

【産業競争力懇談会 2022年度 プロジェクト 最終報告】

# 【Ambient Energy Platform の構築と社会実装】

～Appendix～

2023年2月9日

産業競争力懇談会 **COCN**

# Appendix

各社会領域，共通領域においては，WG を設置して検討を行った。それぞれの WG における最終報告書を添付する。

- ・ 持続的脱炭素コールドチェーン
- ・ カーボンニュートラルキャンパス
- ・ 多角的活用次世代ヒートポンプ
- ・ データ収集・通信・デジタルツインの共通化技術

## 【2022 年度 持続的脱炭素コールドチェーン WG】

主査：パナソニック株式会社

副査：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

メンバー：関西電力株式会社，ダイキン工業株式会社，株式会社前川製作所，株式会社三菱総合研究所，コールドストレージ・ジャパン株式会社，富士電機株式会社，三菱重工サーマルシステムズ株式会社，オムロンフィールドエンジニアリング株式会社，株式会社日立ハイテク，東京海洋大学，学校法人慶應義塾

### 1. 背景・目的

気候変動問題の解決に向けて温室効果ガス（以下，GHG）の削減は世界における喫緊の課題であるが，わが国では 2021 年 10 月 22 日に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定され<sup>1</sup>，国連へ提出された<sup>2</sup>。この戦略の中では，わが国は CO<sub>2</sub> 排出量を 2030 年までに 46%減（2013 年度比）とする目標が掲げられている。IPCC の報告では，世界の GHG 排出量は年間 490 億トン（CO<sub>2</sub> 換算）で，この内，農業・林業・その他の土地利用からの排出は，世界全体の約 1/4 を占めている。日本の GHG 排出量は 12.4 億トン（CO<sub>2</sub> 換算）であるが，この内，農林水産分野は年間約 5000 万トン（全体の約 4%）を占めている<sup>3</sup>。日本では 2050 年カーボンニュートラル実現に向け，2030 年に 2013 年比 46%の GHG 排出量削減の目標が掲げられているが，達成に向けたハードルは高く，あらゆる方面から脱炭素化を推進する必要がある。

国内の家庭部門を除く，企業・事業所他部門では，年間約 7483 PJ の一次エネルギーを消費するが，農林水産業では 256 PJ を消費し，全体の中で約 3.4%を占めるが，この中では，A 重油，灯油，軽油，ガソリンなどの燃料油が多い（図 1）<sup>4</sup>。この燃料油の中で，漁船の内燃機関と施設園芸の加温設備で使われる A 重油が最も多く，収穫物の乾燥施設，食品加工施設，農業機械等では灯油，軽油，ガソリンなどが使われている。

一方，家庭部門を含め，業務部門，産業部門で消費される一次エネルギーの内，半分以上は熱エネルギーとして消費されている（図 2）。つまり，国内で必要とされるエネルギーの多

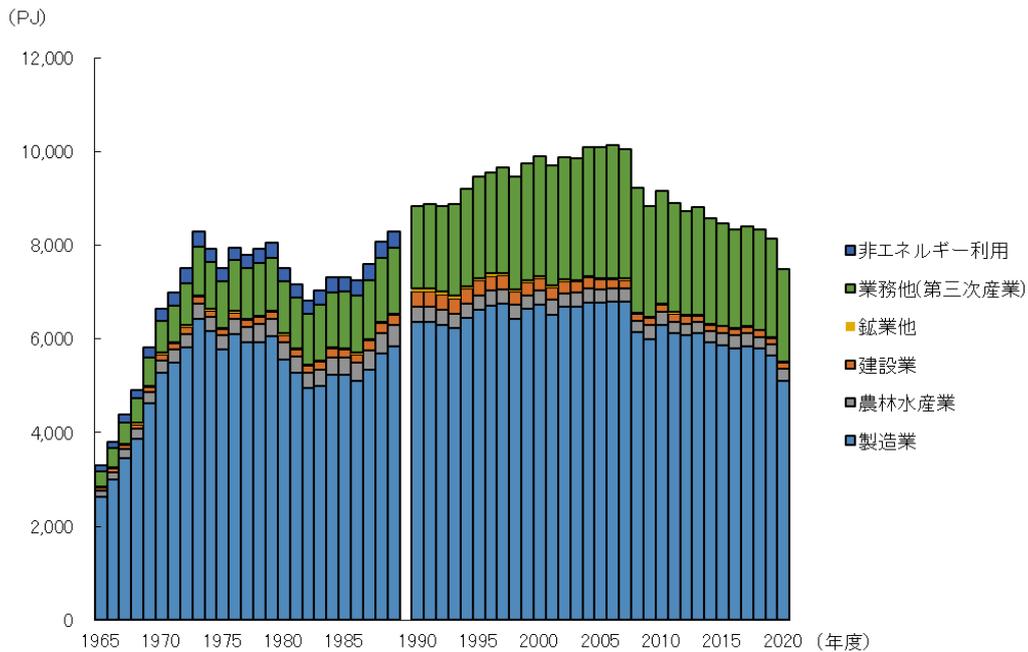
<sup>1</sup> 首相官邸(2021)，パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略，[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai48/pdf/senryaku\\_honbun.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai48/pdf/senryaku_honbun.pdf) (取得日：2022 年 10 月 23 日確認)

<sup>2</sup> 環境省(2018)，「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の国連提出について，<https://www.env.go.jp/press/106953.html> (取得日：2022 年 10 月 23 日確認)

<sup>3</sup> 農林水産省(2020)，気候変動に対する農林水産省の取組，[https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/GR/attach/pdf/s\\_win\\_abs-69.pdf](https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/GR/attach/pdf/s_win_abs-69.pdf) (取得日：2022 年 10 月 23 日確認)

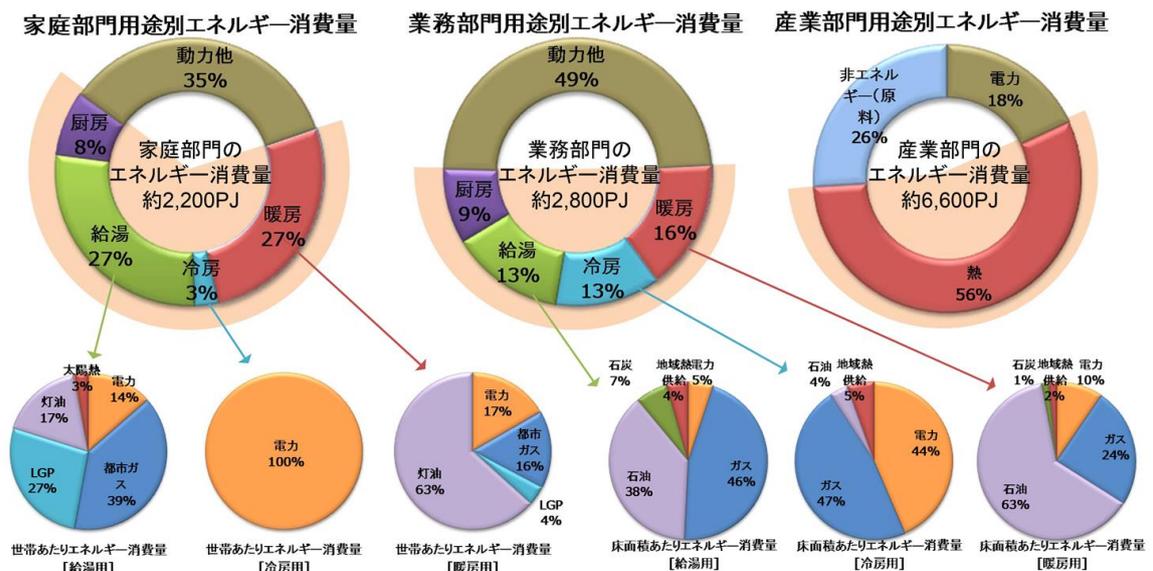
<sup>4</sup> 経済産業省資源エネルギー庁(2021)，「令和 3 年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書 2020)，[https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/2\\_1.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/2_1.pdf) (取得日：2022 年 10 月 23 日確認)

くは熱エネルギーであり、この熱を得るために大量のCO<sub>2</sub>が排出されている。ここで重要なのは化石燃料から脱却し、水素化や電化をすれば解決できるというものではなく、脱炭素化の一丁目一番地は熱として消費されている燃料油由来のエネルギーを削減するとともに、如何に再生可能エネルギーで代替するのかということ、技術の見極めを行い、社会全体で脱炭素化に向けた研究開発を進めることが重要である。



**図1 企業・事業所他部門のエネルギー消費の動向**

出典：令和3年度エネルギーに関する年次報告（経済産業省資源エネルギー庁）



**図2 熱利用の現状（部門別エネルギー消費）**

出典：熱の有効利用について（経済産業省資源エネルギー庁）

M.Crippa ら (2021)<sup>5</sup> によると、世界のフードサプライチェーン (Food System) 全体の GHG 排出量は、全排出量の 34%にあたる 180 億トンで、そのうち 71%は農作物の栽培や家畜の飼育といった農業生産地であり、残り 29%は輸送、包装、販売、廃棄などに起因している。また、冷凍冷蔵機器から排出される GHG は全体の 5%を占めるが、コールドチェーン技術の普及に伴い、今後増加すると予想されている。

日本におけるフードサプライチェーン全体からの GHG 排出量は明確になっていないが、その絶対量は少なくないと想定される。日本においても、フードサプライチェーン全体の GHG 排出量を削減するシステムの構築、制度の拡充が急務であるが、ここには農林水産省、経済産業省、環境省、国土交通省、厚生労働省など複数の関係省庁と連携した取り組みが必要である。

GHG 排出量削減には、ライフサイクルでの排出量が少ない食品、食材が、消費者から優先して選ばれる社会風土を構築することが重要と考える。その結果、企業間の競争原理が働き、事業者や業界団体による GHG 排出量削減に向けた自主的な取り組みが推進される。そのためには、各事業者における GHG 排出量削減の取組を定量化し、参照 (可視化) できる仕組みが有効であると考えられる。

食品の生産、加工プロセスにおける GHG 排出量を可視化する取組は、それがフードサプライチェーン全体に占める割合が大きいこともあり、既に様々な取り組みがなされている。例えば、農林水産省は、2021 年 5 月、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現させるための新たな政策方針として「みどりの食料システム戦略」を策定した<sup>6</sup>。2050 年までに日本における農林水産業の CO<sub>2</sub> ゼロエミッション化の実現するため、「フードサプライチェーンにおける脱炭素化の実践とその可視化の在り方検討会」および「再エネ連携農業/都市型農業：再生可能エネルギーと農業の効果的な連携実現の在り方検討会」を設置し、農林水産業～食品加工・食品流通～販売～食品廃棄物処理までの川上から川下まで一気通貫でつなぐフードサプライチェーンの脱炭素化の方策や分かりやすい可視化の在り方等について専門的知見から指導・助言を受け、総合的かつ幅広い視点から検討を進めてきた。

そこで二つの在り方検討会で議論を踏まえ、本戦略では所管する省庁がまたがることで連携が希薄であった、上流にある農林水産業とフードサプライチェーン、下流側にある食品小売業や外食産業など、最終消費者に近い事業者にスコープをあて、それら事業者における GHG 排出量を削減する取組を可視化する方策を提案する。これにより、既存の取組と合わせ、ライフサイクルでの GHG 排出量が少ない食品、食材が、消費者から優先して選ばれる社会風土の構築に貢献できるものとする。将来的には、この仕組みを海外展開することで世界全体の GHG 削減に貢献できると考える。

---

<sup>5</sup> M.Crippa et.al (2021), Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions, Nature Food 2, 198-209.

<sup>6</sup> 農林水産省「みどりの食料システム戦略」、<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/> (2022 年 10 月 22 日確認)

## 2. 構築する新技術の開発要素

### 2.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進案

次に農林水産業の中で消費される燃料油を大幅に削減する技術として、農林水産業での使用条件に適応するヒートポンプの開発を提案する。

#### 2.1.1 必要な新技術の開発要素

農業分野で導入されているヒートポンプは空気熱源方式がほとんどである。しかし、空気熱源方式は、熱源の空気中に含まれる水蒸気が、採熱中の室外の熱交換器で霜となって付着すると、空気との熱交換が阻害されるため、除霜運転（デフロスト）をしなければならず、この間は暖房機能が停止し、電力のみが消費される。特に、農林水産分野の中で燃料油の消費が多い施設園芸では安定的な熱源供給が欠かせず、外気温が最も低下する深夜から明け方にかけて暖房負荷が最大となるため、空気熱源方式は設計通りの暖房性能を得ることができず、エネルギー消費効率（成績係数、COP）は2～3程度に低下する<sup>7</sup>。一方、外気温の影響を受けない地中熱源方式のヒートポンプはCOPが4弱あるが、設備等の導入に多額のコストを要するため普及していない<sup>8</sup>。特に、農林水産地域には太陽熱、地中熱、地下水、農業用水、集落排水、ため池、ダム等の安定した未利用熱源があるので、これらを活用した新たなヒートポンプ技術の開発と社会実装がカギとなる。施設園芸へのヒートポンプの導入を推進するには、空気熱源ヒートポンプの高効率化や地中熱源ヒートポンプの低コスト化など、これまでの既存技術にとらわれない革新的な技術開発が必要である（図3）<sup>9</sup>。

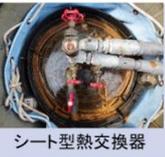
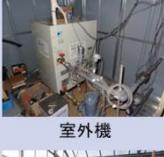
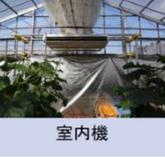
空気熱源	地中熱源 (縦孔、600m)	地中熱源 (浅層、深さ1.5m)	地下水熱源 (プレート型熱交換)	地下水熱源 (シート型熱交換)
 室外機	 採熱孔方式の熱交換器	 浅層方式の熱交換器	 井戸汲み上げ配管	 シート型熱交換器
 室内機	 室外機	 室外機	 プレート型熱交換器	 室外機
	 室内機	 室内機	 室外機と室内機	 室内機
成績係数 (COP, Coefficient of Performance)				
2～3	3～4	3～4	3～4	3～4

図3 施設園芸用ヒートポンプ（10馬力、暖房熱量28kW）の比較表（石井，2022）

<sup>7</sup> 古野ら(2012), 寒冷地域の施設園芸における地中熱源ヒートポンプシステムと空気熱源ヒートポンプシステムの暖房時運転特性の比較, 農業施設, 43(4), 131-137.

<sup>8</sup> 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門(2015), ハウス暖冷房に地中熱ヒートポンプの導入をお考えの皆様へ, [https://www.naro.go.jp/laboratory/nire/introduction/files/hp\\_guideline20170509.pdf](https://www.naro.go.jp/laboratory/nire/introduction/files/hp_guideline20170509.pdf) (取得日:2022年10月23日)

<sup>9</sup> 石井雅久(2022), 持続可能な施設園芸に資するヒートポンプの開発, 機械化農業, 2022(8), 10-16.

## 2.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム案

本戦略では、グリーン・バリューチェーン下流の食品小売業や外食産業など、最終消費者に近い事業者（店舗）における、SCOPE1,2,3 それぞれの GHG 排出量削減の取組を総合的に評価するプラットフォームを提案する（図 4）。また、グリーン・サプライチェーン上流側の 3.1 と連携して双輪で進め、最終的には農業・水産業～加工・流通～販売～廃棄物処理までを一気通貫で結ぶ情報通信プラットフォームの開発・構築を提案する。

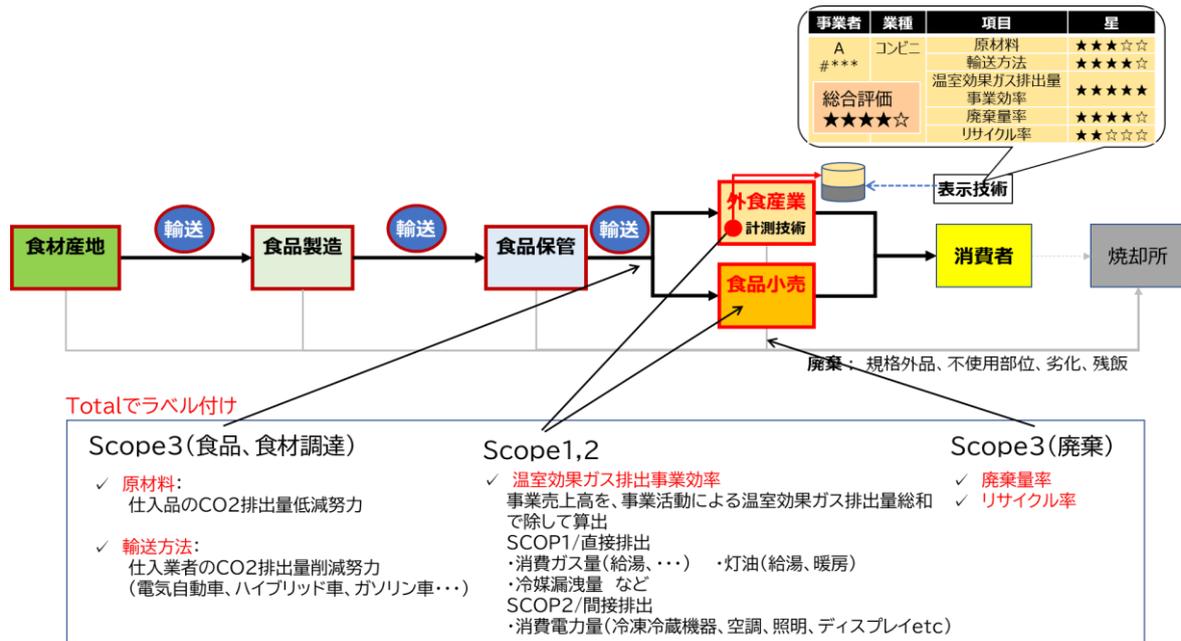


図 4 構築するグリーン・バリューチェーンプラットフォームと技術

SCOPE1,2 の評価は、対象事業者（店舗）の事業売上高を、対象事業者の事業活動による GHG 排出量総量で除した、「温室効果ガス排出事業効率」を算出し評価する。この「温室効果ガス排出事業効率」が大きいほど、GHG 排出量に対して対象事業者の事業効率が高いということになる。

SCOPE1 排出量（主に燃料の使用による GHG 直接排出分）は、ガスや灯油など各燃料の利用量を測定し、それぞれの利用量に燃料ごとの CO2 排出原単位を乗じて総和を取る。また、SCOPE1 には冷媒漏洩に関わる GHG 排出量も計算に入れる。事業者には設置した冷凍冷蔵機器や空調機器からの冷媒漏洩により、冷媒を追加チャージした場合は、その追加チャージ量を冷媒漏洩量と見なして CO2 排出量に換算し、SCOPE1 排出量に加算する。

一方、SCOPE2 排出量（主に電気使用による GHG 間接排出分）は、対象事業者の使用電力量に、単位発電電力量あたりの CO2 排出原単位を乗じて計算する。この単位発電電力量あたりの CO2 排出原単位は、対象事業者が契約する電力供給会社よりリアルタイムで取得し積算することが望ましいが、できない場合は電力供給会社より平均 CO2 排出原単位を取得し計算してもよい。

なお、「温室効果ガス排出事業効率」が一般消費者に提示されたとしても、一般消費者にはその値の妥当性が理解しにくいと考えられ、その効率値を補足説明する情報を付随させることが望ましい。例えば、対象事業者内に設置された冷凍冷蔵設備が、保管された食品、食材に見合った適切な冷凍冷蔵温度に設定されているか、来店する一般消費者に適切な環境温度を提供しているか、などの要素である。これらについては、3.1.1で説明する。

SCOPE3は、対象事業者から見て、フードサプライチェーンの上流側と下流側に分かれて評価する。上流側は食品、食材の調達に関わる評価項目で、「原材料」は調達した食品、食材がGHG排出量低減を考慮したものであるかを評価し、「輸送方法」は対象事業者がGHG排出量の少ない輸送手段を使っているか否かを評価する。下流側は主に廃棄に関わる評価項目で、食品廃棄（食品ロス）を減らす取組を評価する「廃棄量率」と、発生した廃棄物をリサイクル（資源再生や肥料化など）に回した努力を評価する「リサイクル率」からなる。

### 2.2.1 必要な新技術の開発要素

グリーン・バリューチェーンプラットフォームを実現するためには、対象事業者（店舗）における各評価項目のデータを一元管理し、かつ、適切に一般消費者に提示する表示技術が必要となる。また、「温室効果ガス排出事業効率」に関わり、対象事業者の冷凍冷蔵設備や空調換気設備の設定適正度を最終消費者に提示するための、設備設定適正度評価技術も必要となる。また、上流側にある食材産地での生産に関わる情報、中流にある食品製造・保管に関わる情報、そして上流から下流までの輸送に関わる情報なども合わせて提示する表示技術が必要となる。

#### ① 「温室効果ガス排出事業効率」算定・管理技術

対象事業者における、燃料、電力などのエネルギー使用量、および、冷凍冷蔵設備や空調機器の冷媒漏洩量（冷媒の追加チャージ量）を一元管理するとともに、対象事業者が契約する電力供給会社における単位電力量あたりのCO<sub>2</sub>排出原単位を取得し、所定期間ごとのSCOPE1,2排出量を計算する。さらに、対象事業者における当該所定期間の売上高をも管理し（あるいは対象事業者の経理システムと情報連携し）、当該所定期間における「温室効果ガス排出事業効率」を算定する。

#### ② 「温室効果ガス排出事業効率」に関わる設備運転適正度評価技術

例えば下記が挙げられる。下記詳細や、下記以外の評価技術については検討中である。

##### (1) 冷凍冷蔵設備運転の適正度評価技術

農業・水産業（川上）、加工・流通業（川中）、販売・小売業（川下）等（以下、対象事業者）の冷蔵・冷凍冷蔵設備の庫内に格納されている食品、食材について、それらの保存温度に対し、設定温度（もしくは庫内の実測温度）の適正度を評価する。例えば、販売・小売業において保存温度が異なる食品、食材が1つのショーケースに格納されている場合は、保存温度が過剰になっているものが存在し、その分、冷蔵・冷凍冷蔵設備等の負荷が増大する。農業・食品に関わる川上～川中～川下に至る中で、食品、食材個々の保存温度に、冷凍／冷蔵ショーケースの設定温度（もしくは庫内の実測温度）を合わせる事が理想的であるが、まずは、川下の販売・小売業において、

この理想状態からの乖離度を計算、評価する。

#### (2) 冷凍冷蔵設備運転の適正度評価技術

冷凍冷蔵設備の庫内に格納されている食品、食材について、それらの保存温度に対し、設定温度（もしくは庫内の実測温度）の適正度を評価する。保存温度が異なる食品、食材が1つのショーケースに格納されている場合は、保存温度が過剰になっているものが存在し、その分冷凍冷蔵設備の負荷が増大する。食品、食材個々の保存温度に、冷凍／冷蔵ショーケースの設定温度（もしくは庫内の実測温度）を合わせることで理想的であるが、この理想状態からの乖離度を計算、評価する。

#### (3) 店舗内環境の適正度評価技術

対象事業者が、最終消費者が直接足を運ぶ食品小売店や飲食店のような場合、最終消費者に適切な環境を提供しているかを評価する。特に、冷凍冷蔵設備をも併設した店舗では、当該設備から漏れ出す冷気によって、最終消費者に寒冷な店舗環境を提供するのみならず、冷凍冷蔵設備の運転に要する電力量の増加要因にもなる。店舗内における少なくとも1点の実測温度データに基づき評価する。

#### ③ 食品廃棄量／リサイクル量計測技術

対象事業者が入荷した食品、食材のうち、販売されずに廃棄されたもの（廃棄物）の量を計測する技術。また、廃棄物のうち、リサイクル（資源再生や肥料化など）に回した量を計測する技術。

#### ④ 取組表示技術

生産～エネルギー～流通～小売～廃棄等の農業・食品に関わる各事業者において、「温室効果ガス排出事業効率」をはじめ、「原材料」、「輸送方法」、「廃棄量率」、「リサイクル率」等のそれぞれの評価結果を、最終消費者に分かりやすく提示する技術。例えば、5項目ごとに5段階評価し星数で表示するとか、各5項目に重みづけをして（例：「温室効果ガス排出事業効率」：50%、その他項目は各10%）、総合評価結果を5段階評価し星数で評価するとかの方法が考えられる。

また、「温室効果ガス排出事業効率」については、その効率値を補足説明する情報を付随させることが望ましい。例えば、上記②で説明した、冷凍冷蔵設備運転の適正度評価結果や、空調の適正度評価結果である。

#### ⑤ 都市地域と地方農山漁村地域との情報およびエネルギーの連携

総務省はIoTやAIが経済成長に与えるインパクトを推計し、2030年に実質GDPを132兆円押し上げる効果を示している<sup>10</sup>。IoTやAIを導入したスマート技術が農林水産業に導入されるなど、新たな市場が形成されつつある。しかし、農林水産業は中小規模の事業者が多く、そこには秘匿すべき生産情報や個人情報が多く含まれている。

一方、農山漁村地域は都市部地域と異なり、台風や強風、大雨、積雪などの被害を受け

<sup>10</sup> 平成29年版情報通信白書(2017)、第3章 第4次産業革命がもたらす変革、第5節 4次産業革命の総合分析、<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n3500000.pdf> (取得日:2022年10月23日)

やすく、常時/非常時への対応するシステム開発が重要である。そのため、農山漁村地域への導入を想定したエネルギーマネジメントシステム（EMS）の開発では、①低コストかつ堅牢な各種センサや機器の開発、②フォグ/エッジコンピューティングとエリートデータへの変換による AI 処理、④情報匿名化等、⑤情報通信の標準/規格化などを体系的に進める必要がある。

上記のような都市地域と農山漁村地域を結ぶ情報通信プラットフォームを構築するには、下記のような課題が挙げられる。下記詳細や、下記以外の評価技術については検討中である。

#### (1) 大量センサ導入時に伴う問題の解決（標準化/規格化）

Society 5.0 ではあらゆる情報をセンサによって取得し、AI によって解析することで、新たな価値を創造することが期待されている。NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラム（2015～2016 年度）「トリリオンセンサ社会を支える高効率 MEMS 振動発電デバイスの研究」において、年間 1 兆個ものセンサを設置することを想定した研究開発が進められてきた<sup>11</sup>。農林水産業の現場においても、今後、大量センサ導入が想定され、センサの位置の管理、センサの校正情報の管理、バッテリーの管理、精度やセンシング間隔といった情報の把握など、様々な管理すべき情報が増大している。これを一元管理することは可能であるが、そのコストは膨大であり、問題が発生する可能性が高い。そこで、IEEE1451 の応用による解決を考える。IEEE1451 では TEDS という不揮発性メモリを管理し、この中にこれらの情報を記録する仕組みについて技術標準を進めている。さらにその応用として IoT における、情報管理方法についても規定している。このような観点での技術標準活用と標準化/規格化の提案を行う。

#### (2) 農林水産業における ICT 環境の特殊性とその対応

農林水産業の現場は電源や通信環境が脆弱な場所が多い。大規模かつ設備の整った先進的な現場では電源や無線通信環境を整備できる可能性があるが、山や谷の多い中山間地では携帯電話網の電波が届かない場所が多く、プライベートの無線通信環境も整備しにくいという問題がある。また、現在、農山漁村地域では人口減少や高齢化などが進んでおり、エネルギーの供給体制だけでなく、医療体制も脆弱となっている。情報インフラシステムを提供する側に立てば、市場は大きい方が参入障壁を小さくできるため、単純に大規模な経営体のみ対象とすることはリスクがある。また、農林水産業の現場では全天候型のシステムとなるため、ICT 機器の導入コストは一般の情報通信環境よりも大きなコスト増となるため、普遍的なシステム構成が必要となる。この観点に立てば、農林水産業の現場における大規模 ICT システム構築は非現実的

<sup>11</sup> 「2020 年度 NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム(エネ環)」, 「農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステム技術開発, 農林業機械・漁船等の電動化及びその普及に資する技術等の開発」(2021-2022 年度), 農山漁村地域の RE100 に資する VEMS の開発, [https://www.maff.go.jp/j/study/einougata\\_taiyoukou.html/attach/pdf/einou\\_kaigi-57.pdf](https://www.maff.go.jp/j/study/einougata_taiyoukou.html/attach/pdf/einou_kaigi-57.pdf) (取得日: 2022 年 10 月 23 日)

であり、投資コストを抑えるため、より安価なセンサ、より効率の良いセンサ、より低コストなシステムを望むことは必然である。特に、農林水産業の現場において情報機器の導入が遅れている状況を打破するためにも、低コスト化・高効率化は重要である（図5）。



