規格化された基準値からの変動を自動的に分析・検知してエラーの原因が従来より容易に把握可能に
 - ▶ さらに、各設備の標準的な挙動をAIで分析・蓄積することで、イレギュラーな挙動に対し、自動的に判断・修正する機能も具備
 - ▶ ヒルデスハイムの工場では、この予知保全システム導入の結果、**生産ラインのサイクルタイムが15%短縮**された

出典：ボッシュ社ホームページ <https://www.bosch.co.jp/> (2024年11月11日アクセス)

デジタルツインの活用によって迅速に開発および生産プロセスを最適化することが可能となり、エネルギー効率の向上と効率的な資源の投入を実現

<p>要素技術</p>	<p>デジタルツイン技術</p> <ul style="list-style-type: none"> プロセスモデリング シミュレーション 最適化アルゴリズム 	<p>×</p> <p>プロセス制御システム</p> <ul style="list-style-type: none"> プロセス制御と自動化 分散制御システム プラントの監視とデータ収集 	<p>×</p> <p>データ管理技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 統合データ管理 3Dプラントデザイン マルチディシプリンエンジニアリング 	<p>×</p> <p>シミュレーション技術</p> <ul style="list-style-type: none"> シミュレーション計算 データ分析 制御システム
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>仮想プラント上での機器制御・変更のシミュレーションが可能となりエネルギー効率の最大化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギー供給や気候変動といった不安定化する生産環境に対応可能な生産体制を構築する必要性 生産環境への変化に対応するため仮想プラントを構築し、プラント制御や機器変更のシミュレーションを通じて作業プロセスの最適化と生産効率を最大化を実現 			
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>開発・製造プロセスの設計や運用を迅速・正確かつ効果的に分析することで最適化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> デジタルツインを用いた仮想プラントにて開発・製造プロセスの設計やテストを行うことで、資産効率を50%向上させ、品質が最大30%改良 仮想プラントでの運用最適化によりエネルギー調達コストを2～10%削減 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>シミュレーションによるプロセス最適化により炭素排出量削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> プロセスの効率化やエネルギー消費の最適化により、原料およびエネルギーの削減を促進 これまで蓄積されたプロセスに関するデータを基に仮想プラント上で最適なプロセス設計を行うことで実際のプラントの稼働を抑制が可能 			
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>世界のデジタルツイン市場は年間約35%で成長が予測される中、予測精度や相互接続面で課題が残る</p> <ul style="list-style-type: none"> 複雑なプラントの動作を仮想プラントで正確に再現するためのシミュレーション技術の確立 既存プラント管理システム・機器と仮想プラントにおけるデジタルツインシステムとの相互接続技術 			

出典：シーメンス社(デジタルツインで競争力を維持 - [Siemens Global](#)) (2024年11月29日アクセス)、総務省 | [令和6年版 情報通信白書 | デジタルツイン](#) (2024年11月29日アクセス)
 シーメンス社 | [半導体のスマート・マニュファクチャリング | デジタルツイン・ソリューション | Siemens Software](#) (2024年12月5日アクセス)

事例16：テスラによるギガファクトリーでの大量生産

テスラは電気自動車の関連部品を大量生産する大規模拠点を設立。高度な自動化技術で生産効率を高め、工場での二酸化炭素排出の最小化を実現

開発事例：テスラによるギガファクトリーでの大量生産(米国)

技術的観点での社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	社会実装	ビジネス観点での実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
---------------	------	----	------	------	--------------	------	----	------	------

- 米国の輸送用機器製造大手であるテスラは、電気自動車の関連部品を大規模生産するための生産施設「ギガファクトリー」を運営。ネバダ州を皮切りに国内外に現在5つの拠点を持つ



ギガファクトリーの上空写真

出典: <https://www.teslarati.com/tesla-gigafactory-effect-reno-economy-education/> (2024年10月10日アクセス)



産業用ロボットの使用状況

出典: https://www.tesla.com/ja_jp/giga-texas (2024年10月10日アクセス)

- ▶ 高度な自動化技術を駆使し、部品やバッテリーの組み立てに数千台の産業用ロボットを使用
- ▶ ロボットによる生産とAI・ビッグデータを用いたメンテナンスニーズの予測により高効率で高品質な製造プロセスを確立
- ▶ 工場の運営には再生可能エネルギーを用い、最新の建築技術を採用することで工場の炭素排出量を最小限に抑え、製造プロセスのエネルギー効率を最大化
 - ▶ 結果、一台当たり生産コストが2017年度比で約58%低減、バッテリーコストも約1.9万ドル(2013年)から半減

テスラマガジンホームページ <https://www.tesla-mag.com/en/tesla-gigafactories-pioneering-the-future-of-sustainable-manufacturing/> (2024年10月10日アクセス)

TESLARATI <https://www.teslarati.com/tesla-vehicle-manufacturing-cost-84k-to-36k-per-car/> (2024年10月10日アクセス)

事例16：テスラによるギガファクトリーでの大量生産

全ての生産プロセスにデジタル技術を用いることでエネルギー効率を最大化し、再生可能エネルギーで工場を稼働させることで炭素排出を抑制

<p>要素技術</p>	<p>バッテリー製造技術</p> <ul style="list-style-type: none"> リチウムイオン電池セル製造 バッテリーパック組立技術 バッテリーリサイクル技術 	<p>再生可能エネルギー技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電システム 風力発電システム エネルギー貯蔵技術 	<p>スマート製造技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 産業ロボット技術 AIによる生産管理 IoTセンサー技術
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>デジタル技術を用いた自動化により、サプライチェーンでの製造効率を最大化</p> <ul style="list-style-type: none"> 高度な自動化が導入されており、産業ロボットとAI技術を駆使して製造プロセスの効率を最大化している 工場自体が再生可能エネルギーで運営され、垂直統合されたサプライチェーンにより、リードタイムの短縮やコスト削減が実現されている 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>生産ラインの効率化を徹底することで最小限のエネルギーで高品質な製造を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの活用や高度に自動化された生産ラインが導入され、エネルギー効率を最大限に向上 産業ロボットとAIを駆使した生産プロセスによりエネルギー消費を抑えつつ、精密かつ高速な製造が可能に 一台当たり生産コストが2017年度比で約58%低減、バッテリーコストも約1.9万ドル(2013年)から半減 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>工場のエネルギーを再生可能エネルギーで賄い、環境にやさしい電気自動車を大量生産</p> <ul style="list-style-type: none"> 工場は主に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーで稼働しており、化石燃料に依存せずに運営されるため製造段階での炭素排出を大幅に削減 ガソリン車よりも炭素排出量が少ない電気自動車の普及を促進し、トータルの炭素排出量を削減 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>施設の建設・運用段階で様々な障壁が存在する</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本の都市部ではギガファクトリーのような大規模施設を建設する土地の確保が困難であり、地方に工場を建設する場合でも必要な電力や交通インフラの整備に時間とコストを要する 日本国内では再生可能エネルギーの供給がまだ不安定なため、再エネを多用する施設の運用に課題 		

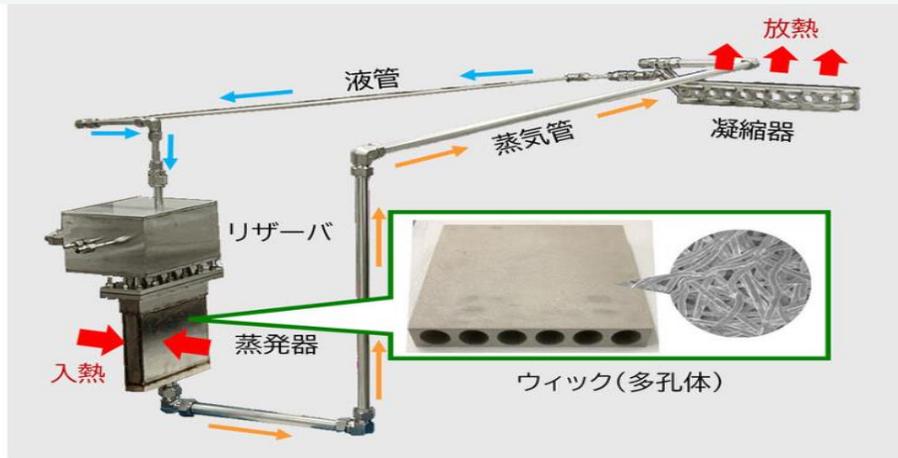
出典：テスラマガジンホームページ <https://www.tesla-mag.com/en/tesla-gigafactories-pioneering-the-future-of-sustainable-manufacturing/> (2024年10月10日アクセス)
 TESLARATI <https://www.teslarati.com/tesla-vehicle-manufacturing-cost-84k-to-36k-per-car/> (2024年12月6日アクセス)、Bloomberg NEF及び米エネルギー省“Electric Power Monthly”より弊社試算

無電力で半永久的に熱の輸送が可能であるループヒートパイプ技術により、エネルギー輸送の効率化が実現され、省エネ・脱炭素が実現される

開発事例：ループヒートパイプ技術(技術/製品名) 名古屋大学

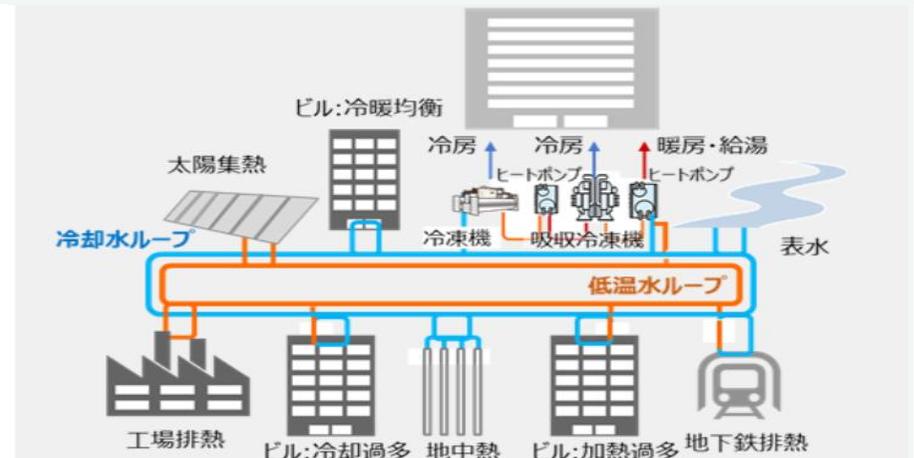
技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 蒸発器の小型化(約18%)、熱伝達特性の向上(4倍以上)、無電力で最大10kWの熱を2.5m輸送可能とする技術により、工場排熱利用や電気自動車の熱管理など、幅広い分野での省エネ化に貢献



10kWループヒートパイプ技術の外観

出典: <https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2024/07/-10kw-ict.html>



街区スケールループ型排熱回収・利用網

出典: <https://henkan.mirai.nagoya-u.ac.jp/project/project04/>

- 電力を使用せずに半永久的に熱の輸送が可能となる技術
- 実証実験を含めた社会実装の時期は未定
- 本システムでは工場排熱を利用するなど、水の蒸発と凝縮による熱交換を高効率で実施することで省エネ効果創出
- 効率的な熱輸送と無電力による運用により、約30%のエネルギー消費量削減効果が見込まれる

出典: 名古屋大学プレスリリース資料 https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/upload_images/20240709_engg_1.pdf (2024年10月2日アクセス)

本技術は、産業・家庭部門での排熱を利用した熱マネジメントやデータセンターの冷却など、様々な分野の省エネ化やカーボンニュートラルへの貢献が期待されている

<p>要素技術</p>	<p>蒸発器の構造最適化</p> <ul style="list-style-type: none"> 冷媒蒸発効率の向上 	<p>ウィック構造の改良</p> <ul style="list-style-type: none"> 表面特性を改善 液体の移動および蒸発促進 	<p>熱伝導材料の選定</p> <ul style="list-style-type: none"> 蒸発器と凝縮器の設計 冷媒の選定 	<p>無電力運用技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 冷媒の相変化と自然体流の利用
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>世界最大の無電力熱輸送を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ウィックと呼ばれる多孔質体(スポンジ構造) 表面の液体を効率よく蒸発させることで、蒸発器の小型化と熱伝達特性を向上させ、最大で10kWの排熱を2.5m先まで無電力で輸送することに成功した¹ ウィックで生じる毛細管現象を駆動力に利用し、電力を使用せずに半永久的に熱を輸送が可能とした 			
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>従来システムに比べ約30%のエネルギー削減が期待</p> <ul style="list-style-type: none"> ループヒートパイプ技術は熱伝達効率が4倍以上向上し、無電力で最大10kWの熱を輸送可能となることから、従来システムに比べ約30%のエネルギー削減が期待。工場排熱・太陽光熱の利用やデータセンター冷却など、幅広い分野でエネルギー効率の改善が見込まれる 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>街全体の未利用排熱の活用による炭素排出量の削減</p> <ul style="list-style-type: none"> ループヒートパイプ技術を用いてビルや工場、住宅等から発生する未利用排熱を回収し、再生可能な熱エネルギーと組み合わせることで、「ループ型排熱回収・利用網」²の構築することで炭素排出量を削減する 			
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>コストとメンテナンスの課題から社会実装が未定</p> <ul style="list-style-type: none"> 名古屋大学で研究が進められているが、実証実験を含めた社会実装は未定 ループヒートパイプ技術は特有の設計によるものなので、初期投資の高さ等のコスト的な課題や、メンテナンスの難易度が従来の機械式ポンプに比べて高くなると予想される 			

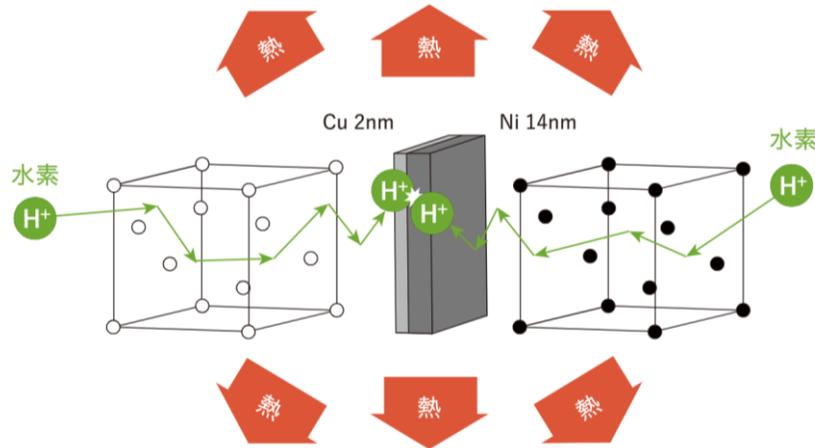
出典：1 名古屋大学 <https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2024/07/-10kw-ict.html> (2024年10月2日アクセス)
 2 名古屋大学 <https://henkan.mirai.nagoya-u.ac.jp/project/project04/> (2024年10月2日アクセス)

水素の量子拡散を利用することで二酸化炭素を排出せずに都市ガスの1万倍以上のエネルギー密度をもたらすクリーンエネルギー技術により、省エネおよび脱炭素化に取り組む

開発事例：量子水素エネルギー(株式会社クリーンプラネット・東北大学) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 「量子水素エネルギー」と呼ばれるナノサイズの構造を持つニッケルベースの複合金属材料に少量の水素を吸蔵させて加熱することで、投入した以上の熱を生み出せる技術を用いた加熱装置を開発



量子水素エネルギーの発熱現象イメージ図

出典：株式会社クリーンプラネット <https://www.cleanplanet.co.jp/ja/>
2024年10月11日アクセス



量子水素エネルギー発電機の試作機

出典：ニュースイッチ <https://newswitch.jp/p/31015> (2024年10月11日アクセス)

- 金属シートに水素を吸蔵させ、一定の条件下で加熱することで水素原子の融合を誘発する技術を開発。炭素排出量をゼロに抑えた上で放射線や放射性廃棄物を一切出すことなく、約800度という低温度帯でエネルギーを発生することが可能
- 凝縮系核反応により都市ガスの1万倍以上にも上る莫大なエネルギー密度をもたらす

出典：日経BP社 <https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/news/00001/03436/?ST=msb> (2024年10月11日アクセス)

ニッケルや銅といったベースメタルと少量の水素を用いることで高密度のエネルギーを生成。発電モジュールを小型化することで様々な産業での利用が可能

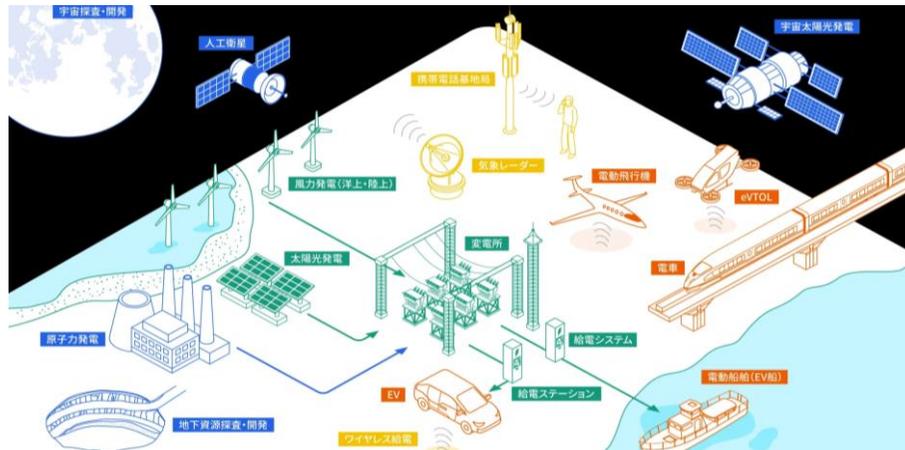
<p>要素技術</p>	<p>水素生成技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 電気分解技術 再エネ利用生成技術 	<p>凝縮系核反応技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ホスト材料 水素同位体 触媒 検出器 	<p>反応制御技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 温度と圧力を精密に管理 電気化学的パラメータの調整
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>高効率のエネルギー創出効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 量子水素エネルギー技術は都市ガスの1万倍以上のエネルギー密度を有し、10グラム以下の水素で、1家庭で毎月必要とされる電気と熱の供給が可能 少量の水素による長期間の連続運転が可能(589日間連続的に過剰熱が観測) 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>少量のエネルギーで高効率のエネルギー生成を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 量子水素エネルギーを用いることで都市ガスの1万倍以上とされる膨大なエネルギー密度を生成し、投入量あたりの1.2倍以上のエネルギーを創出 1回の水素封入で500日以上熱を出し続けるなど継続的にエネルギーを生み出す高効率性を実現 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>二酸化炭素を排出せずにエネルギーの生成が可能</p> <ul style="list-style-type: none"> 約800℃程度で核融合が起こる凝縮系核反応を利用してエネルギーを創出(高温核融合は1億5000万度程度) 二酸化炭素や放射線を排出量しないクリーンなエネルギーを生み出すことが可能 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>2030年以前の量産を目標とした共同研究を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> 三浦工業株式会社との間で、量子水素エネルギーを熱源とする産業用ボイラを共同開発 現在、産業用ボイラ向け製品の完成と量産化実証段階にある 		

ダイヤモンド半導体は従来のシリコン製半導体に比べて約5万倍の電力制御性能を有しており、電力損失を大幅に軽減することで省エネ効果を創出

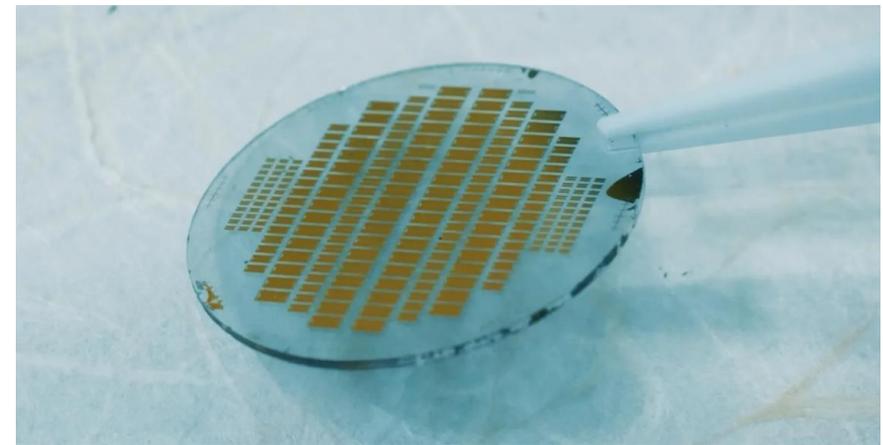
開発事例：ダイヤモンド半導体(株式会社Power Diamond Systems・早稲田大学) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- ダイヤモンド半導体は現在主流であるシリコンと比べて高温・高圧下での稼働が可能。さらに熱伝導性に優れていることから、電気自動車や飛行機・再エネ等の次世代パワーエレクトロニクス分野での利用が期待されている



ダイヤモンド半導体の用途イメージ図
 出典:株式会社Power Diamond Systems
<https://powerdiamondsys.com/technology/> (2024年10月11日アクセス)



ダイヤモンド半導体のイメージ図
 出典:株式会社Power Diamond Systems
<https://powerdiamondsys.com/about/> (2024年10月11日アクセス)

- ダイヤモンド半導体は、現在主流のシリコン製半導体に比べて理論値で約5万倍の電力制御性能を有する
- 超小型・高効率インバータモジュールを実現し、電力損失を大幅に軽減することで省エネに寄与

出典:株式会社Power Diamond Systems <https://powerdiamondsys.com/technology/> (2024年10月11日アクセス)

ダイヤモンド半導体は高い放熱性、高電圧への耐久性など優れた特性を有し、電力システムの小型化や電力損失の低減に貢献

<p>要素技術</p>	<p>ダイヤモンド結晶合成技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ダイヤモンドを成長・合成させる技術 	<p>ドーピング技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 電気的特性を制御する技術 	<p>結晶成長制御技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 温度、圧力、ガス組成の精密な制御技術 	<p>ウェーハ加工技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ウェーハ形状に切断し、研磨する技術
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>大電力の制御と電力損失を大幅に軽減することに貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> 高い耐圧性と優れた熱伝導性を持ち、電力変換効率が大幅に向上 高いキャリア移動度(電子の移動しやすさ)を維持したまま、ノーマリ・オフ動作(状態制御が効かない状態で電流が流れないこと)に世界で初めて成功 			
<p>エネルギー効率の改善効果(省エネ効果) 詳細</p>	<p>高いエネルギー効率により省エネ効果を創出</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来のシリコン製半導体に比べて約5万倍の電力制御性能を有しており、電力損失を大幅に軽減することで高いエネルギー効率を実現 再生可能エネルギー分野やEVにおけるバッテリー管理システムでの利用に期待 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>ダイヤモンド半導体への移行で炭素排出量削減が可能</p> <ul style="list-style-type: none"> ダイヤモンド半導体の電力損失は一般的なシリコン製半導体に比べて10分の1以下を実現 EVや家電製品、電力インフラのインバーターなどへの採用が進めば、二酸化炭素を1058万トン削減できる試算 			
<p>社会実装上の課題(初期仮説)</p>	<p>実用化を見据えた性能向上に着手</p> <ul style="list-style-type: none"> ダイヤモンド基板をチップにするためのカット技術の確立や長期間劣化させずに大電力性能を発揮する耐久性の検証が必要 2025年ごろに試作デバイスを作製し、性能評価を開始予定 			

出典:Nikkei Tech Foresight <https://www.nikkei.com/prime/tech-foresight/article/DGXZQOUC236VN0T20C23A1000000> (2024年10月11日アクセス)

地熱ヒートポンプ実装を可能にするモデリングソフトウェアと自動掘削技術で、都市部における省エネ施策に貢献

開発事例：地熱を活用するヒートポンプ用ルートパイプ埋設支援技術(Bedrock Energy) (アメリカ)

技術的観点での
社会実装段階

基礎研究

実証

社会実装

社会実装

ビジネス観点での
実装段階

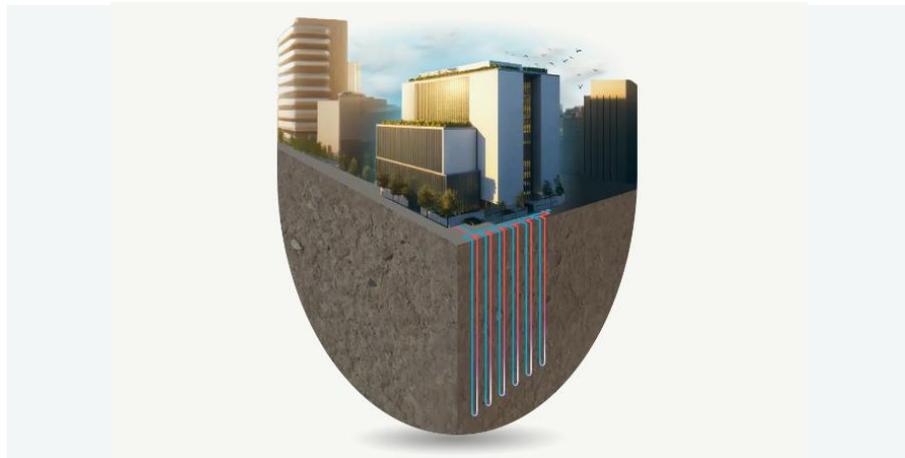
概念検証

実証

スケール

安定成長

- 手間のかかる推測、高価な熱試験が不要。高度なアルゴリズムとスピーディかつ信頼性の高い自動掘削技術により、リーズナブルな地熱ヒートポンプの実装を支援



同社技術を用いて商用ビル地下に埋設されたループパイプ(概念図)
出典: Bedrock Energy <https://bedrockenergy.com/#news>
(2024年10月9日アクセス)