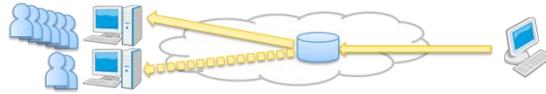
図5 スマートビレッジの全体イメージ

(慶應義塾大学理工学部, 西宏章教授作成に加筆)

(3) データモビリティ・データアブストラクション・データクリスタライゼーション

データモビリティとは、サービスを提供するアプリケーションの場所を自由に変更できるようにすることであり、その管理下のデータも適材適所かつ適切な形で管理・利用されることを意味する。データアブストラクションとは、ネットワークの上位に行くほど、情報がより曖昧となること、つまり、農業従事者や特定の圃場を対象とするよりも、地域共通の法則といった側面が重要視された結果、情報がまとめられ、有用性が増大し、意味的に上位の概念が用いられ、大勢として議論されたりすることを意味する。データクリスタライゼーションは、情報が持つ意味や、その本質的な内容に置き換えることを意味する。ここで、上位ネットワーク階層ほど匿名度・情報深度・大域的利用価値が増大することから、上位ほどデータアブストラクションが進むといえる。結果として、農林水産業に関わる情報の匿名化と共有化が進み、現地で学習、加工、管理、利用、情報発信といった、新たなサービスの提供や利益をもたらす利用が進むと考えられる（図6）。

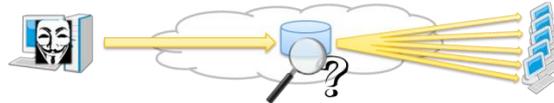
- ユーザー行動に基づく推奨や促しは、新しいサービスを提供する



- 個人情報を削除することにより、サービスの入手可能性を強化するとともに、秘匿情報公開の問題を解決

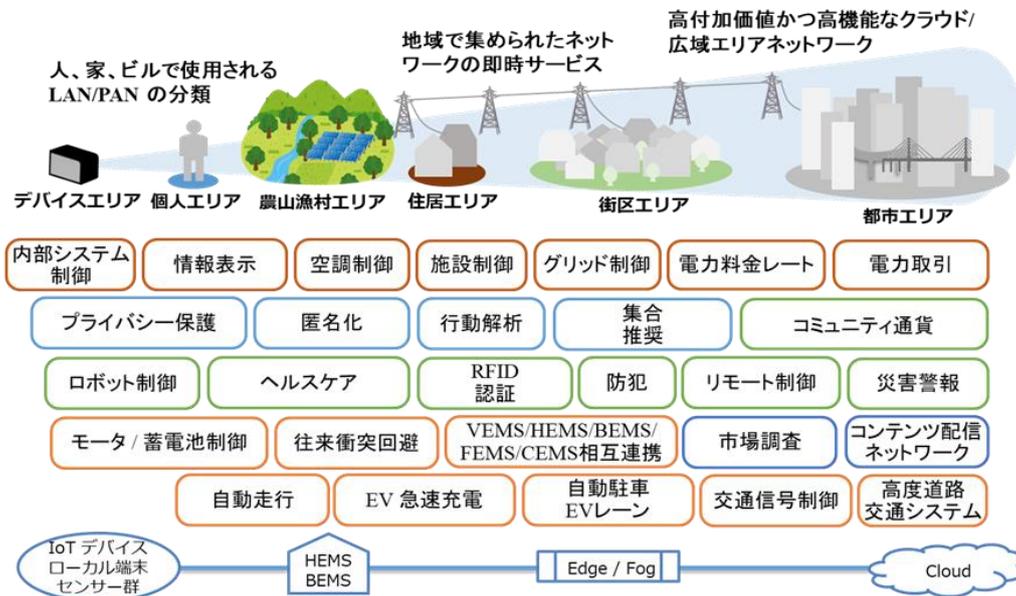


- 匿名化による個人情報の流出防止



**図 6 データモビリティ、データアブストラクション、データクリスタライゼーション**  
(慶應義塾大学工学部, 西宏章教授作成に加筆)

(4) 都市部の HEMS, BEMS, FEMS, CEMS と、地方農山漁村部の VEMS との連携  
この本技術戦略を起点に、農業・食品・小売業の GHG 削減に資するイノベーションを推進するとともに、都市部の HEMS, BEMS, FEMS, CEMS と、地方農山漁村部の VEMS<sup>12</sup>が連携するエネルギーネットワーク (図 7) および情報通信プラットフォームを体系的に構築する必要がある (図 8)。



**図 7 都市地域と農山漁村地域を結ぶ情報通信プラットフォームの構築**  
(慶應義塾大学工学部, 西宏章教授作成に加筆)

<sup>12</sup> 「2020 年度 NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム(エネ環)」, 「農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステム技術開発, 農林業機械・漁船等の電動化及びその普及に資する技術等の開発」(2021-2022 年度), 農山漁村地域の RE100 に資する VEMS の開発, [https://www.maff.go.jp/j/study/einougata\\_taiyoukou.html/attach/pdf/einou\\_kaigi-57.pdf](https://www.maff.go.jp/j/study/einougata_taiyoukou.html/attach/pdf/einou_kaigi-57.pdf) (取得日: 2022 年 10 月 23 日)



図8 都市地域と農山漁村地域を結ぶエネルギーネットワークの構築

### 3. 実現すべき目標とベンチマーク

2050年カーボンニュートラル実現に向けて、本提案のプラットフォームは、グローバルでのフードサプライチェーンにおけるGHG排出量を実質ゼロへの貢献を目指す。まずは、日本において、フードサプライチェーン下流の食品小売業や外食産業など、最終消費者に近い事業者にもスコープをあて、各事業者のGHG排出量削減取組が最終消費者に「可視化」できるシステムの構築を進める。2030年に向けて当該「可視化」システムの確立を目指すとともに、その手法の国際標準化、および、国際認証プロセスの整備を進める。

本技術戦略における2030年のGHG排出量削減の数値目標は、日本における年間のGHG排出量12.12億トン（2019年確定値）のうち、農林水産業の生産側では、燃料油の中で年間約600万トン-CO<sub>2</sub>を排出するA重油を対象に、施設園芸で燃焼式暖房機からヒートポンプへの代替を進め、2030年までに年間124万トン-CO<sub>2</sub>とする。また、食品小売業や外食産業などの由来を3%、3,600万トンと仮定した場合、その約8%に相当する年間300万トン-CO<sub>2</sub>とする。なお、既存のトラクター、コンバイン、トラック等の農業機械等は、他のSIP課題と連携し、電化や燃料電池化、BDF、バイオマス等の再生可能エネルギー利用を前提とする新技術への代替を進める。

#### 3.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進に関わるベンチマーク

##### ① 施設園芸分野での燃焼式暖房機からヒートポンプへの代替

国内のエネルギー消費約8,225PJの内、農林水産業は233PJ消費し、全消費量の約3%。この内、施設園芸の燃焼式暖房では約36%を消費し、年間約600万トンのCO<sub>2</sub>を排出している。燃焼式暖房からヒートポンプに代替すると、農林水産分野から排出される1/3のCO<sub>2</sub>を削減（約600万トン）。また、燃焼/加温空調から電化によるヒートポンプ空調システムへの代替により、10年間で7500億円（性能・価格250万円/30kW/台、600kW/ヘクタール、販売目標:1500ヘクタール/年、既存の最大暖房負荷の半分の能力）規模の新たな市場を創出する。

##### ② ミニバン、軽トラック、フォークリフト等の農作業車の電動化

近年、農山漁村地域ではガソリンスタンドが減少しているが、地域内には再エネ電力が豊富にあるので、ミニバン、軽トラック、フォークリフト等の農作業車を電動化することにより、ガソリンスタンド減少の問題解消と燃油由来のCO<sub>2</sub>排出量削減に貢献する。また、農家（約120万世帯）が農作業や出荷などで使用する軽トラック等を10年間隔で更新すると、2050年までに360万台（200万円/台）の需要が見込まれ、これらすべて軽トラック等をEV化することにより合計7.2兆円の市場を創出する。

##### ③ バイオガス（メタン）処理

農村地域の家畜排せつ物、下水汚泥、食品廃棄物、農作物非食用部において、発生量の10%をメタン発酵し、バイオガス発電をすると、エネルギー回収量は原油換算で年間約50万kLとなる。また、発酵残渣であるバイオ液肥の25%を化学肥料代替として利用すると、肥料製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量を年間60万トン削減する。



上記グリーン・バリューチェーンプラットフォームの取組み以外にも、日本国内では「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」(省エネ法)において、産業トップランナー制度(ベンチマーク制度)が設けられている。この制度では、当該産業に属する事業者が中長期的に達成すべき省エネ基準を示しており、省エネが他社と比較して進んでいるかを明確にし、遅れている事業者には更なる努力を促すことを目的としている。目指すべき水準は各産業で全体の1~2割の事業者のみが満たす値に設定されている。

表1にベンチマーク指標と目指すべき水準を示す。コールドチェーンに関連するコンビニエンスストア業と食料品スーパー業のみ抽出した。当該ベンチマークを本戦略の提案に適用する場合、両業態ともに電力使用量のみで比較しているため、SCOPE2のみが対象となっており、生産、輸送、廃棄等で生じるGHG排出量の低減取組は考慮されておらず、事業活動全体での評価ができないという問題がある。フードサプライチェーン全体のGHG排出量を削減するには、電力使用量だけではなく、事業活動で発生する全てのGHG排出量を考慮した評価が必要である。

また、目指すべき水準が事業者の括りで設定されているため、店舗毎での比較や、削減取組みの可視化ができない。食品小売業では店舗や地域によって食品、食材、店舗運営方法が異なるため、事業者としてではなく、店舗毎のGHG排出量や削減取組みを可視化することで、削減取組みの加速、消費者の選択への影響度増大に繋がると考えられるため、店舗毎に比較できる仕組みが必要である。

**表 1. ベンチマーク指標と目指すべき水準**

区分	事業	ベンチマーク指標 (要約)	目指すべき水準
7A	通常コンビニエンスストア業	当該事業を行っている店舗における電気使用量の合計量を当該店舗の売上高の合計にて除した値	707kWh /百万円以下
7B	小型コンビニエンスストア業		308kWh /百万円以下
10	食料品スーパー業	(店舗) 当該事業を行っている店舗のエネルギー使用量を当該店舗と同じ規模、稼働状況、設備状況の店舗の平均的なエネルギー使用量で除した値  (事業者) 当該店舗ごとに算出したベンチマーク指標について、店舗ごとのエネルギー使用量により加重平均した値	0.799以下

さらに、スマート農業、スマートフードチェーン、コールドチェーン、ブロックチェーン等の情報を集約・活用し、中長期的に農林水産業に関わる生産・流通・消費の促進、エネルギー調達や、食品廃棄や集落排水まで一貫通貫の取組みを通じて、持続可能な食糧生産/社会システムを構築する必要がある。

## 4. 想定される課題と解決手段

### 4.1 技術面の課題と解決手段

#### 4.1.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進

燃油（ガソリン，軽油，A重油）を利用した場合の運転費は100～200円/L，商用電力を利用した場合の運転費は20～40円/kWhを支出するが，新技術の設備導入や維持コストを含めて，現状と同等になるようなシステム開発が重要である．特に，厳寒な環境でも安定的に採熱できる高効率かつ低コストな施設園芸用ヒートポンプの研究開発と社会実装が必要．また，ミニバン，軽トラック，フォークリフト等の農作業車の電化と社会実装など，農林水産分野で脱炭素を推進・加速するための国や地方自治体の施策やインセンティブが必要．そのためには，他のSIP課題の戦略と，本戦略と横串をさすように連携する必要がある．

#### 4.1.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム

##### ① 「温室効果ガス排出事業効率」算定・管理技術

対象事業者（店舗）における，燃料，電力などのエネルギー使用量，冷凍冷蔵設備や空調機器の冷媒漏洩量（冷媒の追加チャージ量），ならびに，対象事業者が契約する電力供給会社における単位電力量あたりのCO<sub>2</sub>排出原単位，さらに，対象事業者における当該所定期間の売上高をも一元管理し（あるいは対象事業者の経理システムと情報連携し），「温室効果ガス排出事業効率」を計算する技術の構築が必要である．

これを実現するために，「温室効果ガス排出事業効率」を計算するためのデータについて，データフォーマットを定義・標準化し，データベース化する．これにより，様々な店舗に簡単にシステムを導入することが可能となる．

##### ② 「温室効果ガス排出事業効率」に関わる設備運転適正度評価技術

例えば，冷凍冷蔵設備運転の適正度評価技術を確立するためには，冷凍冷蔵設備に保管されている個々の食品，食材の適正保管温度を把握する必要があるとともに，個々の食品，食材を保管している冷凍冷蔵設備の設定温度（もしくは庫内の実測温度）の把握も必要である．個々の食品，食材の適正保管温度は，それらの製造業者が設定した温度と紐づければよいが，全ての食品，食材について，それら個々の実際の保管温度を把握するには新たな仕組みが必要である．

また，店舗内環境の適正度評価技術を確立するためには，まずは店舗内環境（温度，湿度，CO<sub>2</sub>濃度など）の実測が必要である．また併せて，空調換気設備の消費電力量を切り分けるなどして，店舗内環境が冷凍冷蔵設備からの冷気で空調している状態ではなく，空調換気設備が店舗内環境に相応しい運転をしているかをも判断し，適切な店舗内環境が提供できているか評価する．

##### ③ データベース標準化

全ての事業者（店舗）の評価について，不特定多数の最終消費者が，いつでも知りたいときに参照できるようにするためには，評価項目とその評価結果をデータベース化し，その仕様を標準化することは不可欠である．データベースには，下記を含む．

- 事業者名，もしくは店舗名（事業者 No.，もしくは店舗 No.）

- その事業者の業態（コンビニエンスストア業、スーパーマーケット業など）
- その事業者の評価項目（「原材料」「輸送方法」「温室効果ガス排出事業効率」「廃棄量率」「リサイクル率」）ごとの評価（1～5の星数、もしくは値）
- その事業者（店舗）の総合評価（1～5の星数）
- 「温室効果ガス排出事業効率」に関わる設備運転適正度評価

#### ④ 取組表示技術

最終消費者が、知りたい事業者（店舗）の評価を参照するとき、その評価結果は分かりやすく提示されなければならない。そのためには、単に評価結果を表示するだけでなく、事業者のGHG排出量削減の取組・工夫も併せて提示し、評価の高い事業者（店舗）を最終消費者が選択するインセンティブを与える仕掛けが必要である。

#### ⑤ 都市地域と地方農山漁村地域との情報およびエネルギーの連携

農林水産業分野においてAI/IoT技術が積極的に導入されているが、スマート農業、スマートフードチェーン、コールドチェーン等を情報通信プラットフォームにより横串をさし、農林水産に関わる生産・流通・消費に関わる情報共有、肥料・資材・エネルギーの調達等、食料・食品の生産から廃棄まで一気通貫の取組を通じて、持続可能かつGHG削減に資する農林水産業を創生する。また、これらの取り組みに対し、GHG削減食品認証制度の構築とともに、農林水産業者へのインセンティブ付与も重要（図10）。その取り組み例として、3.2.1「必要な新技術の開発要素」に詳述したように、農業・食品に関わる各事業者において、GHG削減量を定量的に段階評価（例：「温室効果ガス排出事業効率（%）」）し、総合評価結果を5段階評価し星数で評価するなどの方法が考えられる。

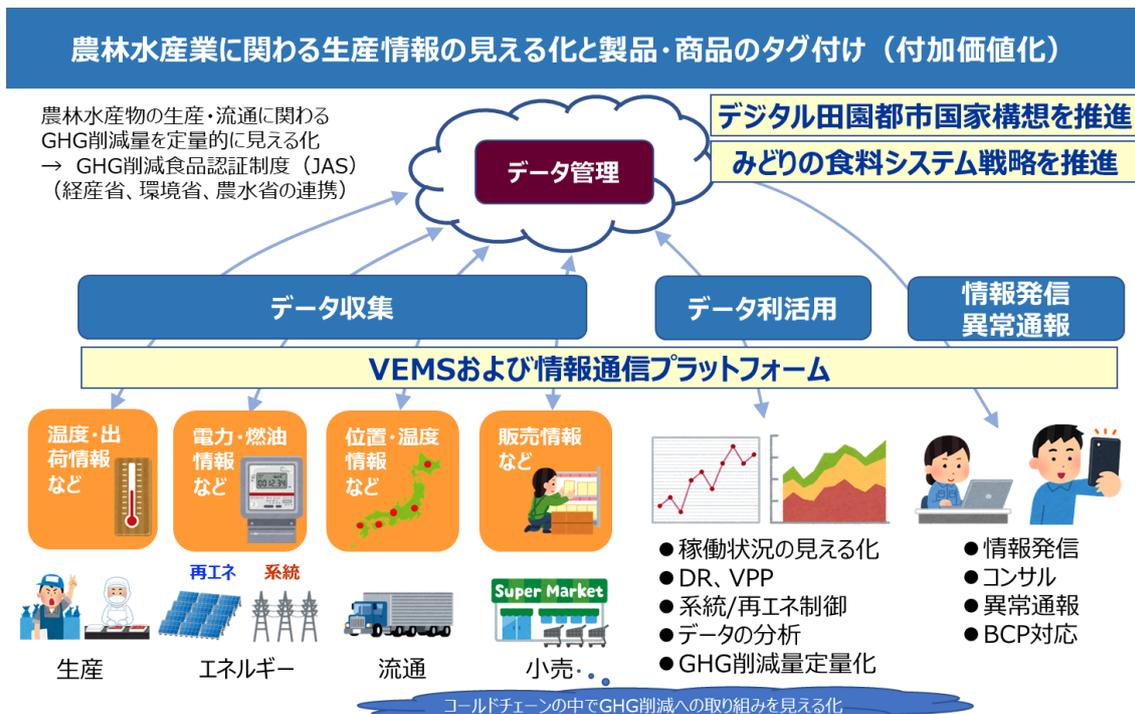


図10 持続可能かつGHG削減に資する農業・食品産業の創生

## 4.2 制度面の課題と解決手段

- ・最終消費者が、農林水産業に関わる生産・流通・小売・外食/中食産業の消費者までの流れに加え、食品廃棄まで一貫通貫の取組みとしての評価内容を、いつでも、どこでも参照できるように、それら事業者に対し本プラットフォームの導入を緩やかに誘導、または、関係省庁、様々なステークホルダー、消費者等との議論の中で義務化を検討する。あるいは、本プラットフォームの評価に関わる認証制度を導入し、各事業者が認証ラベルを自由に使えるようにし、事業者が本プラットフォームを導入するインセンティブを与える。
- ・全ての事業者の本プラットフォーム導入を実現するために、評価に関わる技術導入（測定器やデータベースなど）に必要な投資を補助する制度を設ける。

## 5. 目標実現までのロードマップ

### 5.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進

- 2023年：燃焼機器を代替する施設園芸用ヒートポンプの開発・改良を進めるとともに、実証実験先の検討
- 2024年：実証実験開始（1～2施設）
- 2025年：実証実験の拡大（～10施設）、GHG排出量削減効果の検証
- 2026年：施設園芸用ヒートポンプの市販化モデルの仕様確定と日本国内のヒートポンプ製造企業に参画または協力への呼び掛け
- 2028年：日系メーカを主体として、海外に展開開始
- 2030年：グローバルスタンダードとして施設園芸ヒートポンプを標準化

### 5.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム

- 2023年：① 評価方法の具体化を進めるとともに、実証実験先の検討  
② 情報通信プラットフォームの議論と国際標準化/規格化の検討（IEEE（米国電気電子工学会）、IES（Industrial Electronics Society 工業エレクトロニクスソサエティ）における TCS（Technical Committee of Standards）技術標準委員会）
- 2024年：① 実証実験開始（1～2店舗）と、情報通信プラットフォームの議論  
② IEEE P2992™ Recommended Practice for Data Expression, Exchange, and Processing in Smart Agriculture（スマートアグリカルチャーで推奨されるデータ表現、交換、および処理方法）を IEEE SA に提案
- 2025年：① 実証実験の拡大（～10店舗）、GHG排出量削減効果の検証  
② IEEE P2992 が IEEE SA から承認されれば、情報通信プラットフォーム構築に向けた準備を、国内で有力なステークホルダーとともに議論を開始
- 2026年：プラットフォーム一次案の確定、ISO 標準化の提案開始、日本国内フードサプライチェーンにおける参画企業を呼び掛け

2028年：① 日系メーカーを主体として、海外に展開開始

② 日本国内の有力なステークホルダーに、グリーン・バリューチェーンプラットフォームへの参画を呼び掛け

2030年：グローバルスタンダードとして標準化完了

## 6. 国プロの実施イメージ

### 6.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進

外気温が氷点下近くの気象条件でも、省エネルギー、経済性、CO<sub>2</sub>排出削減に資する施設園芸用ヒートポンプの開発を体系的に進めることにより、投資回収年数を短縮し、社会実装を推進する。

- ① 熱交換器およびヒートポンプユニットの冷媒制御/システム開発
- ② 施設園芸用ヒートポンプの設計・開発
- ③ 施設園芸用ヒートポンプの実証試験
- ④ 標準化/規格化、計測評価/解析評価、省エネ基準の検討
- ⑤ 施設園芸用ヒートポンプの生産作物への適用性評価と社会実装

23年度より開始し、25年度までの上記ヒートポンプの試作・開発と、参加企業と連携しながら商品化/社会実装を目指す。また、国プロの成果の中で標準化/規格化すべきものは、25年度中に関係省庁やステークホルダーとの議論を開始する。

### 6.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム

事業活動に伴うGHG排出量をSCOPE1,2,3に区別して算出し、GHG排出量を削減する様々な取り組みを公開している。大手コンビニエンスストアやスーパーマーケットに協力を仰ぎ、実証実験可能な店舗を選択し、実証実験を行う。この実証実験を通じて、5章に述べた各技術の確立を目指す。

- ① 「温室効果ガス排出事業効率」算定・管理技術：実際に事業者（店舗）に導入する場合の導入課題の明確化と、解決手段の開発
- ② 「温室効果ガス排出事業効率」に関わる設備運転適正度評価技術：実際に事業者（店舗）に導入する場合の導入課題の明確化と、解決手段の開発。また、評価項目の充実検討
- ③ データベース標準化：評価方法の確立と、データベース仕様の確立
- ④ 取組表示技術：評価の高い事業者（店舗）を最終消費者が選択するインセンティブを与えるユーザインタフェースの開発

23年度より開始し、25年度までの上記技術の開発と、データベース仕様確立を目指す。また、国プロの成果の中で標準化すべきものは、25年度中にISO提案を開始する。

また、本戦略で開発した技術を社会実装するには設備投資やインフラ投資が必要となるが、上流側の農林水産業は第一次産業であり、経営規模や事業規模は小さく、その原資を技術の導入者が化石エネルギー代替の対価や、省エネによるコスト削減で得ることは難しく、脱炭

素化のための施策とともに、持続的なインセンティブの付与が必要である。例えば、農林水産物の生産・流通に関わる GHG 削減量を定量的に見える化をすることにより、「GHG 削減食品認証制度」を設け、GHG 削減に貢献する生産者と消費者にインセンティブが還元されるような取り組みが実現すると、本戦略で開発する新技術導入の機運は高まると考える。そのためには、農林水産業に関わる生産、エネルギー消費、流通、小売りまでのすべてがつながる情報の見える化と製品・商品へのタグ付けが重要であり、農林水産業に関わる生産・流通・小売・外食/中食産業の消費者までの流れに加え、食品廃棄まで一貫通貫の情報通信プラットフォームの構築や国際標準化に向けた取り組みが必要である。

本技術戦略の研究開発と社会実装を進める上で、2023～2030年の期間は産官学が連携した委託・補助事業を組み合わせた国プロで進めつつ、2030年以降は国の施策や事業と連携しながら、カーボンニュートラルに向けて企業を中心に研究開発と社会実装を積極的に進める。

## 7. 事業化への戦略、その後の推進主体案

### 7.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進

既存の燃焼式暖房機の代替となる新開発の新開発の施設園芸用ヒートポンプシステムの社会実装を進め、10年間で7500億円（性能・価格：250万円/30kW/台、600kW/ha、販売目標：1500ha/年、既存の最大暖房負荷の半分の能力）規模の需要を創出するとともに、15000haの代替が実現すると、農業分野（施設園芸）分野からのCO<sub>2</sub>排出量を約300万t/年削減できる。また、ヒートポンプの導入が困難であった寒冷地域への新規導入および社会実装を推進する。寒冷地に対応した施設園芸用ヒートポンプシステムを、ビル、住宅、工場、商業施設等への技術・応用展開を図り、社会全体の中で脱化石燃料およびCO<sub>2</sub>削減に資する。Society 5.0やConnected Industriesなど異分野との連携強化が進められているが、国際的競争力を持つ工業・産業分野と農業分野との連携により、地中熱ヒートポンプおよび関連技術の標準化/規格化の検討を進め、グローバル/デファクトスタンダードを目指す。

### 7.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム

7章でも述べたように、まずは大手コンビニエンスストアやスーパーマーケットに協力を仰ぎ、国プロ等も活用しながら、本プラットフォーム導入によるGHG排出量削減を検証するための実証実験を行い、導入課題の明確化、必要な技術開発、および、データベース仕様の確立を目指す。その後は、段階的に対象事業者を増やしていくが、食品小売業や外食産業などが主体的に、このプラットフォームを導入するよう、本プラットフォームの評価に関わる認証制度を確立や、評価に関わる技術導入（測定器やデータベースなど）に必要な投資を補助する制度構築も実施する。

一方、脱炭素化に向けた世界的な潮流の中で化石燃料から再生可能エネルギーへの転換が求められている。本戦略と他のSIP課題が連携し、両輪で事象化を進めることにより、農山漁村地域に新たな産業が生まれ、地域経済の活性化と雇用を創出する仕組みを創生できる。このモデルを諸外国に先駆けて確立していくことは、パリ協定に基づく成長戦略としての長

期戦略の達成に貢献すると共に、脱炭素問題や気候変動問題への対応を進める国際社会においてわが国の立場を高めることに繋がる。これらの取組は欧米を中心に進められている Bioeconomy とは一線を画すものであり、日射量が豊富でバイオマス資源も潤沢かつ高効率に循環できるアジア、アフリカ、中南米等の発展途上国と共有可能な再エネ利用/循環型社会インフラシステムをわが国が中心となり構築する。そのため、CO<sub>2</sub>取引や炭素税等のインセンティブを原資に、2023年～2030年の期間は産官学が連携した委託事業および補助事業を組み合わせた国プロで進めることとし、2030年以降は企業が主体となり社会実装を積極的に進める。

## 8. 政策提言

「グリーン・バリューチェーンプラットフォーム」は、フードサプライチェーン下流の食品小売業や外食産業など、最終消費者に近い全ての事業者（店舗）に導入し、事業活動において GHG 排出量を削減する努力をしている事業者を、最終消費者が選択するよう誘導する仕掛けを提供するものである。したがって、個人が経営するような小さな店舗でも、本プラットフォームを導入できるよう、本プラットフォームの評価に関わる認証制度を確立や、評価に関わる技術導入（測定器やデータベースなど）に必要な投資を補助する制度構築が必要である。

また、「農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進」および「都市地域と農山漁村地域を結ぶ情報通信プラットフォーム」は、農林水産業という国民の生活に欠かすことができない第一次産業を、世界でも先進の技術力を有する第二次産業、また、世界経済第三位の GDP を支える第三次産業とともに連携し、持続・発展させることに資するものである。また、この新たな政策は、GHG 排出量が少ない持続的な食料生産と、農山村地域から都市地域へ食料と再生可能エネルギーの安定供給に資する新たな産業を創出することにも貢献し、「みどりの食料システム戦略」や「デジタル田園都市国家構造」等の施策を推進することとなる。さらに、本技術戦略は国内だけではなく、発展途上国や先進国の農山漁村地域に応用可能な技術であり、地球規模の CO<sub>2</sub> 削減の課題解決に大きく貢献するほか、開発技術を国内・海外に展開することによりわが国の経済振興に資する。

## 9. 想定する主なメンバー

関西電力株式会社、ダイキン工業株式会社、株式会社前川製作所、株式会社三菱総合研究所、コールドストレージ・ジャパン株式会社、富士電機株式会社、三菱重工サーマルシステムズ株式会社、オムロンフィールドエンジニアリング株式会社、株式会社日立ハイテク、東京海洋大学、学校法人慶應義塾等

COCN

COCNプロジェクト 最終報告書(案)(2022年12月26日)

**【Ambient Energy Platform の構築と社会実装】**  
**～熱を含めた統合EMS の早期実現を目指して～**

**<WG連携>**

**都市農業連携持続的脱炭素コールドチェーン**

**メンバー:**

関西電力株式会社, ダイキン工業株式会社, 株式会社前川製作所,  
株式会社三菱総合研究所, コールドストレージ・ジャパン株式会社,  
富士電機株式会社, 三菱重工サーマルシステムズ株式会社,  
オムロンフィールドエンジニアリング株式会社, 株式会社日立ハイテク,  
東京海洋大学, 学校法人慶応義塾

0

COCN

1. プロジェクトのタイトル:  
「都市農業連携持続的脱炭素コールドチェーン」

2. 背景・目的

- 気候変動問題の解決に向けてGHGの削減は世界における喫緊の課題であるが、わが国では「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定され、国連へ提出された。この中で、わが国はCO2排出量を2030年までに46%減とする目標が掲げられている。IPCCの報告では、世界のGHG排出量は年間490億トン(CO2換算)で、この内、農業・林業・その他の土地利用からの排出は、世界全体の約1/4を占める。日本のGHG排出量は12.4億トン(CO2換算)であるが、この内、農林水産分野は年間約5000万トン(全体の約4%)を占める。
- 日本では2050年カーボンニュートラル実現に向け、2030年に2013年比46%のGHG削減の目標があるが、このハードルは高く、あらゆる方面から脱炭素化を推進する必要がある。
- 国内の企業・事業所他部門では、年間約7483 PJの一次エネルギーを消費するが、農林水産業では256 PJを消費し、全体の中で約3.4%を占めるが、この中でA重油、灯油、軽油、ガソリンなどの燃料油が多い。この燃料油の中で、漁船の内燃機関と施設園芸の加温設備で使われるA重油が最も多く、収穫物の乾燥施設、食品加工施設、農業機械等では灯油、軽油、ガソリンなどが使われている。
- 家庭部門を含め、業務部門、産業部門で消費される一次エネルギー内、半分以上は熱エネルギーとして消費されている(図2)。つまり、国内で必要とされるエネルギーの多くは熱エネルギーであり、この熱を得るために大量のCO2が排出されている。ここで重要なのは化石燃料から脱却し、水素化や電化をすれば解決できるものというのではなく、脱炭素化の一丁目一番地は熱として消費されている燃料油由来のエネルギーを削減するとともに、如何に再生可能エネルギーで代替するのかということ、技術の見極めを行い、社会全体で脱炭素化に向けた研究開発を進めることが重要である。

1



1. プロジェクトのタイトル:  
「都市農業連携持続的脱炭素コールドチェーン」

2. 背景・目的

- Nature Food誌によると、世界のフードサプライチェーン(Food System)全体の温室効果ガス排出量は180億トン(全排出量の34%)である。日本のフードサプライチェーンからの温室効果ガス排出量も少なくないと想定され、フードサプライチェーン全体の温室効果ガス排出量を削減する社会システムの構築、制度の拡充が急務である。
- ※ M.Crippa et.al Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions, Nature Food 2, 198-209(2021)
- 温室効果ガス排出量削減には、ライフサイクルでの排出量が少ない食材・食品が消費者から優先して選ばれる社会風土を構築することが重要と考える。その結果、企業間の競争原理が働き、事業者や業界団体により排出量削減に向けた取組みが推進される。
- 食品の生産、加工プロセスにおける温室効果ガス排出量を可視化する取組は、それがフードサプライチェーン全体に占める割合が大きいこともあり、既に様々な取組みがなされている。
- 本戦略では、まだ取組が手薄な、フードサプライチェーン下流の食品小売業や外食産業など、最終消費者に近い事業者にスコープをあて、それら事業者における温室効果ガス排出量を削減する取組を可視化する方を提案する。
- これにより、既存の取組と合わせ、ライフサイクルでの温室効果ガス排出量が少ない食品、食材が、消費者から優先して選ばれる社会風土の構築に貢献できるものとする。
- 将来的には、この仕組みを海外展開し、世界全体の温室効果ガス削減に貢献する。

2



3. 構築するプラットフォームや新技術

3.1 農林水産業に適用するヒートポンプの開発と社会実装案

農林水産業の中で消費される燃料油を大幅に削減する技術として、農林水産業での使用条件に適応に適用するヒートポンプの開発を提案する。

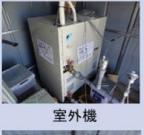
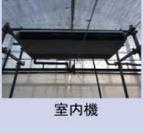
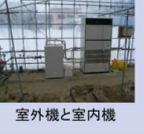
3.1.1 必要な新技術

農業分野で導入されているヒートポンプは空気熱源方式がほとんどである。しかし、空気熱源方式は、熱源の空気中に含まれる水蒸気が、採熱中の室外の熱交換器で霜となって付着すると、空気との熱交換が阻害されるため、除霜運転(デフロスト)をしなければならず、この間は暖房機能が停止し、電力のみが消費される。特に、農林水産分野の中で燃料油の消費が多い施設園芸では安定的な熱源供給が欠かせず、外気温が最も低下する深夜から明け方にかけて暖房負荷が最大となるため、空気熱源方式は設計通りの暖房性能を得ることができず、エネルギー消費効率(成績係数, COP)は2~3程度に低下する。一方、外気温の影響を受けない地中熱源方式のヒートポンプはCOPが4弱あるが、設備等の導入に多額のコストを要するため普及していない。特に、農林水産業地域には太陽熱、地中熱、地下水、農業用水、集落排水、ため池、ダム等の安定した未利用熱源があるので、これらを活用した新たなヒートポンプ技術の開発と社会実装がカギとなる。施設園芸へのヒートポンプの導入を推進するには、空気熱源ヒートポンプの高効率化や地中熱源ヒートポンプの低コスト化など、これまでの既存技術にとらわれない革新的な技術開発が必要である。

3

**COCN**

3.1 構築する農林水産業に適用するヒートポンプの開発と社会実装や新技術(つづき)

空気熱源	地中熱源 (縦孔、600m)	地中熱源 (浅層、深さ1.5m)	地下水熱源 (プレート型熱交換)	地下水熱源 (シート型熱交換)
 室外機	 採熱孔方式の熱交換器	 浅層方式の熱交換器	 井戸汲み上げ配管	 シート型熱交換器
 室内機	 室外機	 室外機	 プレート型熱交換器	 室外機
	 室内機	 室内機	 室外機と室内機	 室内機
<b>成績係数 (COP, Coefficient of Performance)</b>				
2~3	3~4	3~4	3~4	3~4

4

**COCN**

3. 構築するプラットフォームや新技術

3.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム案

本戦略では、グリーン・バリューチェーン下流の食品小売業や外食産業など、最終消費者に近い事業者(店舗)における、SCOPE1,2,3それぞれのGHG排出量削減の取組を総合的に評価するプラットフォームを提案する(図を次ページに掲載)。また、グリーン・サプライチェーン上流側の3.1と連携して双輪で進め、最終的には農業・水産業～加工・流通～販売～廃棄物処理までを一気通貫で結ぶ情報通信プラットフォームの開発・構築を提案する。

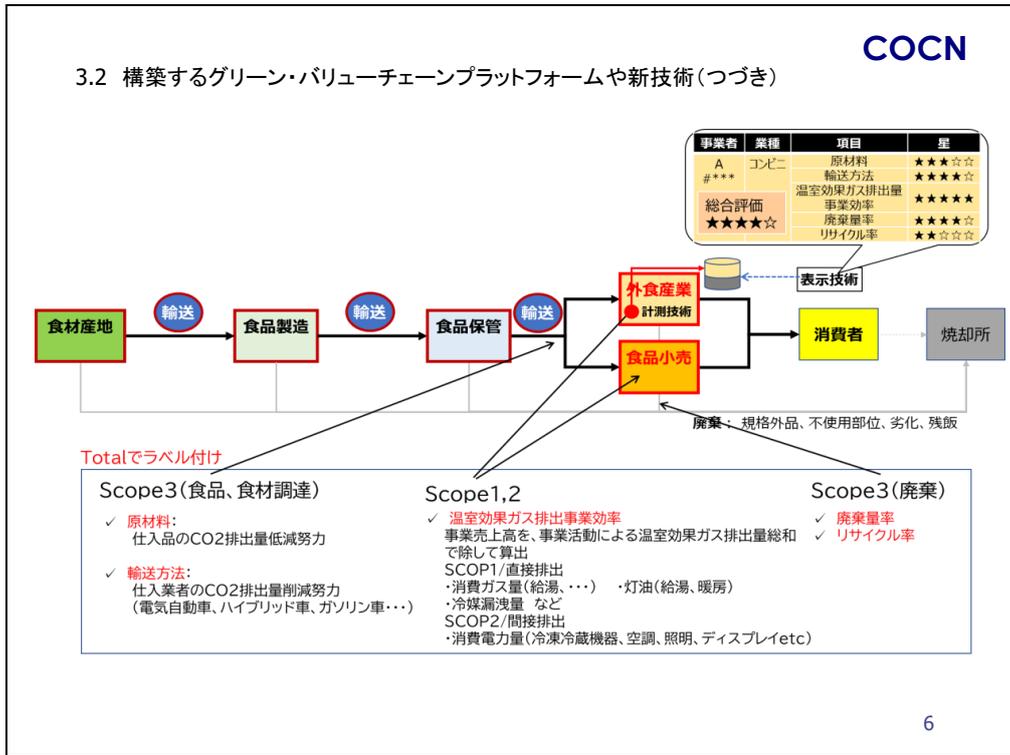
SCOPE1,2の評価は、対象事業者(店舗)の事業売上高を、対象事業者の事業活動による温室効果ガス排出量総量で除した、「温室効果ガス排出事業効率」を算出し評価する。さらに、冷凍冷蔵/空調機器が適正に運転しているかも評価する(設備運転適正度評価)。

SCOPE3は、対象事業者から見て、フードサプライチェーンの上流側と下流側に分かれて評価する。上流側は食品、食材の調達に関わる評価項目で、「原材料」は調達した食品、食材が温室効果ガス排出量低減を考慮したものであるかを評価し、「輸送方法」は対象事業者が温室効果ガス排出量の少ない輸送手段を使っているか否かを評価する。下流側は主に廃棄に関わる評価項目で、食品廃棄(食品ロス)を減らす取組を評価する「廃棄量率」と、発生した廃棄物をリサイクル(資源再生や肥料化など)に回した努力を評価する「リサイクル率」からなる。

3.2.1 必要な新技術

- グリーン・バリューチェーンプラットフォームを実現するためには、対象事業者(店舗)における各評価項目のデータを一元管理し、かつ、適切に一般消費者に提示する表示技術が必要となる。また、「温室効果ガス排出事業効率」に関わり、対象事業者の冷凍冷蔵設備や空調換気設備の設定適正度を最終消費者に提示するための、設備設定適正度評価技術も必要となる。(詳細は5章に記載する)

5



**COCN**

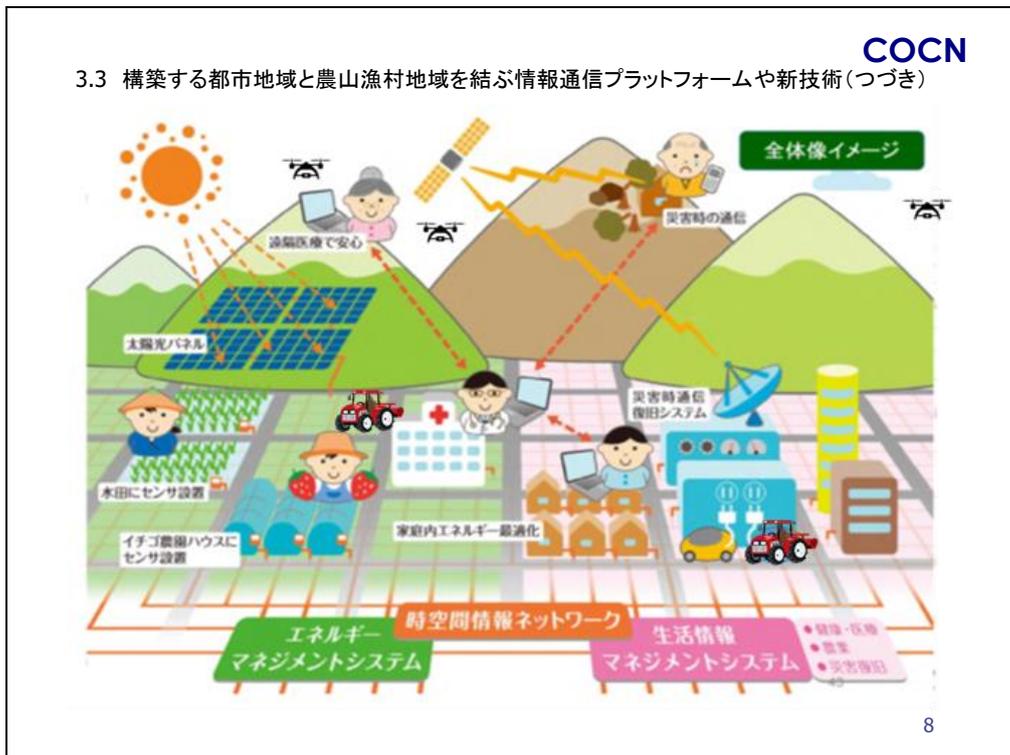
3. 構築するプラットフォームや新技術

3.2.1 必要な新技術(つづき)

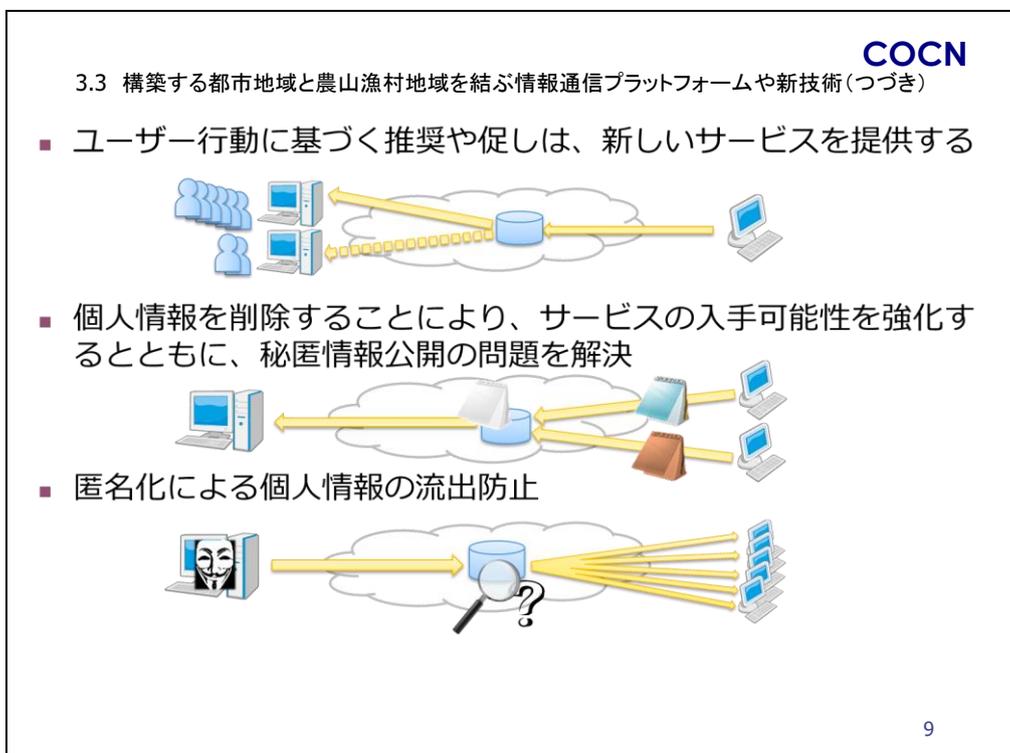
- 農林水産業の現場は電源や通信環境が脆弱な場所が多く、プライベートの無線通信環境も整備しにくいという問題がある。農山漁村地域では人口減少や高齢化などが進んでおり、エネルギーインフラや、医療体制も脆弱である。
- 農林水産業の現場では全天候型のシステムとなるため、ICT機器の導入コストは一般の情報通信環境よりも大きなコスト増となるため、普遍的なシステム構成が必要となる。この観点に立てば、農林水産業の現場における大規模ICTシステム構築は非現実的であり、投資コストを抑えるため、より安価なセンサ、より効率の良いセンサ、より低コストなシステムを望むことは必然である。特に、農林水産業の現場において情報機器の導入が遅れている状況を打破するためにも、低コスト化・高効率化は重要である。
- 情報通信プラットフォームの上位ネットワーク階層ほど匿名度・情報深度・大域の利用価値が増大することから、上位ほどデータ抽象化が進むといえる。結果として、農林水産業に関わる情報の匿名化と共有化が進み、現地で学習、加工、管理、利用、情報発信といった、新たなサービスの提供や利益をもたらす利用が進むと考えられる。
- IoTやAIを導入したスマート農業技術が普及し、新たな市場が形成されつつある。エネルギー管理システム(EMS)においても、①低コストかつ堅牢な各種センサや機器の開発、②フォグ/エッジコンピューティングとエリートデータへの変換によるAI処理、④情報匿名化等、⑤情報通信の標準/規格化などを体系的に進める必要がある。加えて、都市部のHEMS、BEMS、FEMS、CEMSと、地方農山漁村部のVEMSが連携するエネルギーネットワークおよび情報通信プラットフォームを構築する必要がある。

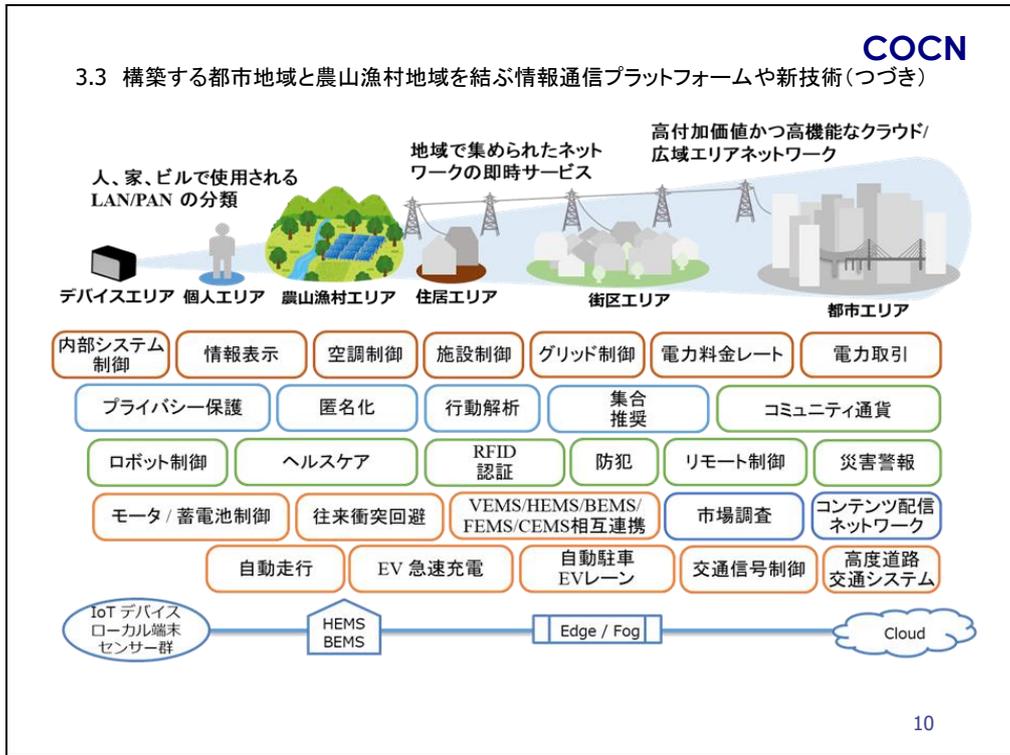
7

スライド 9



スライド 10







4. 実現すべき目標とベンチマーク

4.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進の目標とベンチマーク

2030年のCO2排出量削減目標: 124万トン/年  
 2050年のCO2排出量削減目標: 600万トン/年

① 施設園芸用ヒートポンプ

国内のエネルギー消費約8,225PJの内、農林水産業は233PJ消費し、全消費量の約3%。この内、施設園芸の燃焼式暖房では約36%を消費し、年間約600万トンのCO2を排出。燃焼式暖房からヒートポンプに代替すると、農林水産分野から排出される1/3のCO2を削減(約600万トン)。また、燃焼/加温空調から電化によるヒートポンプ空調システムへの代替により、10年間で7500億円(性能・価格250万円/30kW/台、600kW/ヘクタール、販売目標:1500ヘクタール/年、既存の最大暖房負荷の半分の能力)規模の新たな市場を創出。

② ミニバン、軽トラック、フォークリフト等の農作業車の電動化

近年、農山漁村地域ではガソリンスタンドが減少しているが、地域内には再エネ電力が豊富にあるので、ミニバン、軽トラック、フォークリフト等の農作業車を電動化することにより、ガソリンスタンド減少の問題解消と燃油由来のCO2排出量削減に貢献する。また、販売農家(約120万世帯)の軽トラック等を10年間隔で更新すると、2050年までに360万台の需要が見込まれる。これらをすべての軽トラック等をEV化することにより7.2兆円の市場を創出。

③ バイオガス(メタン)処理

農村地域の家畜排せつ物、下水汚泥、食品廃棄物、農作物非食用部を発生量の10%をメタン発酵し、バイオガス発電をすると、エネルギー回収量は原油換算で年間約50万klとなる。また、発酵残渣であるバイオ液肥の25%を化学肥料代替として利用すると、肥料製造に伴うCO2排出量を年間60万トン削減。



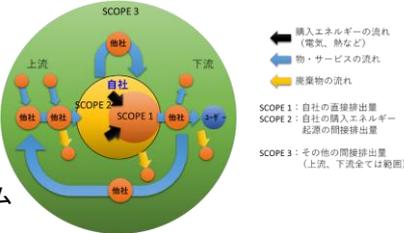
4. 実現すべき目標とベンチマーク

4.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォームの目標

2030年の温室効果ガス排出量削減目標: 300万トン:  
 (日本の食品小売業、外食産業における温室効果ガス排出量3600万トンの約8%と想定)

4.2.1 現状の取組のベンチマーク

- ・環境省主体のグリーン・バリューチェーンプラットフォーム  
 ※ [https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply\\_chain/gvc/](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/)
- SCOPE 1,2,3で温室効果ガス排出量を試算するためのデータベースと算定方法提示
- 統計的に簡略化もしくは平均化したCO2排出原単位を用いて温室効果ガス排出量を算出することになり、店舗ごとの「温室効果ガス排出事業効率」が実態に合わない可能性がある。
- ・省エネ法における事業者クラス分け評価制度及び産業トップランナー制度(ベンチマーク制度)
  - 対象産業に属する事業者が中長期的に達成すべき省エネ基準を設定、省エネが他社と比較して進んでいるかを明確にし、遅れている事業者には更なる努力を促すことを目的
  - 事業者をS(優良事業者)・A(更なる努力が期待される事業者)・B(停滞事業者)へクラス分け
  - 1年度間のエネルギー使用量(原油換算値)が1,500kl以上の事業者が対象
  - 生産、輸送、廃棄等で生じる温室効果ガス排出量の低減取組は考慮されておらず、事業活動全体での評価ができない
  - 目指すべき水準が事業者の括りで設定されているため、店舗毎での評価比較や、削減取組の可視化ができない



13

**COCN**

4. 実現すべき目標とベンチマーク

4.2.1 現状の取組のベンチマーク(つづき)

スマート農業、スマートフードチェーン、コールドチェーン、ブロックチェーン等の情報を集約・活用し、中長期的に農林水産業に関わる生産・流通・消費の促進、エネルギー調達や、食品廃棄や集落排水まで一気通貫の取組みを通じて、持続可能な食糧生産/社会システムを構築。

**農林水産業に関わる生産情報の見える化と製品・商品のタグ付け（付加価値化）**

農林水産物の生産・流通に関わるGHG削減量を定量的に見える化  
→ GHG削減食品認証制度（JAS）  
（経産省、環境省、農水省の連携）

**デジタル田园都市国家構想を推進**  
**みどりの食料システム戦略を推進**

**データ管理**

データ収集

データ活用

情報発信  
異常通報

**VEMSおよび情報通信プラットフォーム**

温度・出荷情報など

電力・燃油情報など

位置・温度情報など

販売情報など

生産

エネルギー

流通

小売

再エネ 系統

Super Market

●稼働状況の見える化

●DR、VPP

●系統/再エネ制御

●データの分析

●GHG削減量定量化

●情報発信

●コンサル

●異常通報

●BCP対応

コールドチェーンの中でGHG削減への取り組み見える化

14

**COCN**

5. 想定される課題と解決手段

5.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進の技術面の課題と解決手段

燃油（ガソリン、軽油、A重油）を利用した場合の運転費は80～150円/L、商用電力を利用した場合の運転費は20～30円/kwhを支出するが、再生可能エネルギーの地産地消を推進するには、設備導入や維持コストを含めて現状と同等になるようなシステム開発が重要である。特に、厳寒な環境でも安定的に採熱できる高効率かつ低コストな施設園芸用ヒートポンプの研究開発と社会実装が必要。また、ミニバン、軽トラック、フォークリフト等の農作業車の電化と社会実装が必要。そのためには、別のSIP課題の戦略と本戦略とを横串をさすように連携する必要がある。

5.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム制度面の課題と解決手段(つづき)

- 事業者（店舗）に対し本プラットフォームの導入を義務化。あるいは、本プラットフォームの評価に関わる認証制度を導入し、各事業者が認証ラベルを自由に使えるようにし、事業者（店舗）が本プラットフォームを導入するインセンティブを与える。
- 評価に関わる技術導入（測定器やデータベースなど）に必要な投資を補助する制度を設定。
- 農林水産業分野においてAI/IoT技術が積極的に導入されているが、スマート農業、スマートフードチェーン、コールドチェーン等を情報通信プラットフォームにより横串をさし、農林水産に関わる生産・流通・消費に関わる情報共有、肥料・資材・エネルギーの調達等、食料・食品の生産から廃棄まで一気通貫の取組を通じて、持続可能かつGHG削減に資する農林水産業を創生する。また、これらの取り組みに対し、GHG削減食品認証制度の構築とともに、農林水産業者へのインセンティブ付与も重要。

15

**COCN**

5. 想定される課題と解決手段

5.1 グリーン・バリューチェーンプラットフォームの技術面の課題と解決手段

技術	課題	解決手段
「温室効果ガス排出事業効率」算定・管理技術	データの一元管理:事業者(店舗)における, ・各種エネルギー使用量 ・冷媒漏洩量 ・電力のCO2排出原単位 ・事業活動による売上高	・各種エネルギー使用量(測定値), 冷媒漏洩量(測定値), 電力のCO2排出原単位(電力供給会社より取得), 売上高を一元管理する仕組みを構築, データベース化
設備運転適正度評価技術	・食品, 食材を保管する冷凍冷蔵設備の負荷適正化 ・空調・換気設備の負荷適正化	・全ての食品, 食材について, それら個々の実際の保管温度を把握する仕組み構築 ・店舗内環境(温度, 湿度, CO2濃度など), および, 空調設備の運転状態把握による, 空調運転適正度評価
データベース標準化	不特定多数の最終消費者が, いつでも知りたいときに, 全ての事業者の評価結果を参照	データベース案 - 事業者名, もしくは店舗名 - その事業者の業態(コンビニエンスストア業など) - その事業者の評価項目(「原材料」「輸送方法」「温室効果ガス排出事業効率」「廃棄量率」「リサイクル率」)ごとの評価(1~5の星数など) - その事業者(店舗)の総合評価(1~5の星数) - 「温室効果ガス排出事業効率」に関わる設備運転適正度評価
取組表示技術	・最終消費者にとって分かりやすく, 高評価事業者の選択を促す評価提示	・評価結果を表示するだけでなく, 事業者の温室効果ガス排出量削減の取組・工夫も併せて提示

16

**COCN**

6. 目標実現までのロードマップ

6.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進

2023年: 燃焼機器を代替する施設園芸用ヒートポンプの開発・改良を進めるとともに, 実証実験先の検討

2024年: 実証実験開始(1~2施設)

2025年: 実証実験の拡大(~10施設), 温室効果ガス排出量削減効果の検証

2026年: 施設園芸用ヒートポンプの市販化モデルの仕様確定と日本国内のヒートポンプ製造企業に参画または協力への呼び掛け

2028年: 日系メーカーを主体として, 海外に展開開始

2030年: グローバルスタンダードとして施設園芸ヒートポンプを標準化

6.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム

2023年: ① 評価方法の具体化を進めるとともに, 実証実験先の検討  
② 情報通信プラットフォームの議論と国際標準化/規格化の検討(IEEE, IESにおけるTCS技術標準委員会)

2024年: ① 実証実験開始(1~2店舗)と, 情報通信プラットフォームの議論  
② IEEE P2992™ Recommended Practice for Data Expression, Exchange, and Processing in Smart AgricultureをIEEE SAIに提案