同社ボアホール掘削調査
出典: Bedrock Energy <https://bedrockenergy.com/#news>
(2024年10月9日アクセス)

- 自律掘削と高度な地下モデリングを組み合わせ、地熱ヒートポンプの設置スピードとスケールビリティが大幅に向上。密集した都市部での地熱空調の利用を可能にする
- 使用する地熱システム(= 地中熱ヒートポンプ) は、他の従来型空調制御システムと比較して年間エネルギーコスト・メンテナンスコストを50%節約可能

出典: Bedrock Energy <https://bedrockenergy.com/#news>

高い省エネ効果を発揮する地熱ヒートポンプの実装を、アルゴリズムによる地中状況確認とスピーディかつ信頼性の高い掘削技術で、リーズナブルなコストで支援

<p>要素技術</p>	<p>自動掘削技術</p> <ul style="list-style-type: none"> インテリジェント掘削プラットフォーム 	<p>地下モデリング技術</p> <ul style="list-style-type: none"> サブサーフェイスモデリング
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>土地の条件に左右され、他の空調制御システムより高価であった地熱ヒートポンプの実装を支援</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動掘削プラットフォームにより、あらゆる土壌、泥、岩を20～25%の時間で貫通。迅速なボアホール掘削を実現 強力なデータアルゴリズムを活用して地中状況を把握、長寿命のボアホールエネルギー性能を確保 	
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>地熱ヒートポンプの高い省エネ効果だけではなく、リーズナブルな工事に貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存の空調制御システムに比べ、年間エネルギーコスト・メンテナンスコストを50%節約可能 ルートパイプの配管計画や地中検査を合わせて行い、従来の方式で発生していた無駄な工程を省略 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>地熱ヒートポンプは、快適でクリーンな空調制御システムとして冷暖房利用時に発生する二酸化炭素を削減</p> <ul style="list-style-type: none"> 世界の炭素排出量の約5.25%に占める建物の冷暖房の排出ガス削減に貢献 	
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>環境要因による制約の多い都市部での着工を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 土地の条件やスペースに左右された地熱ヒートパイプ技術を都市部でも実装可能になった 地下鉄等、地下構造物の多い日本の都市部では、同社技術がどこまで活用できるかがポイント 	

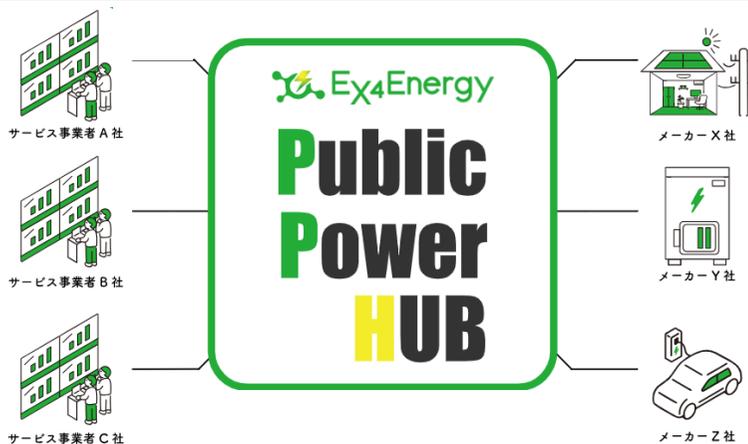
事例21：分散型エネルギー資源の相互接続技術

分散エネルギー資源に関するIoT機器の相互接続をプロトコルフリー化技術によって実現する専用インフラを構築・運営

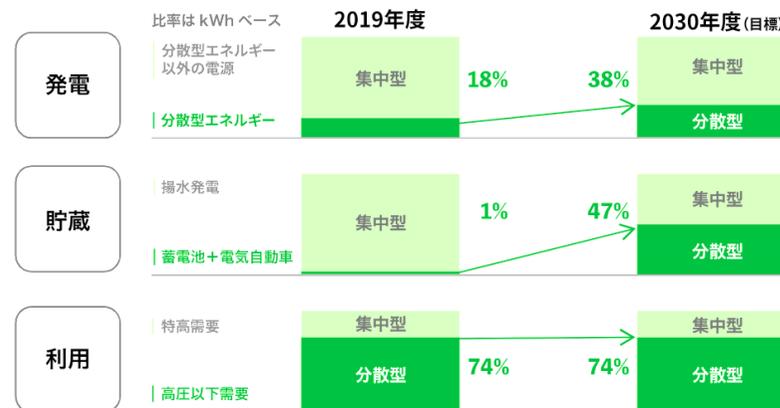
開発事例：Public Power Hub(PPH) EX4Energy株式会社 日本



- EX4Energy株式会社はプロトコルフリー技術を用いてIoT機器を接続し、分散型エネルギー資源を相互接続するインフラを構築と管理を実施



Public Power HUBの基本構成
出典：EX4Energy株式会社 (2024年9月2日 アクセス)



分散型の電力システムへの移行予測
出典：EX4Energy株式会社(2024年9月2日 アクセス)

- 特定のプロトコルに依存しない分散型エネルギーの相互接続を可能とする情報通信基盤の開発
- アグリゲーターが運用する監視・制御システムとエネルギー機器に関するプロトコルフリーでのコネクタサービスを提供
 - IoT機器の**相互接続技術**とデバイスと本体の**多層接続技術**によりプロトコルフリー化を実現
- 2024年8月、PPHを太陽光発電システム事業者のモニタリングシステムに提供開始。2030年度には大規模火力発電や揚水発電などの集中型電力システムの50%が分散型の電力システムに置き換わる見込み

出典：EX4Energy株式会社 <https://ex4energy.jp/> (2024年9月2日 アクセス)

事例21：分散型エネルギー資源の相互接続技術

プロトコルフリーでIoT機器を相互接続し分散エネルギーの需給の最適化を図る 情報通信基盤を整備することで炭素排出量の削減を実現

<p>要素技術</p>	<p>情報通信基盤</p> <ul style="list-style-type: none"> プロトコルフリー化 相互接続技術(IoT機器) 多層接続技術(デバイス・本体) 	<p>IoT機器</p> <ul style="list-style-type: none"> 発電機器 貯蔵機器 利用機器 	<p>分散型エネルギー</p> <ul style="list-style-type: none"> 監視・制御技術(アグリゲーター用) 発電量のモニタリングシステム
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>特定のプロトコルに依存しない分散型エネルギーの相互接続を可能とする情報通信基盤</p> <ul style="list-style-type: none"> 各IoT機器の仕様の差異により、相互接続ができない接続問題が発生 Public Power HUB はプロトコルフリーでIoT機器への接続を可能にした相互接続技術、デバイスと本体を異なる3つの方式で繋ぐ多層接続技術、クラウドを活用した拡張技術を用いたコネクタサービスを実現 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>エネルギー需要側・供給側双方におけるIoT機器の相互運用性が確保され、特にHEMS・BEMSの社会浸透が進むことによるエネルギー効率の改善効果が見込まれる</p> <ul style="list-style-type: none"> 相互接続技術により各機器の遠隔監視やデマンドレスポンス、相互運用性が確保が可能 多様なエネルギー源やシステム間での通信とデータ交換を容易にすることで、エネルギー需給が最適化 <p>※HEMS・BEMS分野に同技術を活用した場合の省エネ効果は要試算</p>		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>2030年度には集中型電力システムの50%が分散型の電力システムに置き換わる見込み</p> <ul style="list-style-type: none"> 集中型電力システム(大規模火力発電や揚水発電など) から分散型エネルギーへの置き換えにより、送電ロスの削減やデマンドレスポンス、再生可能エネルギーの活用が進むことで炭素排出量の削減が見込まれる 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>監視制御システムと各エネルギー機器の接続問題</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在、事業者のシステムと各分散型エネルギーが情報通信基盤を介して常時監視と、モバイル専用網を介してクラウドに接続することで安全な接続を実現。2024年8月に太陽光発電システム事業者向けサービス開始 将来的には数百万件規模の太陽光発電設備のモニタリングシステムへの接続を目指しているため、同時接続に耐える運用基盤の整備が課題 		

米国2州の小学校にて再生可能エネルギーを用いたネットゼロ実現を教育成果として標榜・実現しつつ、分散型ヒートポンプやデマンド制御の換気・電力監視等で省エネ効果を創出

開発事例：パーキンスなど大手建築事務所2社による学校でのZEBプロジェクト

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- パーキンス・イーストマンDCの大手建築事務所によりバージニア州・ワシントン州において小学校のZEBプロジェクトが推進されている



屋上に設置されたソーラーアレイ
出典：USGBCホームページ 2024年10月3日アクセス



学校での換気・自然採光システム
出典：USGBCホームページ 2024年10月3日アクセス

- 炭素排出を最小限に抑えながら健康とウェルネスを改善し、教育成果を向上させる目的でプロジェクトが進行
- 582kWの屋上ソーラーアレイと地熱冷暖房、分散型ヒートポンプシステム、デマンド制御換気、オールLED照明、リアルタイム電力監視の組み合わせでゼロエミッション達成**
- 一般的な小学校の光熱費と比べて80%削減
- 日本でも文科省が学校施設のZEB化の手引きを作成しており、5事例を紹介している

出典：USGBCホームページ <https://www.usgbc.org/articles/schools-virginia-and-washington-dc-blaze-trail-net-zero-energy>(2024年10月3日アクセス)

持続可能な設計・エネマネシステムを用いることで環境への効果を最大化し、本来のZEBとしての機能を果たすとともに教育面で副次的な効果も創出

<p>要素技術</p>	<p>再生可能エネルギー技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電システム 地熱システム 	<p>エネルギー効率化技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 高効率断熱材 スマートHVACシステム <ul style="list-style-type: none"> 暖房・換気・空調 LED照明 	<p>エネマネ技術</p> <ul style="list-style-type: none"> スマートグリッド連携 自動調光・自然採光技術
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>環境・教育の両面で持続可能なシステムを導入することで理想の教育環境を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 教育施設としての環境性能を最大化し、持続可能なエネルギーシステムを導入している ZEBの実現に向けて地熱システムや換気など画期的な技術を導入 学生が学びやすい環境を提供することで成績向上など本来の学校としての機能も十二分に果たしている 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>エネルギー効率化を最大限に考えた設計を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> 断熱材を用い、窓ガラスを含む建材の高効率化を行うことでエネルギー浪費を回避 地熱システムやエネルギー管理システム(EMS) が組み込まれており、エネルギー使用をリアルタイムでモニタリングし、ピーク時の消費を抑制することで全体の効率を向上 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>自給自足のエネルギー消費システムにより炭素排出の機会をできる限り排除</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電などの再生可能エネルギーシステムによりエネルギーの外部供給がほぼ不要になる 建築素材や施工においても持続可能な資材を用いることで建築段階から炭素排出を削減 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>初期コスト・インフラ整備などの問題がある</p> <ul style="list-style-type: none"> ZEBの導入には高い初期投資が必要で、公立学校などは予算の制約が課題になる 日本では再生可能エネルギーを支えるインフラがまだ不十分であり、実装まで時間がかかる 		

出典：USGBCホームページ <https://www.usgbc.org/articles/schools-virginia-and-washington-dc-blaze-trail-net-zero-energy> (2024年10月3日アクセス)

ボイラーのリプレイスに特化した事業戦略に基づく技術開発により、商用ビルや住宅のBEMS・HEMS活用を推進

開発事例：発電装置を内蔵したスマートワットボイラー Enviro Power (米国)

技術的観点での
社会実装段階

基礎研究

実証

スケール

安定供給

ビジネス観点での
実装段階

概念検証

実証

スケール

安定成長

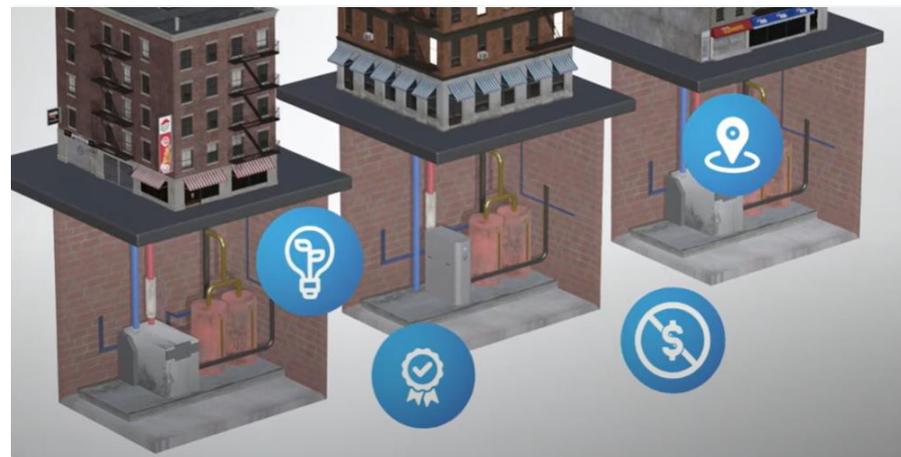
- Enviro Power社は、リプレイスを容易にする技術として、ボイラーの高効率化技術と発電装置を内蔵したボイラー「スマートワットボイラー」を開発。事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中



スマートワットボイラーの商用ビル地下ボイラー室での設置状況

出典：ENVIRO POWERホームページ

<https://www.enviropowertec.com/> (2024年9月2日アクセス)



既存ボイラーと交換するだけで、省エネとコスト削減、ボイラーと発電装置の連携を実現

出典：EnviroPower-SmartWatt Boiler、

<https://www.youtube.com/watch?v=SaulinxBx6M&t=20s> (2024年9月2日アクセス)

- 設置済のヒートポンプのリプレイスが容易な高効率ボイラーへの発電機内蔵技術を開発
- 米国安全基準の準拠を証明するIntertek ETL認証は取得済みであり、2024年までに800ユニット販売する見込み
- 空調システムにおけるボイラー排熱の電気変換機能を有するボイラーで建物単位でエネルギー効率を改善
- 同社では1,000台のスマートワットボイラーが、30,000トンの二酸化炭素削減につながると試算

出典：ENVIRO POWERホームページ <https://www.enviropowertec.com/> (2024年9月2日アクセス)

事業戦略に基づく設置済ヒートポンプのリプレイスに関する技術開発を通じ、業界課題であるヒートポンプによるユーザーへの裨益効果に関する社会認知度向上を計画

<p>要素技術</p>	<p>ヒートポンプ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 潜熱回収の高熱性能化 ・ 燃焼室・タービンの閉ループ構造化 ・ デュアルコンシング燃焼室 ・ 小型蒸気タービン 	<p>ボイラー</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 内臓発電装置 ・ 低圧蒸気タービン 	<p>発電装置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 密閉構造化(メンテナンスフリー化)
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>潜熱回収技術と発電装置内臓によるリプレイス向けのメンテナンスフリーのヒートポンプを実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 従来のボイラー排熱に関する高熱性能の潜熱回収を、デュアルコンシング燃焼室と小型蒸気タービンによる閉ループ構造により実現 ・ 発電装置をボイラーへ内蔵化することに成功し、インフラ設備として省スペース化 ・ 発電装置側も密閉構造とすることでメンテナンスフリー化 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>高いエネルギー効率をもたらす燃費20%削減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 排熱利用の技術により98%のエネルギー高効率を実現 ・ スマートワットボイラーにリプレイスした商用ビルでは、年間20%の燃費削減実績が存在 ※試算結果では数千ドルの節約になる見込み 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>ボイラーの蒸気タービンによる二酸化炭素排出20トン削減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ボイラーに組み込まれた低圧蒸気タービンにより、失われるはずの熱を電力(最大6kW)に変換 ・ 同社公表の商業ビルの導入事例では、年間約20トンの炭素排出量削減が報告 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>家庭でのヒートポンプ活用効果の認知不足がビジネス拡大のボトルネック</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Enviro Power社は、2024年までに商用ビル向けに800ユニット販売後、住宅向けリプレイスの拡大を予定 ・ 同社は住宅向けのヒートポンプリプレイスのボトルネックをエンドユーザーの裨益効果の認知度不足と認識 商用ビルでの実績・関係者の効果の実感を梃子にしたビジネス展開を事業戦略として採用 ・ 日本でも民間起点でのヒートポンプ導入/リプレイス推進の参考となる技術起点の取組 		

出典：ENVIRO POEWRホームページ <https://www.enviropowertec.com/>(2024年9月2日アクセス)

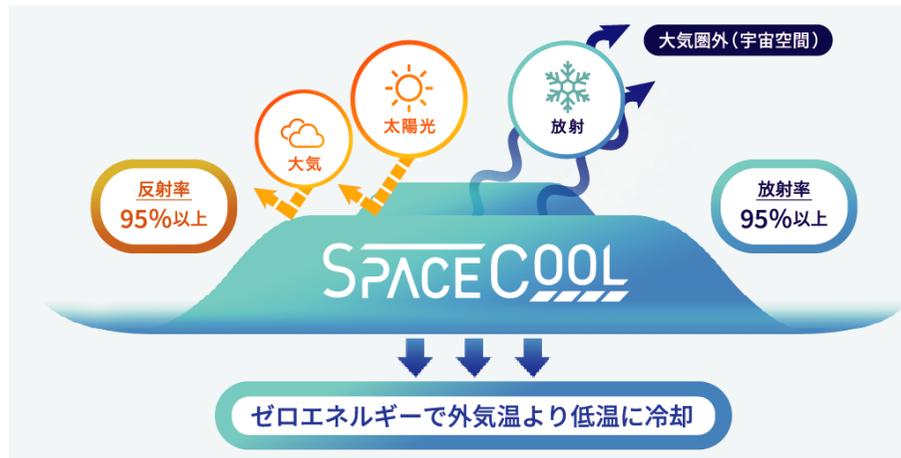
事例24：遮熱および放射冷却性能を有する光学フィルム技術

遮熱および放射冷却技術を用いた新素材が熱を宇宙空間に放出することで、エネルギーを用いずに温度の低下を可能とし、省エネ効果を実現

開発事例：放射冷却技術(SPACECOOL株式会社) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- 直射日光下において太陽光と大気からの熱を95%以上ブロックし熱吸収を抑えるだけでなく、放射冷却の原理により95%以上の熱を宇宙に逃がすことで、ゼロエネルギーで外気より温度低下することが可能な世界最高レベルの放射冷却性能を有する光学フィルムを開発



放射冷却技術の概要

出典: <https://spacecool.jp/aboutspacecool/> (2024年10月3日アクセス)



放射冷却フィルムのコンテナハウスへの導入事例

出典: <https://spacecool.jp/solution/container/> (2024年10月3日アクセス)

- 遮熱および放射冷却技術を用いたエネルギーを消費しない冷却技術
- 協力企業等と協力し、放射冷却技術を用いて事業拡大
- 熱から光へのエネルギー変換技術と多層構造技術を用いたフィルムによりエネルギーを消費せずに温度低下を実現
- 性能試験では最大46%の省エネルギー効果を実証

標準：3.6cmx26.6cm

出典: SPACECOOL株式会社 <https://spacecool.jp/> (2024年10月3日アクセス)

事例24：遮熱および放射冷却性能を有する光学フィルム技術

エネルギーを用いずに冷却効果を生み出す光学フィルムは加工が容易であり、場所を選ばず施工が可能であることから多様な建築物への設置による省エネ効果を創出

<p>要素技術</p>	<p>エネルギー変換技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 「熱エネルギー」を「光エネルギー」への変換 (大気透過率の高い波長域である赤外線への変換) 	<p>多層構造技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 遮熱機能 放射冷却機能
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>エネルギーを消費しない冷却技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 大気からの熱を遮断して熱吸収を抑える(反射率95%以上) だけではなく、宇宙空間に熱を放出する(放射率95%以上) 技術を両立することで、エネルギーを消費することなく外気より低温にする技術を開発 	
<p>エネルギー効率の改善効果(省エネ効果) 詳細</p>	<p>性能試験では最大46%の省エネルギー効果を実証</p> <ul style="list-style-type: none"> 性能試験では、SPACECOOLで表面施工されたコンテナハウスは、遮熱塗料を施したコンテナハウスに対しては33%、一般コンテナハウスに対しては46%の省エネルギー効果を確認 	
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>最大2%の二酸化炭素削減効果見込み</p> <ul style="list-style-type: none"> 本素材を大規模な自動車工場へ実装したケースを想定した試算では、従来技術(遮熱塗料) と比較して最大2%の二酸化炭素削減が可能となるポテンシャルがあることが判明した 	
<p>社会実装上の課題(初期仮説)</p>	<p>協業企業等との事業推進による事業拡大に期待</p> <ul style="list-style-type: none"> 協力企業等と協力し、放射冷却技術を用いて事業拡大に取り組む 	

出典：SPACECOOL株式会社 <https://spacecool.jp/> (2024年10月3日)

フロリダ州の一地区において冷暖房施設を最小限にとどめたスマートハウスを建設し、家庭のエネルギー効率向上とクリーンエネルギーを促進するコミュニティを形成

開発事例：Pearl Homesによるネットゼロコミュニティ



- スマートホームを推進する米国住宅開発会社Pearl Homesによるプロジェクトで、地区全体に大規模なスマートコミュニティを形成



モデルハウスのデザイン

出典：USGBCホームページ 2024年10月3日アクセス



スマートホームの効果の解説

出典：USGBCホームページ 2024年10月3日アクセス

- フロリダ州ガルフコーストにおいて86戸のソーラーパネル、蓄電池、十分な屋外生活スペースを組み込んだスマートコミュニティを建設
- アプリによってPearl Homesは各住宅の電力使用量とエネルギー生産を追跡可能
- この会社のプロジェクトで**世界初のLEEDゼロ(水や廃棄物まで含めたより包括的なアプローチ)エネルギー住宅の建築に成功**
- 日本においては国が「コミュニティZEHによるレジリエンス強化事業」を設立しており、セキスイハイムが4地域でコミュニティZEHを形成している

出典：USGBCホームページ <https://www.usgbc.org/articles/hunter-s-point-residential-community-florida-pursues-net-positive-power> (2024年10月3日アクセス)

家庭ごとに炭素排出量ゼロを実現するだけでなく、事業者が各家庭のエネルギー消費をモニタリングし、全体の需給バランスをとることでコミュニティでのエネルギー効率を最大化

<p>要素技術</p>	<p>再エネ技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電システム 蓄電池システム エネマネシステム 	<p>スマートホーム技術</p> <ul style="list-style-type: none"> IoTセンサー 遠隔制御機能 	<p>建築技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 水資源管理技術 節水機能 雨水再利用システム
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>各家庭でエネルギーを自給自足し、事業者側が地区全体のエネルギー消費が最適化されるように調節</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電システムや蓄電池を備え、住居全体がエネルギーの自給自足を目指す設計 IoT技術を活用し、エネルギー消費を最適化するスマートホーム機能が導入 住宅会社が家ごとのエネルギー消費量をモニタリングし、地区全体で電力使用最大化のため調整を行う 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>IoT技術を用いてエネルギー消費を最適化し、需給バランスを確保</p> <ul style="list-style-type: none"> IoT技術を活用したスマートホーム機能は、住居の温度・照明、家電のエネルギー消費を自動で最適化し、エネルギー効率を向上させる 電力消費のピーク時には蓄電池から電力を供給し、エネルギーコストを抑え、効率を最大限に高める 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>太陽光発電などの再生可能エネルギーでネットゼロを実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電によって必要な電力を全て賄うため、外部からのエネルギー供給による炭素排出がほとんどない エネルギー消費を最適化するスマートホームシステムにより、余剰エネルギーを効率的に管理・蓄電し、無駄な消費を防ぐ 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>規制面や国民に対する意識喚起の問題がある</p> <ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーやスマートホームの導入に対する法整備が追いついておらず、導入が遅れる可能性がある 環境意識の向上が必要であり、持続可能な住宅の価値が一般に十分認識されていないため、需要喚起が課題となる 		

出典：USGBCホームページ <https://www.usgbc.org/articles/hunter-s-point-residential-community-florida-pursues-net-positive-power> (2024年10月3日アクセス)

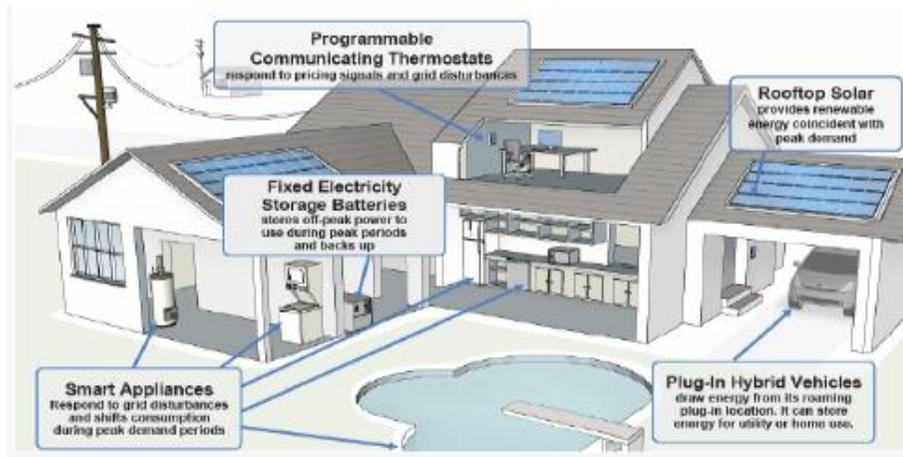
事例26：スマートエネルギーによるエネルギー効率改善技術

エネルギーの見える化と制御が可能なエネマネシステムを大規模導入することで地域全体における家庭や企業のスマートエネルギーが実現される

開発事例：Connectivity Standards Alliance(CSA) によるZigbee Smart Energy

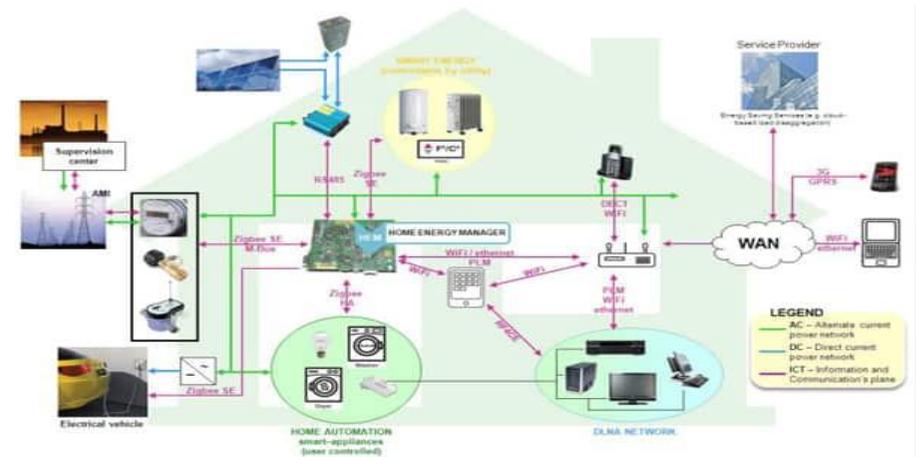
技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- CSAはエンドユーザーレベルでエネルギー消費を監視し、積極的に管理するために設計されたプロトコルを英国を中心に導入し、3,000万世帯以上が利用している



家庭での使用イメージ

出典：ResearchGate 2024年9月19日アクセス



Zigbee Smart Energyの仕組み・流れ

出典：Digikey 2024年9月19日アクセス

- Zigbeeという通信規格を推進するCSAにより欧州を中心に社会実装されているプロジェクト
- エネルギーの使用状況をリアルタイムでモニタリングし、消費確認を瞬時に行える
- その他にも需要の高い時間帯の使用を制限するなど自動で消費電力の最適化を行う
- エネルギー消費を最適化し、無駄な電気使用を削減することで炭素排出量の抑制に貢献している**

出典：CSAホームページ <https://csa-iot.org/newsroom/is-zigbee-smart-energy-the-answer-to-growing-electric-vehicle-consumption/> (2024年9月19日アクセス)

低電力消費のプロトコルを用いることで設置のハードルが下がり、自動機能などで需要と供給のバランスを取ることで省エネを実現

<p>要素技術</p>	<p>通信技術</p> <ul style="list-style-type: none"> スマートメーター 相互運用化技術 (プロトコル互換性の確保) ワイヤレス通信 	<p>エネルギーマネジメント</p> <ul style="list-style-type: none"> リアルタイムモニタリング IoT技術(センサ・デバイス類) 統合データ処理 エネルギー消費/需要管理 	<p>インフラ技術</p> <ul style="list-style-type: none"> スマートエネルギー 通信インフラ
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>広範囲にわたるデバイスをワイヤレスで接続できる低電力消費のプロトコルを活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 家電製品や照明など様々な家庭内・企業のエネルギー消費機器と通信可能 電力消費のピークを分散させ、エネルギー効率の高い運転を自動で行うことができる これらが全て低電力で行えるため維持費用や導入コストが安く、柔軟に活用できる 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>エネルギー使用状況が可視化・管理されるため需給のバランスがとれる</p> <ul style="list-style-type: none"> 電力会社(または天然ガス供給者)は、デマンドレスポンスを通じてピーク消費時にリソースを管理できるため、消費者は電力を大量に消費する家電製品をすぐに使用するか、ピーク料金が下がる後まで延期するかを選択して、消費を変更することができる このような仕組みでエネルギー消費を9～14%削減できる 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>リアルタイムモニタリングと自動制御により、効果的な炭素排出量削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費量が事業者・エンドユーザーの両サイドに可視化されるためエネルギーの無駄遣いが減少する 電力網への負担が低減することで発電所の稼働効率向上につながる これらのロジックで炭素排出削減が実現される 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>プロトコルの互換性や消費者の意識の問題がある</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本における既存のスマートメーターは統一されておらず、互換性を確保する必要がある 日本におけるスマートエネルギー化はまだ普及が十分ではなく、省エネ政策や住宅建築の補助金制度と組み合わせることで普及を進める必要がある 		

出典：CSAホームページ <https://csa-iot.org/newsroom/is-zigbee-smart-energy-the-answer-to-growing-electric-vehicle-consumption/> (2024年9月19日アクセス)

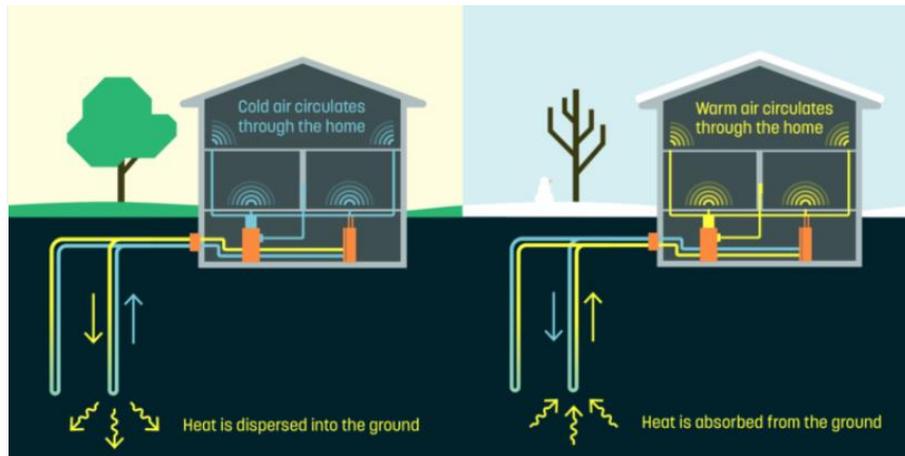
事例27：地熱エネルギーを利用した高効率ヒートポンプ技術

地中熱を活用した高性能ヒートポンプ・ルートパイプ技術の組み合わせにより、年間を通して室内空調の高い省エネ効果を実現

開発事例：地熱エネルギーを利用した高効率ヒートポンプ(Dandelion Energy) (米国)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 地中熱ヒートポンプ・グラウンドループ(埋設パイプシステム) による住宅内冷暖房システム



同社が開発した閉ループシステムと地熱を利用した冷却・暖房の仕組み

出典: Dandelion Energyホームページ <https://dandelionenergy.com/all-you-need-to-know-about-home-geothermal-heating-cooling>(2024年10月9日アクセス)



住宅地におけるループパイプ埋設工事の様子

出典: Dandelion Energyホームページ [Residential Ground Loop Services - Belchertown, MA - Dandelion Energy | Residential Geothermal Heating & Cooling](https://dandelionenergy.com/residential-ground-loop-services-belchertown-ma) (2024年10月9日アクセス)

- 地表から約3メートル(10フィート) 地下の温度が通年で約12.8℃(55°F) を維持していることを活用したヒートポンプ技術
- 地中の温度をパイプ内の水溶液通して引き込み、ヒートポンプを使用して家の空気を希望の温度に調整することが可能
- この技術により、**最大50%の冷暖房費用の削減が実現され、高い省エネ効果が期待できる**
- 地中熱を活用したヒートポンプ技術の実例では、(株)有賀工業所が施工した学校や市役所等の公共施設、向上への設置例がある

出典: Dandelion Energy <https://dandelionenergy.com/>(2024年10月9日アクセス)

事例27：地熱エネルギーを利用した高効率ヒートポンプ技術

ループパイプ・ヒートポンプの高性能化を、スマート制御アルゴリズムによるシステム管理により、省エネ・炭素排出量削減効果を最大化

<p>要素技術</p>	<p>閉ループシステム</p> <ul style="list-style-type: none"> パイプ材質 埋設技術 	<p>ヒートポンプ技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 圧縮機 冷媒 	<p>高効率熱交換器</p> <ul style="list-style-type: none"> ブレード式 二重管構造 	<p>耐久性のある素材</p> <ul style="list-style-type: none"> 抗腐食コーティング 高温耐性 	<p>自動制御システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 温度センサー スマート制御アルゴリズム
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>高効率のヒートポンプと信頼性の高いルートパイプで高効率な快適性を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ヒートポンプは、熱移動の高効率化のため、プレート式熱交換器と独自のエアコイルデザイン、リアルタイムモニタリングシステムを搭載 ループパイプは、システム外のインフラと相互作用を起こすことのない、効率的で安全な閉ループシステムを採用 				
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>最大50%の冷暖房費削減の省エネ効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ほとんどのヒートポンプの加熱温度が約100°Fに対し、最大120°Fまでの加熱を実現。少ない空気量で家を暖めることが可能 高い熱移動技術により、季節を問わず効率的に室内温度を一定に保つことが可能 				
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>住宅一棟につき80%の炭素排出量削減</p> <ul style="list-style-type: none"> 2023年2月時点で、Dandelion社のシステムが2050年までに556,631トンの(17,600台の自動車排出量に匹敵する) 二酸化炭素削減に寄与する予定 				
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>ルートパイプ埋設に必要な土地条件が必要</p> <ul style="list-style-type: none"> 同技術の日本における実装事例は、北海道の(株)有賀工業所による施工例(学校、市役所、工場等)がある ループパイプを地中に埋設するため、スペースの確保や掘削可能な地中条件が設置上の課題となる 				

出典: Dandelion Energy <https://dandelionenergy.com/> (2024年10月9日アクセス)

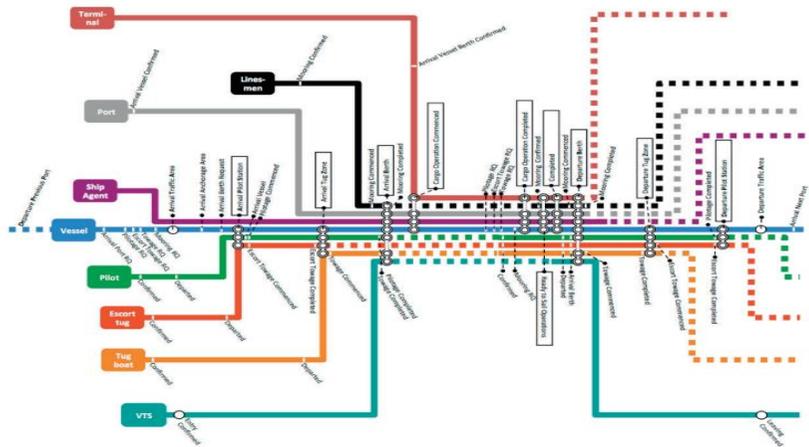
事例28：船舶の入港時における待機時間を最小化するためのポートコールシステム

効率の良い海上交通のボトルネックとなっていた船舶の入港待機時間の課題を、リアルタイムデジタルソリューションで解消することで、サプライチェーン全体の省エネ化に貢献

開発事例：MISSION¹ スtockホルム大学等によるEU圏のプロジェクト

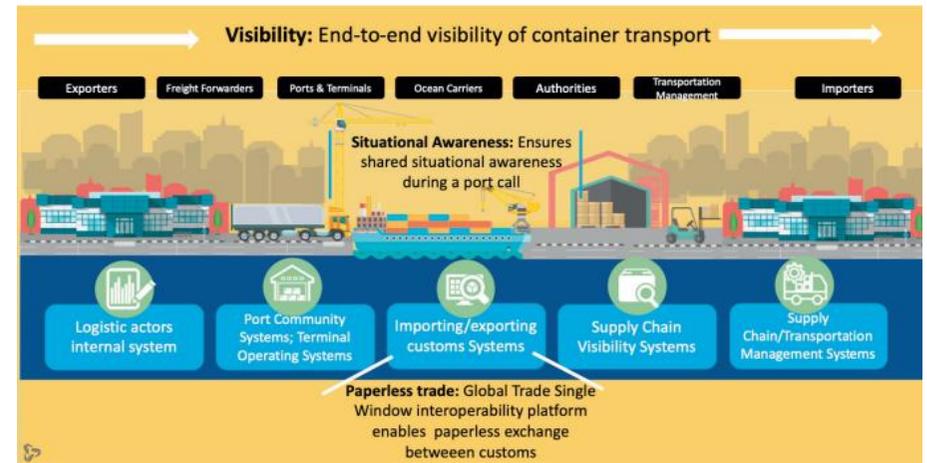


- 航海を含めた船舶の入港時における待機時間を最小化するための統合リアルタイムデジタルソリューション「ジャストインタイムのポートコールシステム」



ポートコールシステムにおける主要なイベントと関与するアクターの相関図

出典：TRANSPORT AND TRADE FACILITATION Series No.13(Unctad,2019.2)



ポートコールシステムを介したコンテナ海上輸送における全プロセス可視化概要図

出典：TRANSPORT AND TRADE FACILITATION Series No.13(Unctad,2019.2)

- 航海中の船舶の入港時間が不確実であるために発生する港湾の混雑解消のため、航海時間、燃料消費、環境影響、安全性の観点から、海上サプライチェーンにおけるポートコールシステムとして相互運用可能なデジタルリアルタイムベースの最適化および意思決定支援ツールを開発
- 海上サプライチェーン効率化のボトルネックとなっていた、船舶入港時における待機時間を解消し、併せて荷揚げ・トラック積載の待機時間を解消。海上サプライチェーンにおける高効率化及び省エネに貢献

出典：MISSIONホームページ [MISSION | Just in time \(missionproject.eu\)](https://missionproject.eu)(2024年10月10日アクセス)

MISSION : MARITIME JUST-IN-TIME OPTIMIZATION INTEROPERABLE PORT CALL AND VOYAGE OPTIMIZATION TOOL

事例28：船舶の入港時における待機時間を最小化するためのポートコールシステム

IoTデバイスやデータ分析アルゴリズム等の技術を統合した、ジャストインタイムのポートコールシステムは、海上サプライチェーン全体の高効率化及び省エネ化に貢献

<p>要素技術</p>	<p>IoTデバイス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ センサー ・ GPS装置 ・ 通信モジュール 	<p>データ分析アルゴリズム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 機械学習モデル ・ 最適化アルゴリズム 	<p>通信インフラ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ データ転送プロトコル ・ 通信ネットワーク 	<p>メッセージングフォーマット</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ データスキーマ ・ 共通用語集 	<p>シミュレーションツール</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ モデリングソフトウェア ・ シミュレーションフレームワーク
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>船舶・陸上における安全で弾力性のあるリアルタイムのデジタルデータ共有と意思決定支援システムで、シームレスな海上サプライチェーンを実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現場でリアルタイムの情報共有を可能とするIoTデバイスの開発 ・ 気象・環境・航海・港湾の情報を統合し運用するためのデータ分析アルゴリズムの開発 				
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>海上サプライチェーンの高効率化及び安全性向上による省エネの実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶の待機時間が解消されることによる、海上交通の渋滞緩和、荷揚げ・トラック積載作業が効率化される ・ 海上サプライチェーンにおける各プロセスの短縮化による省エネ効果の創出 				
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>船舶の待機時間が減少したことにより燃料消費を削減でき、炭素排出量削減に貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ターミナルや港の準備状況を船舶に早期に伝えることで、船舶は速度を調整でき、全航海の燃料を最大23%節約することが可能となり、炭素排出量削減に貢献 				
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>ジャストインタイムのポートコールシステムは、日本の港湾管理における省エネ化に貢献するものと思料</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国土交通省の「PORT2030」プロジェクトでは、港湾の情報通信技術を活用した港湾のスマート化・強靱化が計画されているが、船舶の出入港管理のデジタル化には言及されていない ・ 世界有数の船舶過密地帯である東京湾で実装された場合、EUの場合と同様、日本の海上サプライチェーンの省エネ化に貢献するものと思料 				

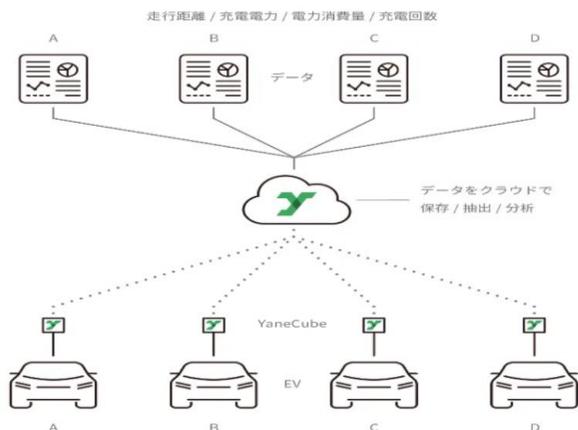
出典：MISSIONホームページ [MISSION | Just in time \(missionproject.eu\)](https://missionproject.eu)(2024年10月10日アクセス)

既存のEV自動充電制御技術を用いたデマンドコントロールによりEV充電時のピークカットを実現し、電力需要が低い時間帯での充電が可能となりエネルギー効率が改善

開発事例：EV向け自動充電制御技術(株式会社Yanekara・東京大学) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長
-------------------	------	----	------	------	------------------	------	----	------	------

- 既存のEV充電コンセントにリモート制御機能を後付けできる国内で唯一の製品である「YaneCube」は、EV充電コンセントに取り付けるだけで自動充電制御を行い、充電のピークカットの実現を支援



充電データをクラウドで管理し、電費の分析に活用
出典: <https://yanekara.jp/solution> (2024年10月10日アクセス)



EV充電コントローラ「YaneCube」の使用例
出典: <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000010.000067381.html> (2024年10月10日アクセス)

- EV充電コンセント「YaneCube」を用いて自動充電制御を行い、デマンドコントロールを実現
- 日本郵便株式会社と共同で16台の集配用EV車両の充電を効率的に管理する実証実験を実施。約2か月間の実験で**38kWのピークカットを実現**し、電力使用率の低い時間帯での充電を実現

出典: 株式会社Yanekara <https://yanekara.jp/yanecube> (2024年10月10日アクセス)

走行距離や電力消費量などEV毎のデータを保存・抽出・分析することで最適な充電スケジュールを提案し、効率的なエネルギーの利用とコスト削減を実現

<p>要素技術</p>	<p>自動充電制御技術</p> <ul style="list-style-type: none"> デマンドレスポンス マシンラーニング技術 	<p>予測アルゴリズム</p> <ul style="list-style-type: none"> 充電・使用パターンの分析技術 	<p>蓄電池管理システム(BMS)</p> <ul style="list-style-type: none"> バッテリー監視技術 過充電や過放電の防止技術
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>自動充電制御技術による充電スケジュールの最適化</p> <ul style="list-style-type: none"> EVの充電にあたっては地域の電力需給を考慮して行う必要があるという課題に対して、自動充電制御技術を用いて最適な充電スケジュールを提案することで、効率的なエネルギーの利用とコスト削減を実現 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>電力需給に応じたEVの最適な充電制御を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> クラウド上で保存されているEVの充電データを組み合わせることで最適な充電パターンの利用が可能となり、実証実験では約2か月間の実験で38kWのピークカットを実現 電力需要が低い時間帯での充電により、エネルギー効率が改善 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>EV毎のデータを分析し二酸化炭素削減量を算出</p> <ul style="list-style-type: none"> 「YaneCube」利用によってEV毎の走行距離・充電電力・電力消費量などのデータがクラウド上で保存・抽出・分析が可能となり、EV毎の二酸化炭素削減量の算出が可能 		
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>今後は消費者の認知度向上が重要</p> <ul style="list-style-type: none"> 2023年7月、日本郵便株式会社に集配用EV車両の効率的な充電に向けたEV充電コンセントを納入 今後の普及に向けては消費者の認知度向上が必要 		

出典：株式会社Yanekara <https://yanekara.jp/yanecube> (2024年10月10日アクセス)

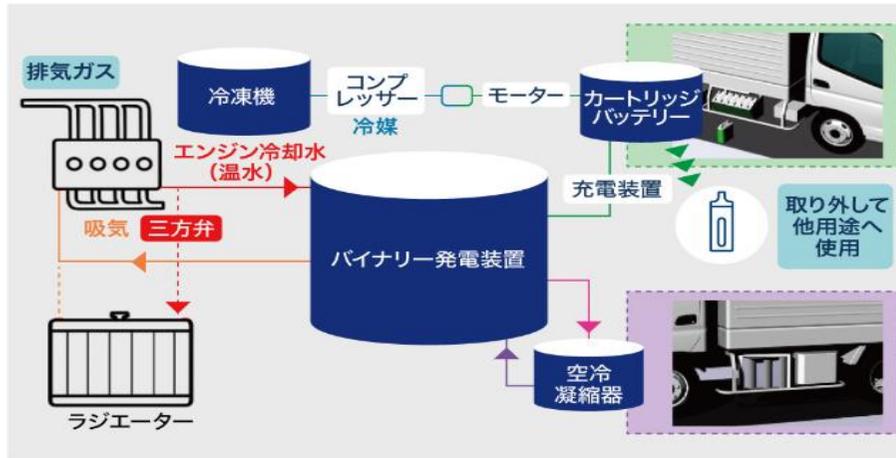
事例30：排熱を利用したバイナリー発電技術

超小型軽量型バイナリー発電機を用いてトラックなどから発生する排熱を電気エネルギーに変換し、エネルギー効率の改善に貢献

開発事例：排熱を利用したバイナリー発電技術(モビリティエナジーサーキュレーション株式会社) (日本)

技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	社会実装	社会実装	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 超小型軽量型バイナリー発電機でエンジンからの排熱を電気エネルギーに変換し、冷凍冷蔵車を駆動するシステムの技術開発



バイナリー発電装置を用いた車載システムの構成図
 出典:FUNDINNO <https://fundinno.com/projects/353>
 (2024年10月11日アクセス)



同社が開発したバイナリー発電機の設置例
 出典:FUNDINNO <https://fundinno.com/projects/353>
 (2024年10月11日アクセス)

- エンジン排熱を熱源として温めた水を利用して冷媒を沸騰させ、その蒸気でタービンを回すことで発電する技術
- 発電を目的とした燃料消費がないため、二酸化炭素を排出することなくエネルギー創出が可能。冷凍冷蔵車では、**約15～20%のエネルギー削減効果を見込む**

出典: FUNDINNO <https://fundinno.com/projects/353> (2024年10月11日アクセス)

独自技術を用いてバイナリー発電機の車載可能サイズへの小型化に成功したことで、これまで廃棄されていたエンジン排熱を利用した発電が可能となり、省エネ効果を創出

<p>要素技術</p>	<p>熱交換技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 熱交換設計技術 熱伝導技術 	<p>タービン技術</p> <ul style="list-style-type: none"> タービン設計技術 高効率化技術 小型化技術 	<p>発電機</p> <ul style="list-style-type: none"> 電気エネルギー技術 小型化技術 	<p>制御システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 運転最適化技術 電力の安定供給
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>自動車開発の技術のノウハウで小型軽量化を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 現行の発電機は大型・高コストであり、大規模施設以外での導入が困難 自動車開発の技術のノウハウを活かし、車両や小規模施設でも導入できる超小型・軽量・安価かつ高効率なバイナリー発電機を開発。これまで利用されていなかった排熱の有効活用が可能 			
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>排熱を利用した発電により最大20%の省エネ効果</p> <ul style="list-style-type: none"> トラックの場合エネルギーの約30%がラジエーターからの冷却損失、約30%が排気損失として廃棄 バイナリー発電を利用した車載装置の利用により、冷凍冷蔵車では約15～20%のエネルギー削減効果が見込まれる。これは一般家庭の使用電力の約2.9か月分に相当 			
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>排熱利用により新たな燃料消費が不要</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジン排熱を利用した発電のため、発電のための燃料消費が不要となり炭素排出量の削減効果を創出 			
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>実証実験を通じた認知度向上をめざす</p> <ul style="list-style-type: none"> 実用化に向けた大手コンビニチェーンの配送トラックを使用した発電、充電に関する実証テストを実施 実証実験を通して発電効率や燃費向上の効果を実感してもらい、販売と実績づくりにつなげていく方針 			