2025年: ① 実証実験の拡大(~10店舗), GHG排出量削減効果の検証  
② IEEE P2992がIEEE SAから承認されれば, 情報通信プラットフォーム構築に向けた準備を, 国内で有力なステークホルダーとともに議論を開始

2026年: プラットフォーム一次案の確定, ISO標準化の提案開始, 日本国内フードサプライチェーンにおける参画企業を呼び掛け

2028年: ① 日系メーカーを主体として, 海外に展開開始  
② 日本国内の有力なステークホルダーに, プラットフォームへの参画を呼び掛け

2030年: グローバルスタンダードとして標準化完了

17

COCN

7. 国プロの実施イメージ

7.1 農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進  
 外気温が氷点下近くの条件でも、省エネルギー、経済性、CO2排出削減に資する施設園芸用ヒートポンプの開発を体系的に進めることにより、投資回収年数を短縮し、社会実装を推進する。

- ① 熱交換器およびヒートポンプユニットの冷媒制御/システム開発
- ② 施設園芸用ヒートポンプの設計・開発
- ③ 施設園芸用ヒートポンプの実証試験
- ④ 標準化/規格化、計測評価/解析評価、省エネ基準の検討
- ⑤ 施設園芸用ヒートポンプの生産作物への適用性評価と社会実装

23年度より開始し、25年度までの上記ヒートポンプの試作・開発と、参加企業と連携しながら商品化/社会実装を目指す。また、国プロの成果の中で標準化/規格化するべきものは、25年度中に関係省庁やステークホルダーとの議論を開始する。

7.2 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム

温室効果ガス排出量を削減する様々な取り組みを公開している、大手コンビニエンスストアやスーパーマーケットに協力を仰ぎ、実証実験可能な店舗を選択し、実証実験を行う。この実証実験を通じて、5章に述べた各技術の確立を目指す。

なお、本戦略で開発した技術を社会実装するには設備投資やインフラ投資が必要となるが、上流側の農林水産業は第一次産業であり、経営規模や事業規模は小さく、その原資を技術の導入者が化石エネルギー代替の対価や、省エネによるコスト削減で得ることは難しく、脱炭素化のための施策とともに、持続的なインセンティブの付与が必要である。

そのためには、農林水産業に関わる生産、エネルギー消費、流通、小売りまでのすべてがつながる情報の見える化と製品・商品へのタグ付けが重要であり、農林水産業に関わる生産・流通・小売・外食/中食産業の消費者までの流れに加え、食品廃棄まで一貫通貫の情報通信プラットフォームの構築や国際標準化に向けた取り組みが必要である。

18

COCN

8. 事業化への戦略、その後の推進主体案

- 「農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進」は、施設園芸用ヒートポンプシステムの社会実装を進め、10年間で7500億円(性能・価格:250万円/30 kW/台、600 kW/ha、販売目標:1500 ha/年、既存の最大暖房負荷の半分の能力)規模の需要を創出するとともに、15000 haの代替が実現すると、農業分野(施設園芸)分野からのCO2排出量を約300万t/年削減する。Society 5.0やConnected Industriesなど異分野との連携強化が進められているが、国際的競争力を持つ工業・産業界と農業分野との連携により、地中熱ヒートポンプおよび関連技術の標準化/規格化の検討を進め、グローバル/デファクトスタンダードを目指す。
- 「グリーン・バリューチェーンプラットフォーム」は、まずは大手コンビニエンスストアやスーパーマーケットに協力を仰ぎ、国プロ等も活用しながら、本プラットフォーム導入による温室効果ガス排出量削減を検証するための実証実験を行い、導入課題の明確化、必要な技術開発、および、データベース仕様の確立を目指す。
- 本戦略と他のSIP課題が連携し、両輪で事業化を進めることにより、農山漁村地域に新たな産業が生まれ、地域経済の活性化と雇用を創出する仕組みを創生できる。このモデルを諸外国に先駆けて確立していくことは、パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略の達成に貢献すると共に、脱炭素問題や気候変動問題への対応を進める国際社会においてわが国の立場を高めることに繋がる。これらの取組は欧米を中心に進められているBioeconomyとは一線を画すものであり、日射量が豊富でバイオマス資源も潤沢かつ高効率に循環できるアジア、アフリカ、中南米等の発展途上国と共有可能な再エネ利用/循環型社会インフラシステムをわが国が中心となり構築する。そのため、CO2取引や炭素税等のインセンティブを原資に、2023年～2030年の期間は産官学が連携した委託事業および補助事業を組み合わせた国プロで進めることとし、2030年以降は企業が主体となり社会実装を積極的に進める。

19

9. 政策提言

- 「グリーン・バリューチェーンプラットフォーム」は、個人が経営するような小さな店舗でも、本プラットフォームを導入できるよう、本プラットフォームの評価に関わる認証制度を確立や、評価に関わる技術導入(測定器やデータベースなど)に必要な投資を補助する制度構築が必要である。
- 「農林水産業に関わる生産・加工・流通に関わる燃焼機器や内燃機関の電化推進」および「都市地域と農山漁村地域を結ぶ情報通信プラットフォーム」は、農林水産業という国民の生活に欠かすことができない第一次産業を、世界でも先進の技術力を有する第二次産業、また、世界経済第三位のGDPを支える第三次産業とともに連携し、持続・発展させることに資する。また、この新たな政策は、GHG排出量が少ない持続的な食料生産と、農山村地域から都市地域へ食料と再生可能エネルギーの安定供給に資する新たな産業を創出することにも貢献し、「みどりの食料システム戦略」や「デジタル田園都市国家構造」等の施策を推進することとなる。さらに、本技術戦略は国内だけではなく、発展途上国や先進国の農山漁村地域に応用可能な技術であり、地球規模のCO2削減の課題解決に大きく貢献するほか、開発技術を国内・海外に展開することによりわが国の経済振興に資する。

10. 想定する主なメンバー

関西電力株式会社, ダイキン工業株式会社, 株式会社前川製作所, 株式会社三菱総合研究所, コールドストレージ・ジャパン株式会社, 富士電機株式会社, 三菱重工サーマルシステムズ株式会社, オムロンフィールドエンジニアリング株式会社, 株式会社日立ハイテク, 東京海洋大学, 学校法人慶応義塾等

## 【2022 年度 カーボンニュートラルキャンパス WG】

### 1. 背景・目的

2015 年のパリ協定において、「2050 年までにカーボンニュートラル社会の実現」が提唱された。これを受けて日本では、2020 年菅義偉内閣の所信表明演説において、「2050 年までに温室効果ガスの排出をゼロ、すなわち、カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことが宣言され、2021 年 6 月 国・地方脱炭素実現会議において、地域の脱炭素ロードマップが策定された。さらに、2021 年 12 月に経済産業省の「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、カーボンニュートラルとグリーン成長戦略との関係が示され、日本はカーボンニュートラル社会の実現に向けて大きく舵を切ることになった。

一方、キャンパスについては、地域の脱炭素ロードマップの中で示された脱炭素先行地域として、「大学キャンパス等の特定サイト」が明記されており、キャンパスのカーボンニュートラル化が求められている。

本プロジェクトでは、カーボンニュートラルキャンパス実現のための環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステムの構築を目的とし、アカデミックな活動を支えるキャンパスに必要な技術をプラットフォーム化し、標準化を目指すとともに、必要な技術を明確化することを目的とする。

### 2. カーボンニュートラルキャンパスの動向

カーボンニュートラルおよびカーボンニュートラルキャンパスに関する動向を以下に記す。

◆2015 年 12 月 パリ協定／「2050 年までにカーボンニュートラル社会の実現」

◆2020 年 10 月 菅義偉総理大臣所信表明

2050 年までに温室効果ガスの排出をゼロ、すなわち、カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す

◆2021 年 6 月 国・地方脱炭素実現会議

地域の脱炭素ロードマップの策定、100 か所以上の脱炭素先行地域

取り組むべき内容

1. 再エネポテンシャルの最大活用
2. 建築物の省エネ導入及び蓄電池等として活用可能な EV/PHEV/FCV の活用
3. 再生可能エネルギー熱や未利用熱、カーボンニュートラル燃料の利用
4. 地域特性に応じたデジタル技術を活用した脱炭素化の取り組み
5. 資源循環の高度化（循環経済への移行）
6. CO<sub>2</sub> 排出実質ゼロの電気・熱・燃料の融通
7. 地域の自然資源等を生かした吸収源対策

◆2021 年 7 月 「2050 年カーボンニュートラル達成に貢献する大学等コアリション」設立

### 3. カーボンニュートラルキャンパス実現へのアプローチ方法

カーボンニュートラルへのアプローチ方法を、図1に示すA~Eの5つのステップで表現する。このうち、A~Cがエネルギー需要側、Dは主にエネルギー供給側の努力となる。

- A: 負荷を抑制する（断熱を高める、自然エネルギー利用等）
- B: システムを高効率化する（エネルギー効率を高める）
- C: オンサイトの再生可能エネルギーを活用する（太陽光発電等）
- D: 低炭素インフラを利用する（排出原単位を小さくする）
- E: 樹木等により温室効果ガスを吸収・除去する

図1上図はZEBチャートと呼ばれ、ZEBの評価に用いられている。図1下図はZEBチャートの縦軸をCO2の排出原単位で表現したもので、長方形の面積によってCO2の排出量が表現できる。図2にカーボンニュートラル実現の考え方と評価指標の例を示す。このように、カーボンニュートラルの実現は、3つの取り組みの掛け算で表現することができる。

### 4. カーボンニュートラルキャンパス実現のためのメソッド

図3にカーボンニュートラルキャンパス実現のデザインメソッドを示す。大きくは、パッシブ手法、アクティブ手法、インフラ計画に分類され、それらを計画・設計から運用に至る一貫したマネジメント手法から構成される。一貫したマネジメントに不可欠な環境・熱・エネルギーの統合マネジメントシステムの基本フレームを図4に示す。

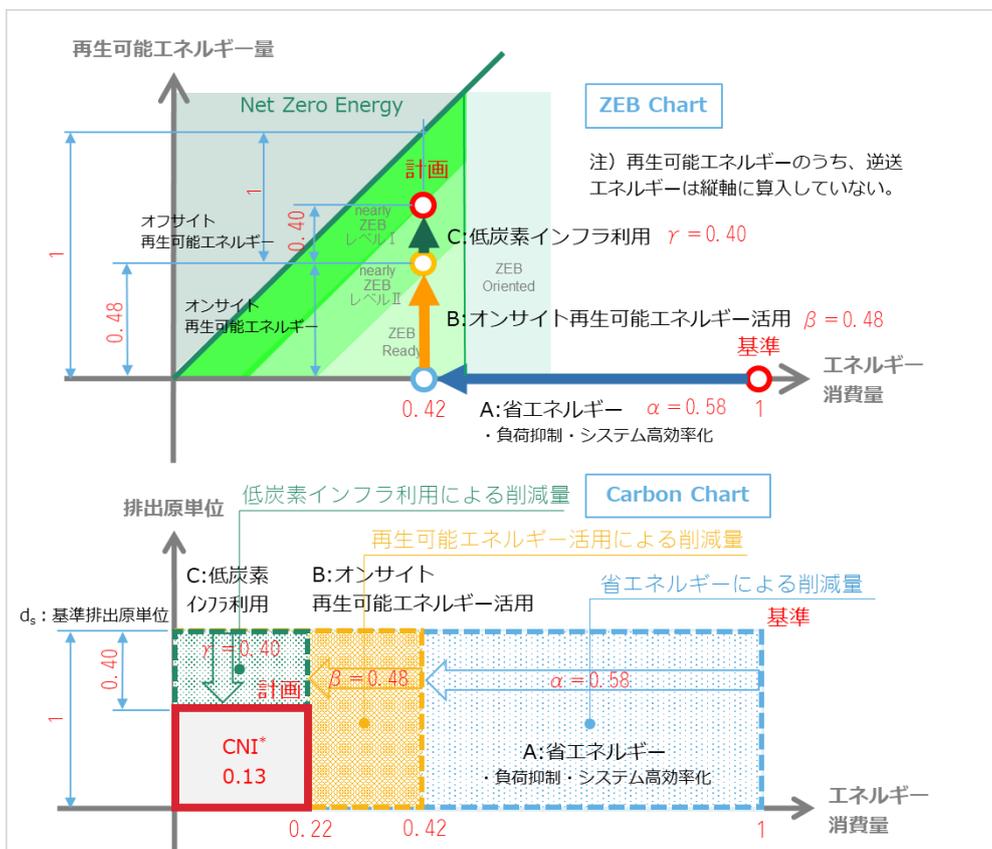


図1 カーボンニュートラルへのアプローチ方法

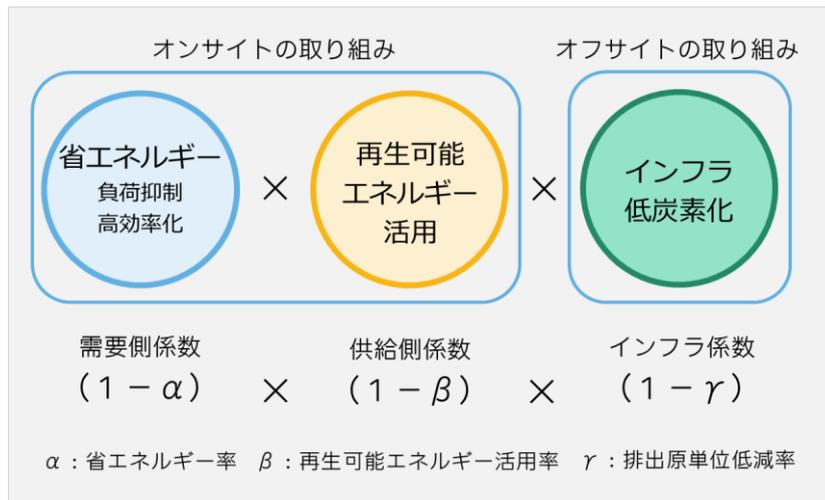


図2 カーボンニュートラル実現の考え方

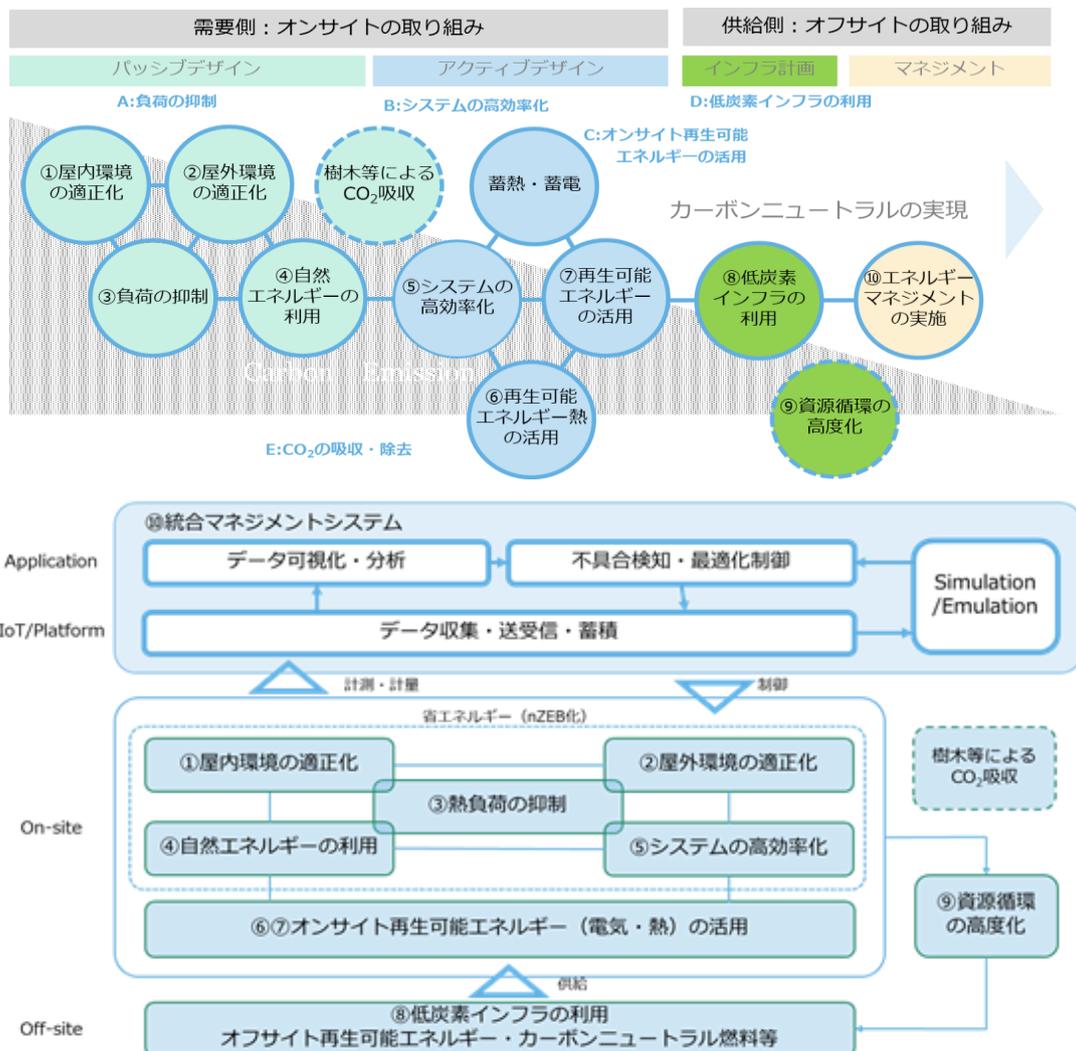


図3 カーボンニュートラルキャンパス実現のためのデザインメソッド

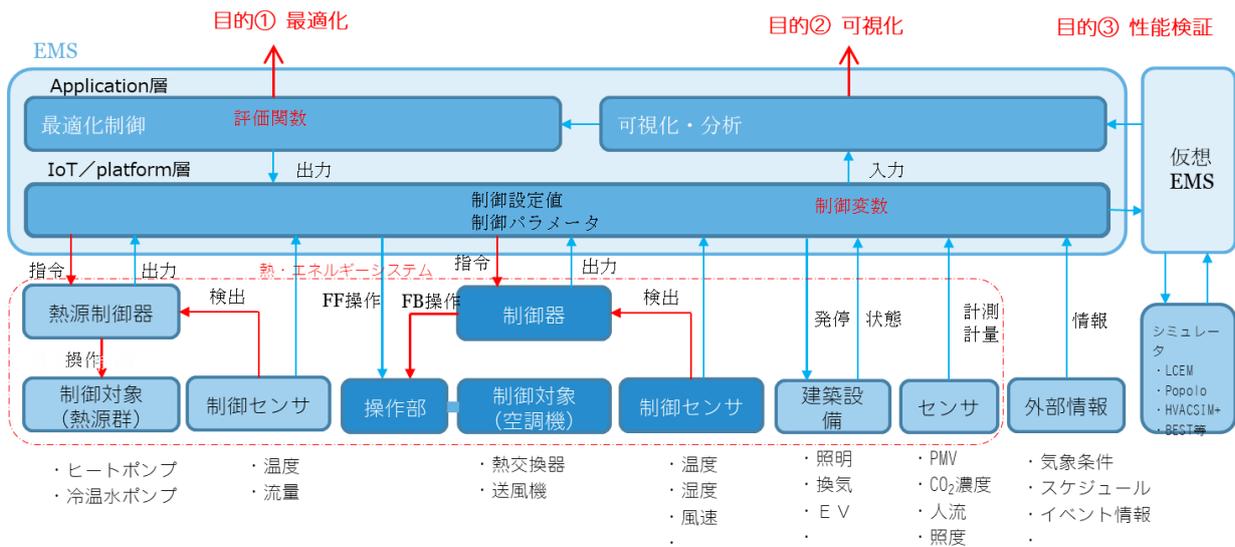


図4 環境・熱・エネルギーマネジメントシステムの基本フレーム

## 5. 検討内容、想定される課題と解決方法

本プロジェクトにおける検討内容を以下に示す。これらのうち、共通課題として①および②、個別課題として③、④が考えられる。共通課題については、カーボンニュートラルに関する定義や評価方法等の基準化、ガイドライン化が必要であり、国や学会等との連携が求められる。一方、個別課題については、キャンパス運営母体である大学発の事業主体の設立と協同が求められる。

- ①カーボンニュートラルキャンパス実現の枠組み
- ②環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステムの基本構造
- ③カーボンニュートラルキャンパス実現のための必要技術の検討
- ④カーボンニュートラルキャンパス実現可能性の検討

## 6. 目標実現までのロードマップ

目標実現までのロードマップを以下に示す。ここでは、おおむね10年後を目途にカーボンニュートラルキャンパスの実現を目指すものとする。システムの構築期間を考慮すると、マネジメントシステムの運用開始は2025～2026年と想定する。

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
◆											
カーボンニュートラルキャンパス宣言											
	統合マネジメントシステムの構築				◆						
				運用開始						カーボンニュートラルキャンパス実現	
					カーボンニュートラルキャンパス実現に向けた運用						◆

## 7. 国プロの実施イメージ

今の段階で、本WGにて国プロで実施すべく内容は考えていないが、統合マネジメントシステムのプラットフォームや仮想EMS、シミュレータ等については、他WGと連携しながら、本プロジェクト全体で国プロとして推進していく必要があると思われる。

## 8. 事業者への戦略、その後の推進主体案

大学発の事業主体を中核とし、カーボンニュートラルキャンパス実現に必要なパートナーを備えた体制を構築する必要がある。基本フレームを図6に示す。キャンパスマネジメントを強力に推進させるためには、パートナーとして、計画・設計段階から施工、運用・管理段階に至る関係者が連携する必要がある。さらに、効果の認証、評価を行うためには第三者的な評価者（学識経験者等）が加わる必要もある。また、プロジェクトを円滑に推進させるためには、国・自治体の支援が必要になると思われるが、具体的な支援内容については今後検討が必要である。以上より、大学キャンパスのカーボンニュートラル化推進メンバーとしては、図7に示すように、大学、事業主体、設計者、施工者、機器製造者、EMS製造者、管理者、評価者、国・自治体等が想定される。

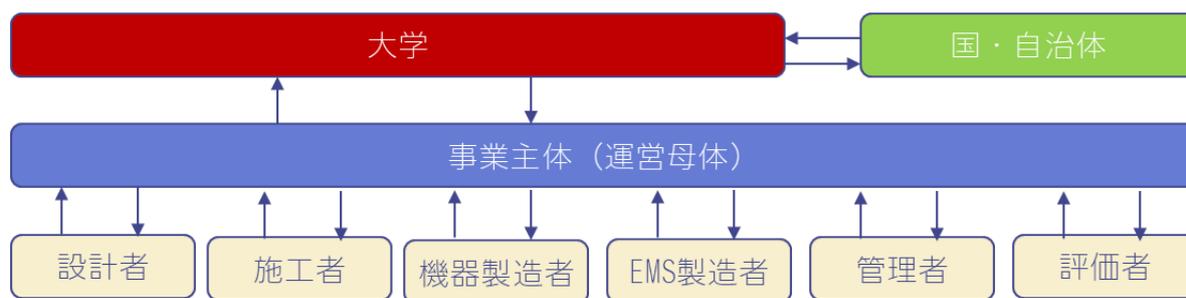


図5 事業化に向けた推進体制案

## 9. 政策提言

政策提言として、以下の4つがあげられる。このうち、①と②は共通課題に関するもの、③と④は個別課題に関するものである。①については、すでに経済産業省等で検討がなされている部分もあり、今後の継続的な展開が期待できる。③④についての具体的な支援制度についての詳細は今後検討が必要であるが、今後開発すべき個別技術等について、次節以降に抽出して記述することとする。

- ①カーボンニュートラルの定義と評価方法の確立
- ②カーボンニュートラルキャンパスの計画ガイドラインの策定
- ③カーボンニュートラルを目指すキャンパスの運営事業主体への支援制度
- ④EMS等の個別技術の開発・検証に対する支援制度

## 10. 必要な要素技術の抽出

### 10.1 屋内環境（温湿度・清浄度等）制御の高度化技術

屋内環境を安全かつ快適に維持、すなわち、適正量の新鮮外気の導入（換気）を行いつつ、温度及び湿度を維持する必要がある一方でカーボンニュートラルの達成に向けて、

- ① 空調負荷を抑制する
- ② 空調システム全体の効率を向上させる

必要がある。外気導入に伴う空調負荷（外気負荷）は空調負荷全体に占める割合が大きいことから、屋内二酸化炭素濃度等の指標を用いて、過不足のないよう換気量を制御する必要がある。かつ、主として屋内外の湿度の差に起因する負荷（潜熱負荷）を効率的に処理する必要がある。そのためには、潜熱処理と顕熱処理を分離し、それぞれを効率的に処理するのが有効である。

デシカント空調機は潜熱処理に優れることから潜熱負荷の大きい外気処理に向き、外気処理に加えて屋内で発生する潜熱も処理可能なよう、潜熱処理能力が高いデシカント空調機を外気調和機（外調機）として使用し、屋内の顕熱は顕熱に特化した空調機（顕熱特化型エアコンや快適性をより重視した輻射パネルなど）に行わせるものとする。デシカント外調機としては、除湿だけでなく加湿についても省エネ性及び制御性が良好なリキッドデシカント式を提案する。リキッドデシカント式外調機を使用し、潜熱処理と顕熱処理を分離することで、除湿冷房時の冷水温度を上げることができ、加湿暖房時の温水温度を上げることが可能となるため、冷温水を供給するヒートポンプチャラーの運転効率を大幅（20%～30%）に引き上げ、空調システム全体の二酸化炭素排出量を大幅に削減することができる。一方で除湿を行う場合、再生（除湿時に液体調湿剤に吸収された空気中の水蒸気を放出する操作）用に 50～60℃程度の温熱が必要となるが、これは太陽熱等のオンサイト再生可能エネルギーによってまかなうものとする。

近年、リキッドデシカント空調機は急速に進歩し、より小型化・省エネルギー化に成功しており、エアハンドリングユニットに搭載可能なモデルも登場している。下図に気液接触機構の従来方式と最新の3流体熱交換方式を示す。

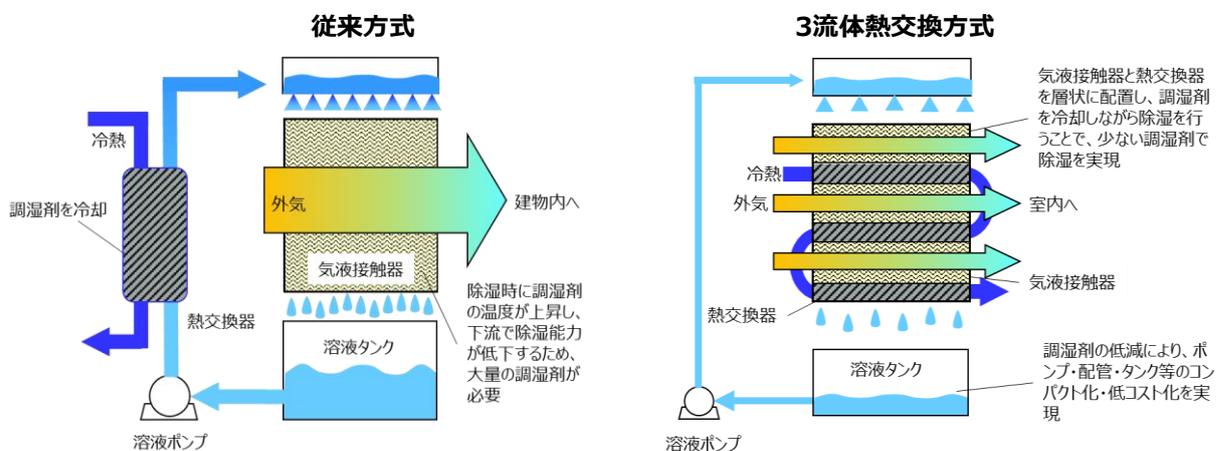


図6 従来方式と3流体熱交換方式の対比

## 10.2 空気調和システムの効率化技術（1）

昨今の換気需要の高まりから外気導入機器の設置は不可欠であるが、外気導入に伴う空調負荷増加への対応と室内湿度環境の維持を行いつつ、システムの効率化を図る必要がある。そのため室内空調負荷に伴う顕熱負荷をパッケージエアコンにて処理し、外気導入に伴う潜熱負荷を潜熱分離空調用外気処理機にて処理を行う。また潜熱分離空調により二次側空調負荷処理機（パッケージエアコン）は給気温度目標を負荷に応じて可変させる事で効率化を行う。

パッケージエアコンでは負荷に応じた圧縮機の目標圧力可変制御を行う事で給気温度を可変させ、従来に対しAPFを向上させる。また、潜熱分離空調用外気処理機では、排熱回収による除湿時の高圧上昇抑制および暖房時の低圧低下抑制を行うことで効率改善を図り、同時に外気処理機のデフロストによるパッケージエアコンへの負荷を軽減させシステム全体で消費電力低減を図る。