事例31：バス自動・電動技術と運行合理化による公共交通の脱炭素・省エネ技術

高速輸送バスの自動化・電動化とその統合管理をスマートシティのデータ連携基盤と相互運用することでエネルギー高効率化と炭素排出量削減の相乗効果を都市規模で創出

開発事例：eBRT2030 国際公共交通連合(UITP) によるEU圏のプロジェクト

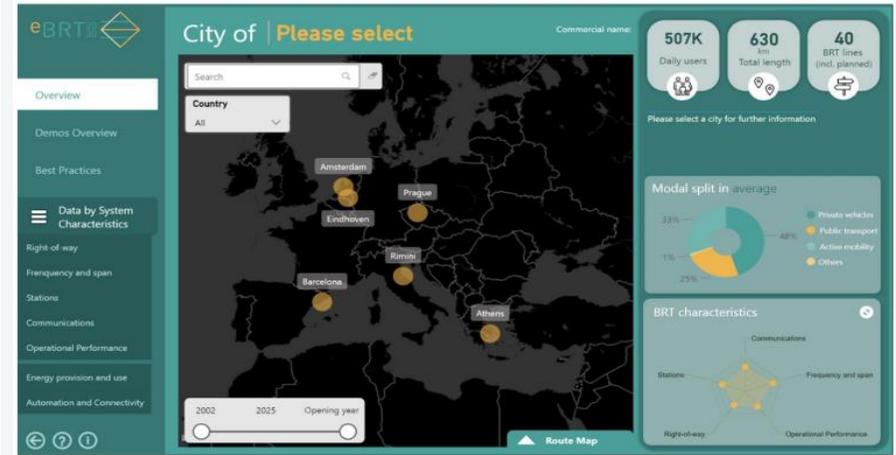
技術的観点での 社会実装段階	基礎研究	実証	スケール	安定供給	ビジネス観点での 実装段階	概念検証	実証	スケール	安定成長

- 国際公共交通連合(UITP) はeBRT2030プロジェクトでEU内外の計7都市のスマートシティでEVバス高速輸送システムの電動化や自動化、相互運用性に関する技術実証中



完全電化されたBRTライン(オランダ)

出典：BRT STATE OF ART A report of eBRT2030(20 Jul 2023)



運行やメンテナンス等包括的な情報を示すコンポーネント「ダイナミック・マッピング」

出典：BRT STATE OF ART A report of eBRT2030(20 Jul 2023)

- EU運輸業界の炭素削減目標である2050年までに90%削減に貢献すべく、UITPがeBRT2030プロジェクトを推進
- バスでの高速輸送について電動化や自動運転、相互運用性(接続性)に関する先進技術を開発
- 統合管理(フリートマネジメント) システムをスマートシティのシステムに組み込み、EU内外7都市で実証中
- 自動・電動化されたバスに効率的なルートや速度をシステムから直接反映することで省エネ効果を創出**

出典：eBRT2030ホームページ <https://ebrt2030.eu/> (2024年8月28日アクセス)、[D2.1 BRT state of the art](#) (eBRT2030, 2023.7.20)

自動化・電動化した高速輸送バスに関し、都市規模で道路など環境情報に基づく走行距離や燃費効率の最適化による省エネ・炭素排出量削減効果を統合マネジメントで最大化

<p>要素技術</p>	<p>車両</p> <ul style="list-style-type: none"> 車両電動化 自動運転 <ul style="list-style-type: none"> スマートモーター 	<p>データ基盤</p> <ul style="list-style-type: none"> フリートマネジメント スマートシティのデータ連携基盤 <ul style="list-style-type: none"> 環境情報連携のインターフェース(API等)技術 	<p>充電インフラ</p> <ul style="list-style-type: none"> スマートグリッド 車両充電設備 再エネ発電量把握のためのIoT機器
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>データ連携基盤からの環境情報を活用した高速輸送バスの統合マネジメントの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動化・電動化した高速輸送バスの統合マネジメントのみだと、環境情報が不確定要素となり効率化に限界 ※環境情報の例：道路混雑や天候状況、電力供給スポットの充電状況 そのためスマートシティのデータ連携基盤が有する環境情報を取得・活用した統合管理システムを構築 高速輸送バスの全車両自動化・電動化を通じ、最適化された運行計画を随時各車両に反映可能 		
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>EVバスの導入やスマートグリッド、データ活用を通じたエネルギー消費削減効果を現在実証中</p> <ul style="list-style-type: none"> 環境情報に基づく統合マネジメントによる車両の速度・ルート最適化を自動運転で随時各EVバスに反映 ※主なEVバスの速度・ルート最適化の参考情報 ルート：道路の混雑状況・通行可否、充電スポットの位置情報・天候情報に基づく充電見込 速度：運行データ分析に基づく速度に対する燃費効率情報 		
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>車両の電動化と統合マネジメントによるエネルギー効率改善により、相乗的な炭素排出量削減を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> 以下の相乗効果により、炭素排出量削減を創出 <ul style="list-style-type: none"> 既存の高速バスの電動化とグリーン電源利用の推進による脱炭素化 環境情報に基づく統合マネジメントを通じた自動運転車の燃費向上 <p>※実証中の広東省で84,000トン/年、イスタンブールで125トン/日の二酸化炭素排出削減実績(内訳は要調査)</p>		
<p>想定される社会実装上の課題</p>	<p>インフラ設備の規格統一・システムの連携・経済的持続可能性に課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在ヨーロッパを含めた7地域にてイノベーション検証のための実証実験が行われており、社会実装上の課題となるインフラ整備の規格統一・システム連携・持続可能性の検証も併せて行われている 一方、日本での車両運行の統合管理の実証は特定の道路規模でしか実施されておらず、相互運用性や持続可能性の検証が不十分なため、少なくとも都市規模での実証環境の確保が必要 		

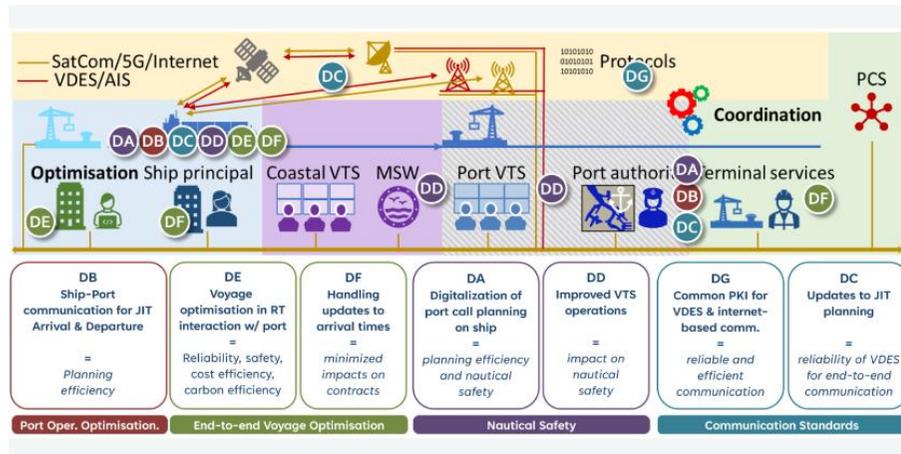
事例32：港と船舶の燃料消費の削減を目標としたポートコールシステム技術

船舶・港湾における二酸化炭素削減を目的に開発をめざすポートコールシステムで、港湾における省エネ効果の創出に貢献

開発事例：DYNAPORT¹ SINTEF Ocean等によるEU圏プロジェクト



- 国際的に受け入れられているプロトコル基準と通信システムに基づく情報共有に基づいて構築された、燃料・時間・資源の無駄を最小限に抑えることを目的としたジャストインタイムのポートコールシステムの開発



DYNAPORTで実証中のポートコール概要図
 出典：DYNAPORTホームページ <https://dynamaport.eu/consortium> (2024年10月11日アクセス)



Horizon Europeの姉妹プロジェクト「MISSION」とのコラボレーション
 出典：[DYNAPORT Report](#) (DYNAPORT, 2024.8)

- 情報共有の強化を目的として国際的に受け入れられたプロトコル標準を用いたコミュニケーションシステムを構築し、VTS(船舶交通サービス)を統合し、到着および出発の計画と実行を改善
- 燃料消費や効率の改善を定量的に測定するためのKPI(重要業績評価指標)を開発し、**港湾の効率を10%以上向上させる**ことを目標とする
- 姉妹プロジェクトである「MISSION¹」と連携して、主要な技術分野におけるシナジーと互換性のあるフレームワークの活用を試みる

出典：DYNAPORTホームページ <https://dynamaport.eu/consortium> (2024年10月11日アクセス)

¹ MISSION : Dynamic navigation and port call optimisation in real time

ジャストインタイムのポートコールシステムとKPIの開発で、効果的な港湾における省エネ効果の創出を目指す

<p>要素技術</p>	<p>情報共有プロトコル</p> <ul style="list-style-type: none"> 国際標準プロトコル API¹ 	<p>通信システム</p> <ul style="list-style-type: none"> VDES² クラウドインフラ 	<p>最適化ツール</p> <ul style="list-style-type: none"> 航路最適化アルゴリズム ポートコールスケジューリング 	<p>航海支援システム</p> <ul style="list-style-type: none"> リアルタイムデータ解析 デシジョンサポートシステム 	<p>シミュレーションツール</p> <ul style="list-style-type: none"> パフォーマンス指標追跡 シミュレーションフレームワーク
<p>イノベーションのポイント</p>	<p>海上及び港湾におけるエネルギーの効率的な運用のため、船舶と港湾間の調整された行動を実現する</p> <ul style="list-style-type: none"> 開発するポートコールシステムは、国際プロトコル基準と通信システムに基づく情報共有に基づいて構築 当プロジェクトのソリューションがEUのみならず国際的に採用されることを確実にする 				
<p>エネルギー効率の改善効果 (省エネ効果) 詳細</p>	<p>目標は、港湾の効率10%以上の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ジャストインタイムの船舶の港湾への入港の実現により、船舶や港湾施設での待機時間を省略 効率化のKPIを開発し、省エネ効果のビジュアル化を合わせて行う 				
<p>炭素排出量削減の効果詳細</p>	<p>海運・港湾併せて35%の炭素排出量削減のポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> 船舶からの二酸化炭素排出の最大15%が港湾エリアで発生 航海中の排出削減ポテンシャルは20%と見積もる 				
<p>社会実装上の課題 (初期仮説)</p>	<p>姉妹プロジェクトとのコラボレーションで、技術的なシナジー効果及び相互互換フレームワーク構築を目指す</p> <ul style="list-style-type: none"> アプローチ・目標は違うが、同じくジャストインタイムのポートコールシステム開発を目指すMISSIONと協調 開発目的が同じ政府系プロジェクトが並列するのは日本では見られないが、EUでは二つのプロジェクトが海運の効率化に貢献する認識がある 				

出典: [DYNAPORT Report](#) (DYNAPORT, 2024.8)

¹ Application Programming Interface

² VHF Data Exchange System

Appendix②

省エネルギー量試算プロセス

カタログ集に掲載された事例の示唆を活かされ、技術の社会実装が進んだ場合に期待される省エネ効果の広がりを読み手が容易にイメージできるように構成されています

カタログ掲載事例

事例紹介 > 省エネの自動化技術にシームレス・HEMS事例 概要

ヒートポンプのリプレイスに特化した事業戦略に基づく技術開発により、商用ビルや住宅のBEMS・HEMS活用を推進

開発事例：究極納品を内蔵したスマートワットボイラー Enviro Power (米国)

Enviro Power社は、リプレイスを容易にする技術として、系外への高効率化技術(発電装置を内蔵した系外・スマートワットボイラー)を開発し、事業戦略として、将来的には郊外住宅への展開を視野に入れた、都市部におけるリプレイスを推進中

- 従来の系外・スマートワットボイラーと比べて、省エネ率を向上させ、省エネ率を向上させる
- 従来の系外・スマートワットボイラーと比べて、省エネ率を向上させ、省エネ率を向上させる
- 従来の系外・スマートワットボイラーと比べて、省エネ率を向上させ、省エネ率を向上させる

リプレイス促進技術

- ▶ 商用施設から一般家庭へ、認知度の浸透を図りながら、段階的な普及を目指すスマートワットボイラーの海外事例を紹介
- ▶ 試算事例として、この普及ヒートポンプの社会実装が進んだ場合の省エネ効果を試算

事例紹介 > 産業 > デジタルファクトリーによる工場全体の効率化事例 概要

デジタル化を推進するシームレスは工場においてデジタルツインを導入し、機械と従業員の役割を鮮明にすることで各々の強みを最大限に生かした効率的な生産体制を確立

開発事例：シームレスによるデジタルツインの導入事例 (ドイツ)

工場全体のデジタル化を進めるシームレスはリアルタイムで生産現場のデータを収集・分析し、コンピュータシミュレーションと現実の生産ラインを同期させて運用するデジタルツインを全社的に導入した

- 工場全体のデジタル化を進めるシームレスはリアルタイムで生産現場のデータを収集・分析し、コンピュータシミュレーションと現実の生産ラインを同期させて運用するデジタルツインを全社的に導入した
- 工場全体のデジタル化を進めるシームレスはリアルタイムで生産現場のデータを収集・分析し、コンピュータシミュレーションと現実の生産ラインを同期させて運用するデジタルツインを全社的に導入した

海外導入事例1

- ▶ 工場全体にデジタルツイン技術を導入したスマートファクトリーの事例を選定
- ▶ 日本におけるスマートファクトリー化も同様の事例にて普及されると見込まれるため、同事例の想定される普及状況で、省エネ効果を試算

事例紹介 > 産業 > 生産プロセス管理統合事例 概要

ファイザー社は、製造現場を維持する高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用によりエネルギー消費量を40%削減

開発事例：工場生産プロセス管理プラットフォームのデータ集約・統合運用事例 (ドイツ)

医薬品は製造現場の影響を強く受け、配管や電気、空調といった工場全体のビル管理システムが生産性に直結。ファイザー社は、工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用により、製造現場や環境変化に対して製造ラインと設備機器の双方からの予知制御を実現し、生産性を向上

- ファイザー社はスマートファクトリー化を推進するシームレスと連携、高度密閉装置を付設した工場の生産プロセス管理システムとビル管理プラットフォームのデータ集約・統合運用により、製造現場や環境変化に対して製造ラインと設備機器の双方からの予知制御を実現し、生産性を向上

海外導入事例2

- ▶ 製薬会社の工場におけるビル管理と製造設備のシステム統合を実現したスマートファクトリーの事例を紹介
- ▶ エネルギー削減率30%前後の高い省エネ効果を実現しているヘルスケア製品工場の省エネ効果を試算

試算事例

2. 省エネ効果の試算に関する現状状況 > 2.1 ヒートポンプに関する省エネ効果の試算状況

産業用ヒートポンプ（以下HP）は高い省エネ性能を有する一方、単独での運用には未解決の課題も多いため、先進的HP+ボイラのハイブリッドシステムの開発が行われました

ヒートポンプ導入の現状と課題

一般的なHP (左) と先進的なHP (右) の対比

一般的なHP (左) と先進的なHP (右) の対比

一般的なHP (左) の課題

- 省エネ率の向上が難しい
- 運転コストが高くなる
- 運転音が大きい
- 運転音が大きい

先進的なHP (右) の特徴

- 省エネ率の向上が容易
- 運転コストが低くなる
- 運転音が小さい
- 運転音が小さい

産業用ヒートポンプ

2. 省エネ効果の試算に関する現状状況 > 2.2 スマートワットボイラーに関する省エネ効果の試算状況

産業オートメーション製品の生産工場では、総合的エネルギーシステム、AIを活用した廃棄物分別、デジタルツインによる特種可能な設計によってエネルギー消費量を24%削減しています

事例概要

2019年に中国で完成したスマートファクトリーは、総合的エネルギーシステム、AIを活用した廃棄物分別、デジタルツインによる特種可能な設計の技術が導入

2023年にドイツに導入されたスマートファクトリーは、総合的エネルギーシステム、AIを活用した廃棄物分別、デジタルツインによる特種可能な設計の技術が導入

導入技術

- 工場全体のデジタル化を進めるシームレスはリアルタイムで生産現場のデータを収集・分析し、コンピュータシミュレーションと現実の生産ラインを同期させて運用するデジタルツインを全社的に導入した
- 工場全体のデジタル化を進めるシームレスはリアルタイムで生産現場のデータを収集・分析し、コンピュータシミュレーションと現実の生産ラインを同期させて運用するデジタルツインを全社的に導入した

製品

- 製品生産量92%増加
- 総廃棄物48%削減
- エネルギー消費量24%削減

スマートファクトリー(産業機械)

Appendix 省エネ効果の試算 > 2. スマートワットボイラーに関する省エネ効果の試算 > 2.2. ヘルスケア製品工場の省エネ効果の試算

ヘルスケア製品の工場では、製造設計プロセスの最適化や、稼働状況の監視などによって、30%前後のエネルギー削減を達成しています

スマートワットボイラーに関する省エネ効果の試算

事例	生産品目	導入技術	エネルギー削減率
Henkel Düsseldorf (独)	洗濯用洗剤	材料の配合が製品の出発点の工程をデジタルツインを用いて監視し、プロセスの最適化を実現	36%
Kemura Bangkok (タイ)	マウスケア用品	デジタルツインによる生産プロセスの最適化と、データの収集と分析による生産プロセスの最適化	34%
Unilever Dusseldorf (独)	住宅用洗剤	エネルギー管理システムと機械学習によるエネルギー使用の最適化	31%
Johnson & Johnson Xian (中)	眼科、口腔用グループ	AI/MLによる生産プロセスの最適化と、デジタルツインの活用	23%
Johnson & Johnson Cork (アイルランド)	バイオ医薬品	エネルギー管理システムと機械学習によるエネルギー使用の最適化と、デジタルツインの活用	情報なし

エネルギー削減率の中央値は32.5%

スマートファクトリー(産業機械)

温水供給において産業用ヒートポンプ(以下HP)は高い省エネ性能を有する一方、単独での運用には課題も多いため、先進的HP+ボイラのハイブリッドシステムの開発が行われました

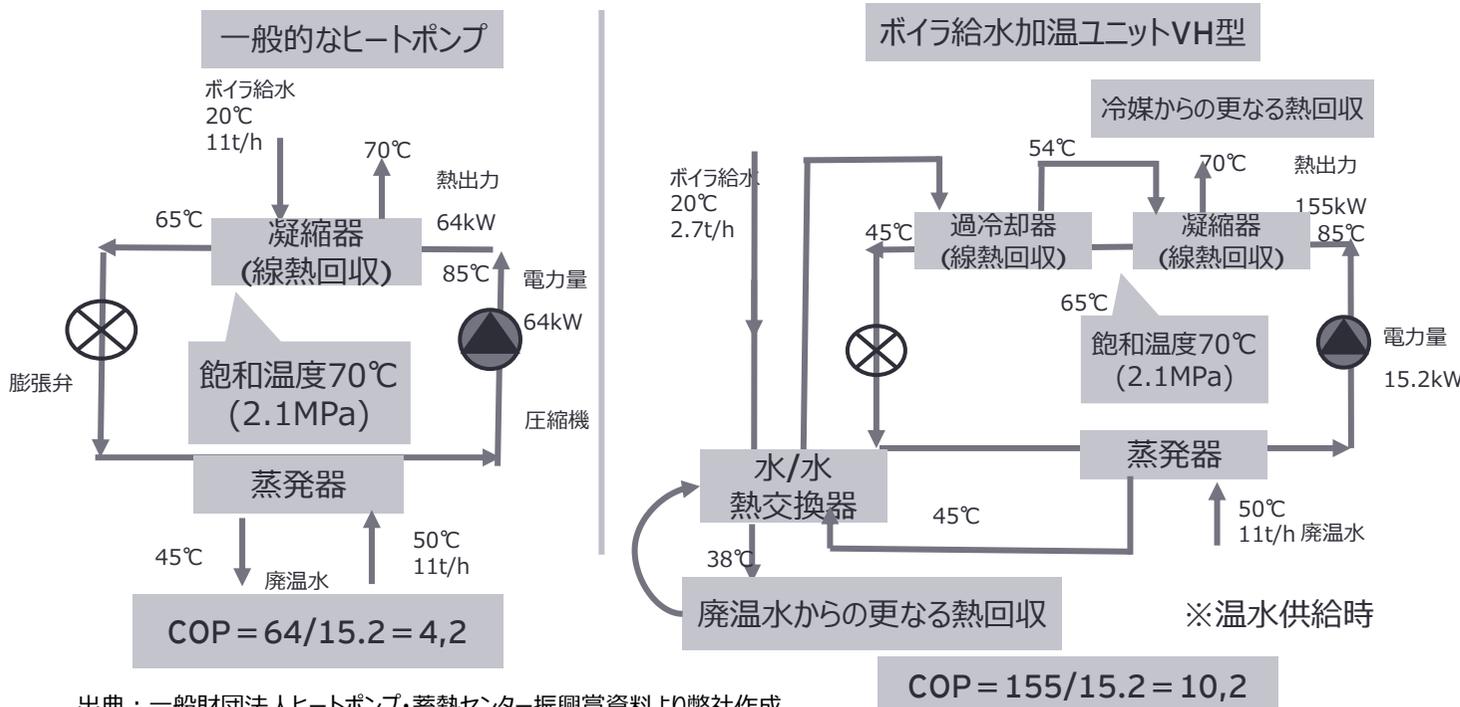
ヒートポンプ導入の現状と課題

- 日本の産業用HPの導入目標が2020年に277千kWであるのに対し、実績は168千kWであった。また、HPの熱需要シェアは、2020年度で0.06%に留まっている
- HPの導入が進まない理由の1つとして、**導入コストが高いことやペースが確保できないことが挙げられる**(最大負荷を考慮するとHPの容量を大きくする必要があるので)

打開策および先進技術

- 左記の課題を解決するために、メーカーや業界団体からは温水供給システムとして**HPとボイラのハイブリッド利用が提案**されている
- ハイブリッド利用では、ボイラでの負荷変動対応が可能のため、比較的小さい容量のHPを設置することができる
- さらにハイブリッド利用時の廃熱を利用することで温水供給時において**HPのCOPを10まで向上させる技術が登場**している

一般的なHP(左)と先進的なHP(右)の対比



解説

- 一般的なヒートポンプは
 - ▶ 圧縮機
 - ▶ 凝縮器
 - ▶ 膨張弁
 - ▶ 蒸発器
 で構成され、凝縮器にて20℃の冷水を1段階で70℃まで加温させる
- ▶ 本製品は、**HPとボイラのハイブリッドシステムで活用**され
 - ▶ 水/水熱交換器で20℃→44℃
 - ▶ 過冷却器にて冷媒の顕熱回収で44℃→54℃
 - ▶ 最後に凝縮器で冷媒の潜熱を回収して54℃→70℃まで昇温させることでCOPを向上させる

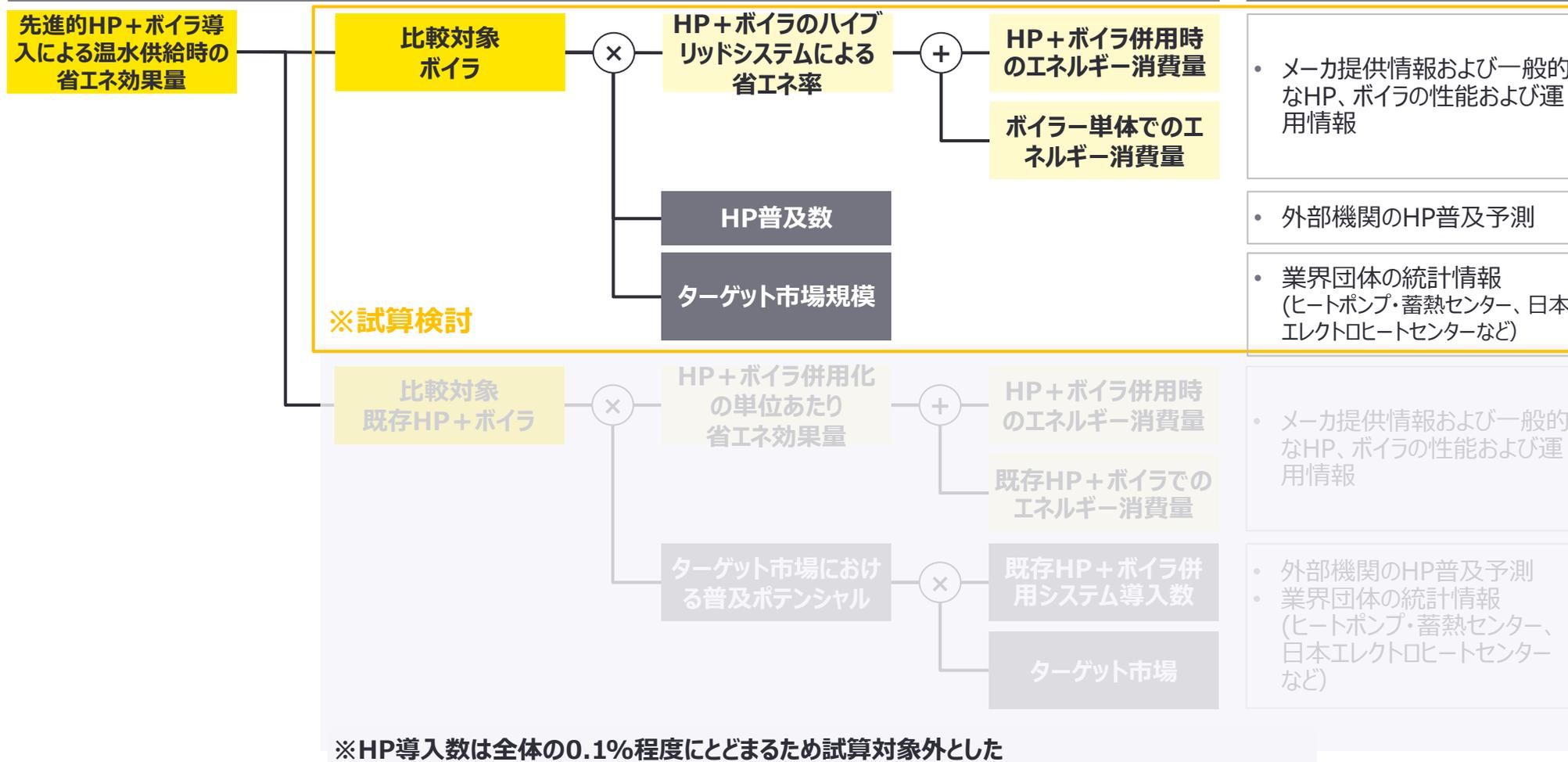
先進的HP + 既存ボイラのハイブリッドシステム*を対象とし、省エネ率はHP性能、市場は統計情報、普及数は外部情報を参考に、既存ボイラの利用と比較して省エネ効果を試算しました

* 本システムでは、ヒートポンプは70℃までの加温、ボイラは70～90℃までの加温を想定しています。蒸気製造は想定しておりません。

■ 試算モデル案

※凡例： **試算結果**、**省エネ効果量**、**普及量/率**

必要なデータ候補



先進的HP + 既存ボイラのハイブリッドシステムは70~90℃の温水製造に強みを擁しているため、工場のエネルギー需要のうち温水製造を試算ターゲットといたします

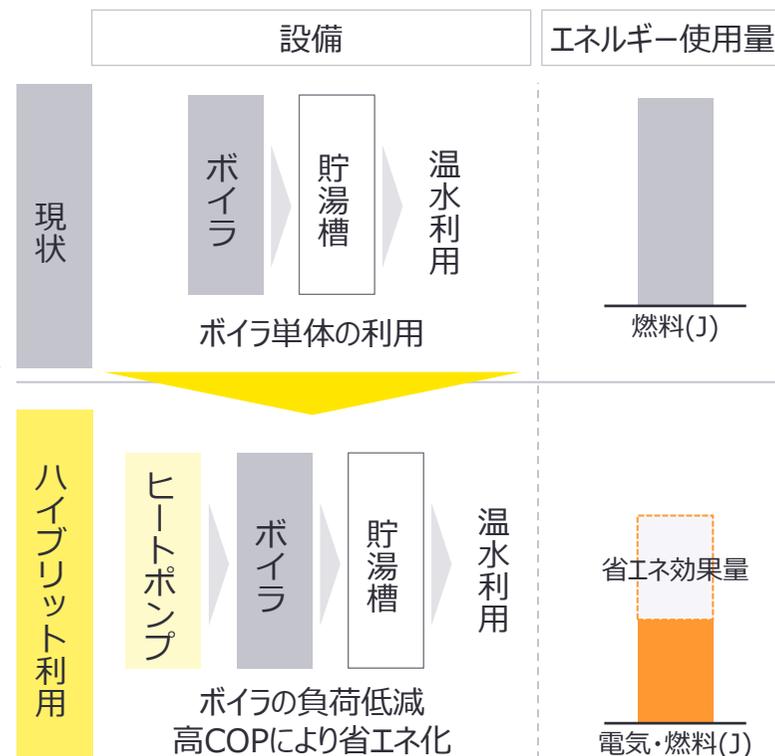
- 先進的HPとボイラのハイブリット利用は、工場の温水利用の省エネに貢献する
- 現状、ボイラ単体で温水を供給しているシステムに、先進的HPを追加で導入し、先進的HPとボイラのハイブリット利用を適用する

技術適応の全体像

■ 工場エネルギー量および分類



■ 先進的HPのハイブリッド利用



現状ハイブリット利用でのエネルギー形態は温水を想定

※温水供給の事例のため蒸気などの高温は想定外

国内の温水製造需要は168PJ*であり、日本の製造業の最終エネルギー消費量の3.3%に相当する比較的大きな市場です

*日本の製造業の最終エネルギー消費量は5,007PJ¹

■市場(温水HP代替ポテンシャル)の推計

- ヒートポンプ・蓄熱センター、日本エレクトロヒートセンターにより、産業部門のHP導入に関する調査報告が実施されている
- 温水HPへの代替が可能であるエネルギー量(代替ポテンシャル)が業種・プロセスごとに推計されている(下表)
- HPとボイラのハイブリット利用で想定される温水の温度帯(70℃とした)を集計し、温水HPが代替可能なエネルギー量は168.7PJであり、日本の製造業の最終エネルギー消費量の3.3%に相当する比較的大きな市場である

温水HPの市場²

順位	業種	プロセス	温度帯	温水HP(代替が見込まれる主な温度帯：～100℃)		
				温水ポテンシャル(GJ)：温水HPで代替可能な温度帯で使用される燃料・蒸気のエネルギー量	業種全体のエネルギー使用に占める割合	現状のプロセス別電化率
1	食料品(調理品(中食))	洗浄	40～60℃	18,853,000	36.4%	4%
2	繊維工業	乾燥	40～250℃	15,664,400	25.3%	9%
3	化学工業(有機化学)	洗浄	50～80℃	14,842,000	4.0%	7%
4	食料品(調味料)	濃縮・蒸留	100℃前後	14,588,000	65.0%	0%
5	化学工業(有機化学)	反応	60～300℃	13,876,000	3.7%	7%
6	鉄鋼業	メッキ・表面処理	30～700℃	12,538,800	0.6%	2%
7	化学工業(無機化学)	洗浄	50～80℃	11,949,000	8.2%	1%
8	化学工業(医薬品)	洗浄	50～80℃	11,866,000	18.2%	4%
9	窯業・土石製品	洗浄	40～60℃	9,428,000	3.3%	8%
10	化学工業(無機化学)	その他製造プロセス	80～150℃	7,282,500	5.0%	0%
11	プラスチック製品	加工	40～300℃	7,063,000	11.4%	14%
12	窯業・土石製品	その他製造プロセス	—	5,541,880	2.0%	25%
13	輸送用機械器具	洗浄	40～60℃	5,060,000	5.4%	40%
14	食料品(調理品(中食))	乾燥	70～100℃	4,879,000	9.4%	2%
15	飲料・たばこ・飼料(清涼飲料)	殺菌	40～150℃	4,729,900	23.5%	3%
16	非鉄金属製品	メッキ・表面処理	300～1,000℃	4,220,100	5.3%	7%
17	プラスチック製品	成形余熱	20～280℃	4,213,800	6.8%	49%
18	化学工業(有機化学)	その他製造プロセス	30～150℃	4,103,500	1.1%	62%
19	飲料・たばこ・飼料(酒類)	殺菌	60～65℃	3,770,000	16.2%	0%
20	繊維工業	染色	80～140℃	3,644,400	5.9%	2%

先進的HPとボイラのハイブリット利用で代替可能なエネルギー量

- 推計方法：
ハイブリット利用での温水利用は70℃以上が想定されている
確実に70℃以上の温度帯でない項目(40～60℃など)は除外した
- 推計結果：168.7 PJ
- 備考：
温度帯の分類状況により、項目によって70℃以下の温度帯が含まれていることに注意
温水供給の事例のため蒸気などの高温の温度帯は対象外

¹令和4年度(2022年度)におけるエネルギー需給実績(確報)(令和6年4月 資源エネルギー庁 総務課戦略企画室)、

²産業部門のヒートポンプ導入に関する調査報告～ヒートポンプへの代替ポテンシャル調査、導入事例に基づくコスト試算～(令和6年6月5日 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター) より弊社作成

温水供給における先進的HPのCOPは10.2、一般的な既存ボイラの効率は90%であることから、20℃の水を90℃に加温する際の本システムによる省エネ率は65.1%となります

■ 試算想定：

- 既存：ボイラにて20℃の給水から90℃の温水を供給
- 新規：先進的HPを追加で設置する。20℃→70℃はHPで加温、70℃→90℃はボイラで温水を製造

■ 試算設定：

- 先進的HPのCOPは10.2と設定 出典：https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/documents/2021DSM/K7_miura.pdf
- ボイラの性能は90%と設定 出典：https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2024NewsRelease/R4DenkaFukyuMitoshi24.pdf、p122、ボイラ効率の想定より
- 90℃の温水を1,000,000L供給する設定

■ 結果：上記の比較により、65.1%の省エネ率が導出された(下表)

- 既存ボイラの継続利用に対する先進的HP + ボイラハイブリットシステムの省エネ率

	設備構成			運用方法				熱出力		消費電力量 (kWh)	消費一次 エネルギー量(kWh)	エネルギー 投入量(kWh)	省エネ率 (%)	
	設備	性能	特徴	給水温度	供給温度	潜熱回収 率 (%)	総水量 (L)	熱出力 (kcal)	熱出力 (kWh)					
既存	ボイラ	90%	ボイラ 効率	一般的なボイラでピーク用に活用。製造した蒸気は減圧して90℃温水として提供（状態変化によるロスなしと仮定）	20	90	100%	1,000,000	70,000,000	81,410	-	90,456	-	-
	合計											90,456		
新規	ヒート ポンプ	10.2	COP	廃温水による熱交換（20℃→44℃）、過冷却器による顕熱回収（44℃→54℃）を加えて高COPを実現。ヒートポンプ内の冷媒を45℃⇄85℃の範囲で利用	20	70	-	1,000,000	50,000,000	58,150	5,701.0	-	-	-
	ボイラ	90%	ボイラ 効率	HPで予熱した給水を使用し温水を製造する。製造した蒸気は減圧して100℃温水として提供（状態変化によるロスなしと仮定）	70	90	100%	1,000,000	20,000,000	23,260	-	25,844	-	-
	合計												31,545	65.1%

産業ヒートポンプの普及率は、国際エネルギー機関のネットゼロシナリオ*から想定すると2050年に30%まで上昇すると見込まれます

*2050年に世界全体でネットゼロを達成するシナリオ

■ 産業ヒートポンプの普及率の設定

- 国際エネルギー機関(IEA*)はネットゼロシナリオにおける世界全体の産業ヒートポンプの普及率を推定している
- 0~400°Cの熱需要でのヒートポンプのシェアは2030年に約15%、2050年に約30%と報告されている
- IEAのネットゼロシナリオを参考にベストケースを設定し、現状の普及の伸びが続く場合をワーストケースとした

*International Energy Agency

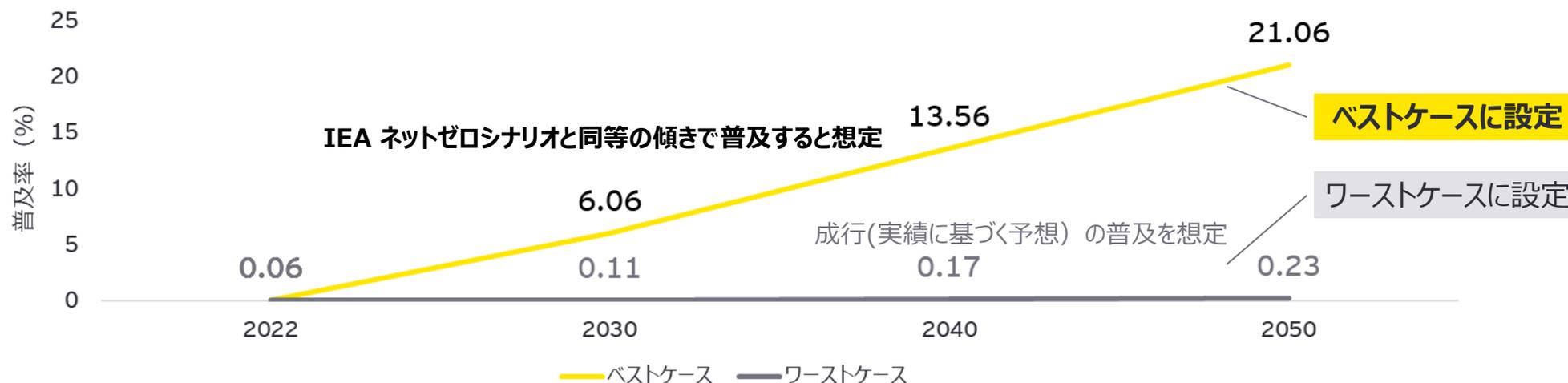
■ 産業ヒートポンプの普及率(%) *

	2022	2025	2030	2040	2050	出典
実績	0.06					業界団体の文献から引用 ¹
成行(実績に基づく予想)		0.08	0.11	0.17	0.23	2013-2020年の実績から推定 ¹
IEAネットゼロシナリオ			15	-	30	IEA NZEシナリオから引用 ²

- 2022年以降、IEAネットゼロシナリオと同等の傾きで普及すると仮定した場合をベストケースとした
- 成行をワーストケースとした

*本検討での普及率とは熱需要に対するシェア(=HPが供給するエネルギー量/熱需要量)とする

産業ヒートポンプの普及率



¹令和4年度 電化普及見通し調査報告書

²Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector (iea.blob.core.windows.net)

温水供給を目的とした先進的HP + 既存ボイラのハイブリッドシステムの導入によって、日本全体で2050年において23PJ*の省エネが実現できます

*日本の製造業の最終エネルギー消費量は5,007PJ¹

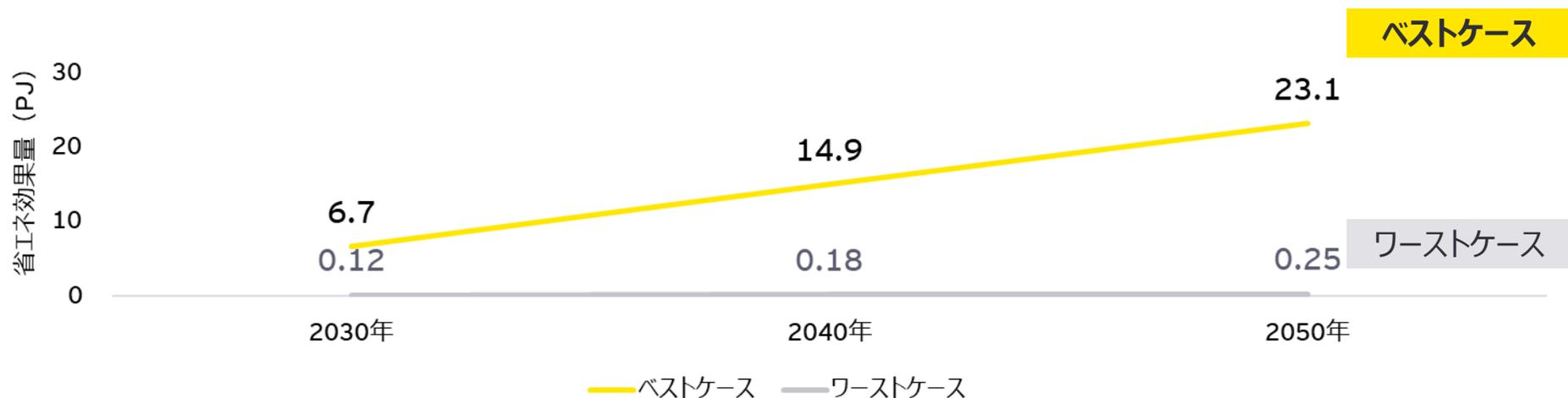
- 先進的HP + 既存ボイラのハイブリッドシステムの普及による省エネ効果
 - ・ 省エネ率：既存ボイラとの比較より、65.1%と設定
 - ・ ターゲット市場：温水HP代替ポテンシャルより、168.7PJと設定
 - ・ 普及率/シナリオ：IEAのネットゼロシナリオをもとにベストケース、過去の実績からの成行をワーストケースに設定
 - ・ 試算式：ターゲット市場×省エネ率×普及率

■ 試算結果

シナリオ	【ターゲット市場】 温水HP代替ポテンシャル(PJ)	【省エネ率】 先進HPとボイラ省エネ効果	【普及率】			省エネ効果量(PJ)		
			2030年	2040年	2050年	2030年	2040年	2050年
ベストケース	168.7	65.1%	6.06%	13.56%	21.06%	6.7	14.9	23.1
ワーストケース	168.7	65.1%	0.11%	0.17%	0.23%	0.12	0.18	0.25

※2050年のベストケースの23.1PJは日本のエネルギー消費量の約0.46%

先進的HP+ボイラのハイブリッドシステムによる省エネ効果



¹令和4年度(2022年度)における エネルギー需給実績(確報)(令和6年4月資源エネルギー庁総務課戦略企画室)

スマートファクトリーの先進事例を世界経済フォーラムが認定しており、事例の業種から機械器具製造、電子部品製造、ヘルスケア製品製造、飲料品製造について試算可能と想定します

■ スマートファクトリーの先進事例

- 世界経済フォーラムが先進的な工場を「ライトハウス*」として認定 *第四次産業革命の先を照らす灯台(=ロールモデル)を意味する
- エネルギー/GHG排出量/廃棄物の削減が優れたものは、サステナビリティ・ライトハウスと分類され、20事例存在
- 事例に挙げられている機械器具製造、電子部品製造、ヘルスケア製品製造、飲料品製造で試算可能と想定**

■ グローバルライトハウス

- 2018年に世界経済フォーラムがマッキンゼー & カンパニーと協力して設立
- 第4次産業革命技術を用いた先進的な工場をライトハウスに認定
- 現在、172箇所が認定。そのうち、省エネ面などで優れるサステナビリティライトハウスは20箇所

■ ライトハウスは下記に分類される

- サステナビリティ：エネルギー/GHG排出量/廃棄物の削減が先進的
- ファクトリー：特定の生産現場の変革が先進的
- E2E：バリューチェーン全体に影響をもたらす技術を展開

サステナビリティ・ライトハウス

■ サステナビリティ・ライトハウス一覧(20事例) *業種はEYが便宜的に分類

業種*	工場	()内は所在地
機械器具製造 <small>※例：産業オートメーション機械、家電</small>	<ul style="list-style-type: none"> Foxconn Industrial Internet - Shenzhen(中) Midea - Hefei(中) Haier - Tianjin(中) Arçelik - Ulmi(ルーマニア) Siemens - Amberg(独) Siemens - Chengdu (中) 	
電子部品製造 <small>※例：ストレージ、インバータ、無線機等</small>	<ul style="list-style-type: none"> Micron - Singapore(シンガポール) Western Digital - Shanghai(中) Western Digital - Penang(マレーシア) Ericsson - Lewisville(米) Flex - Sorocaba(ブラジル) Schneider Electric - Hyderabad(印) Schneider Electric - Le Vaudreuil(仏) Schneider Electric - Lexington(米) 	
ヘルスケア製品製造 <small>※例：医薬品、化粧品、洗剤</small>	<ul style="list-style-type: none"> Johnson & Johnson - Xi'an(中) Kenvue - Bangkok(タイ) Unilever - Dapada(印) Johnson & Johnson - Cork(アイルランド) Henkel - Düsseldorf(独) 	
飲料品製造	<ul style="list-style-type: none"> Tsingtao Brewery - Qingdao(中) 	

事例の業種ごとの消費エネルギーは、機械器具製造や電子部品製造では電力の割合が高く、ヘルスケア製品製造や飲料品製造では熱の使用割合が高いことが特徴です

■ ライトハウスに認定された業種のエネルギー使用状況

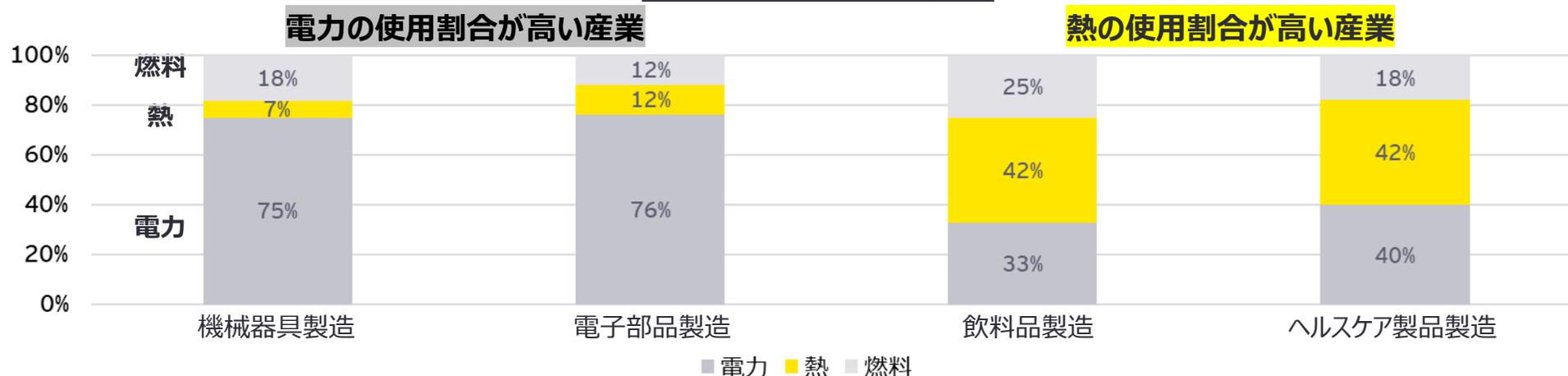
- ・ サステナビリティ・ライトハウスに認定された業種は、機械器具製造、電子部品製造、ヘルスケア製品製造、飲料品製造
- ・ 機械器具製造と電子部品製造で使用されるエネルギーは、主に電力である
- ・ ヘルスケア製品製造と飲料品製造で使用されるエネルギーは、主に熱である

■ 業種ごとの最終エネルギー消費

*石炭、石炭製品、原油、石油製品、天然ガス、都市ガスが含まれる。用途(電力/熱として)の区分は不可。原料利用はなし

業種 ※EYが便宜的に分類	対象となる産業分類 ※区分は日本標準産業分類に基づく	最終エネルギー消費量(TJ)				割合		
		燃料*	電力	熱	合計	燃料*	電力	熱
機械器具製造	汎用機械器具製造業、生産機械器具製造業、業務用機械器具製造業、電気機械器具製造業	18,142	73,879	6,420	98,440	18%	75%	7%
電子部品製造	電子部品・デバイス・電子回路製造業 情報通信機械器具製造業	13,197	85,845	13,356	112,398	12%	76%	12%
飲料品製造	飲料・たばこ・飼料製造業	12,150	15,836	20,090	48,075	25%	33%	42%
ヘルスケア製品製造	化学工業 (石油化学製品/アンモニア及びアンモニア誘導品/ソーダ工業製品を除く)	20,993	46,617	49,354	116,964	18%	40%	42%

消費エネルギーの内訳(%)