パッケージエアコンと潜熱分離空調用外気処理機には省エネ型ヒートポンプ機を熱源機として用い、全体負荷処理バランスを調整する事でシステム全体としてAPF5~10%の改善が図れると考えている。

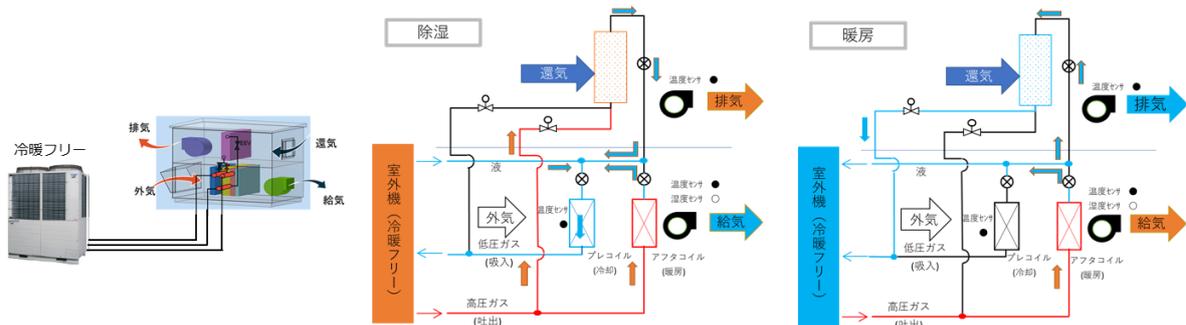


図7 潜熱分離空調用外気処理機

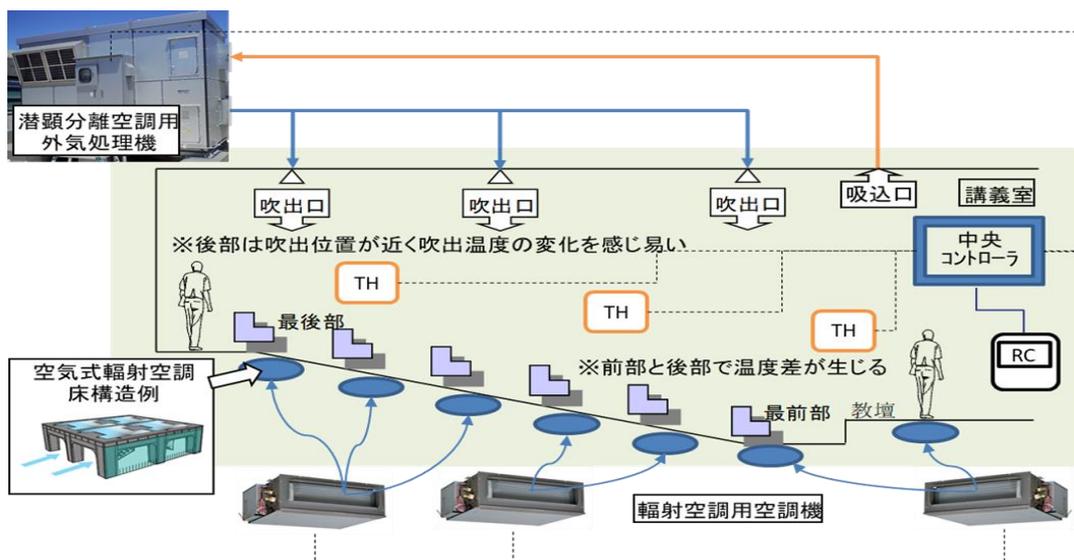


図8 講義室の空気式輻射空調システム（LP/HP最適化による機器効率向上）

### 10.3 空調システムの高効率化技術（2）

大学研究室等を対象に、調湿外気処理機と高顕熱型ビル用マルチエアコン（VRV）を組み合わせた潜熱顕熱分離空調システムとし、ゼロエネルギーバンド制御等、空調・換気に係る制御を統合的に管理するための空調プラットフォームを構築する。

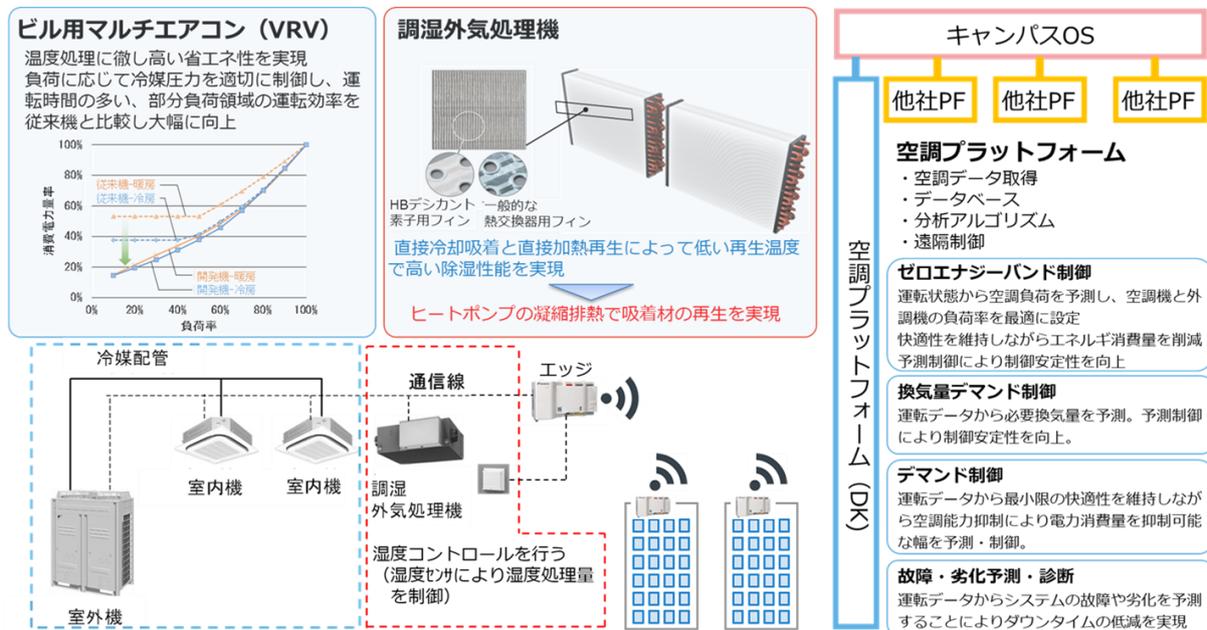


図9 潜熱顕熱分離空調と空調プラットフォームの構築

### 10.4 空調システムの高効率化技術（3）

省エネ性や快適性向上のための連動制御は、通信方法が各社独自仕様となっているため、空調機と換気機器が同一メーカーの場合でしか実施できない。異なるメーカー同士での連動制御を実現するために、連動情報のプラットフォーム化を行う。

- CO2センサ/人感センサ活用による 換気負荷の最適化 （省エネ）
- 気流制御による社内温度むら改善による省エネ性改善。
- 非接触 バイタルセンサにより 脈拍・呼吸・体動・ストレス等を検知しながら、環境が学習への集中度等の取り組みに与える影響を評価

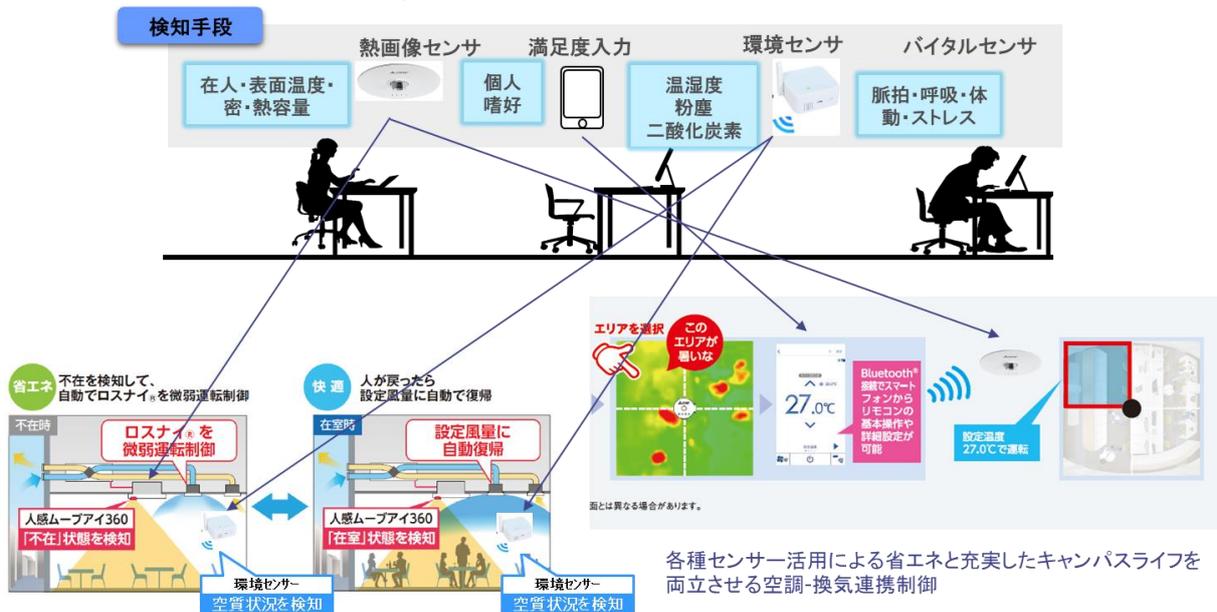


図 10 空調・換気連携制御の構築

## 10.5 AIによる運用分析、最適化制御、故障検知・不具合検知

大学の場合、夏季休暇や学会発表などのイベントにより、季節や特定期間ごとに施設の利用率が大きく異なる。さらにキャンパス施設の長期使用が想定され、機器劣化の影響も含めたエネルギー制御が望ましい。

そこで制御においては、建屋・機器のエネルギーシミュレーションだけでなく、人のスケジュールリングや保守や修繕までを統合する技術開発が必要である。具体的には、1) 負荷や建屋、機器を統合した分単位から年単位までカバーするシミュレーション技術開発、2) スケジュール変数(時間、場所、人)を特徴量、エネルギー入力を評価関数とした機械学習の実装技術である。特に建屋、機器の熱エネルギーシミュレータやビルの入退出管理ソフトなど要素技術は既存のものを活用し、それらの統合化および実証が重要と考えられる。

- 【考え方】 建屋・機器のエネルギーシミュレーションと人のスケジュールリングを統合して、機械学習によるエネルギーミニマム運用を実現する
- 1) 負荷まで含んだ建屋、機器の統合シミュレーションを開発  
主要な変数に対して、分単位から年単位のシミュレーションを実現
  - 2) 「スケジュール変数(時間、場所、人)に対するエネルギー入力」を評価関数にして機械学習を活用

課題	アプローチ	備考
大学の場合、季節やイベントにより、施設の利用率が大きく異なる	大学の主要イベントと設備稼働のスケジュールリング活用技術 (時刻、場所、人、エネルギー) ・主要施設へのイベント集中化 ・ビルマネ技術の転用 入退出ログなどから機械学習でスケジュールリング ・情報アセット(本や書類)電子化/研究室のフリーアドレス化や学生、職員のスケジュール活用などの運用面での施行	学生の入退出などスケジュールリングソフト、ビル管理ソフト活用
	長期的なエネルギー予測 ・機器の劣化予測を組み込んだエネルギー評価技術 ・負荷を考慮した機器リプレース、建屋改修による省資源化	シミュレーションとデータ補正

## AIによる運用分析の考え方

- 【具体的内容】
- 1) 負荷まで含めた建屋、機器の統合シミュレータの開発(分単位から年単位のシミュレーション)  
⇒建屋、機器の熱エネルギーシミュレータに、スケジュール機能を統合
  - 2) 階もしくは部屋単位のエネルギー入出力の時間履歴から、ミニマム運用となるスケジュール(時間、場所、使用者)作成技術の開発。
  - 3) 入退出管理やテキスト情報の機械学習を活用した、ミニマム運用スケジュール作成技術の検証  
⇒学生や教職員のスケジュール登録など、運用施行で検証



図 11 AIによる運用分析のデータ例

## 10.6 環境パフォーマンス管理

大学において、キャンパス全体における環境パフォーマンスを管理するためには、様々なスマートセンサーを通じてエネルギー使用量やCO2排出量などの環境データを収集し、これを多角的に分析したり、管理したりすることが必要となる。

この環境パフォーマンス管理には、効率的に行うITシステムが非常に重要である。例えば下記の「GreenGlobeX」は、実際に大規模な企業において環境経営支援ツールとして実績があるソフトウェアである。全社目標値を踏まえた拠点や部門ごとの目標値を年度単位で設定し、進捗状況と対比することが可能となっている。拠点や設備単位に入力する実績データを、複数拠点に職場が分散する部門単位に組み替えて表示することも可能である。実績データは省エネ法や温対法の報告にそのまま出力可能であり、法改正による係数変更も自動更新で対応している。

大学キャンパスにおいては、本部や各学部、遠隔地の研究施設なども含めた、複数ある拠点を一元的に管理できる。大学における環境パフォーマンスの目標管理や可視化に繋がるとともに、データの収集・集計・進捗管理に必要な作業を省力化することが期待できる。

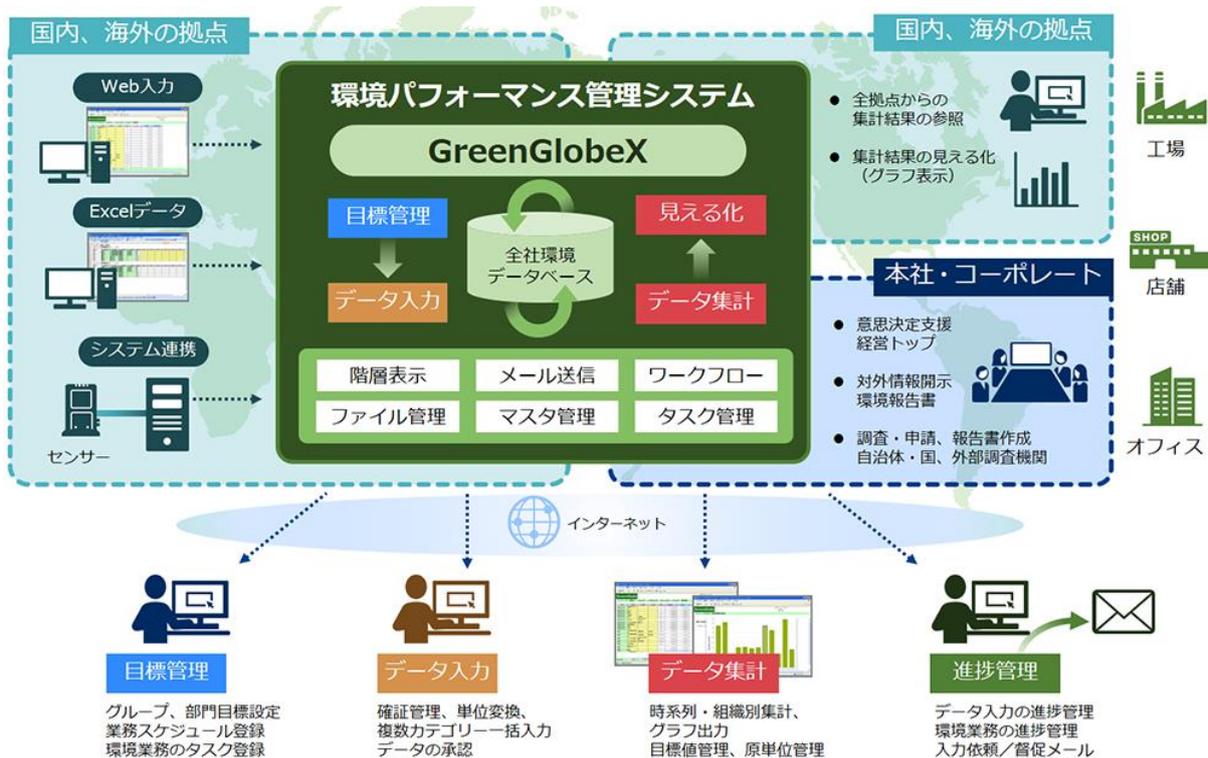


図 12 環境パフォーマンス管理システム

## 11. カーボンニュートラルキャンパス実現可能性の検証

カーボンニュートラルキャンパス実現のイメージを図 13 に示す。キャンパス内 A：建築物の省エネルギー率、B：オンサイトの再生可能エネルギー利用、C：低炭素インフラの利用、D：樹木等による CO<sub>2</sub> 吸収・除去を達成することにより、キャンパスにおける CO<sub>2</sub> の排出量実質ゼロの実現を目指す。図 14 に、必要技術の実証、実装、展開のイメージを示す。一部のエリアにおいて実証試験を行った後、キャンパスへの実装を計画し、キャンパス全体、さらには周辺地エリアへの展開をはかる。

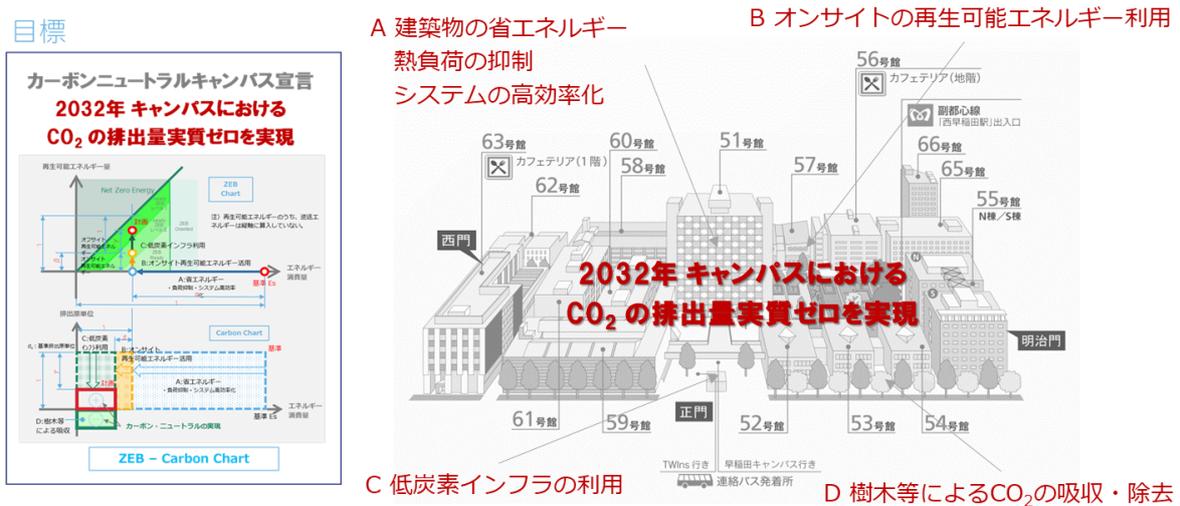


図 13 カーボンニュートラルキャンパス実現のイメージ

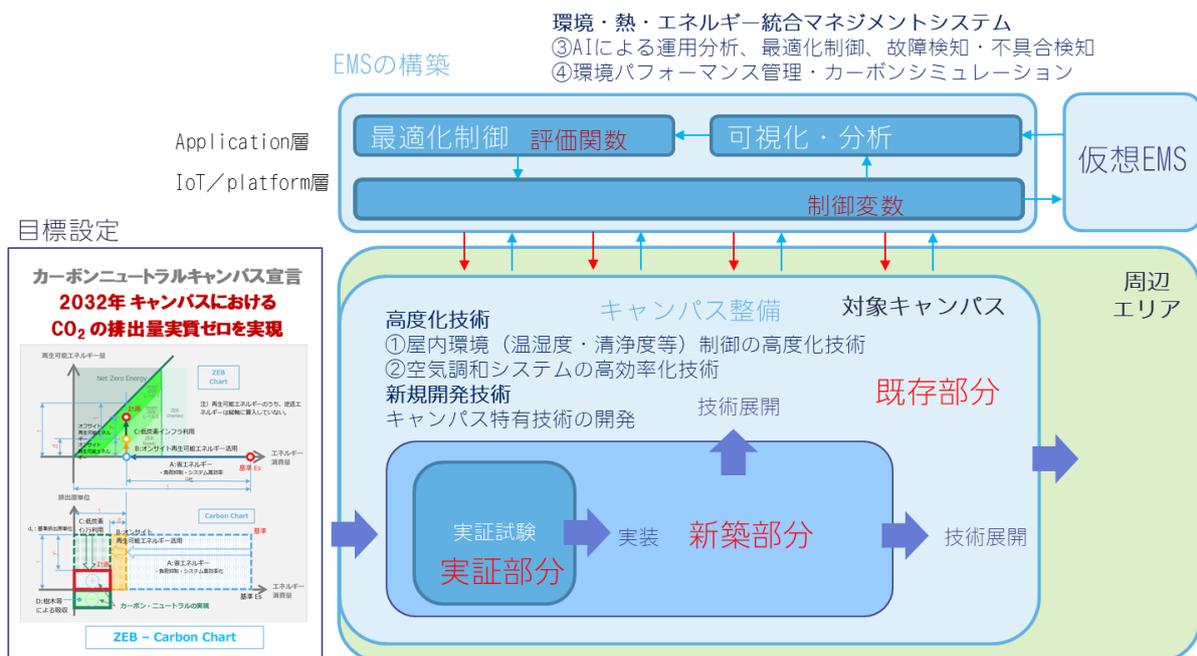


図 14 必要技術の実証と実装、展開のイメージ

## 12. 対象キャンパスの概要とエネルギー実態

対象とするキャンパスの概要を図 15 に示す。表 1 に、建物別一次換算エネルギー消費量の  
実態（2019 年度）を示す。

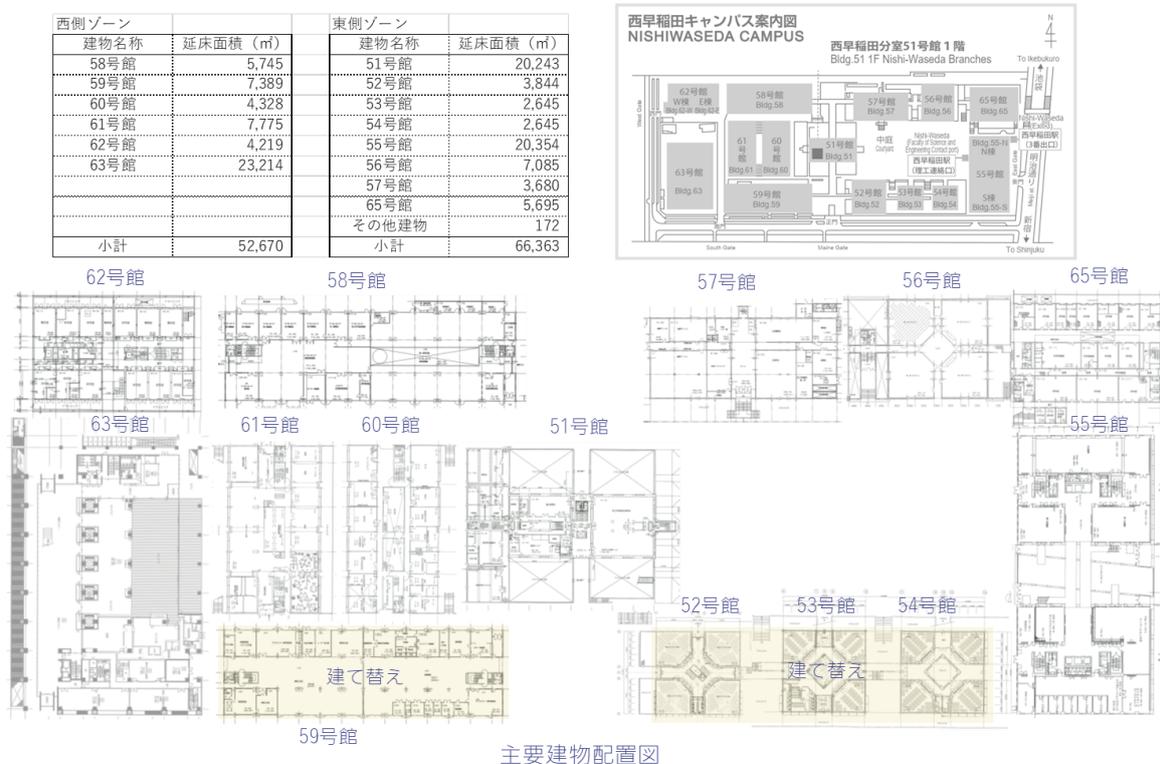


図 15 対象キャンパスの概要

表 1 建物別一次換算エネルギー消費量（2019 年度）

ゾーン	建物名称	延床面積 (㎡)	電気 (kWh/年)	都市ガス (m <sup>3</sup> /年)	一次エネルギー (MJ/年)	一次エネルギー原単位 (MJ/年㎡)
東	51号館	20,243	2,680,200		26,158,752	1,292
	52号館	3,844				
	53号館	2,645	531,392		5,186,386	1,349
	54号館	2,645				
	55号館	20,354	3,561,300	139	34,764,543	1,708
	56号館	7,085	1,359,600	26,501	14,462,241	2,041
	57号館	3,680				
	65号館	5,695	2,674,300		26,101,168	4,583
	その他建物	172			0	0
	熱源機器		260,688	14,339	3,189,570	
小計	66,363	11,067,480	40,979	109,862,660	1,655	
西	58号館	5,745	1,011,600		9,873,216	1,719
	59号館	7,389	819,600		7,999,296	1,083
	60号館	4,328	368,000		3,591,680	830
	61号館	7,775	931,400		9,090,464	1,169
	62号館	4,219	1,851,900		18,074,544	4,284
	63号館	23,214	4,304,720	1,054	42,061,497	1,812
	熱源機器		221,180	96,032	2,254,794	
	小計	52,670	9,508,400	97,086	92,945,491	1,765
その他			440,006	19,800,270		
合計	119,033	20,575,880	578,071	222,608,421	1,870	

図 16 に、対象とするキャンパスにおけるカーボンニュートラル化の数値目標の目安（案）を示す。この案は、オンサイト側で 50%の削減（再生可能エネルギー利用量を含む）、オフサイト側で 50%の削減、 $CNI^*=0.25$  を目安とするものである。

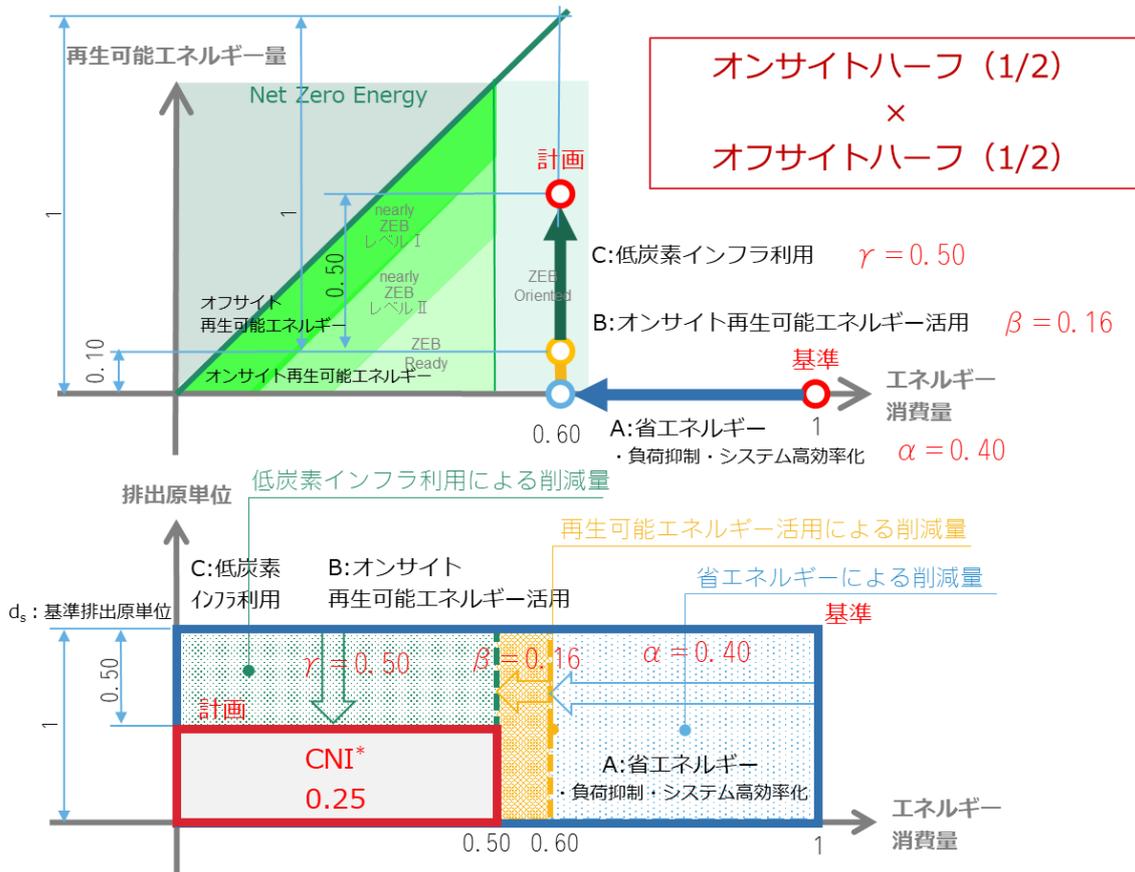


図 16 対象キャンパスのカーボンニュートラル化数値目標の目安（案）

## スライド 1

**COCN**

**カーボンニュートラルキャンパス実現のための  
環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステムの構築**

カーボンニュートラルキャンパスWG

2022年報告

2022年12月25日

主査：丹羽 英治（日建設計総合研究所）  
副査：松井 伸樹（ダイキン工業），  
久保田 淳（日立製作所）  
委員：原田 政利（ダイナエアー），  
後藤 隆司（三菱重工サーマルシステムズ）  
平 陽介（日本電気株式会社）  
馬場 雅和（日本電気株式会社）  
所谷 雅史（三菱重工冷熱）  
加藤 隆博（三菱重工サーマルシステムズ）