電力需要が大きい業種のうち、詳細な事例*が掲載されていた機械器具製造と、熱需要が大きいヘルスケア製品製造を試算対象としました

*シーメンス社の事例

■ スマートファクトリー導入事例と、スマートファクトリー導入による国内省エネポテンシャル

スマートファクトリー導入事例				スマートファクトリー導入による国内省エネポテンシャル		
業種 ※EYが便宜的に分類	製品分類 () は事例数	導入技術	エネルギー削減率	対象となる産業分類 ※区分は日本標準産業分類に基づく	当該産業の消費エネルギー量 (TJ/y)	省エネポテンシャル *(TJ/y)
機械器具製造	・産業オートメーション製品(2) ・家電(4)	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインによる設計・プロセス・エネルギーの最適化 エネルギーマネジメントシステム AI廃棄物分類 AIによる生産スケジュール最適化 	17～ 35%	<ul style="list-style-type: none"> 汎用機械器具製造業 生産機械器具製造業 業務用機械器具製造業 機械器具製造 	98,440 (総合エネルギー統計から集計)	16,384～ 34,454
電子部品製造	・電子部品(6) 例：ストレージ、インバータ、無線機等	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインによるプロセスの最適化 エネルギーマネジメントシステム AIによるエネルギー需要予測・生産機器の予兆保全 生産管理システム 	24～ 59%	<ul style="list-style-type: none"> 電子部品・デバイス・電子回路製造業 情報通信機械器具製造業 	112,398 (総合エネルギー統計から集計)	26,975～ 66,314
ヘルスケア製品製造	・医薬品(2)	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインによるプロセスの最適化 エネルギーマネジメントシステム 	23%	<ul style="list-style-type: none"> 化学工業 (うち石油化学製品、アンモニア及びアンモニア誘導品、ソーダ工業製品を除く) 	116,964 (総合エネルギー統計から集計)	26,901～ 44,446
	・ホームケア(3) スキンケア、洗剤	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインによる設計・プロセス・冷却システムの最適化 調達から納品までの情報管理およびスケジュールの最適化 	31～ 38%			
飲料品製造	・ビール(1)	認定後間もないため詳細情報なし (2024年10月認定)	25%	候補なし 「飲料・たばこ・飼料製造業」は含まれる業種が多いため適応不可の想定	—	—

試算検討

出典：以下の情報をもとに作成

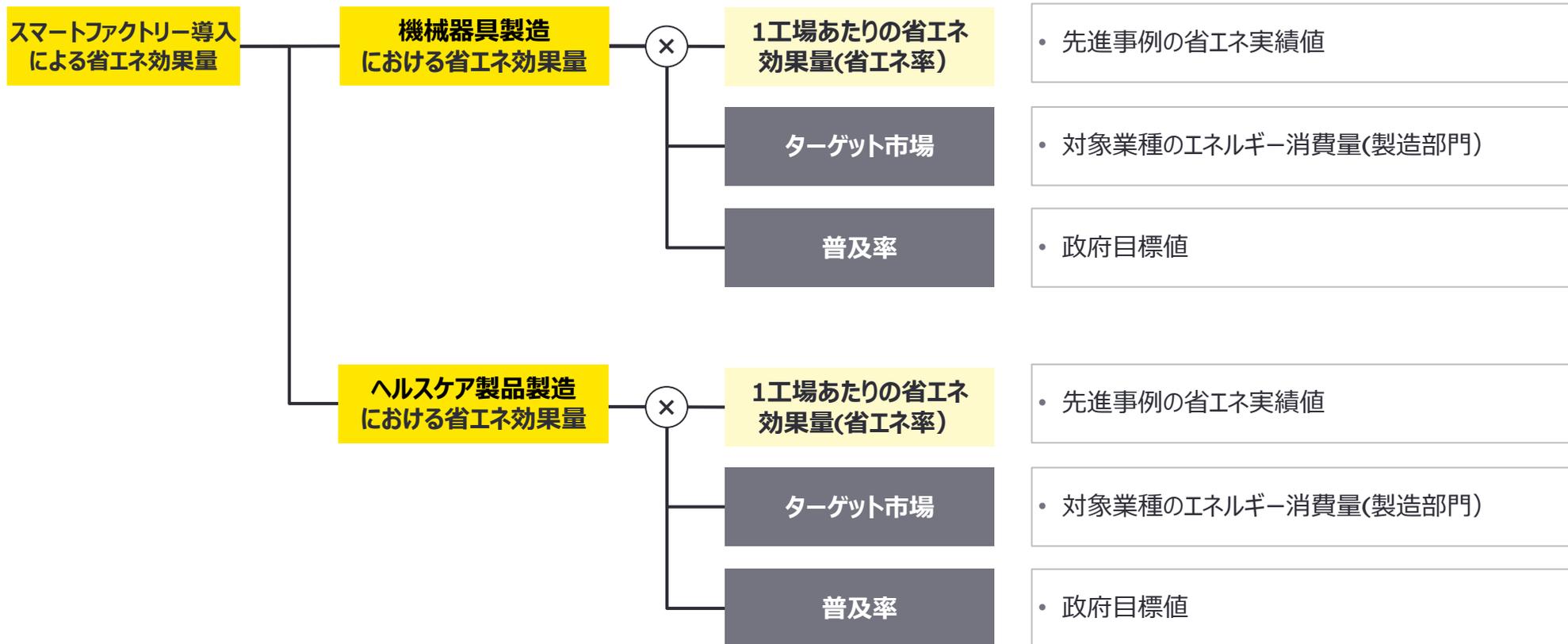
・World economic forum ホームページ [Lighthouses | Global Lighthouse Network \(weforum.org\)](https://www.weforum.org/)・経済産業省 資源エネルギー庁 「令和4年度総合エネルギー統計」 [集計結果又は推計結果\(総合エネルギー統計\)](#) | [資源エネルギー庁](#)

*省エネポテンシャル = エネルギー削減率×消費エネルギー量

省エネ効果量は、1工場あたりの省エネ効果量(省エネ率) ×ターゲット市場×普及率で計算し、省エネ率は事例値、市場は統計値、普及率は政府目標値を採用します

■ 試算モデル案 ※凡例： 試算結果、省エネ率、市場/普及率

必要なデータ候補



産業オートメーション製品の生産工場では、総合的エネマネシステム、AIを活用した廃棄物分別、デジタルツインによる持続可能な設計によってエネルギー消費量を24%削減しています

■ 事例概要 シーメンス社 成都工場

- 2019年に中国・成都に建設されたシーメンス社の産業オートメーション製品工場
- 産業オートメーション製品のほか中国顧客向けのPC「Simatic IPC 3000 SMART」を製造
- 総合的なエネルギー管理システム、AIによる廃棄物分別、デジタルツインによる持続可能な設計などの技術が導入
- 2023年にサステナビリティ・ライトハウスに認定される

導入技術

結果

総合的なエネルギー管理システム

- 工場内のエネルギー消費を自動的かつリアルタイムでモニタリングするシステムを構築し、エネルギー消費の異常値が特定された場合に技術者が直ちに対応できる体制を整備した。
- この予防保全によりダウンタイムの縮小、工場稼働率やエネルギー効率の改善を実現している。

AIとロボットによる廃棄物分別の自動化

- AIの視覚認識機能とロボットを活用することによって、16種類の廃棄物を自動的に分別し、廃棄物をリサイクル可能にしたことで、廃棄物量を半減させることに成功した。

デジタルツインによる持続可能な設計

- デジタルツインは物理的なモノやプロセスをデジタルで再現する技術である。
- デジタル上でシミュレーションすることで、実際の製品やプロセスの動作、パフォーマンスを正確に再現することが可能となる。
- これにより、設計フェーズで省資源およびリサイクル可能な設計(持続可能な設計)を実現している。

✓ 製品生産量92%増加

✓ 総廃棄物量48%削減

✓ **エネルギー消費量24%削減**

国内の機械器具製造のエネルギー消費量は、製造業のエネルギー消費量の1.96%に相当し、省エネが進まない場合は将来的にも同等のエネルギーの需要が見込まれます

■ 機械器具製造のエネルギー消費量

- 資源エネルギー庁総合エネルギー統計からエネルギー消費量を把握
- **機械器具製造の燃料・電力・蒸気・熱のエネルギー消費量の合計は98,440TJ**
- 電気機器等の生産は一定水準を維持しており、**省エネが進まない場合は将来的にも同等のエネルギーが必要**

■ 機械器具製造の業種設定

- 日本産業分類の中分類における汎用機械器具製造業、生産機械器具製造業、業務用機械器具製造業、電気機械器具製造業を「機械器具製造」と設定

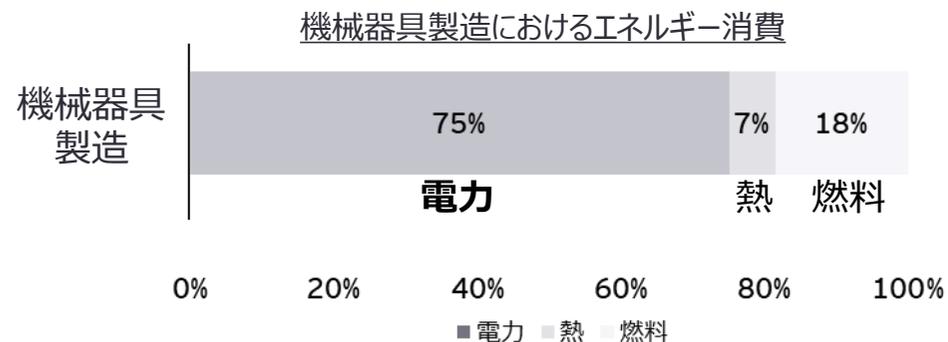
■ エネルギー消費量

- 当業種のエネルギー消費量は98,440PJ(製造業の1.96%)
- 電力が75%と大部分を占める

業種	電力	燃料*2	熱	合計(TJ)
機械器具製造*1	73,879	18,142	6,420	98,440

*1 総合エネルギー統計における汎用機械器具製造業、生産機械器具製造業、業務用機械器具製造業、電気機械器具製造業の合計値

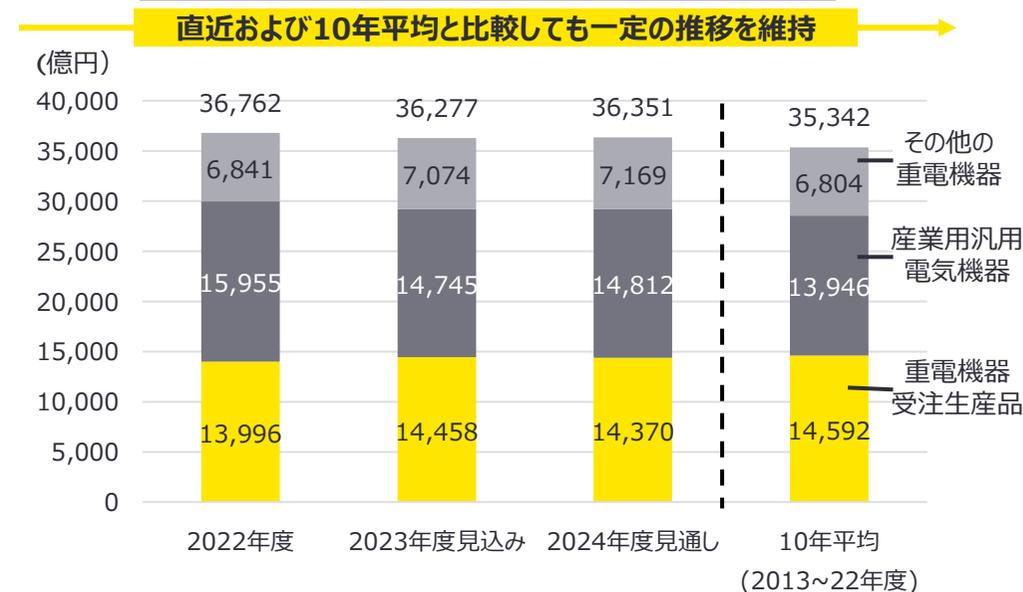
*2 石炭、石炭製品、原油、石油製品、天然ガス、都市ガスが含まれる。用途(電力/熱として)の区分は不可。原料利用はなし



■ 国内における当業種の市場

- 日本電機工業会によると電気機器等*の国内生産金額は一定の水準を維持 *機械器具製造における製造品の一つ
- 省エネ対策が進まない場合は、将来的にも同等のエネルギーの需要が見込まれる

(例) 電気機器・重電機器の国内生産額推移



スマートファクトリー技術の普及率は、地球温暖化対策計画の目標値から推定すると2050年に48%まで上昇すると見込まれます

■ スマートファクトリー技術の普及率

- 地球温暖化対策計画の「FEMS*を利用した徹底的なエネルギー管理の実施」の“FEMSのカバー率”を採用
- 計画での見込みをベストケースとし、過去と同等の普及に留まる場合をワーストケースとした
- 2040年および2050年などの計画に含まれない数値は推定した

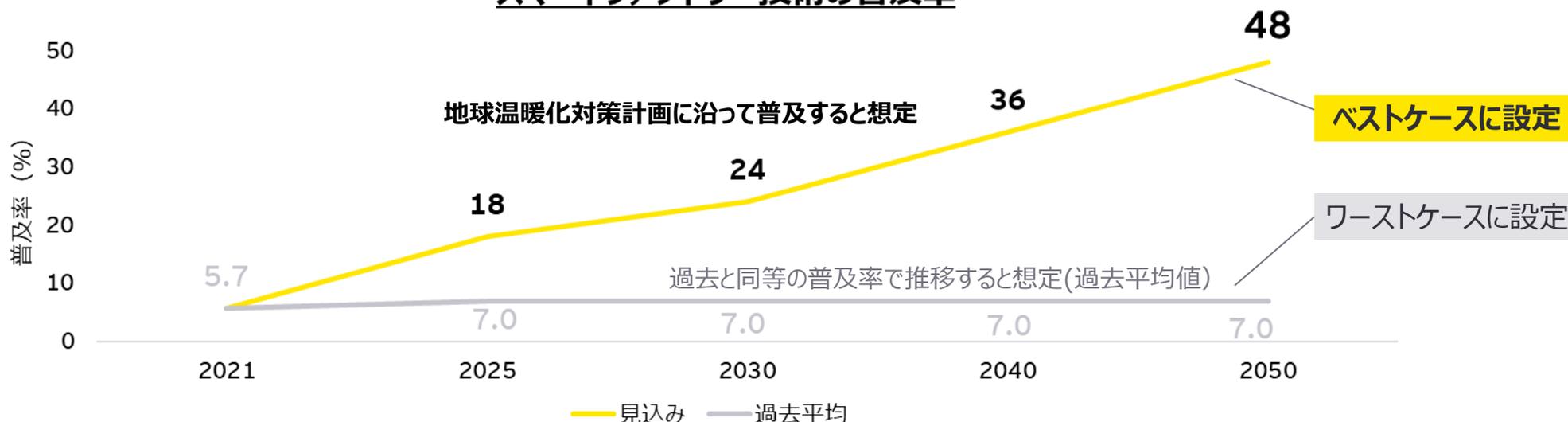
*Factory Energy Management System：工場でのエネルギー使用状況の把握および機器の制御などにより省エネに貢献

■ FEMSのカバー率(%)：製造業の総消費エネルギーに対し、FEMSが導入された設備で消費されるエネルギーの割合

年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2025	2030	2040	2050
実績	5	5.6	6.1	6.5	6.5	7.6	10.7	9.2	5.7	6.7				
見込み											18	24	(36)	(48)

※()内は、2025-2030年の変化率から推定

スマートファクトリー技術の普及率



機械器具製造におけるスマートファクトリー技術の普及によって、日本全体で2050年に最大11.3PJ*の省エネを実現できます

*日本の製造業の最終エネルギー消費量は5,007PJ¹

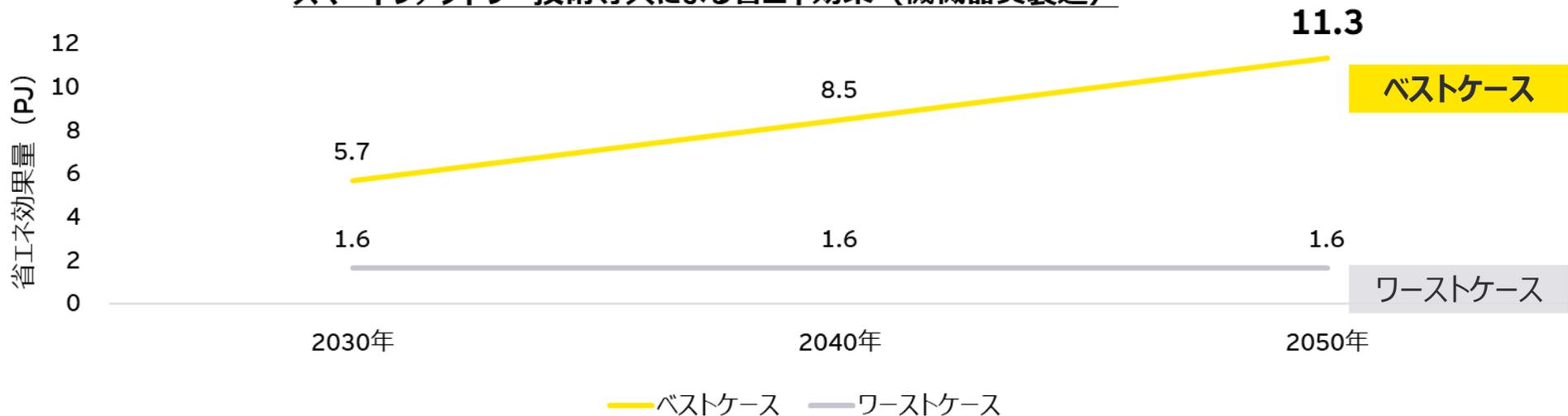
- スマートファクトリー技術の普及による省エネ効果(機械器具製造)
 - ・ 省エネ率：産業オートメーション製品工場の事例を参考に、技術導入により24%エネルギーが削減されると仮定
 - ・ ターゲット市場：総合エネルギー統計から該当する業種の消費エネルギーを集計
 - ・ 普及率/シナリオ：地球温暖化対策計画のFEMSカバー率から設定
 - ・ 試算式：ターゲット市場×省エネ率×普及率

■ 試算結果

シナリオ	【ターゲット市場】 業種エネルギー消費量(PJ)	【省エネ率】 事例の省エネ実績	【普及率】			省エネ効果量(PJ)		
			2030年	2040年	2050年	2030年	2040年	2050年
ベストケース	98.4	24%	24%	36%	48%	5.7	8.5	11.3
ワーストケース	98.4	24%	7%	7%	7%	1.6	1.6	1.6

※2050年のベストケースの11.3PJは日本のエネルギー消費量の約0.2%

スマートファクトリー技術導入による省エネ効果（機械器具製造）



¹令和4年度(2022年度)における エネルギー需給実績(確報)(令和6年4月資源エネルギー庁総務課戦略企画室)

ヘルスケア製品の工場では、製品設計とプロセスの最適化や、稼働状況の監視などによって、30%前後のエネルギー削減を達成しています

■ ライトハウスに認定されてるヘルスケア製品製造の事例

事例	生產品目	導入技術	エネルギー削減率
Henkel Düsseldorf(独)	洗濯用洗剤	<ul style="list-style-type: none"> 材料の混合から最終製品の出荷までの工程をデジタルツインを用いて監視し、プロセスの最適化やエラー特定の早期化に貢献 	38%
Kenvue* Bangkok(タイ) <small>*J&Jからスピンオフしたヘルスケアカンパニー</small>	マウスウォッシュ スキンケア用品	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインによる冷却システムのエネルギー使用の最適化 データ分析とロボットを用いた工程の自動化によるコンテナ積載のスケジュール最適化 	34%
Unilever Dapada(印)	住宅用洗剤	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー管理システムと機械学習によるエネルギー使用の最適化 AIによる製品開発の最適化と工程の削減 デジタルツイン・シミュレーションによる製造プロセスの最適化 	31%
Johnson & Johnson Xi'an(中)	錠剤、カプセル クリームチューブ	<ul style="list-style-type: none"> AIアルゴリズムを使用したプロセス制御 デジタルツインの活用 	23%
Johnson & Johnson Cork(アイルランド)	バイオ医薬品	<ul style="list-style-type: none"> センサー設置によるエネルギーや水の使用、廃棄物の排出のリアルタイムでの監視 デジタルツインの活用 	情報なし

エネルギー削減率の中央値は32.5%

国内のヘルスケア製品製造では、国内の製造業の最終エネルギー消費量の2.3%に相当し、省エネが進まない場合は将来的にも同等のエネルギーの需要が見込まれます

■ ヘルスケア製品製造のエネルギー消費量

- 総合エネルギー統計の業種区分において、ヘルスケア製品製造は、「他 化学工業*」に該当すると想定
*化学工業のうち石油化学製品、アンモニア及びアンモニア誘導品、ソーダ工業製品を製造する業種を除いた区分
- ヘルスケア製品製造の燃料・電力・熱のエネルギー消費量の合計は116,964TJと設定**
- 国内での生産は一定水準を維持しており、省エネが進まない場合は将来的にも同等のエネルギーが必要**

■ ヘルスケア製品製造の業種設定

- 化学工業(日本産業分類)のうち石油化学製品、アンモニア及びアンモニア誘導品、ソーダ工業製品の製造を除いた業種と設定
- 試算に用いるエネルギー消費量は他化学工業(総合エネルギー統計)で設定

■ エネルギー消費量

- 当業種のエネルギー消費量は116,964TJ(製造業の2.3%)
- 熱需要が最も多く42%を占める

業種	電力	燃料*2	熱	合計(TJ)
ヘルスケア製品製造*1	46,617	20,993	49,354	116,964

*1 総合エネルギー統計の「他 化学工業」の数値

*2 石炭、石炭製品、原油、石油製品、天然ガス、都市ガスが含まれる。用途(電力/熱として)の区分は不可。原料利用はなし

ヘルスケア製品製造における消費エネルギー内訳



■ 国内における当業種の市場

- 日本製薬団体連合会、日本石鹼洗剤工業会、日本化粧品工業会によると各製品の生産・販売・出荷量は一定を推移
- 省エネ対策が進まない場合は、将来的にも同等のエネルギーの需要が見込まれる

(例) 医薬品の国内生産額推移 ※出典より弊社作成



出典:

日本製薬団体連合会「医薬品製造業における地球温暖化対策の取組み」
日本石鹼洗剤工業会「洗剤の販売推移」
日本化粧品工業会「化粧品統計」より弊社作成

ヘルスケア製品製造におけるスマートファクトリー技術の普及によって、日本全体で2050年に最大18.2PJ*の省エネ効果が見込まれます

*日本の製造業の最終エネルギー消費量は5,007PJ¹

■ スマートファクトリー技術の普及による省エネ効果(ヘルスケア製品製造)

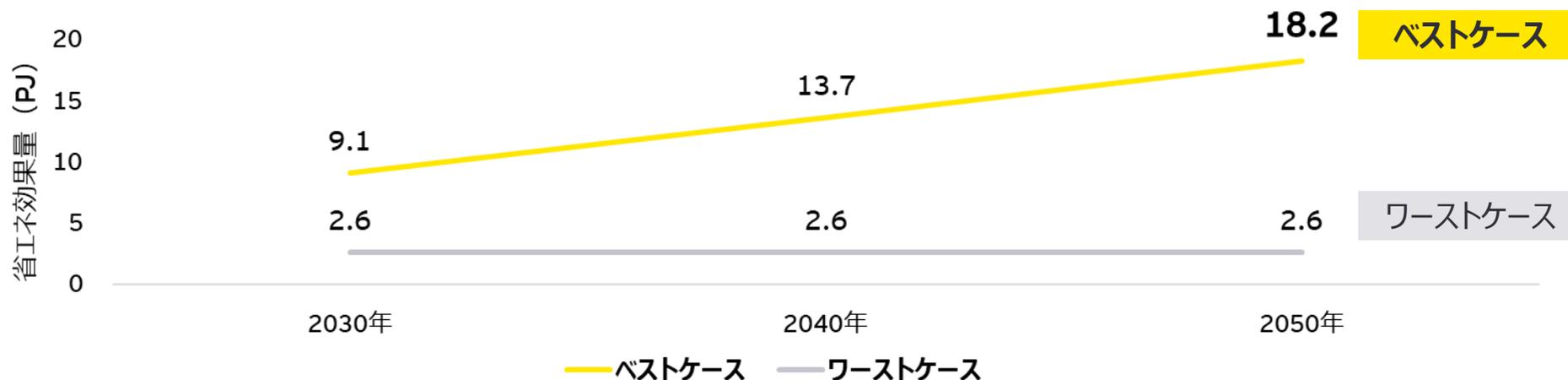
- 省エネ率：ヘルスケア製品製造の工場の事例を参考に、技術導入により32.5%のエネルギーが削減されると仮定。数値は事例の中央値を採用
- ターゲット市場：総合エネルギー統計から該当する業種のエネルギー消費量を集計
- 普及率/シナリオ：地球温暖化対策計画のFEMSカバー率から設定 ※機械器具の頁を参照ください
- 試算式：ターゲット市場×省エネ率×普及率

■ 試算結果

シナリオ	【ターゲット市場】 業種エネルギー消費量(PJ)	【省エネ率】 事例の省エネ実績	【普及率】			省エネ効果量(PJ)		
			2030年	2040年	2050年	2030年	2040年	2050年
ベストケース	116.9	32.5%	24%	36%	48%	9.1	13.7	18.2
ワーストケース	116.9	32.5%	7%	7%	7%	2.6	2.6	2.6

※2050年のベストケースの18.2PJは日本のエネルギー消費量の約0.36%

スマートファクトリー技術導入による省エネ効果（ヘルスケア製品製造）



Appendix③

アンケート調査結果一覧

3. 日本での省エネ取組の現況 > 3.1 アンケート実施概要

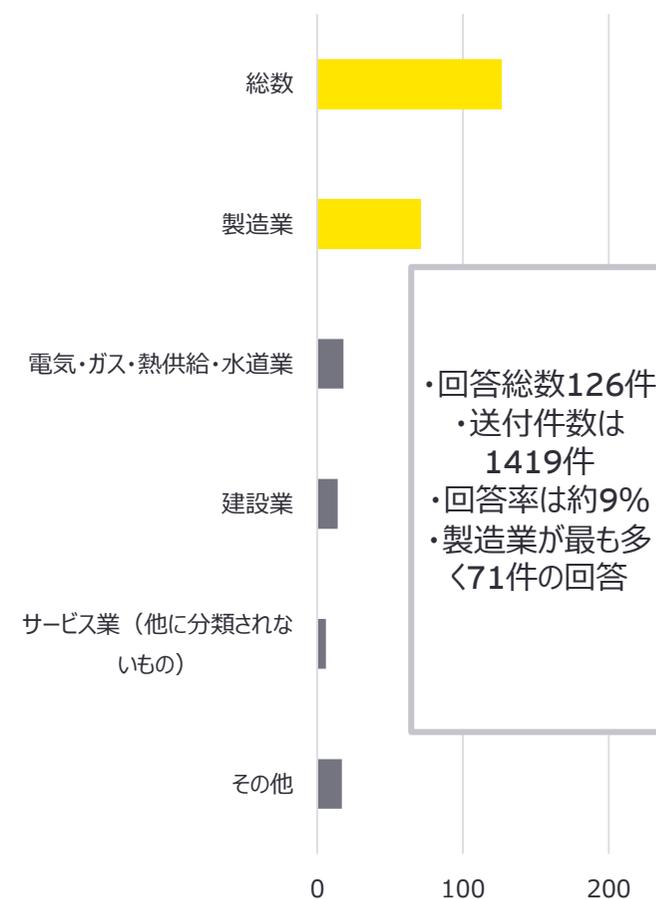
省エネ取組上の課題や補助金活用状況について11/25~12/6にかけてアンケートを実施し、製造業を中心に計126社から回答を収受

アンケート実施概要

検証項目 (目的)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 省エネ効果創出に繋がる先進事例の過不足・妥当性 ▶ 情報通信技術の活用状況(As-Is)と導入済みの事例(To-Be)での効果 ▶ 省エネ効果創出に向けた先進事例の社会実装課題(初期仮説)の検証 ▶ 省エネ施策の活用状況
方式	<ul style="list-style-type: none"> ▶ セキュリティ性の高い“Qualtrics”によるwebアンケート <ul style="list-style-type: none"> ▶ アンケートURL/QRコードを送付し、あらゆるデバイスで回答受付可能
実施時期	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 第1回：11/25(月)~12/4(水) ▶ 第2回：11/27(水)~12/6(金)
送付対象	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 第1回：事例集記載の中小・スタートアップ企業 ▶ 第2回：貴省関係事業団体

回答者総数・構成

回答総数と業種別の構成



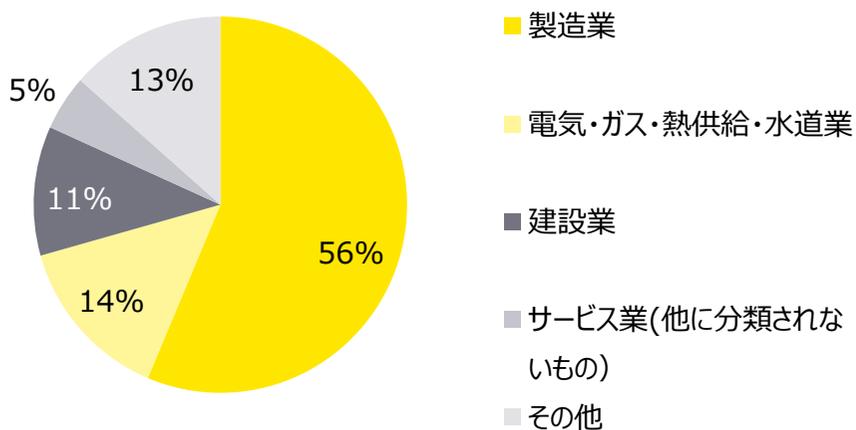
・回答総数126件
 ・送付件数は1419件
 ・回答率は約9%
 ・製造業が最も多く71件の回答

次スライド以降でQ1-1-3～Q5-3-4における選択式の設問のアンケート分析結果についてご共有させていただきます

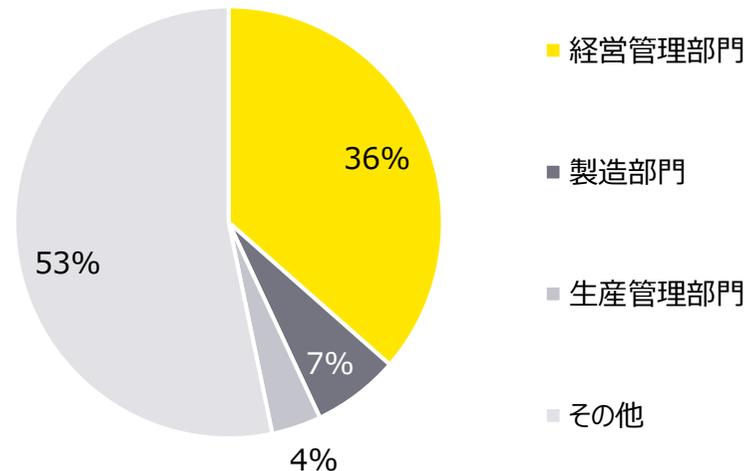
No	回答	質問内容
1-1-1～4	記述	貴社名をご記載ください(業種は選択)
1-1-5	選択	中小企業に該当しますか
1-2-1～2	選択	ご所属の部署についてご回答をお願いします(その他の場合は記述)
1-2-3	選択	省エネにも資する技術(製品・サービス)の開発・販売等を自ら手掛けている事業者か、ユーザー事業者かの回答をお願いします。
2-1-1	選択	貴社で現在エネルギー効率改善に向けて研究開発や導入を推進/検討中の技術/社会実装の課題/想定している適用先はありますか。技術単位でご回答ください。
2-1-2～7	記述	ご回答いただいた貴社の技術について、コアとなる要素技術をご教示ください。
3-1-1	選択	現在、貴社の業務プロセスにおいてデジタル技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取り組みを実施されていますか
3-1-2	選択	貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施・計画するにあたっての主な相談先についてご記載をお願いします
3-1-3	記述	相談先について、差し支えなければ具体的に記載をお願いします。(企業、団体名)
3-2-1	選択	デジタル技術を活用した省エネの取組を実施した時期のご選択をお願いします
3-2-2	選択	導入したデジタル技術で活用されている省エネにも資する技術をご選択をお願いします
3-2-3	選択	デジタル技術の導入により関係する製品やサービス、プロセスでどの程度、事業所全体の省エネ効果が生じましたか
3-2-5	記述	デジタル技術を具体的にどのように活用していますか。(例：AIを活用して生産管理、IoT機器で取得したデータを活用して空調の最適化 等)
4-1-1	選択	貴社でデジタル技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取組を実施する上で課題となっている項目のご選択をお願いします
4-1-2	選択	貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施する上で、前問で選択された課題の詳細のご記載をお願いします
4-1-3	選択	貴社がデジタル技術を活用した省エネ計画を実施しようとする上で課題となり得る項目のご選択をお願いします
4-1-4	記述	貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施しようとする上で、前問で選択された最も課題となり得る課題の詳細をご記載をお願いします
5-1-1	選択	省エネ補助金についてご存じですか
5-1-2	選択	省エネ補助金を活用したことはありますか
5-1-3	記述	省エネ補助金の活用に至らなかった理由のご選択をお願いします
5-1-4	記述	選択した内容について、詳細をご記載ください。
5-1-5	記述	省エネ補助金とは、事業者の省エネ設備への更新を支援する制度です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか
5-1-6	記述	Noを選択した理由についてご記載をお願いします
5-2-1	記述	省エネ診断についてご存じですか
5-2-2	選択	いずれかの省エネ診断を活用したことはありますか
5-2-3	選択	省エネ診断の活用に至らなかった理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他を選んだ方は、詳細をご記載ください
5-2-4	選択	省エネ診断とは、省エネの専門家、工場・事務所・店舗・病院・福祉施設・学校・宿泊施設などを訪問して、エネルギーの無駄遣いや省エネに繋がるヒントを見つけ、コスト削減につながるような設備の運用改善などをご提案する事業です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか
5-2-5	記述	Noを選択した理由についてご記載をお願いします
5-2-6	選択	国や地方自治体が措置する補助金等に関する情報はどのように入手していますか。また、その他を選んだ方は、具体的な情報の入手先を、入手していない場合はその理由をご記載ください。
5-3-1	選択	NEDOの助成事業である「脱炭素PG」及び「戦略PG」についてご存じですか
5-3-2	選択	脱炭素PGまたは戦略PGに応募した(不採択含む)ことはありますか
5-3-3	選択	Noを選択した理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他を選んだ方は具体的な理由をご記載ください
5-3-4	選択	脱炭素PGとは「重要技術」の事業化を前提として2040年度に高い省エネルギー効果が見込まれる技術開発を支援するプログラムですが、応募を検討されますか
5-3-5	選択	Noを選択した理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他の理由について、差し支えない範囲でご記載ください

Q1-1-3～Q1-1-5のアンケート分析結果は以下となります

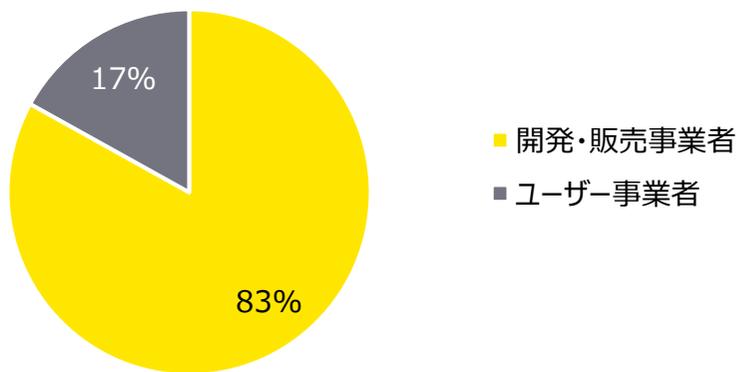
Q1-1-3 貴社が該当する主な業種についてご回答をお願いします



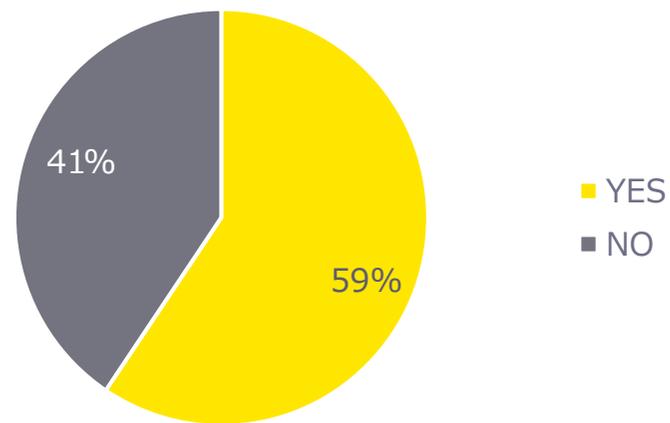
Q1-2-1 ご所属の部署についてご回答をお願いします



Q1-2-3 省エネにも資する技術(製品・サービス)の開発・販売等を自ら手掛けている事業者か、ユーザー事業者かの回答をお願いします。

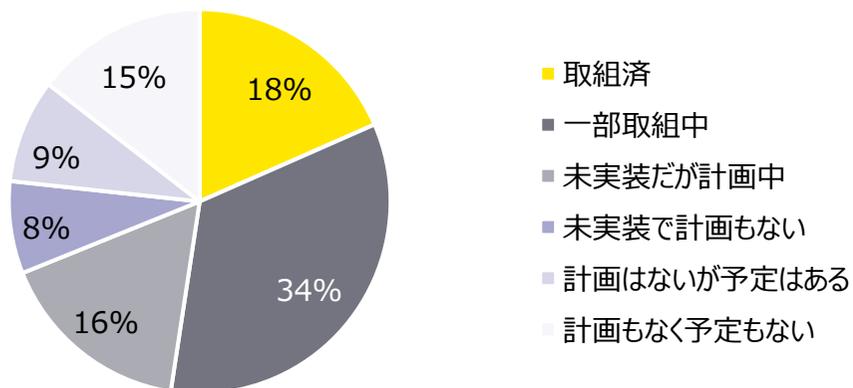


Q1-1-5 中小企業に該当しますか

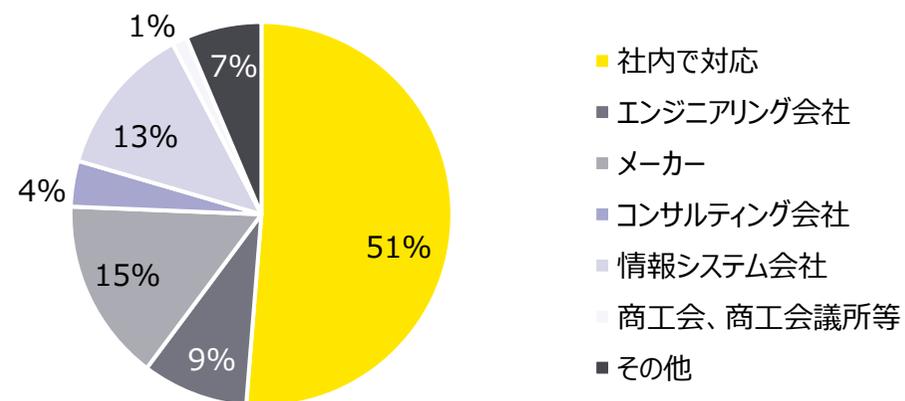


Q3-1-1～Q3-2-2のアンケート分析結果は以下となります

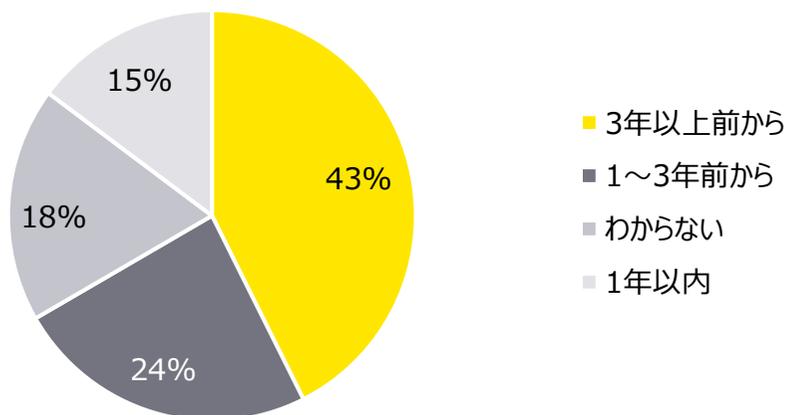
Q3-1-1 現在、貴社の業務プロセスにおいてデジタル技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取り組みを実施されていますか



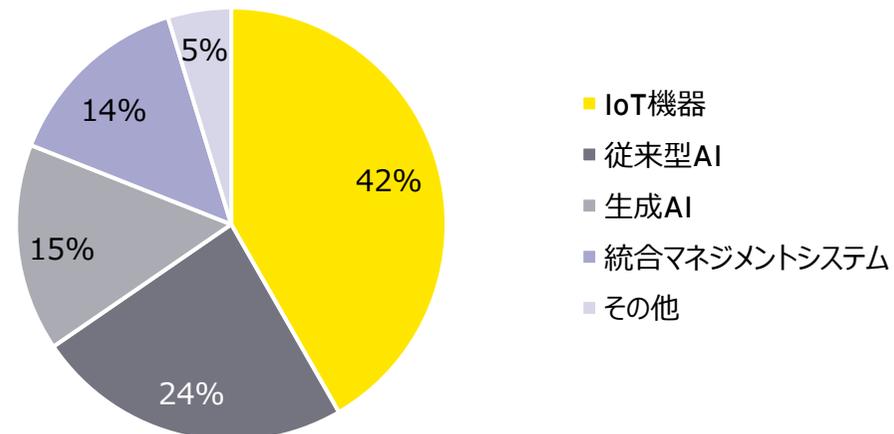
Q3-1-2 貴社でのデジタル技術を活用した省エネの取組を実施・計画するにあたっての主な相談先についてご記載をお願いします



Q3-2-1 デジタル技術を活用した省エネの取組を実施した時期のご選択をお願いします

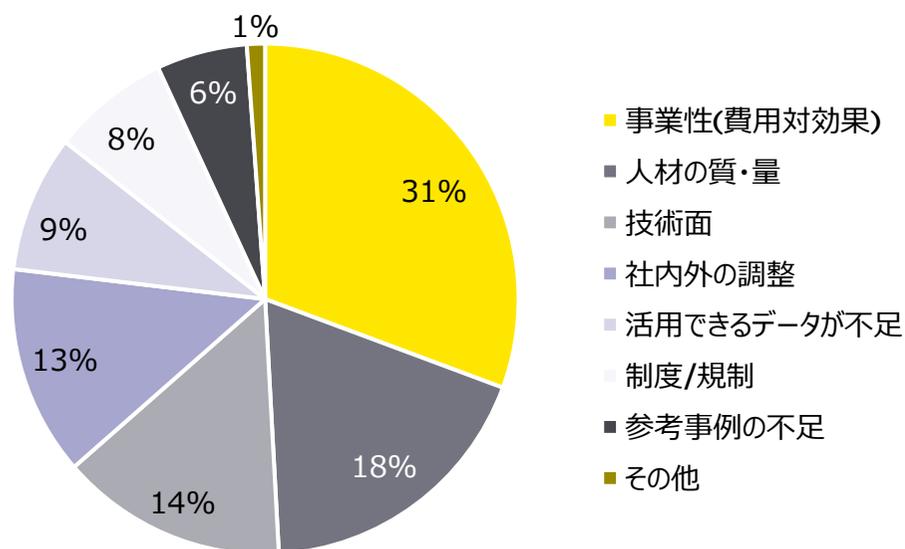


Q3-2-2 導入したデジタル技術で活用されている省エネにも資する技術をご選択をお願いします

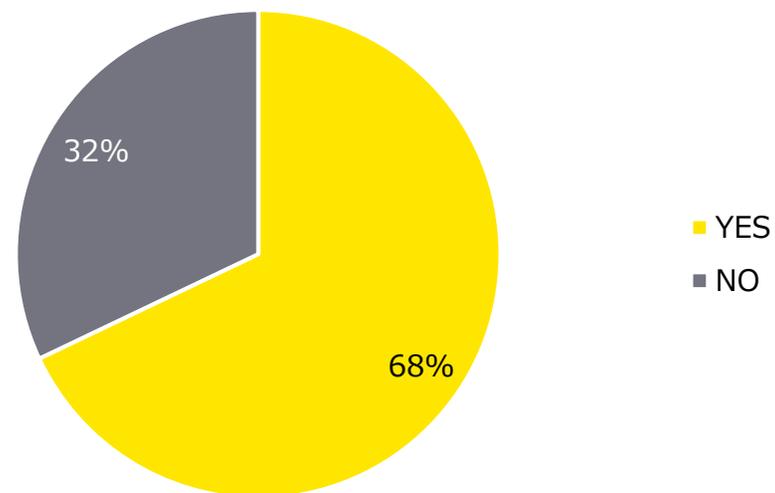


Q4-1-1～Q5-1-1のアンケート分析結果は以下となります

Q4-1-1 貴社でデジタル技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取組を実施する上で課題となっている項目のご選択をお願いします

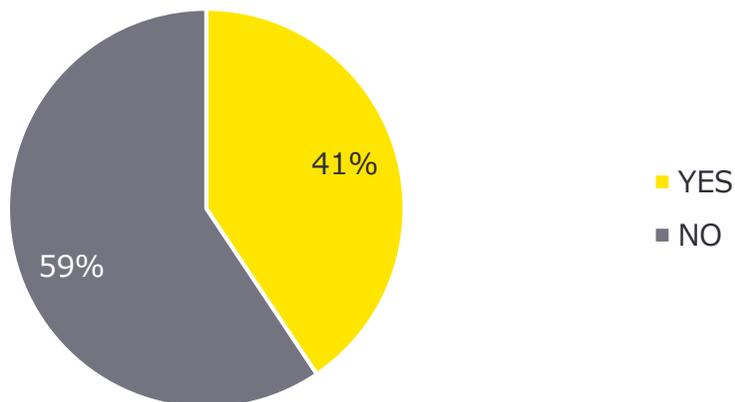


Q5-1-1 省エネ補助金についてご存じですか

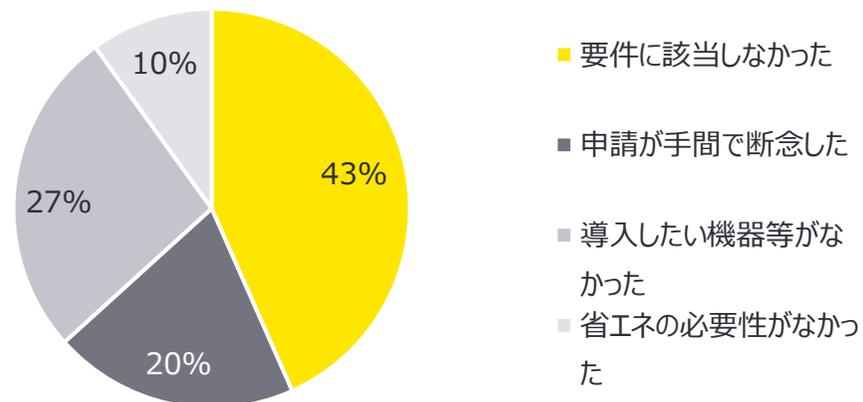


Q5-1-2～Q5-2-1のアンケート分析結果は以下となります

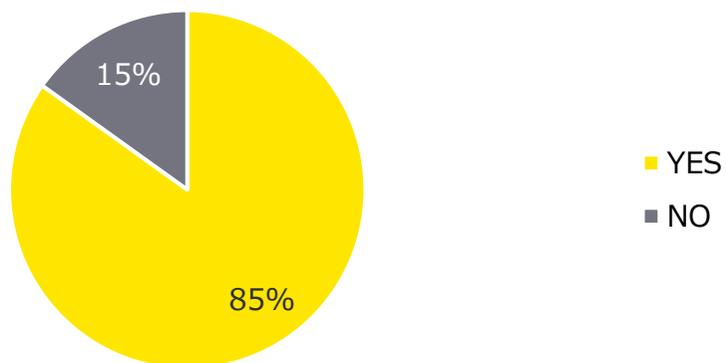
Q5-1-2 省エネ補助金を活用したことはありますか



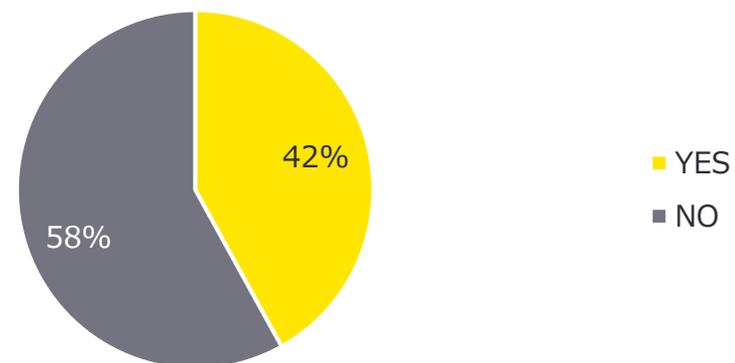
Q5-1-3 省エネ補助金の活用に至らなかった理由として当てはまる項目のご選択をお願いします



Q5-1-5 省エネ補助金とは、事業者の省エネ設備への更新を支援する制度です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか

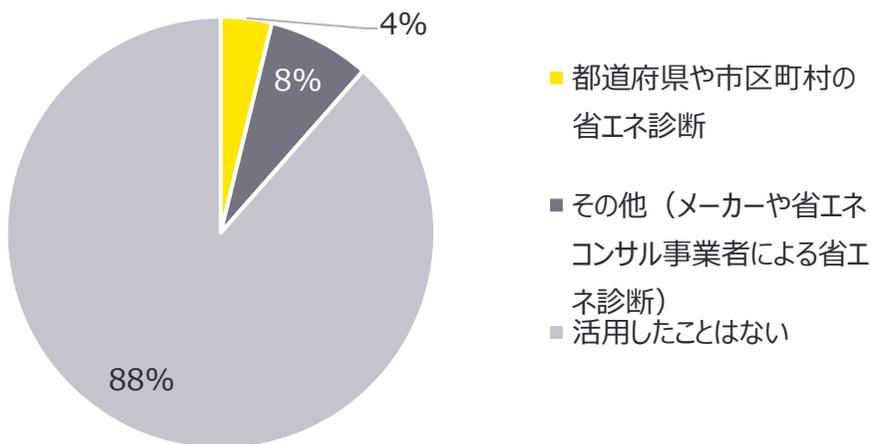


Q5-2-1 省エネ診断についてご存じですか

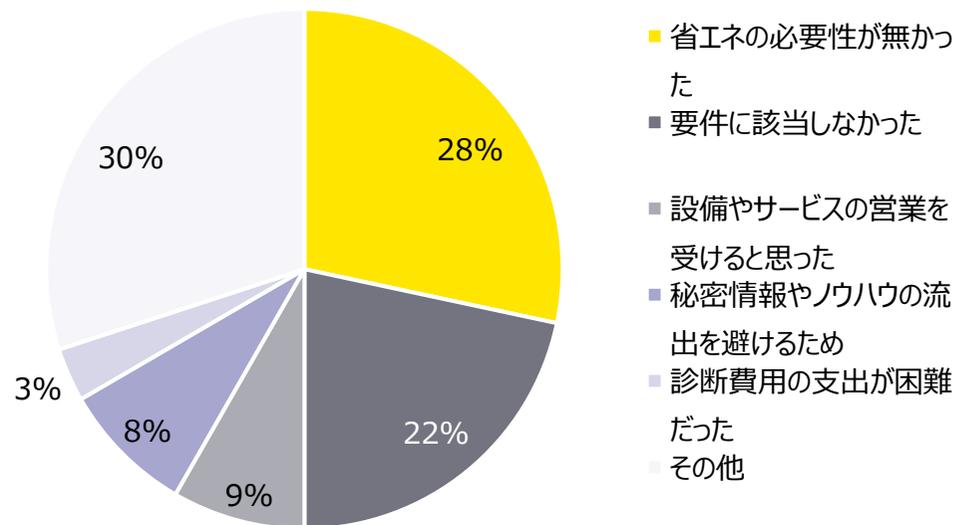


Q5-2-2～Q5-2-4のアンケート分析結果は以下となります

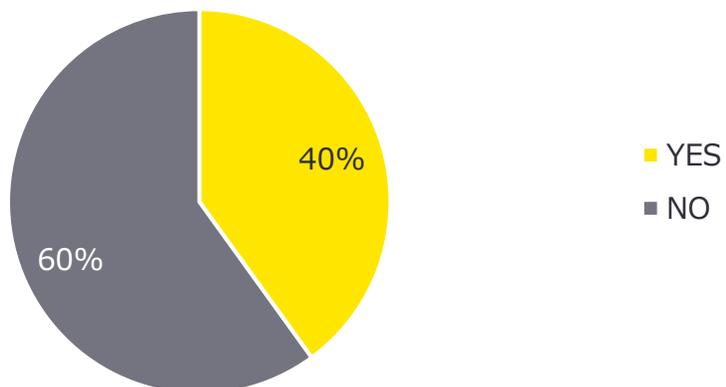
Q5-2-2 いずれかの省エネ診断を活用したことはありますか



Q5-2-3省エネ診断の活用に至らなかった理由として当てはまる項目のご選択をお願いします。また、その他を選んだ方は、詳細をご記載ください

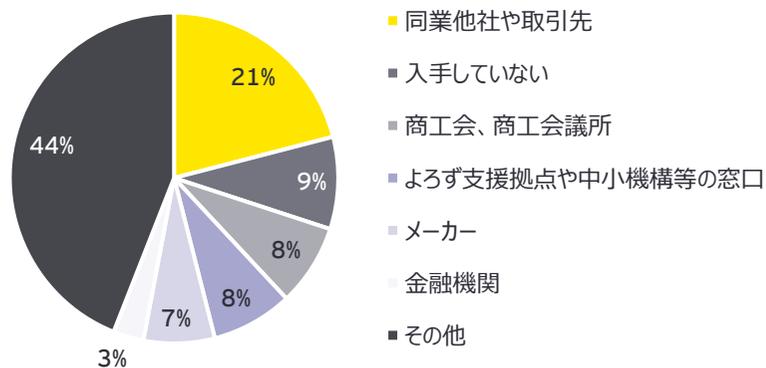


Q5-2-4省エネ診断とは、省エネの専門家が、工場・事務所・店舗・病院・福祉施設・学校・宿泊施設などを訪問して、エネルギーの無駄遣いや省エネに繋がるヒントを見つけ、コスト削減につながるような設備の運用改善などをご提案する事業です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか

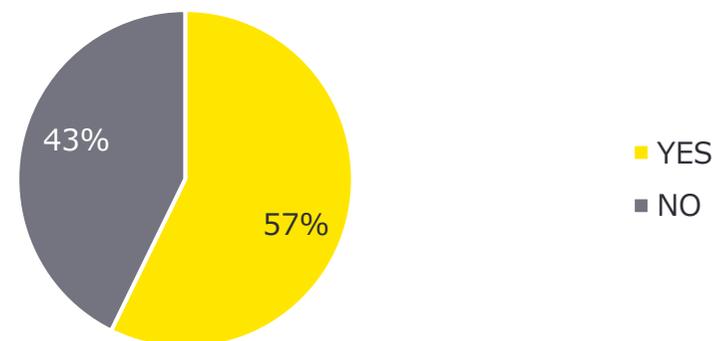


Q5-2-6～Q5-3-4のアンケート分析結果は以下となります

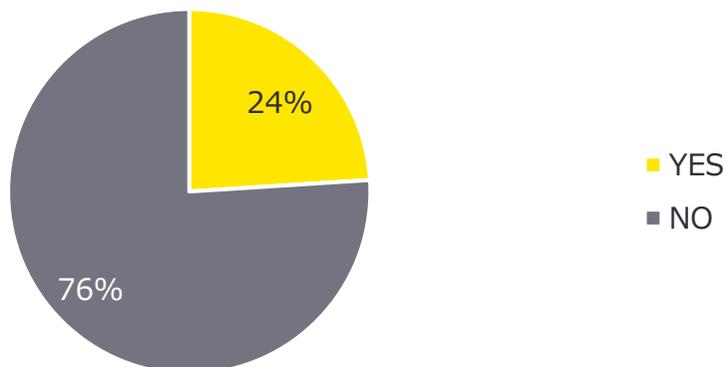
Q5-2-6国や地方自治体が措置する補助金等に関する情報はどのように入手していますか。また、その他を選んだ方は、具体的な情報の入手先を、入手していない場合はその理由をご記載ください。



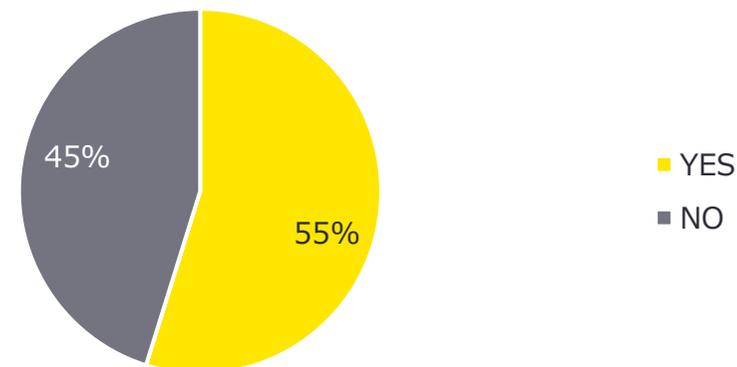
Q5-3-1脱炭素PG及び戦略PG」という) 」についてご存じですか



Q5-3-2脱炭素PGまたは戦略PGに応募した(不採択含む) ことはありますか

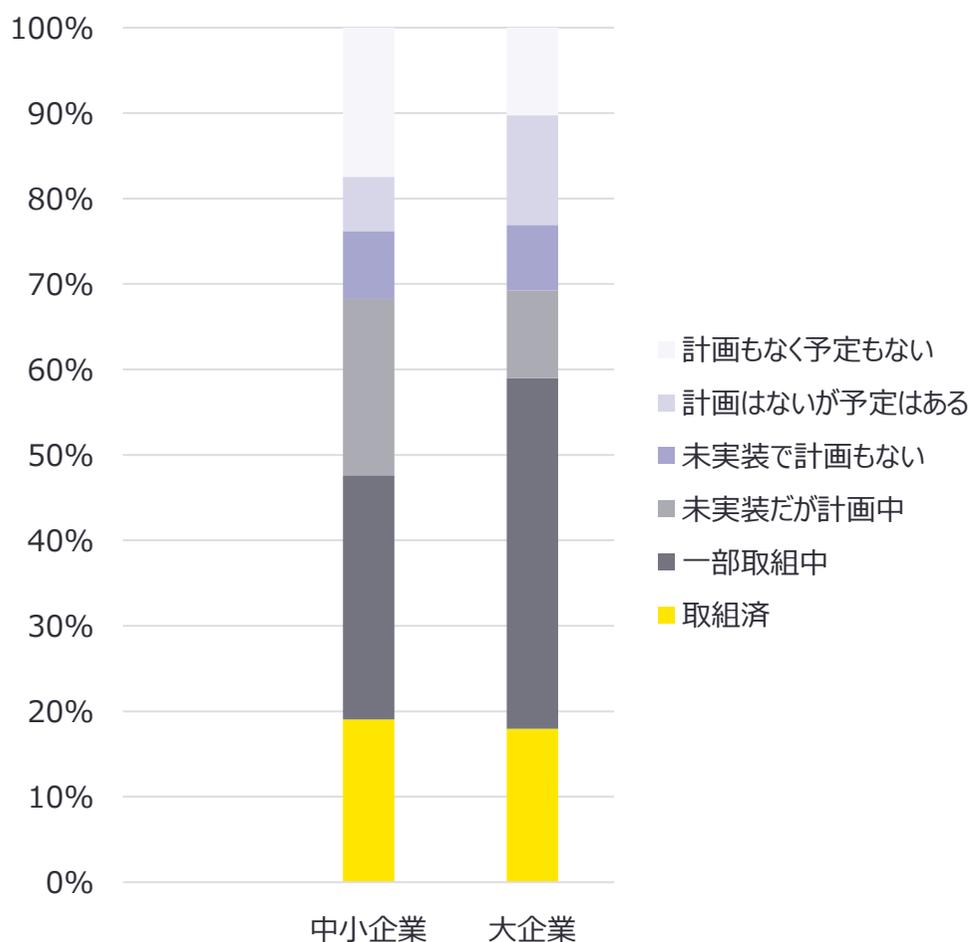


Q5-3-4脱炭素PGに対する支援事業の公募があれば応募を検討したいと考えますか

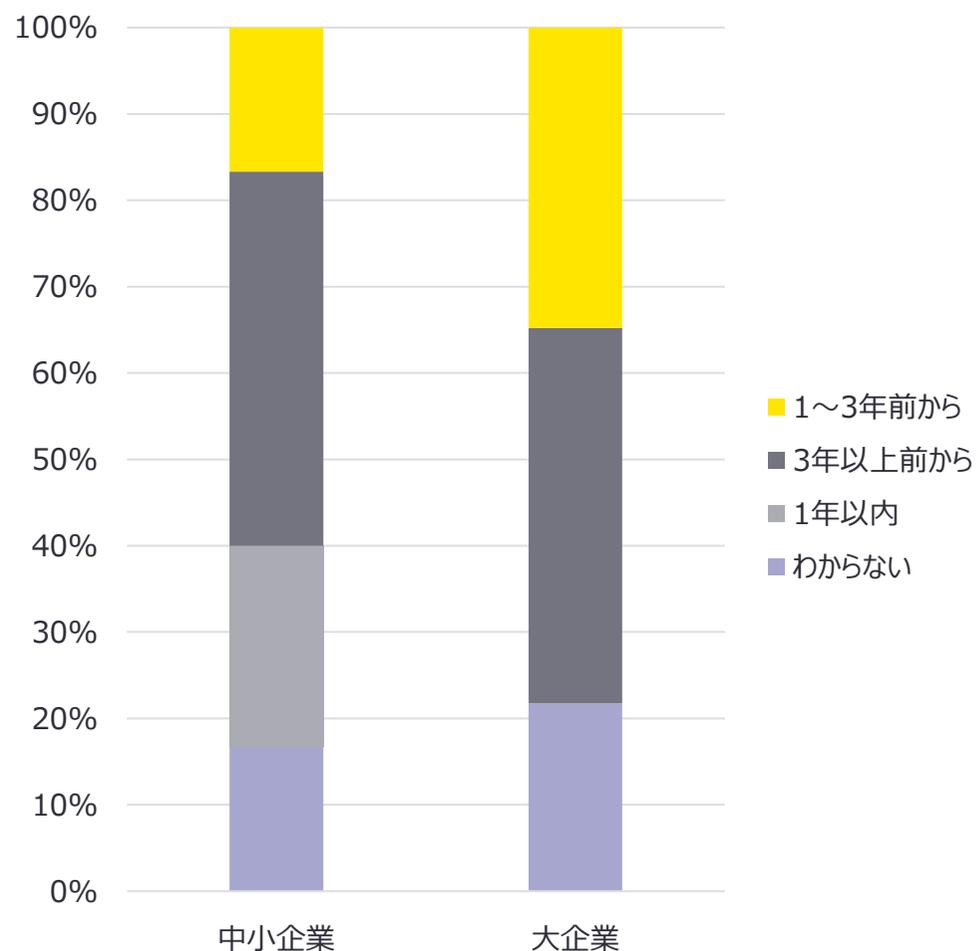


中小企業・大企業別のQ3-1-1、Q3-2-1の回答数・比率は以下の通りです。大企業の方が先んじてデジタル化への取組を開始していることが読み取れます

Q3-1-1 現在、貴社の業務プロセスにおいて情報通信技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取り組みを実施されていますか

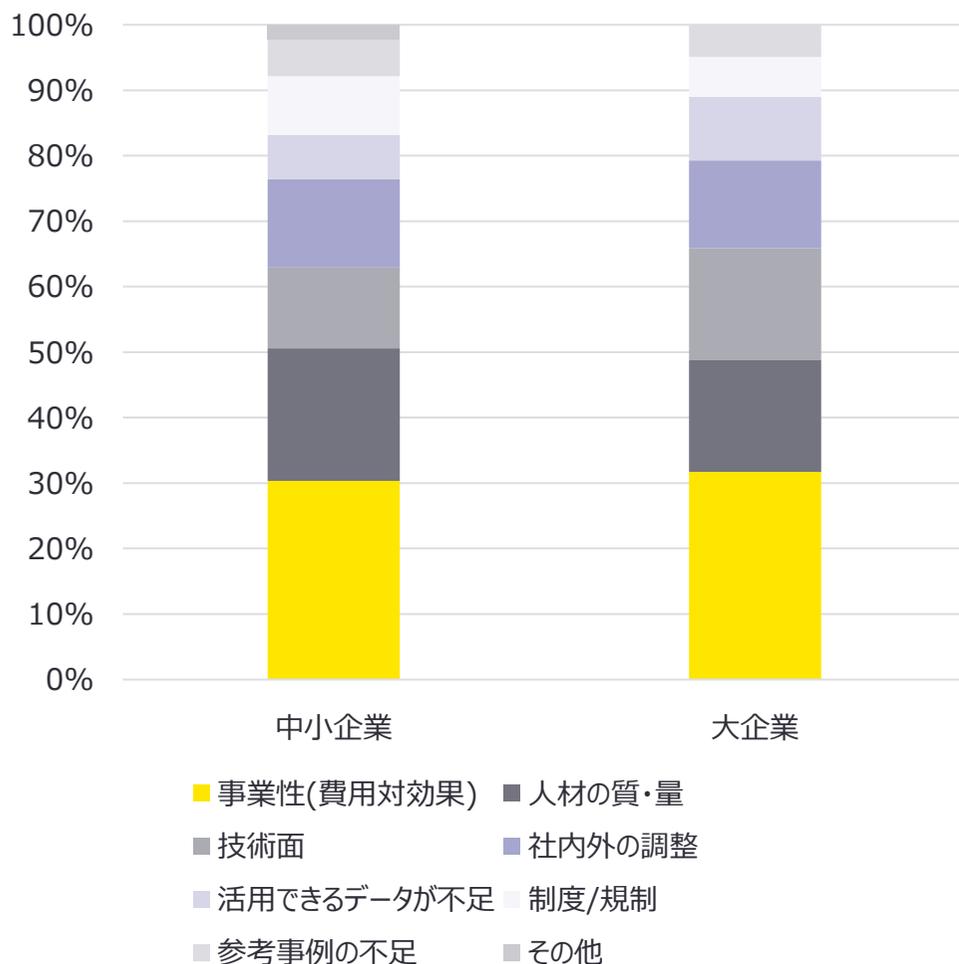


Q3-2-1 デジタル技術を活用した省エネの取組を実施した時期のご選択をお願いします

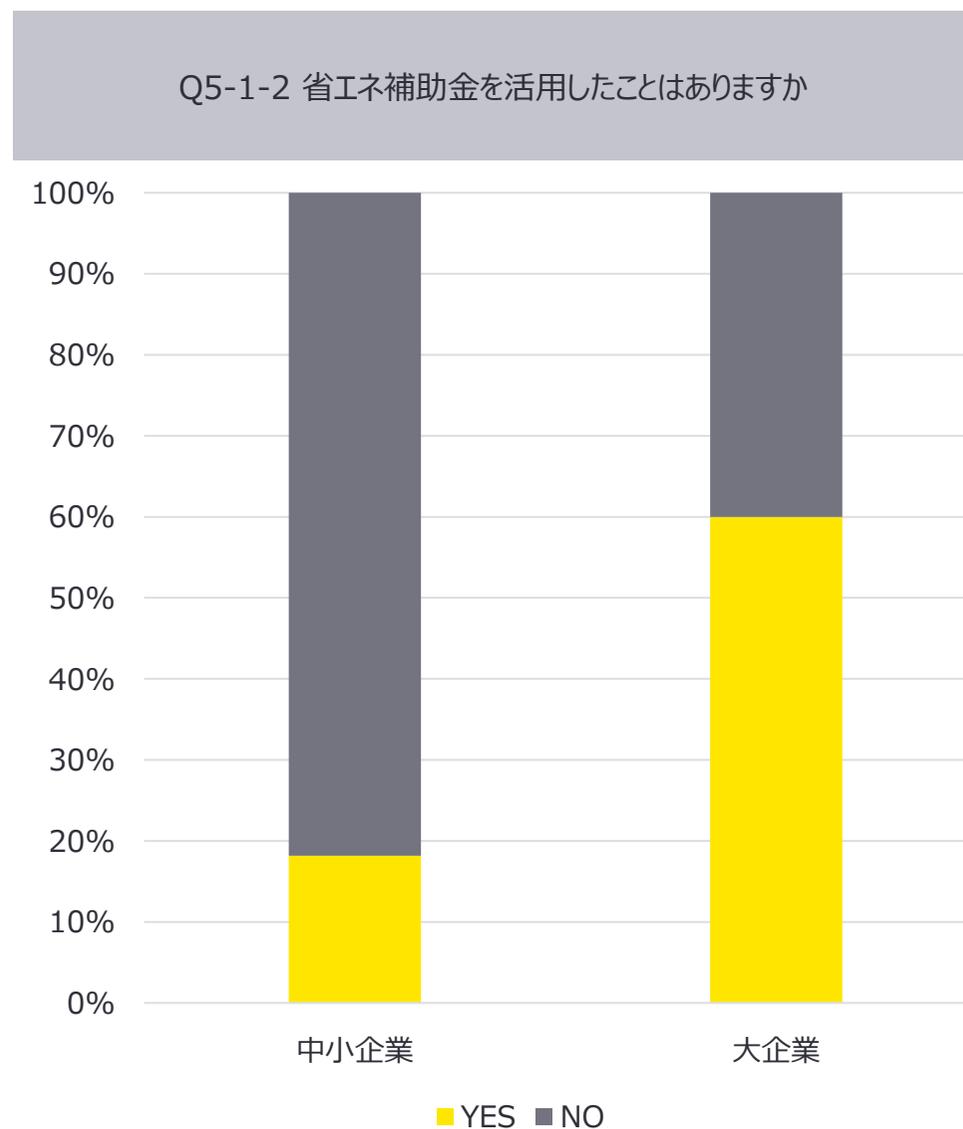
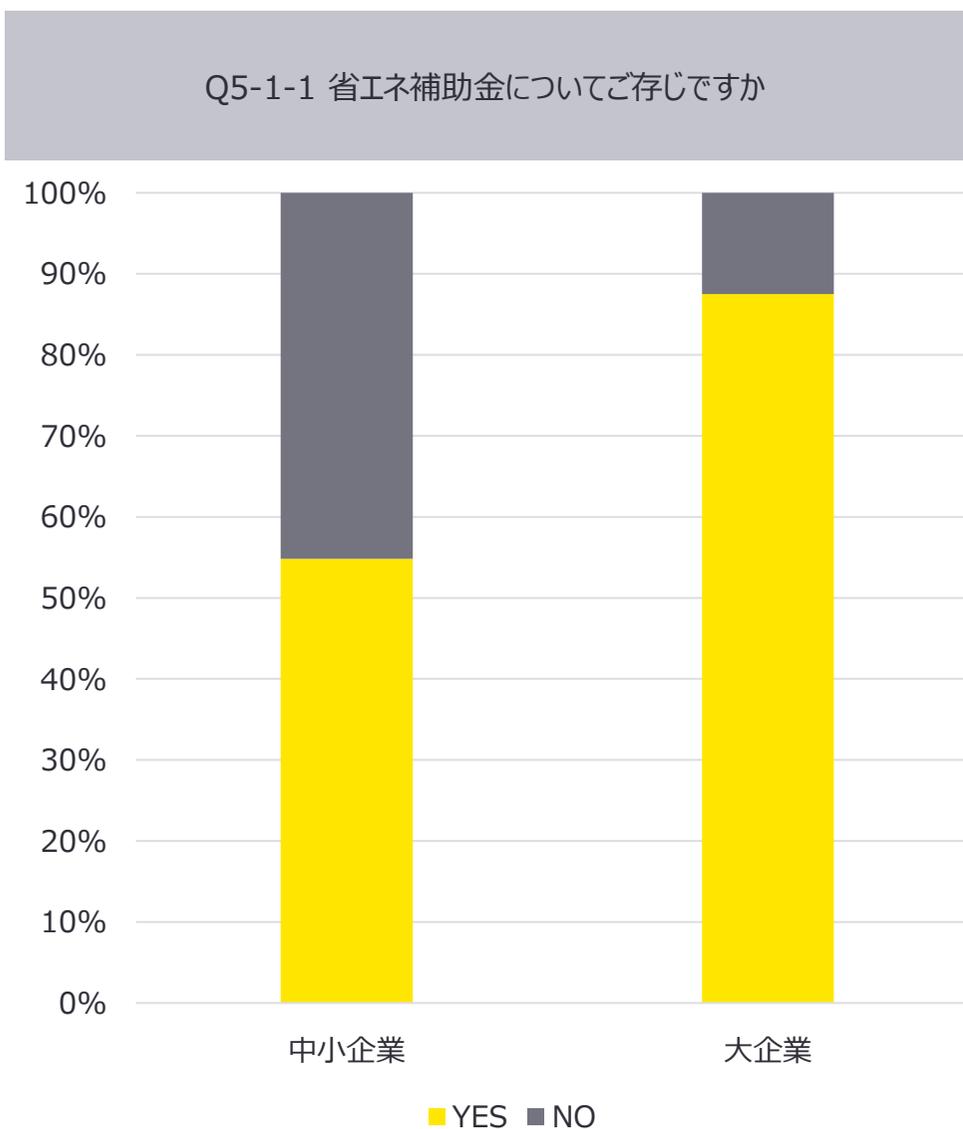


中小企業・大企業別のQ4-1-1の回答数・比率は以下の通りです。企業規模問わず、費用対効果や人材の質量・技術面といったハード面はデジタル活用での共通の課題と言えます

Q4-1-1 貴社でデジタル技術(AI、IoTなど)を活用した省エネの取組を実施する上で課題となっている項目のご選択をお願いします



Q5-1-1、Q5-1-2の回答数・比率は以下の通りです。大企業と比較した際の中小企業における、ケイパビリティ不足等により補助金を活用できていない実態が浮き彫りになっています



中小企業・大企業別のQ5-1-5の回答数・比率は以下の通りです。省エネ補助金の活用意思は大企業・中小企業問わず高い水準にあります

Q5-1-5 省エネ補助金とは、事業者の省エネ設備への更新を支援する制度です。今後、条件が合えば活用を検討したいと考えますか