## スライド 2

**COCN**

**背景・目的**

2015年のパリ協定において、「2050年までにカーボンニュートラル社会の実現」が提唱された。これを受けて日本では、2020年菅義偉内閣の所信表明演説において、「2050年までに温室効果ガスの排出をゼロ、すなわち、カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことが宣言され、2021年6月国・地方脱炭素実現会議において、地域の脱炭素ロードマップが策定された。さらに、2021年12月に経済産業省の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、カーボンニュートラルとグリーン成長戦略との関係が示され、日本はカーボンニュートラル社会の実現に向けて大きく舵を切るようになった。

一方、キャンパスについては、地域の脱炭素ロードマップの中で示された脱炭素先行地域として、「大学キャンパス等の特定サイト」が明記されており、キャンパスのカーボンニュートラル化が求められている。

本WGでは、カーボンニュートラルキャンパス実現のための環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステムの構築を目的とし、アカデミックな活動を支えるキャンパスに必要な技術をプラットフォーム化し、標準化を目指すとともに、必要な技術を明確化することを目的とする。

1

**COCN**

## カーボンニュートラルキャンパス実現の枠組み

**ZEB Chart**  
 Net Zero Energy  
 再生可能エネルギー量  
 オフサイト再生可能エネルギー  
 オンサイト再生可能エネルギー  
 再生可能エネルギー活用による削減量  
 低炭素インフラ利用による削減量  
 省エネルギーによる削減量  
 基準  
 エネルギー消費量  
 注) 再生可能エネルギーのうち、送電エネルギーは脱炭に算入していない。  
 A: 省エネルギー  $\alpha = 0.58$   
 B: オンサイト再生可能エネルギー活用  $\beta = 0.48$   
 C: 低炭素インフラ利用  $\gamma = 0.40$

**Carbon Chart**  
 排出原単位  
 再生可能エネルギー活用による削減量  
 省エネルギーによる削減量  
 低炭素インフラ利用による削減量  
 基準  
 エネルギー消費量  
 C: 低炭素インフラ利用  
 B: オンサイト再生可能エネルギー活用  
 A: 省エネルギー  
 削減率  
 排出原単位削減率  $\gamma = 0$   
 排出原単位削減率  $\gamma = 0.4$   
 CNI\* = 0.13  
 CNI\* = 0.22  
 CNI\* = 0.13  
 $\alpha = 0.58$   
 $\alpha = 0.58$

カーボンニュートラル実現へのアプローチ方法

オンサイトの取り組み × オフサイトの取り組み

省エネルギー  
 負荷抑制  
 高効率化

再生可能  
 エネルギー  
 活用

インフラ  
 低炭素化

需要側係数  $(1 - \alpha)$  × 供給側係数  $(1 - \beta)$  × インフラ係数  $(1 - \gamma)$

$\alpha$ : 省エネルギー率  $\beta$ : 再生可能エネルギー活用率  $\gamma$ : 排出原単位削減率

カーボンニュートラル実現の考え方

実現のデザインメソッドと統合マネジメントシステム  
2

**COCN**

## 環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステムの基本構造

統合MS構築の目的 ①最適化 ②可視化 ③性能検証

目的① 最適化

目的② 可視化

目的③ 性能検証

EMS  
 Application層: 最適化制御 (評価関数), 可視化・分析  
 IoT/platform層: 制御設定値, 制御パラメータ, 制御変数  
 熱・エネルギーシステム: 熱源制御器, 制御器, 制御対象 (空調機), 制御センサ, 操作部, 制御対象 (熱源群), 制御センサ, 建築設備, センサ, 外部情報  
 仮想EMS: シミュレータ (LCEM, Popolo, HVACSIM+, BECT等)

環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステム

3

**COCN**

## 社会実証試験による カーボンニュートラルキャンパス実現可能性の検証

**目標**

**カーボンニュートラルキャンパス宣言**  
2032年 キャンパスにおける  
CO<sub>2</sub>の排出量実質ゼロを実現

ZEB - Carbon Chart

**2032年 キャンパスにおける  
CO<sub>2</sub>の排出量実質ゼロを実現**

**A 建築物の省エネルギー  
熱負荷の抑制  
システムの高効率化**

**B オンサイトの再生可能エネルギー利用**

**C 低炭素インフラの利用**

**D 樹木等によるCO<sub>2</sub>の吸収・除去**

**カーボンニュートラルキャンパスの実現イメージ**

4

**COCN**

## 社会実証試験による カーボンニュートラルキャンパス実現可能性の検証

環境・熱・エネルギー統合マネジメントシステム  
③AIによる運用分析、最適化制御、故障検知・不具合検知  
④環境パフォーマンス管理・カーボンシミュレーション

**目標設定**

カーボンニュートラルキャンパス宣言  
2032年 キャンパスにおける  
CO<sub>2</sub>の排出量実質ゼロを実現

ZEB - Carbon Chart

**EMSの構築**

Application層

IoT/platform層

最適化制御 評価関数 ← 可視化・分析

制御変数

仮想EMS

↓

**高度化技術**  
①屋内環境（温湿度・清浄度等）制御の高度化技術  
②空調調和システムの高効率化技術

**新規開発技術**  
キャンパス特有技術の開発

キャンパス整備

対象キャンパス

技術展開

既存部分

実証試験 → 実装 → 新築部分 → 技術展開

周辺  
エリア

5

**COCN**

## カーボンニュートラルキャンパス実現のための必要技術 屋内環境（温湿度・清浄度等）制御の高度化技術

提案する空調システム

潜熱処理

リキッドデシカント外調機(LDOHU)

+

顕熱処理

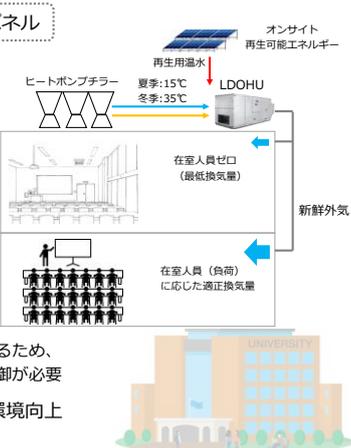
高顕熱エアコン or 輻射パネル

潜顕分離、冷熱・温熱の条件緩和により  
屋内環境（温湿度・清浄度等）を高度に制御しながら  
熱源機のCOP20%以上向上



**熱・エネルギー統合マネジメントシステム**

- 大学特有の負荷の変動に対応した制御
  - 生徒の出入りにより換気を含めた負荷の変動が急激であるため、安定した環境維持のためには、負荷の変動を予測した制御が必要
- 換気量のコントロールによる外気負荷抑制と室内環境向上
  - CO2濃度による適正換気量の維持
  - VAVとファンインバーター周波数による制御



再生可能エネルギー  
オンサイト  
再生用温水

ヒートポンプチャラー  
夏季:15℃  
冬季:35℃

LDOHU

新鮮外気

在室人員ゼロ  
(最低換気量)

在室人員(負荷)  
に応じた適正換気量



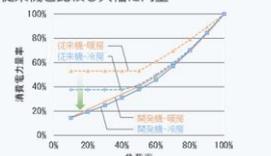
6

**COCN**

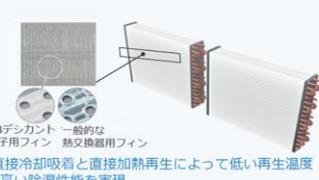
## カーボンニュートラルキャンパス実現のための必要技術 空調和システムの高効率化技術（1）

**ビル用マルチエアコン (VRV)**

温度処理に高い省エネ性を実現  
負荷に応じて冷媒圧力を適切に制御し、運転時間の多い、部分負荷領域の運転効率を従来機と比較し大幅に向上



**調湿外気処理機**



Hbデシカント 一般的な素子用フィン 熱交換器用フィン

直接冷却吸着と直接加熱再生によって低い再生温度で高い除湿性能を実現

ヒートポンプの凝縮排熱で吸着材の再生を実現

キャンパスOS

他社PF

他社PF

他社PF

**空調プラットフォーム**

- ・空調データ取得
- ・データベース
- ・分析アルゴリズム
- ・遠隔制御

**ゼロエナジーバンド制御**

運転状態から空調負荷を予測し、空調機と外調機の負荷率を最適に設定  
快適性を維持しながらエネルギー消費量を削減  
予測制御により制御安定性を向上

**換気量デマンド制御**

運転データから必要換気量を予測。予測制御により制御安定性を向上。

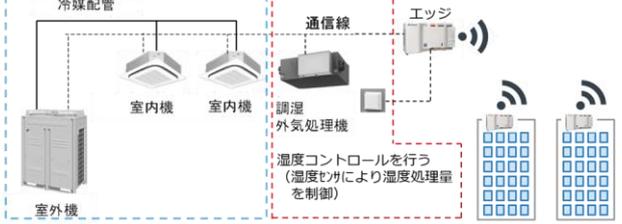
**デマンド制御**

運転データから最小限の快適性を維持しながら空調能力抑制により電力消費量を抑制可能な幅を予測・制御。

**故障・劣化予測・診断**

運転データからシステムの故障や劣化を予測することによりダウンタイムの低減を実現

空調プラットフォーム (DX)



冷媒配管

室外機

室内機

室内機

通信線

エッジ

調湿外気処理機

湿度コントロールを行う(湿度センサにより湿度処理量を制御)

7

**COCN**

## カーボンニュートラルキャンパス実現のための必要技術 空気調和システムの高効率化技術（2）

中～大講義室用空調システム	機器
潜熱分離空調システム + 輻射空調システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各機器の圧縮機圧力可変制御を行い運転点を適正化。</li> <li>・輻射空調を組み合わせる事で必要なポイントに絞って温度管理を行い空間全体を空調する無駄を削減。</li> <li>・居室からの運気(排気)の排熱回収を行い外気処理機のデフロストを抑えシステム全体で省エネを図る。</li> </ul>

8

**COCN**

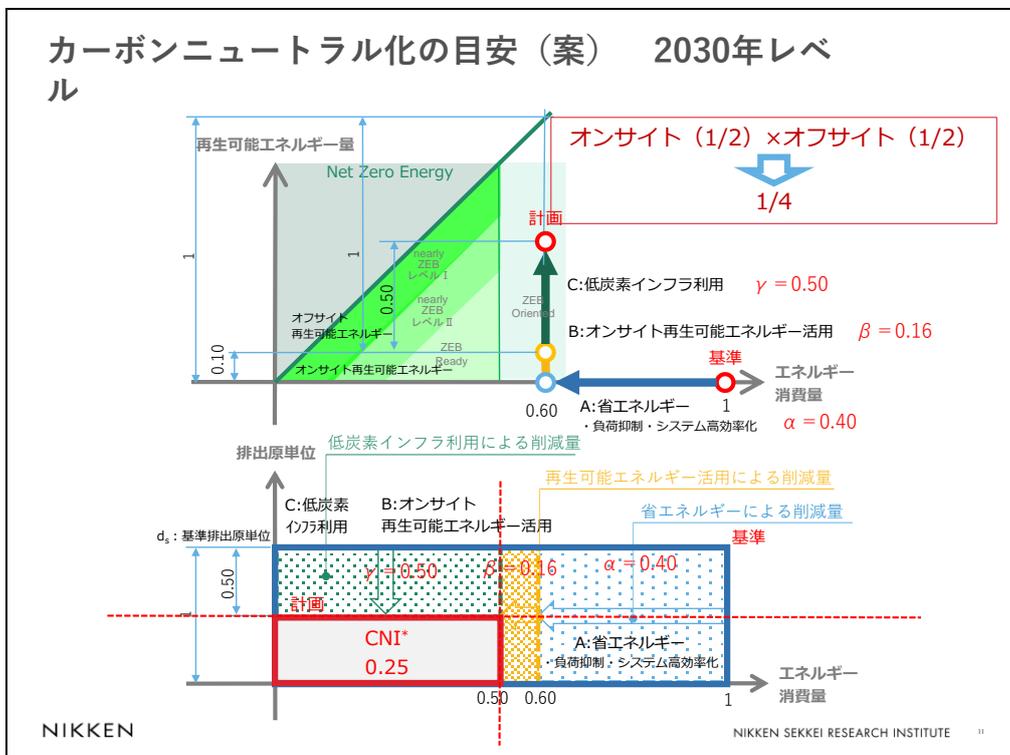
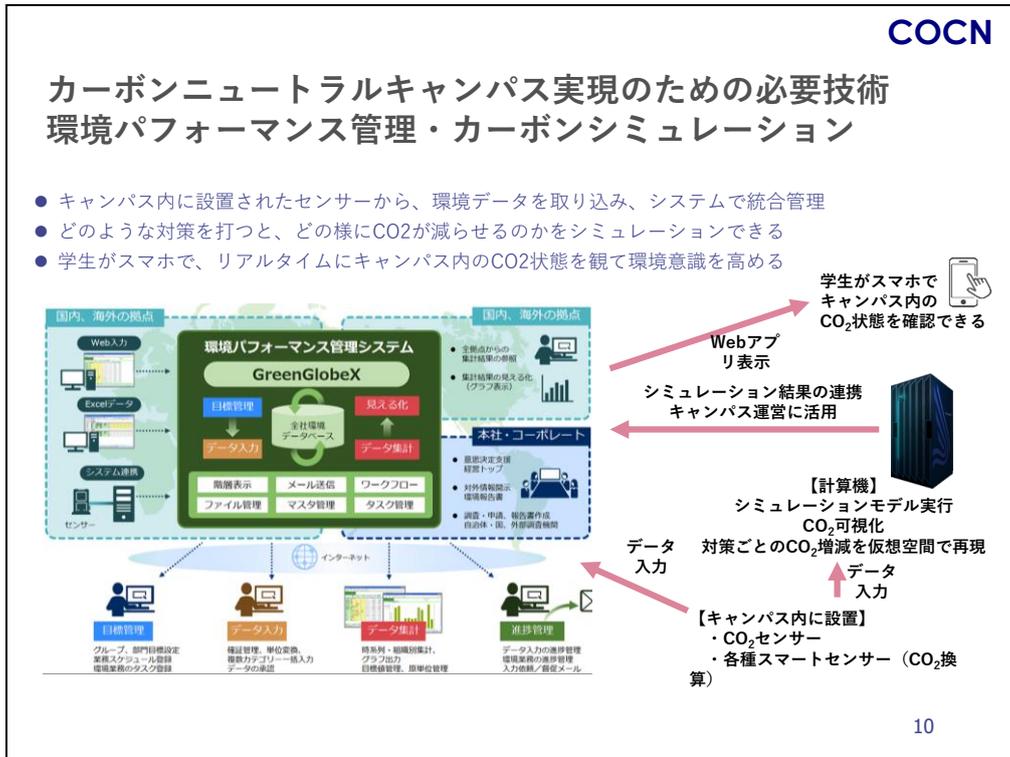
## カーボンニュートラルキャンパス実現のための必要技術 AIによる運用分析、最適化制御、故障検知・不具合検知

【具体的内容】

- 1) 負荷まで含めた**建屋、機器の統合シミュレータの開発**(分単位から年単位のシミュレーション)  
⇒建屋、機器の熱エネルギーシミュレータに、スケジューラ機能を統合
- 2) 階もしくは部屋単位のエネルギー入出力の時間履歴から、**ミニマム運用となるスケジュール**(時間、場所、使用者)**作成技術の開発**。
- 3) 入退出管理やテキスト情報の機械学習を活用した、**ミニマム運用スケジュール作成技術の検証**  
⇒学生や教職員のスケジュール登録など、運用施行で検証

号館	階	部屋	要素	データ	データソース
1	1	101	<b>建屋情報</b> ・ドア/窓 ・断熱 ・外気温、湿度、日射 <b>機器</b> ・空調、換気、照明、給湯 <b>使用者</b> ・在不在 ・活動内容	・開閉(分) ・断熱(年) ・気候(時間) ・入力/出力(分) ・劣化や寿命時期(年)	・建設/修繕履歴 ・天気予報 ・ビル管理ソフト ・IoT機器 ・授業/施設一括
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

9



## 【2022 年度 多角的活用次世代ヒートポンプ WG】

### 多角的活用次世代ヒートポンプ概要

2050 年カーボンニュートラルの実現を達成するには、再生可能エネルギーによる電源の脱炭素化とエネルギー需要の電化を同時に進めることが重要となる。中でも最終エネルギー消費に占める電力の割合が 24%と低い産業部門では熱需要の電化が重要であり、これを実現するためには従来の適用範囲を超えた産業用ヒートポンプが必要となる。ヒートポンプは電化だけでなく熱回収の技術でもあり、効率的な熱利用に有効である。経済産業省は、2022 年 5 月に「クリーンエネルギー戦略（中間整理）」を公表し、産業用ヒートポンプ導入促進を「省エネ・燃料転換」重点項目と位置付けている。本ワーキンググループでは、ヒートポンプを特に加熱工程に導入し、普及促進するための課題を整理し、多角的活用を想定した次世代ヒートポンプのプラットフォームを構築するとともに、2050 年までの CO<sub>2</sub> 排出削減量のポテンシャルを試算し、それを実現するための政策提言としてまとめることを目的とする。

対象とするヒートポンプは、産業用・業務用の給湯・加熱用途に限定した。化石燃料を使用した燃焼用機器からヒートポンプへ置き換えることで、大幅な CO<sub>2</sub> 排出量削減効果が得られることでヒートポンプが最もカーボンニュートラルに貢献できる分野であると考えた。本年度は、(一財)ヒートポンプ・蓄熱センターの「令和 2 年度ヒートポンプ普及見通し調査」を基に今後の産業用・業務用の給湯・加熱用途ヒートポンプの需要予測を行った。

#### ① 加熱用途の産業用ヒートポンプ

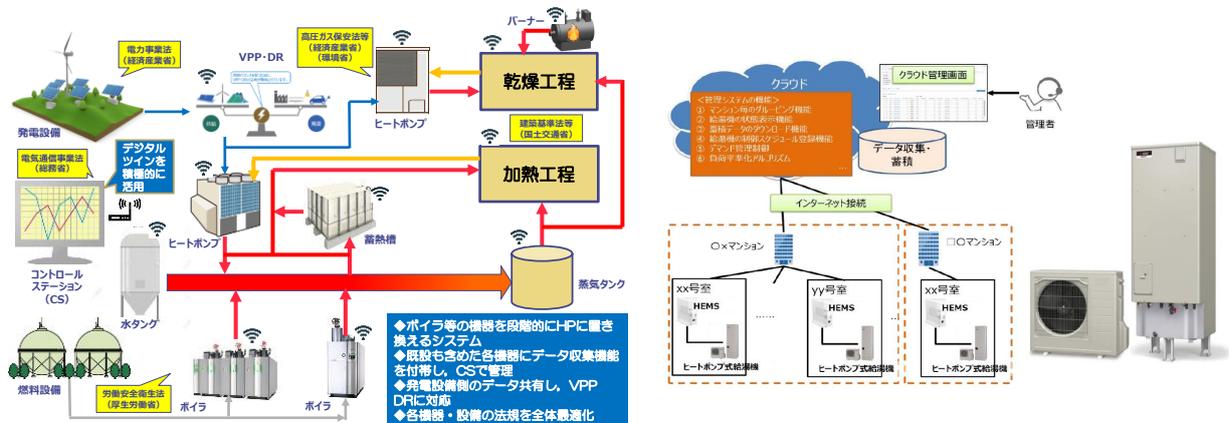
2035 年以降は年間熱容量 800 万 kW の新規需要が見込まれ、2050 年度断面における産業用ヒートポンプによる CO<sub>2</sub> 排出削減効果は 3,354 万 t-CO<sub>2</sub>/年（中位ケース）と推計されている。産業用ボイラ代替が可能な加熱用途の産業用ヒートポンプだけでも 3,000 万 t-CO<sub>2</sub>/年を超える CO<sub>2</sub> 排出削減効果があり、2050 年カーボンニュートラル実現のためには最重要技術であることが確認できた。

#### ② 業務用給湯ヒートポンプ

2035 年以降は年間熱容量 100 万 kW の新規需要が見込まれ、2050 年度断面における業務用給湯ヒートポンプによる CO<sub>2</sub> 排出削減効果は 601 万 t-CO<sub>2</sub>/年（中位ケース）と推計されている。業務用給湯機をセントラル式に使用する場合で、2050 年度断面のセントラル式業務用ヒートポンプの CO<sub>2</sub> 排出削減効果は上記試算の半分の 300 万 t-CO<sub>2</sub>/年程度であると考えられる。さらに、集合住宅向けのヒートポンプ給湯機として、2050 年度断面の集合住宅向けヒートポンプ給湯機の CO<sub>2</sub> 排出削減効果は 900 万 t-CO<sub>2</sub>/年程度であると考えられる。

図に次世代ヒートポンプシステムの導入プラットフォームイメージを示す。産業用においては、ボイラ、バーナー等の燃料を使用する機器をヒートポンプに置き換えられるところから徐々に置き換えて燃料消費料を削減していき、最終的には全てをヒートポンプによるオール電化システムに変えていくことが現実的であり、普及促進に繋がると考える。業務用においては、既に一部で導入事例が出てきており、従来の課題をデジタル技術で解決することが出来れば普及に繋がると

考えられる。全ての機器・設備は、必要なデータを収集し遠隔でコントロール出来るようにし、熱の EMS により全体最適化を図る。発電設備側との関係も VPP・DR の可能なようにし、温暖化ガス排出削減とともに経済性に関してもコントロールを可能とする。このプラットフォームを有効活用するには、データ収集のための IoT 仕様を機器メーカーの枠を超えて同一にする必要がある。さらに、機器の性能面についても公開し、共有化することで仮想空間でのシミュレーションを可能とし、VPP（バーチャル・パワープラント）・DR（デマンド・レスポンス）を活用して、再生可能エネルギー主体の電源構成でも安定した最適運転が可能となると考えられる。本システムを普及するためには、機器の接続だけではなくデータ、制御等の連携するため、所轄の省庁を横断した一元管理が望まれる。



加熱用途の産業用ヒートポンプ

業務用給湯ヒートポンプ

図 次世代ヒートポンプ導入プラットフォームイメージ

熱の EMS により従来ヒートポンプの課題を解決し、導入促進を図るとともに、200℃までの従来蒸気ボイラ・バーナーや電気ヒータ等で加熱するしかなかった温度帯に適用可能な高温ヒートポンプの開発、エネルギースマートメータ等のセンサー開発、デジタルツインを活用した効果量の算定などを進め、2030 年代初頭からコスト高を意識しなくても良いサブスクリプション等の新ビジネスモデルにより、さらなる普及拡大を目指していく。

既にヒートポンプを導入している事例は多くあるが、本検討のようにプラットフォーム化技術を目指したものはなく、社会実装実験をする意義は大きい。しかしながら、いきなり実ラインや実物件で行うのではなく、小規模なスマートコミュニティを対象にモデル実験を行うことで、実動作確認が必要な機器や通信プロトコル等を導入したプラットフォーム化が検証できると考えられる。ここで対象とした導入インパクトが大きい産業用や集合住宅を中心にモデル化した実証実験を行うことが必要である。

従来のヒートポンプ導入のために評価指標は、主に投資回収年数により行われた。しかしながら、気候変動対策としてカーボンニュートラルを目指す方針が打ち出され、経済性以外の評価指標必要になってきている。ボイラ代替としてヒートポンプ選定する際にも、エンジニアリング力を最大に発揮し、エネルギー・マネジメント・システムの視点から最適化が重要となる。ヒー

トポンプはその特性上、なるべく定格運転で運転時間を長くすることでより大きな省エネ効果を得られる。また、イニシャルコストを発生させないサブスクリプションのビジネスモデルの検討も必要になってくる。

2022年5月に経済産業省が中間まとめを公開した「クリーンエネルギー戦略」において、グリーントランスフォーメーション(GX)を推進することを謳っている。その中には「省エネ・燃料転換」政策として「ヒートポンプなど熱利用の高効率・脱炭素化」が明記されている。これら政策的対応策も重要だが、さらに2050年カーボンニュートラルに向けたヒートポンプ導入目標の設定、各企業における脱炭素量基準を示しアクションプランを設定など、より具体的な政策を提示し、目標達成した際にはインセンティブを与えるような政策も必要だと考える。また、今まで省エネに対して成果を上げている「トップランナー方式」、「ラベリング制度」など企業の競争原理を活用した政策に対する検討が必要と考える。

2022年6月に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」は、グリーントランスフォーメーション(GX)を「重点投資分野」の一つに位置付け、各省庁はGXの実現に向けた取組みを検討し、それらを各省庁を横断した取組みとしていくとしている。本多角的次世代ヒートポンプに関しては、経済産業省のほか環境省、国土交通省、農林水産省、文部科学省など多くの省庁がヒートポンプ普及を取組みとして掲げており、さらにEMS推進には総務省、デジタル庁が関係してくる。これら各省庁が横断的に連携してヒートポンプの市場導入を推進できるように法的な整備を含めて制度設計を提案していく。

機器メーカー、センサメーカー、制御メーカー、エネルギー系企業等と大学・国研等を含めて、社会実装に向けて具体的な研究開発を担当いただく機関を明確化する。

【本ワーキンググループ参加メンバー】

早稲田大学、アズビル株式会社、関西電力株式会社、株式会社竹中工務店、  
ダイキン工業株式会社、株式会社ノーリツ、富士電機株式会社、パナソニック株式会社、  
株式会社前川製作所、三菱重工サーマルシステム株式会社、三菱電機株式会社

## 1. 背景・目的

ヒートポンプは、カーボンニュートラル実現のためのキーテクノロジーであり、化石燃料を利用する燃焼加熱機器と比べ、大幅な CO<sub>2</sub> 排出削減効果が見込まれているにもかかわらず、普及が進んでいない。空調分野においても、家庭用のエアコン普及率が世界トップでありながら、暖房は燃焼加熱機器（ボイラ、ストーブ等）が好まれる傾向がある。暖房にヒートポンプを使用したとしても、燃焼加熱機器や電熱機器を併用するケースも多い。そこには、技術的・経済的課題や制約条件等があり、それらを克服しなければ本来の普及促進には至らないと考えられる。

2050 年カーボンニュートラルの実現を達成するには、再生可能エネルギーによる電源の脱炭素化とエネルギー需要の電化および未利用熱エネルギーの有効活用を同時に進めることが重要となる。中でも最終エネルギー消費に占める電力の割合が 24%と低い産業部門では熱需要の電化および未利用熱エネルギーの有効活用が重要であり、これを実現するためには従来の適用範囲を超えた産業用ヒートポンプが必要となる。ヒートポンプは電化だけでなく熱エネルギーの有効活用技術でもあり、ボイラ等からの置き換えによって、現在の日本の電源構成でも CO<sub>2</sub> 排出量をおよそ半減でき、電源の低炭素化にともなって削減量はさらに大きくなるため、産業用ヒートポンプへの期待は大きい。しかし、導入がなかなか進まないのも実情である。

経済産業省は、2022 年 5 月に「クリーンエネルギー戦略（中間整理）」を公表した。それによると、成長が期待される産業ごとの具体的な道筋「グリーントランスフォーメーション（GX）」、需要サイドのエネルギー転換、クリーンエネルギー中心の経済社会・産業構造の転換に向けた政策対応などを整理し、その中で、明確に産業用ヒートポンプ導入促進を「省エネ・燃料転換」重点項目と位置付けている。

本ワーキンググループでは、ヒートポンプを特に加熱工程に導入し、普及促進するための課題を整理し、多角的活用を想定した次世代ヒートポンプのプラットフォームを構築するとともに、2050 年までの CO<sub>2</sub> 排出削減量のポテンシャルを試算し、それを実現するための政策提言としてまとめることを目的とする。

### 1.1 従来技術の課題

ヒートポンプは熱エネルギーを移動させる装置であり、汲み上げる熱の温度差（温度リフト）が小さいほど高い効率で運用できるが、温度リフトが大きいほど適用先は広がる。従来においては、許容される温度リフトは燃料料金に対する電気料金の比や要求される投資回収期間などで決まるため、多くの場合において温度リフト 50℃以下が適用の条件であった。より大きい温度リフトでヒートポンプを適用できるようにするためには、ヒートポンプの性能を向上させることに加え、電気料金が相対的に安価になること、ヒートポンプの稼働率を上げ、耐用年数までを考慮して長期的な視点で投資できるようになることなどが求められる。

特に産業用ヒートポンプは、ボイラから単純に置き換えるユーティリティ設備としてだけでなく、加熱プロセスの熱回収設備としても活用でき、CO<sub>2</sub> 排出量削減効果も大きい。前者の場合には、外気熱や他のユーティリティ設備（空気圧縮機や冷凍機など）の排熱から熱回収するため、設計・施工の面では比較的容易だが、大きい温度リフトが求められる。一方、後者の場合には、

比較的高い温度のプロセス排熱から熱回収するため、小さい温度リフトでの運用が可能となり、優先すべき導入方法であるが、プロセス熱回収を実現するためには、一般的に秘密情報であるプロセス側の情報が必須であることに加え、高度な設計・エンジニアリング技術が必要となる。

また、従来のヒートポンプに使用される冷媒は温暖化係数（GWP）が比較的高い HFC 冷媒であったが、将来にわたっての使用を考慮すると GWP が低いグリーン冷媒を使用することが望まれるが、現状は実績に乏しい状況である。

以下に、加熱利用ヒートポンプの従来技術の課題を整理する。

- ① 汲み上げる熱の温度差（温度リフト）が 50℃以下
- ② 温度リフトを大きくすると投資回収期間が長くなり、開発が進んでいない
- ③ プロセス排熱から熱回収するためには、高度な設計・エンジニアリング技術が必要
- ④ 冷媒の GWP が比較的大きく、グリーン冷媒の適用が望まれる

## 1.2 ヒートポンプの普及拡大による最終エネルギー消費量及び温室効果ガスの削減効果

（一財）ヒートポンプ・蓄熱センターによると、ヒートポンプの技術開発動向やヒートポンプ機器の適用分野等を踏まえて、ヒートポンプの普及見通しに係る定量的分析を行った結果、民生部門（家庭および業務部門）や産業部門の熱需要を賅っている燃焼機器などをヒートポンプ機器で代替した場合、最終エネルギー消費量及び温室効果ガスの削減効果は以下のように試算されている。

➤最終エネルギー消費量削減効果(2018 年度 BAU 基準：中位ケース)

2030 年度：▲914 万 kL

2050 年度：▲3,132 万 kL

➤温室効果ガス排出量削減効果(2018 年度排出量基準：中位ケース)

2030 年度：▲3,754 万 t-CO<sub>2</sub>

2050 年度：▲13,699 万 t-CO<sub>2</sub>

この値は、2015 年 7 月に発表された日本の約束草案の CO<sub>2</sub> 削減目標（2030 年度▲26%：約 3.08 億 t-CO<sub>2</sub>）の約 12%、パリ協定における 2℃目標達成のため 2050 年までの長期的な温室効果ガス排出削減目標（▲80%：約 9.5 億 t-CO<sub>2</sub>）の約 14%に匹敵する。さらに、2021 年 4 月の気候サミットにおいて、2050 年にカーボンニュートラル実現のために、2030 年度の温室効果ガス排出量を 2013 年度から 46%削減を目指すことを宣言するとともに、さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく決意を表明した。

このように、ヒートポンプは普及さえすれば高い温室効果ガス削減効果があり、2050 年カーボンニュートラル実現のためには必要不可欠な技術であることがわかる。

## 2. 構築するプラットフォームや新技術

本ワーキンググループで対象とするヒートポンプは、産業用・業務用の給湯・加熱用途に限定した。空調分野は「レジリエント次世代空調」ワーキンググループで検討することと化石燃料を使用した燃焼用機器からヒートポンプへ置き換えることで、大幅なCO<sub>2</sub>排出量削減効果が得られることでヒートポンプが最もカーボンニュートラルに貢献できる分野であると考えた。

前年度に引き続き、本年度も産業用・業務用の給湯・加熱用途のヒートポンプに対して、それぞれのモデルケースを設定して詳細検討を行うこととした。

### 2.1 産業用・業務用の給湯・加熱用途ヒートポンプの需要予測

前年度の最終報告書において、(一社)日本エレクトロヒートセンター／(株)富士経済が調査を行った「2021年度版 産業用ヒートポンプ導入量把握調査結果 報告書」(2021年10月)より、産業用ヒートポンプの年度別導入台数を参照し、加熱用途としては年間200～300台で推移していることを示した。原油安、経済の低迷など種々の理由があると思われるが、温室効果ガス削減の取組みが燃料転換や単なる省エネが先行的に行われ、ヒートポンプの普及促進に結び付いていないと考えられる。

そこで本年度は、(一財)ヒートポンプ・蓄熱センターの「令和2年度ヒートポンプ普及見通し調査」を基に今後の産業用・業務用の給湯・加熱用途ヒートポンプの需要予測を行った。

#### 2.1-1 加熱用途の産業用ヒートポンプ

上記調査では、産業用ボイラを産業用ヒートポンプで代替する用途として、「工場空調」、「加温(100℃未満)」、「低温乾燥(100℃未満)」、「高温(100℃以上)」に分類して、高温用ヒートポンプの普及見通し、省エネ効果を算定している。

想定している条件は、以下の通り。

- ・用途比率は、工場空調：15%、加温：11%、低温乾燥：12%、高温：62%
- ・全負荷相当運転時間：16時間／日×300日×稼働率35%=1,700時間／年(ボイラ実績より)
- ・平均使用年数より、残存率を考慮
- ・全熱需要に対するヒートポンプシェア上限(中位ケース)：

工場空調 70% 加温 50% 低温乾燥 50% 高温 17%

本調査報告では、以上の想定に基づき種々の試算がされているが、2035年以降は年間熱容量800万kWの新規需要が見込まれるとしている。図1に示したように2050年度断面における産業用ヒートポンプによるCO<sub>2</sub>排出削減効果は3,354万t-CO<sub>2</sub>/年(中位ケース)であり、産業用ボイラの代替効果は3,240万t-CO<sub>2</sub>/年、産業用ヒートポンプの効率改善効果は114万t-CO<sub>2</sub>/年と推計されている。産業用ボイラ代替が可能な加熱用途の産業用ヒートポンプだけでも3,000万t-CO<sub>2</sub>/年を超えるCO<sub>2</sub>排出削減効果があり、2050年カーボンニュートラル実現のためには最重要技術であることが確認できた。

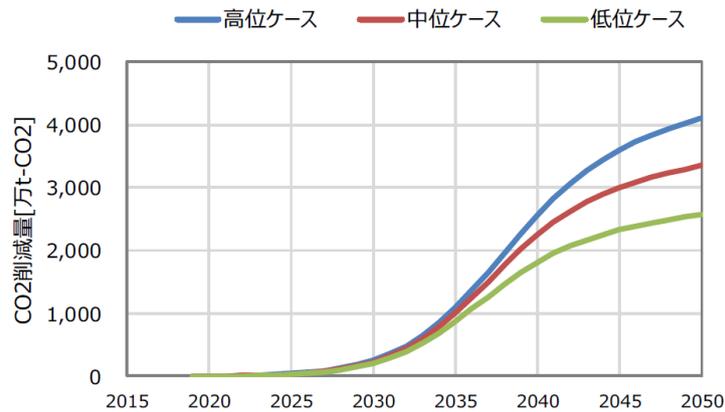


図1 産業用ヒートポンプによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の推計結果

### 2.1-2 業務用給湯ヒートポンプ

前出の調査報告では、業務用給湯市場に関しても詳細な検討が行われている。導入適性がある市場セグメントとして、10,000m<sup>2</sup>以上の事務所・店舗、飲食店、学校、ホテル・旅館、病院、福祉施設、スポーツ施設・ゴルフ場などがピックアップされており、2035年以降は年間熱容量100万kWの新規需要が見込まれるとしている。図2に示したように2050年度断面における業務用給湯ヒートポンプによるCO<sub>2</sub>排出削減効果は601万t-CO<sub>2</sub>/年（中位ケース）であり、このうち燃焼系給湯器の代替効果は571万t-CO<sub>2</sub>/年、ヒートポンプ給湯機の効率改善効果は30万t-CO<sub>2</sub>/年と推計されている。但し、この算定結果は導入対象により熱容量に大きな差異があり、ヒートポンプ給湯機として民生用、業務用が混在することが想定できる。今回対象とするのは、業務用給湯機をセントラル式に使用する場合であり、2050年度断面のセントラル式業務用ヒートポンプのCO<sub>2</sub>排出削減効果は上記試算の半分の300万t-CO<sub>2</sub>/年程度であると考えられる。

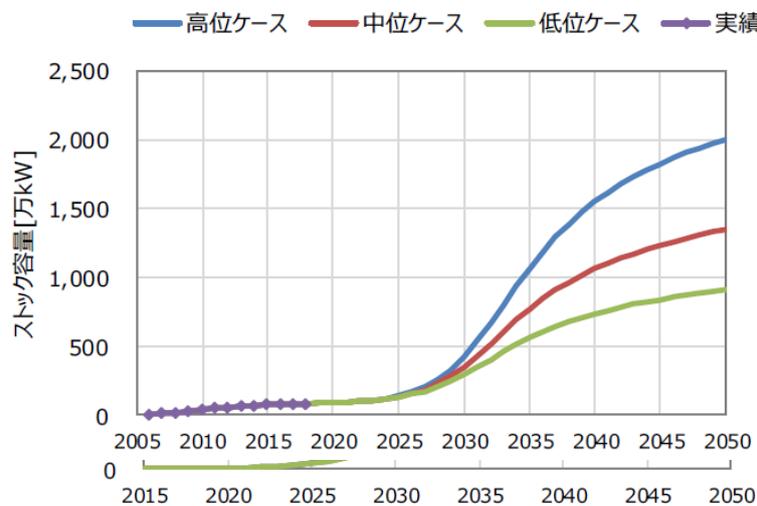


図2 業務用給湯ヒートポンプによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の推計結果

上記業務用給湯ヒートポンプの普及見通し調査による算定結果には、集合住宅向けのヒートポンプ給湯機が含まれていない。民生用ヒートポンプ給湯機を個別に設置する事例は僅かにあるが、本試算結果で想定されている2035年に年間80万台の出荷台数を達成するためには、多くの現状課題を克服する必要があると考える。図3に示したように2050年度断面における民生用ヒートポンプ給湯機によるCO<sub>2</sub>排出削減効果は1,878万t-CO<sub>2</sub>/年（中位ケース）であり、このうち燃焼系給湯器の代替効果は1,748万t-CO<sub>2</sub>/年、ヒートポンプ給湯機の効率改善効果は130万t-CO<sub>2</sub>/年と推計されている。但し、このうち約半分が集合住宅向けと算定しているため、2050年度断面の集合住宅向けヒートポンプ給湯機のCO<sub>2</sub>排出削減効果は900万t-CO<sub>2</sub>/年程度であると考えられる。

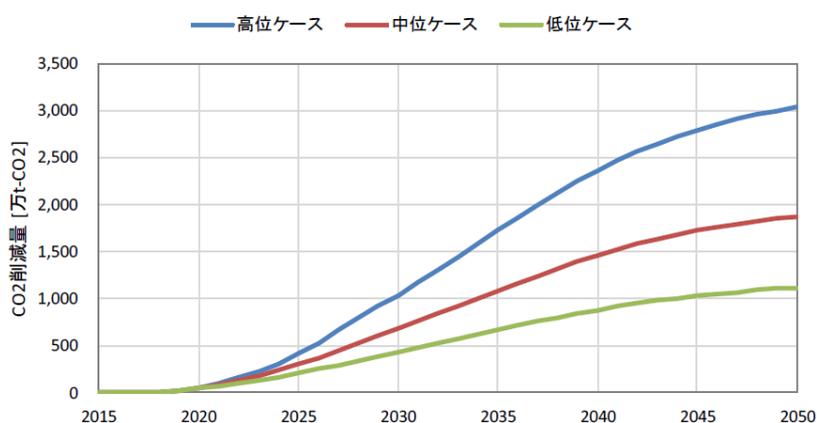


図3 集合住宅用給湯ヒートポンプによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の推計結果

## 2.2 構築するプラットフォーム

従来のヒートポンプの実施事例や課題と解決方法等を検討した結果、次世代ヒートポンプの普及拡大を促進するためには、従来システムの中にどのようにヒートポンプを組み込み、トータルでエネルギー・マネージメントを行えるようにすることが必要である。ヒートポンプ本体だけではなく、各種データを共有化（見える化）し、全体最適なシステムを構築する必要がある。図5に加熱用途の産業用ヒートポンプの場合の次世代ヒートポンプシステムの導入プラットフォームイメージを示す。従来、ボイラ、バーナー等の燃料を使用する機器をヒートポンプに置き換えていくことになるが、加熱する温度、熱負荷変動に対する追従性など特性の違いがあり、現状としては単純に置き換えが出来ないことが、導入が進まない理由の一つである。したがって、置き換えられるところから徐々に置き換えて燃料消費料を削減していき、最終的には全てをヒートポンプによるオール電化システムに変えていくことが現実的であり、普及促進に繋がると考える。

全ての機器・設備は、必要なデータを収集出来るようにし、コントロールステーションでデータを共有する。発電設備側との関係もVPP・DRの可能なようにし、温暖化ガス排出削減とともに経済性に関してもコントロールを可能とする。このプラットフォームを有効活用するには、データ収集のためのIoT仕様を機器メーカーの枠を越えて同一にする必要がある。さらに、機器の性能面に関しても公開し、共有化することで仮想空間でのシミュレーションを可能とし、VPP（バ

ーチャル・パワープラント）・DR（デマンド・レスポンス）を活用して、再生可能エネルギー主体の電源構成でも安定した最適運転が可能となると考えられる。図4に示した既存、新設機器のデータを、熱を含むエネルギー・マネジメント・システムの中で共通のプラットフォームで全体最適化をしていくことが重要と考える。したがって、データ通信に関しては他のWGと連携し検討を継続していく。また、図4にはそれぞれの機器が関連する法規も記載した。本システムを普及するためには、機器の接続だけではなくデータ、制御等の連携するため、所轄の省庁を横断した一元管理が望まれる。

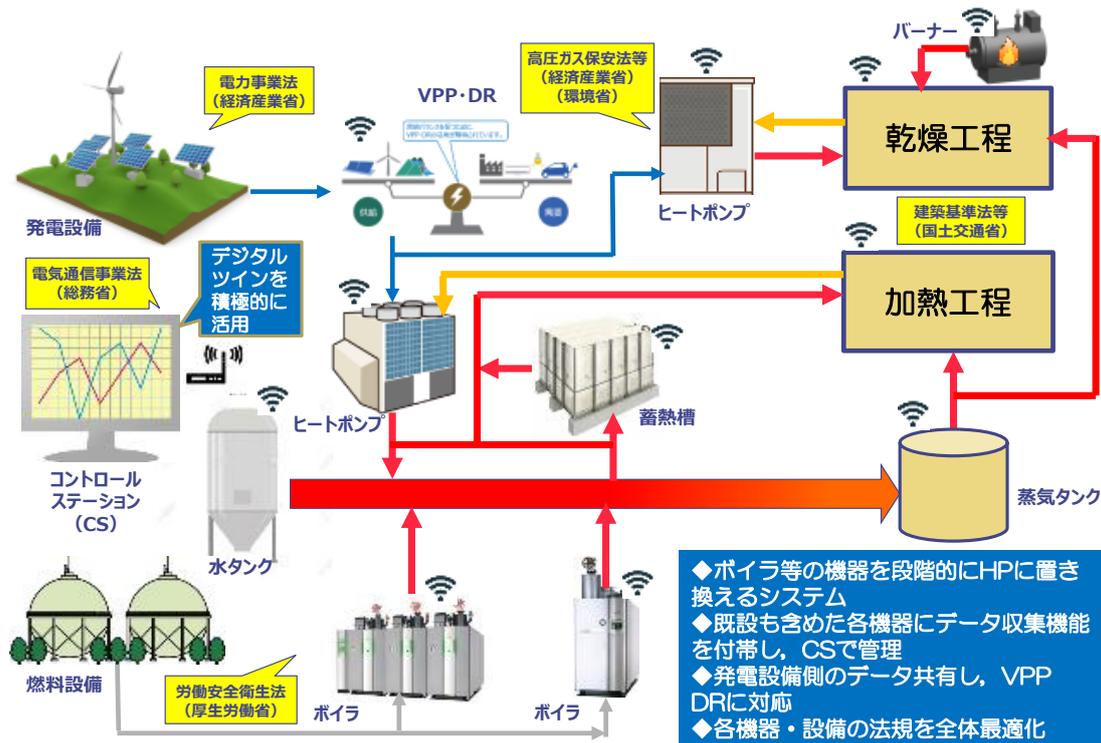


図4 次世代ヒートポンプシステム導入プラットフォーム（加熱用途 産業用）

## 2.3 モデルケースの検討

### 2.3-1 加熱用途の産業用ヒートポンプ

従来の100℃前後の加熱用途に加え、蒸気ボイラ代替となり得る150～200℃の加熱が可能なヒートポンプも含めて要件整理を行った。表1にヒートポンプで既設のボイラ等を徐々に置き換えるシステムおよびヒートポンプのみを熱源とした新設のシステムの両方を想定した検討結果を示す。ヒートポンプ本体およびシステムの開発の他に熱のEMSでは欠かせないIoT、VPP、DRや全体最適化、評価基準・規格・ラベリング制度なども併せて検討することが重要である。

図5に加熱用途に産業用ヒートポンプを用いたモデルケースを示す。ここでは、需要機器毎の設置とボイラとの並列の設置したケースを示したが、同じ蒸気を熱源に用いた場合でもヒートポンプの設置場所が変わるとヒートポンプの仕様も変わってくる。したがって、様々な導入ケースにおいて、ある程度標準化されたヒートポンプを使い分け、全体の熱システムの最適化を図れる技術が重要になってくる。従来は導入時の事前検討において、明らかになっていな

ければ本来のヒートポンプ導入効果が得られない場合も多くあった。本検討で目指しているプラットフォームは、デジタルツイン技術を用いて事前にシミュレーションにより全体最適化することであり、従来のヒートポンプ導入時の課題を根本的に解決することが出来ると考えられる。

表 1 加熱用途の産業用ヒートポンプの要件整理

項目	産業用
ターゲット市場	工業，食料品，化学，飲料・乳業，繊維，輸送用機械器具など
供給温度	① ~100℃（給湯，熱媒，熱風，冷却） ② 100~150℃（蒸気生成，熱媒，熱風） ③ 150~200℃（蒸気生成，熱媒，熱風）
熱量（供給量）	調査中
熱源（排熱）温度	10~40℃（①，②） 40~90℃（②，③）
冷媒（候補） 各システムでの最適冷媒の検討	自然冷媒（CO <sub>2</sub> ,NH <sub>3</sub> ,HC系） HFC,HFO（低GWP冷媒を選択）
システムの特徴	ボイラ定格容量と対応するパッケージ製品 ボイラ・ヒータとのハイブリッド利用想定 熱負荷，電力需給量を予測した最適運転 トータルでエネマネが可能なデータ通信 一過式，循環式の組み合わせで最適化
IoT	エネルギー・スマート・メータの導入 コントロールステーションによるエネマネ クラウドデータ管理 VPP，DR，（電力側データ間隔を合わせる）
評価・規格・ラベリング等	エネルギー単価に脱炭素分を考慮，ビジネスモデル化 冷凍保安規則の適用 脱炭素ラベリング認証，インセンティブ導入
課題	イニシャルコスト：対ボイラ⇒機器容量小・運転時間長く 設置場所・スペース：分散配置，燃料系設備不要分の活用 運転特性：熱源必要， 新設時の比較対象の設定（ボイラ効率） 電力需給調整時の最適運転方法。
市場規模（脱炭素量など）	2035年以降は年間熱容量 800万 kW 【参照】（一財）ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ普及見通し調査」 <a href="https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryo.pdf">https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryo.pdf</a>

需要機器毎の設置

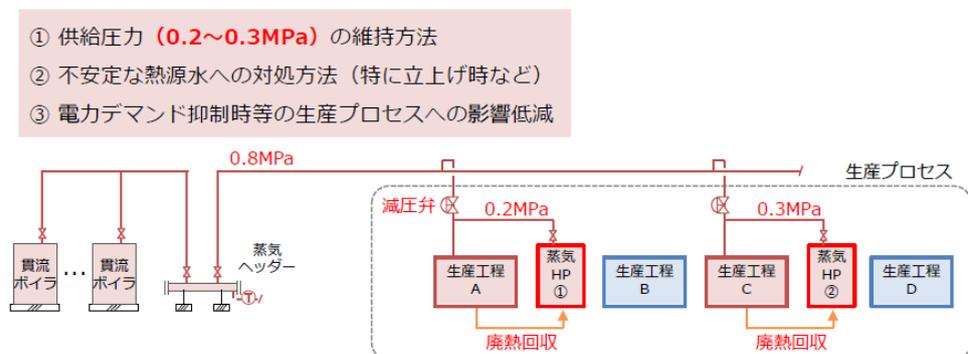


図 5-1 産業用ヒートポンプを用いたモデルケース（需要機器毎の設置例）

## ボイラーと並列の設置

- ① 供給上限 (0.6MPa以上) の維持方法
- ② 貫流ボイラとの制御連携

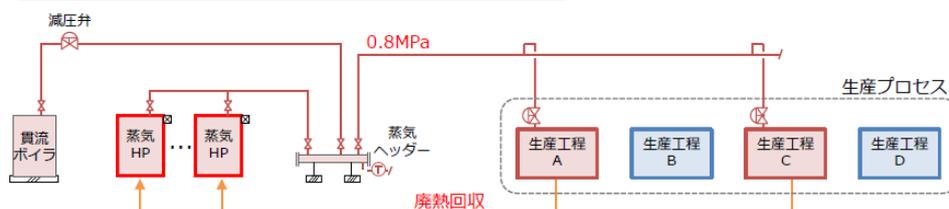


図 5-2 産業用ヒートポンプを用いたモデルケース（ボイラーとの並列の設置例）

### 2.3-2 業務用給湯ヒートポンプ

集合住宅、病院、ホテル、学校、福祉施設、スポーツ施設、ゴルフ場など業務用給湯ヒートポンプ市場を検討すると、近年は個別空調・給湯のケースが多く、セントラル方式に関しては既設の熱源機入替需要程度だったが、温室効果ガス削減により見直しされている。表 2 にヒートポンプ＋燃焼機器のハイブリット給湯も含めて要件整理を行った結果を示す。図 6 では、マンションにおいて住居毎に家庭用ヒートポンプ給湯機を設置し、クラウド上で運転管理をすることでマンション毎のデマンドを管理し電力負荷平準化に貢献できるシステム事例を示した。太陽光発電等の再生可能エネルギーと連携して、契約先の複数のマンションの電力負荷平準化も可能となる。さらに熱の EMS を導入することによって、家庭用ヒートポンプ給湯機の制御だけでなく、セントラル方式の業務用ヒートポンプ給湯機や空調機についても制御可能であり、さらなる CO2 排出量削減と再生可能エネルギーと連携を図ることが可能となる。セントラル方式に関しては課題も多く、給湯需要に相当する大規模貯湯タンクなどのユニット設置場所の確保や課金管理システム（計測システム・規格）、それに準ずる法規整備、導入コスト、メンテ費用負担の軽減策、ビジネスモデル化などヒートポンプ技術以外の建築に関わる課題解決が必要となる。

表 2 業務用給湯ヒートポンプの要件整理

項目	業務用
ターゲット市場	集合住宅、病院、ホテル、学校、福祉施設、スポーツ施設、ゴルフ場など
供給温度 熱量（供給量）	65～90℃、5～20℃（給湯、冷房） 調査中
熱源（排熱）温度	外気 ～40℃ 空気熱源 水熱源冷温同時取り出し（集合住宅以外）
冷媒（候補） 各システムでの最適冷媒の検討	自然冷媒（CO <sub>2</sub> , HC系） HFC, HFO
システムの特徴	オール電化対応 個別分散方式・セントラル方式 給湯使用量に応じた課金（集合住宅の場合）
IoT	エネルギー・スマート・メータ コントロールステーション 時間帯、使用料による課金（電力・水道） VPP, DR

評価・規格・ラベリング等	ZEB・ZEH 評価指標への適合 冷凍保安規則の適用（セントラルの場合） 脱炭素ラベリング認証，インセンティブ導入
課題	給湯需要に相当する大規模貯湯タンクなどのユニット設置場所の確保 故障した場合の対処方法 デフロスト時の能力低減対策（空気熱源の場合） 課金管理システム（計測システム・規格），それに準ずる法規整備 導入コスト，メンテ費用負担の軽減策，ビジネスモデル化 負荷追従性，運転計画(DR)
市場規模（脱炭素量など）	集合住宅：2035 年以降は年間 80 万台（民生用給湯機ベース） 業務用給湯機：2035 年以降は年間熱容量 100 万 kW 【参照】（一財）ヒートポンプ・蓄熱センター「令和 2 年度ヒートポンプ普及見通し調査」 <a href="https://www.hptej.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf">https://www.hptej.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf</a>

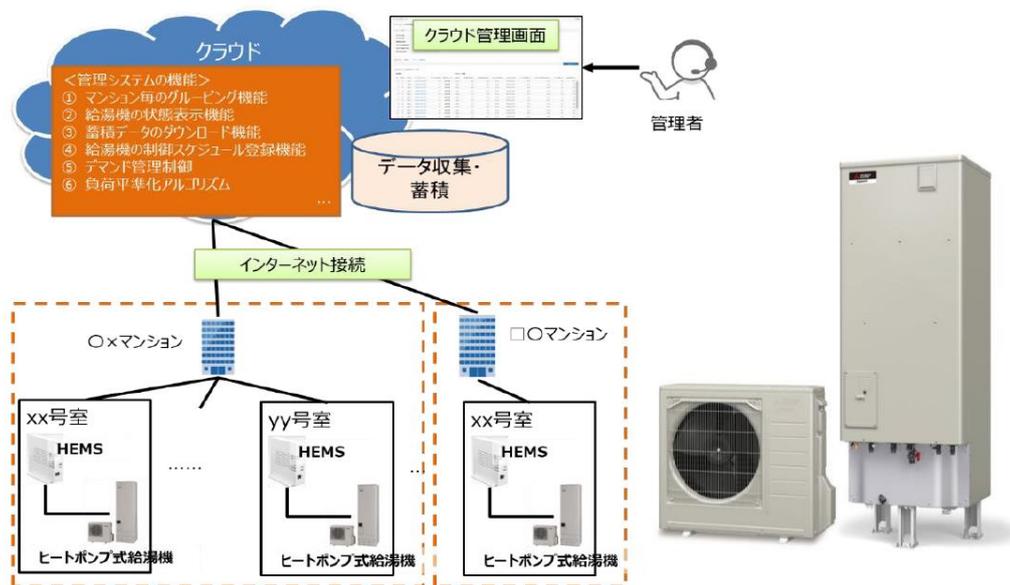


図 6 高圧一括受電マンションへのヒートポンプ給湯機管理システム（設置例）

## 2.4 本次世代ヒートポンプの新技术

本多角的活用次世代ヒートポンプで必要となる新技术を従来技术与比較して表 3 に示す。既に NEDO プロジェクト等で開発中の技术もあるが、実際に導入後に必要な技术は、従来のヒートポンプやボイラ等にも適用可能な技术であり、波及効果は大きい。最高加熱度 200°C の産業用ヒートポンプは、2021 年度より NEDO/未利用熱エネルギーの革新的活用技术研究開発において、未利用熱エネルギー革新的活用技术研究組合（TherMAT）の中で開発が行われ、2025 年頃に市場導入される予定で開発中である。（未利用熱エネルギー革新的活用技术研究組合ホームページ：<http://www.thermat.jp/>）また、2021 年度より IEA Annex58 に日本も参画し、高温ヒートポンプの技术開発動向や国際規格に関して、NEDO、ヒートポンプ・蓄熱センターを窓口に欧米諸国と情報交換をしている。

DX 技術を導入して各機器の運転データをリアルタイムで遠隔監視し、熱需要や電力の供給状態に合わせた最適運転等を EMS で対応可能とすることが重要となる。ヒートポンプ本体は電力機器であるため対応しやすいが、発生した熱を含めた熱の EMS はほとんど実施例がなく、実証と合わせてデジタルツイン技術による多くの検証が必要となってくる。

表 3 次世代ヒートポンプの新技术

	従来技術	新技术
供給温度	100℃以下が主流 120℃程度までは実績あり	従来技術に加えて、 150～200℃に対応可 ボイラ代替使用可
冷媒	HFC, 自然冷媒	HFO, 自然冷媒
熱源	空気, 水 (～50℃)	空気, 水, 排熱 (～100℃)
運転制御	熱負荷に追従したヒートポンプ最適 運転	電源の需給バランス制御 (VPP, DR) プロセス全体最適制御 (エネマネ)
データ通信	個別データ	一括データ (エネルギー・スマート・メー タ) デジタルツイン
遠隔監視	ヒートポンプのみ	システム全体
メンテナンス	運転時間等による定期メンテ	予防保全, 診断機能
運転状態の 見える化	性能, 電力量など	性能, 電力量, 電気料金, CO <sub>2</sub> 排出削減量,
電源構成	火力中心	再エネ導入量により, 原単位が減少

### 3. その優位性(数値的に分析), 実現すべき目標とベンチマーク

従来のヒートポンプ導入のために評価指標は、主に投資回収年数により行われた。すなわち、ボイラ等との設備コスト差をランニングコスト差（ガス代と電気代の差額）により何年で回収できるかであった。燃料価格は社会情勢で大きく変動するため、原油価格が高騰した場合はヒートポンプのニーズは高まり、低迷した場合は停滞することを繰り返していた。また、我が国は 2011 年の東日本大震災以降、節電要求が高まり、ヒートポンプ導入には逆風が続いた。しかしながら、気候変動対策としてカーボンニュートラルを目指す方針が打ち出され、経済性以外の評価指標が必要になってきている。基本的には、温室効果ガス排出量を重視していく方向だが、それらをコストやインセンティブにカウントしていくことが求められる。ユーザーに投資意欲を起こさせるためには、投資回収年数に温室効果ガス排出量見合うインセンティブ（補助金）加味することが重要であり、投資回収年数を 5～7 年程度に設定することが適当と考える。工場等に設置する自家消費型太陽光発電設備が投資回収年数を 8～10 年程度であったことから導入初期には適切な補助金事業が必須であると考えられ、さらに将来の炭素税等の軽減処置などの経済学的な視点の検討も必要であると考えられる。

ボイラ代替としてヒートポンプ選定する際にも、エンジニアリング力を最大に発揮し、エネルギー・マネージメント・システムの視点から最適化が重要となる。ヒートポンプはその特性上、なるべく定格運転で運転時間を長くすることでより大きな省エネ効果を得られる。ボイラは定格

熱容量の 1/3 の稼働率で選定されることが多いため、その代替とするヒートポンプはボイラの 1/3 の熱容量を選定することで、大幅に投資回収年数を削減することが出来る。その分運転時間は長くなるが、ヒートポンプの運転耐久性には大きな問題が生じない。また、イニシャルコストを発生させないサブスクリプションのビジネスモデルの検討も必要になってくる。

#### 4. 目標実現までのロードマップ

前述の検討結果を表 4 のロードマップに示す。熱の EMS により従来ヒートポンプの課題を解決し、導入促進を図るとともに、200℃までの従来蒸気ボイラ・バーナーや電気ヒータ等で加熱するしかなかった温度帯に適用可能な高温ヒートポンプの開発、エネルギースマートメータ等のセンサー開発、デジタルツインを活用した効果量の算定などを進め、2030 年代初頭からコスト高を意識しなくても良いサブスクリプション等の新ビジネスモデルにより、さらなる普及拡大を目指していく。

表 4 目標実現までのロードマップ

	2020 年~	~2030 年度	~2040 年度	~2050 年度
<b>従来 HP</b>				
補助金による導入促進	→			
シミュレーションによる効果確認	→			
<b>次世代 HP</b>				
~200℃機開発・市場導入	→			
プラットフォーム構築	→			
実証試験	→			
補助金による導入促進	→			
デジタルツイン活用	→			
新ビジネスモデル構築			→	
<b>温室効果ガス 排出量削減量見通し (万 t-CO<sub>2</sub>/年)</b>		2030 年度 HP 全体 : 3,754		2050 年度 HP 全体 : 13,699 次世代 HP : 4,554

#### 5. 国プロの実施イメージ

既にヒートポンプを導入している事例は多くあるが、本検討のようにプラットフォーム化技術を目指したものはなく、社会実装実験をする意義は大きい。しかしながら、いきなり実ラインや実物件で行うのではなく、小規模なスマートコミュニティを対象にモデル実験を行うことで、実動作確認が必要な機器や通信プロトコル等を導入したプラットフォーム化が検証できると考えられる。ここで対象とした導入インパクトが大きい産業用や集合住宅を中心にモデル化した実証試験を行うことが必要である。実施方法としては、次の 2 つの方法を提案する。

- ① 国施設によるモデルケース実証試験

例えば、福島再生可能エネルギー研究所、電力中央研究所での実施など

## ② スマートコミュニティによるモデルケース実証試験

例えば、大学構内、自治体管理のスマートコミュニティなど

## 6. 事業化への戦略、その後の推進主体案

オールジャパン戦略として、ユーザー、メーカー、建設会社、エンジニアリング会社、エネルギー会社、大学等が連携して本プロジェクトを推進すべきと考える。もちろん、並行して適度な競争原理を働かせ、性能アップ、コストダウン、標準化を進めていくことの重要である。

## 7. 政策提言

2022年5月に経済産業省が中間まとめを公開した「グリーンエネルギー戦略」において、グリーントランスフォーメーション(GX)を推進することを謳っている。その中には「省エネ・燃料転換」政策として「ヒートポンプなど熱利用の高効率・脱炭素化」が明記されている。これら政策的対応策も重要だが、さらに2050年カーボンニュートラルに向けたヒートポンプ導入目標の設定、各企業における脱炭素量基準を示しアクションプランを設定など、より具体的な政策を提示し、目標達成した際にはインセンティブを与えるような政策も必要だと考える。また、今まで省エネに対して成果を上げている「トップランナー方式」、「ラベリング制度」など企業の競争原理を活用した政策に対する検討が必要と考える。

2022年6月に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」は、グリーントランスフォーメーション(GX)を「重点投資分野」の一つに位置付け、各省庁はGXの実現に向けた取組みを検討し、それらを各省庁を横断した取組みとしていくとしている。本多角的次世代ヒートポンプに関しては、経済産業省のほか環境省、国土交通省、農林水産省、文部科学省など多くの省庁がヒートポンプ普及を取組みとして掲げており、さらにEMS推進には総務省、デジタル庁が関係してくる。これら各省庁が横断的に連携してヒートポンプの市場導入を推進できるように法的な整備を含めて制度設計を提案していく。

## 8. 想定する主なメンバー

機器メーカー、センサメーカー、制御メーカー、エネルギー系企業等と大学・国研等を含めて、社会実装に向けて具体的な研究開発を担当いただく機関を明確化する。

### 【本ワーキンググループ参加メンバー】

早稲田大学、アズビル株式会社、関西電力株式会社、株式会社竹中工務店、  
ダイキン工業株式会社、株式会社ノーリツ、富士電機株式会社、パナソニック株式会社、  
株式会社前川製作所、三菱重工業サーマルシステム株式会社、三菱電機株式会社





### ＜モデルケースの検討＞

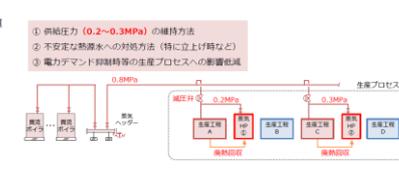
#### ①加熱用途の産業用ヒートポンプ

従来の100℃前後の加熱用途に加え、蒸気ボイラ代替となり得る150～200℃の加熱が可能なヒートポンプも含めてヒートポンプでボイラ等を徐々に置き換えるシステムについて検討した。表にヒートポンプで既設のボイラ等を徐々に置き換えるシステムおよびヒートポンプのみを熱源とした新設のシステムの両方を想定した検討結果を示す。ヒートポンプ本体およびシステムの開発の他に熱のEMSでは欠かせないIoT、VPP、DPや全体最適化、評価基準・規格・ラベリング制度なども併せて検討することが重要である。本システムを普及するためには、機器の接続だけでなくデータ、制御等の連携するため、所轄の省庁を横断した一元管理が望まれる。

**加熱用途の産業用ヒートポンプ要件整理**

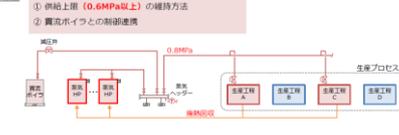
項目	産業用
ターゲット市場	工業、食料品、化学、飲料・乳業、繊維、輸送用機械器具など
供給温度	① 100℃ (給湯、熱媒、熱風、冷却) ② 100～150℃ (高気生成、熱媒、熱風) ③ 150～200℃ (高気生成、熱媒、熱風)
熱量 (供給量)	調査中
熱源 (排熱) 温度	10～40℃ (①、②) 40～90℃ (②、③)
冷媒 (候補)	自然冷媒 (CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , HC系) HFC, HFO (低GWP冷媒を選択)
各システムでの最適冷媒の検討	ボイラ定格容量と対応するパッケージ製品 ボイラ・ヒータとのイブリッド制御想定 熱負荷、電力消費量を予測した最適運転 トータルでエネマネ可能なデータ連携 一過式、循環式の組み合わせで最適化
システムの特徴	エネマネスマートトーターの導入 コントロールステーションによるエネマネクラウドデータ管理 VPP、DP、(電力削ぎデータ連携を合わせる)
評価・規格・ラベリング等	エネルギー評価に炭素分量を考慮、ビジネスモデル化 冷凍保安規則の適用
課題	脱炭素ラベリング認証、インセンティブ導入 インシヤルコスト：対ボイラ→機器容量小、運転時間長く 設置場所・スペース、分散配置、燃料系設備不要分の活用 運転特性：熱源温度 (ボイラ効率) 新設時の比較対象の設定 (ボイラ効率) 電力供給調整時の最適運転方法 2035年以降は年間熱量容量 800万kW 【参照】(一財)ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ普及促進調査」 <a href="https://www.hpj.or.jp/Portals/0/data/0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf">https://www.hpj.or.jp/Portals/0/data/0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf</a>
市場規模 (脱炭素量など)	

**商業機器等の設置**



① 供給圧力 (0.2～0.3MPa) の維持方法  
② 不安定な熱源水への対応方法 (特に上げ時など)  
③ 電力デマンド制御時の生産プロセスへの影響低減

**ボイラと並列の設置**



① 供給圧力 (0.6MPa以上) の維持方法  
② 異流ボイラとの接続連携

**加熱用途の産業用ヒートポンプモデルケース  
設置状態検討事例**

2



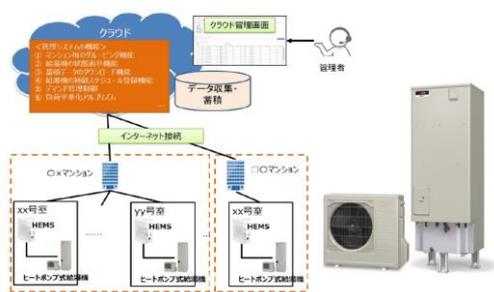
### ＜モデルケースの検討＞

#### ②業務用給湯ヒートポンプ

近年は個別空調・給湯のケースが多く、セントラル方式に関しては既設の熱源機入れ替需要程度だったが、温室効果ガス削減により見直しされている。マンションにおいて住居毎に家庭用ヒートポンプ給湯機を設置し、クラウド上で運転管理をすることでマンション毎のデマンドを管理し、太陽光発電等の再生可能エネルギーと連携して契約先の複数のマンションの電力負荷平準化も可能な事例もある。セントラル方式は給湯需要に相当する大規模貯湯タンクなどのユニット設置場所の確保や課金管理システム (計測システム・規格)、それに準ずる法規整備、導入コスト、メンテ費用負担の軽減策、ビジネスモデル化などヒートポンプ技術以外の建築に関わる課題解決が必要。

**業務用給湯ヒートポンプ要件整理**

項目	業務用
ターゲット市場	集合住宅、病院、ホテル、学校、福祉施設、スポーツ施設、ゴルフ場など
供給温度	65～90℃、5～20℃ (給湯、冷房)
熱量 (供給量)	調査中
熱源 (排熱) 温度	外気、～40℃ 空気を熱源 水熱源冷温水同時取り出し (集合住宅以外)
冷媒 (候補)	自然冷媒 (CO <sub>2</sub> , HC系) HFC, HFO
各システムでの最適冷媒の検討	オール電化対応 個別分散方式、セントラル方式 給湯使用量に応じた課金 (集合住宅の場合)
システムの特徴	エネマネスマートメーター コントロールステーション 時間帯、使用料による課金 (電力・水連)
IoT	VPP、DR
評価・規格・ラベリング等	ZEB・ZEH 評価指標への適合 冷凍保安規則の適用 (セントラルの場合) 脱炭素ラベリング認証、インセンティブ導入 給湯需要に相当する大規模貯湯タンクなどのユニット設置場所の確保
課題	取替した場合の対応方法 デフロスト時の低気圧対策 (空気熱源の場合) 課金管理システム (計測システム・規格)、それに準ずる法規整備 導入コスト、メンテ費用負担の軽減策、ビジネスモデル化 負荷過渡性、運転計画(DR)
市場規模 (脱炭素量など)	集合住宅：2035年以降は年間80万台 (民生用給湯機ベース) 業務用給湯機：2035年以降は年間熱量容量 100万kW 【参照】(一財)ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ普及促進調査」 <a href="https://www.hpj.or.jp/Portals/0/data/0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf">https://www.hpj.or.jp/Portals/0/data/0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf</a>



**高圧一括受電マンションへの  
ヒートポンプ給湯機管理システム (設置例)**

3



<新技術>

次世代ヒートポンプは、ハードとソフトの両面から新技術を導入する。特にDXを用いてあらゆるデータを収集し、それを基にして全体最適化し、エネルギーマネジメントシステムを構築する。既にNEDOプロジェクト等で適用範囲200℃までヒートポンプを開発中であるが、実際に導入後に必要な技術は、従来のヒートポンプやボイラ等にも適用可能な技術であり、波及効果は大きい。

DX技術を導入して各機器の運転データをリアルタイムで遠隔監視し、熱需要や電力の供給状態に合わせた最適運転等を行えるようにEMSに対応可能することが重要となる。ヒートポンプ本体は電力機器であるため対応しやすいが、発生した熱を含めた熱のEMSはほとんど実施例がなく、実証と合わせてデジタルツイン技術による多くの検証が必要となってくる。

次世代ヒートポンプの新技術

	従来技術	新技術
供給温度	100℃以下が主流 120℃程度までは実績あり	従来技術に加えて、 150~200℃に対応可 ボイラ代替使用可
冷媒	HFC、自然冷媒	HFO、自然冷媒
熱源	空気、水 (~50℃)	空気、水、排熱 (~100℃)
運転制御	熱負荷に追従したヒートポンプ最適運転	電源の需給バランス制御 (VPP, DR) プロセス全体最適制御 (エネマネ)
データ通信	個別データ	一括データ (エネルギー・スマート・メータ) デジタルツイン
遠隔監視	ヒートポンプのみ	システム全体
メンテナンス	運転時間等による定期メンテ	予防保全、診断機能
運転状態の見える化	性能、電力量など	性能、電力量、電気料金、 CO <sub>2</sub> 排出削減量
電源構成	火力中心	再エネ導入量により、原単位が減少

4



4. 優位性, 実現すべき目標とベンチマーク

- ◆従来のヒートポンプ導入のために評価指標  
→投資回収年数：設備コスト差をランニングコスト差で回収する年数
- ◆燃料価格は社会情勢で大きく変動、2011年の東日本大震災以降の節電要求が高まり  
→気候変動対策として2050年度カーボンニュートラルを目指す⇒経済性以外の評価指標が必要
- ◆ボイラ代替としてヒートポンプ選定  
→エンジニアリング力、エネルギーマネジメントシステム最適化が重要
- ◆ヒートポンプの特性を上手く利用  
→ボイラは定格熱容量の1/3の稼働率で選定  
→ヒートポンプはボイラの1/3の熱容量を選定することで、大幅に投資回収年数を削減できる
- ◆イニシャルコストを発生させないサブスクリプションのビジネスモデルの検討

5. 目標実現までのロードマップ

熱のEMSにより従来ヒートポンプの課題を解決し、導入促進を図るとともに、200℃までの従来蒸気ボイラ・バーナーや電気ヒータ等で加熱するしかなかった温度帯に適用可能な高温ヒートポンプの開発、エネルギースマートメータ等のセンサー開発、デジタルツインを活用した効果量の算定などを進め、2030年代初頭からコスト高を意識しなくても良いサブスクリプション等の新ビジネスモデルにより、さらなる普及拡大を目指していく。

目標達成のためのロードマップ

	2020年~	~2030年度	~2040年度	~2050年度
従来 HEP				
補助金による導入促進	→			
シミュレーションによる効果確認	→			
次世代 HEP				
~200℃稼働機・市場導入	→			
プラットフォーム構築	→			
実証試験	→			
補助金による導入促進	→			
デジタルツイン活用	→			
新ビジネスモデル構築	→			
温室効果ガス 排出量削減量見直し (万t-CO <sub>2</sub> /年)		2030年度 HP全体：8,754		2050年度 HP全体：13,699 次世代HP:4,654

5

6. 国プロの実施イメージ

過去にプラットフォーム化技術を目指したものはなく、社会実装実験をする意義は大きい。小規模なスマートコミュニティを対象にモデル実験を行うことで、実動作確認が必要な機器や通信プロトコル等を導入したプラットフォーム化が検証できると考えられる。ここで対象とした導入インパクトが大きい産業用や集合住宅を中心にモデル化した実証試験を行うことが必要である。実施方法としては、次の2つの方法を提案する。

- ① 国施設によるモデルケース実証試験: 例えば、福島再生可能エネルギー研究所、電力中央研究所など
- ② スマートコミュニティによるモデルケース実証試験: 例えば、大学構内、自治体管理のスマートコミュニティなど

7. 事業化への戦略、その後の推進主体案

オールジャパン戦略として、ユーザー、メーカー、建築会社、エンジニアリング会社、エネルギー会社が連携して本プロジェクトを推進する。適度な競争原理を働かせ、性能アップ、コストダウン、標準化を進めていくことが重要。

8. 政策提言

2022年5月に経済産業省が中間まとめを公開した「クリーンエネルギー戦略」において、「省エネ・燃料転換」政策として、「ヒートポンプなど熱利用の高効率・脱炭素化」が明記されている。

ヒートポンプ等の熱利用に関して、補助金・支援事業の政策的対応策に加え、さらに2050年カーボンニュートラルに向けたヒートポンプ導入目標の設定、各企業における脱炭素量基準を示しアクションプランを設定、などより具体的な政策を提示し、目標達成した際にはインセンティブを与えるような政策も必要だと考える。また、今まで省エネに対して成果を上げている「トップランナー方式」、「ラベリング制度」など企業の競争原理を活用した政策に対する検討が必要と考える。

9. 想定する主なメンバー

機器メーカー、センサメーカー、制御メーカー、エネルギー系企業等と大学・国研等を含めて、社会実装に向けて具体的な研究開発を担当いただく機関を明確化する。

【本ワーキンググループ参加メンバー】

早稲田大学、アズビル株式会社、関西電力株式会社、株式会社竹中工務店、ダイキン工業株式会社、株式会社ノーリツ、富士電機株式会社、パナソニック株式会社、株式会社前川製作所、三菱重工サーマルシステム株式会社、三菱電機株式会社



### 3. 検討結果

#### ①基本的なアーキテクチャ

- ・「Application」部はクローズ（主に各社が独自に開発・提供する部分）で、「IoT/Platform」部はオープン（共通プラットフォーム部分など）、「仮想 EMS（シミュレータ）」は、オープンな汎用ツールを使用が望ましい。
- ・本 WG の取組みとしては国や省庁を巻き込んだ標準化の提案としつつ、標準化自体は日冷工など工業会の規格に落とし込むのが妥当。
- ・本検討で対象とした熱・エネルギーマネジメントシステムの運用フローの一例を示した（図 3.1）。従来のエネルギーマネジメントシステムとの違いは熱負荷の見える化であり、熱負荷に対する制御検討の幅が広がることで現状よりも高度な制御が期待できる。
- ・知財権に関しては、クローズ部分は各社で知財権を取得する。オープンな部分で知財権が発生した場合には、基本公知化するか、RAND ライセンスなどで条件を決める。

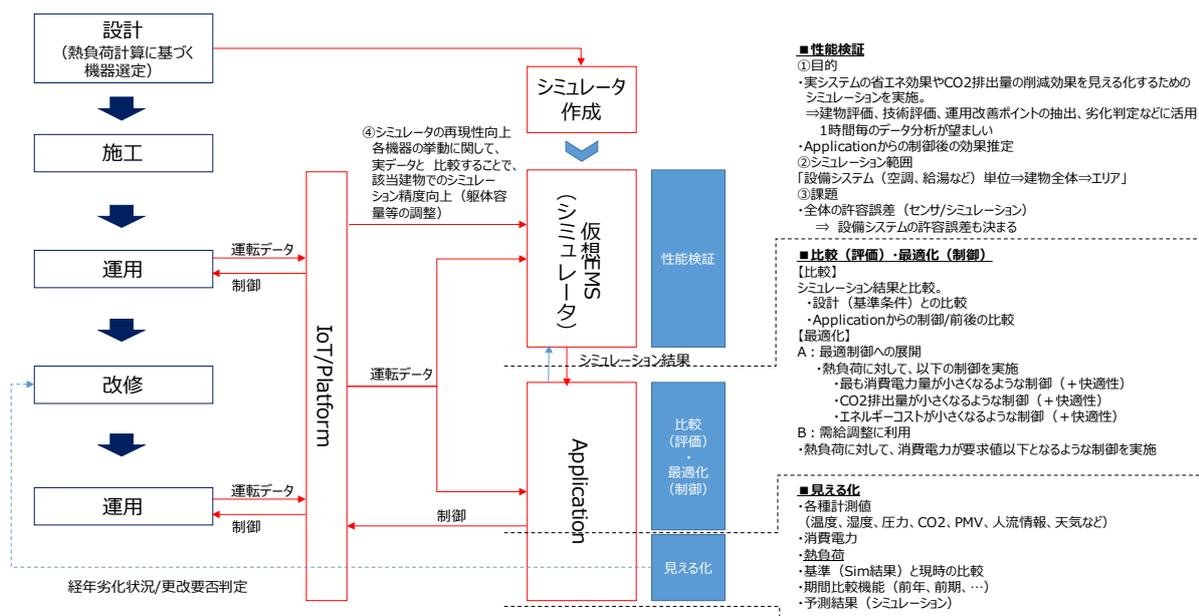


図 3.1 運用フロー

#### ②データ所有権とセキュリティ

- ・データの利用については、「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」（経済産業省情報経済課）に則る。
- ・サイバーセキュリティおよびフィジカルセキュリティは、サービスの開発ベンダ、メーカーで一般の ICT 機器と同様に各種規約やガイドライン（「サイバーセキュリティマネジメントシステム認証基準」（IEC62443-2-1）など）に基づいて開発し、製品やサービスレベルで保証する。併せて、「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」（経済産業省商務情報政策局サイバーセキュリティ課）も参照する

- ・運用面では、サイバー・フィジカル両面を意識した運用規約の設定や、現地作業員の教育も必要

### ③ IoT 階層と機器階層のデータ授受と制御の機能分担/適用範囲

- ・「計測・計量センサ (CO2 センサ等)」は各センサや情報源の通信方式・データ方式を確認し、「IoT/Platform」につなげられるよう個別エンジニアリングする。
- ・「外部情報 (気象データ等)」は情報発信者の定義する方式で、契約により取得する。
- ・「建築設備」のセンサ情報に関しては、利用目的や提供サービスに応じて、必要な情報を収集できるような仕組みとする。通信プロトコルについては、すでに汎用となっている BACnet、OPC UA などを用いる。
- ・データ項目・データ間隔・データ精度については、利用目的や提供サービスに応じて個別検討する。ただし、建築設備のセンサ情報については、メーカー・機種により値が持つ意味が異なることがあるため仕様を統一することが求められる。

### ④ 各機器への上位からの制御範囲

- ・外部制御入力の責任は運用側、入力後の挙動はメーカー責任が基本的な考え方。
- ・機器の信頼性 (故障)、能力、寿命に対する懸念から、既存の設定・操作項目を活用し外部制御するのが原則。
- ・将来のカーボンニュートラルを見据えより積極的な運転を行いたい場合にも、故障予見などの先端技術と組み合わせて保証範囲外の入力に対する機器の信頼性を担保するなど、各メーカーとの協議は必要
- ・既存の設定・操作項目の拡大が必要 (既存の項目で実現できない) な場合については、日冷工などで議論し、標準規格等に反映する。分野や項目が多岐にわたるなど、必要に応じて専用のコンソーシアムを設立し、標準規格化する。
- ・「熱の見える化」を実現するためには、事務所用パッケージ型空気調和機の冷房能力 (冷房負荷)・暖房能力 (暖房負荷) の把握が課題である。

### ⑤ 普及促進、インセンティブ作り等の行政への要望

- ・仮想 EMS (シミュレータ) との連携、複数台の異機種制御のメリットの見える化が課題
- ・メリットは、投資コスト面、運用コスト面の他、認証などに省エネルギー効果を反映できる仕組みとすることが一つの手段。

## 4. 今後の課題

- ・エネルギーマネジメントの対象範囲 (建物内、建物群など) により、具体的なシステム構成および役割は異なるため、マネジメント範囲毎に検討する。
- ・各機器の制御範囲の拡大やデータ収集項目および間隔などについては、Application に応じて、そのメリット含め検討する。
- ・今後、実用化に向けて、エネルギーマネジメント範囲を始め、具体的なプロジェクトでの検証を行い、詳細な検討を進めていく必要がある。

## 【報告書】

### 1. 本 WG の目的

熱を含めたエネルギーの統合や最適化に向けては、これまでデータ収集が可能な情報に加え、新たに収集する情報と合わせて、“見える化”し、分析し、制御・運用していく必要がある。また、異なるメーカー間、機器間での連携も見込まれるため、共通的なルール（仕組み）作りが必要になると考える。

本 WG では、共通的なルール（仕組み）構築に向けた問題を整理し、その実現に向けた課題を整理する。また、熱の見える化および制御範囲の拡大に向けた検討においては、具体的なシステム例として、事務所用空調機（ビル用マルチ）を対象とし、冷暖房負荷の見える化、データ収集範囲の拡大および制御範囲の拡大に関して、課題を整理する。

### 2. 熱・エネルギーマネジメントシステムに関する既往の技術動向

これまで、エネルギーマネジメントシステム（Energy Management System : EMS）は、家庭用、ビル用、産業用など用途別に開発され普及してきた経緯がある。本 WG では熱・エネルギーマネジメントシステムの共通化に向け、まず、業務用ビル用のエネルギーマネジメントシステムを対象に検討する。業務用ビルの分野では、高度成長におけるビルの冷暖房の普及とあわせて、その運転管理のため中央監視システムとして導入されたことが始まりである。1970年代の石油危機を契機とし、建物の維持管理費や、エネルギー費用が、建築主や入居者の固定費として認識されはじめると、その効率化へ注目が集まり、それを管理する機能が付加する形で、現在の“BEMS”の外形が形成された。中原ら<sup>1)</sup>は、その経緯を踏まえ、IEA Annex16において、BEMSは、“Building Energy Management System”ではなく、“Building and Energy Management System”と定義している。

1980年代になると、インテリジェントビルの建設や構内通信網、各種ビル内情報サービスが進み、その範囲もエネルギーの需給に加え、監視、制御、維持管理、テナントサービス、診断と建物内の管理全般に及ぶことになる。BEMS は、情報通信技術（ICT）の進化に大きく影響を受けており、コンピュータの進化にともない BEMS の処理機能が向上し、ネットワークのオープン化では管理データの設置範囲・項目・点数が増加し、インターネットの普及では遠隔からの監視操作が可能となった。

これまでは、ビルのエネルギーや管理を支援する“ひとつ”のシステムであった BEMS が、様々な機器やシステムと接続され、かつ、複数のビルを統合管理するに至り、その通信がクローズであることが普及の障害となり始め、欧米を中心に標準規格の検討が進み、LonWorks、BACnet、KNX などの標準規格が誕生した。国際的には、1995 年より ISO で TC205 委員会（建築環境設計、Building Environment Design / 議長国 アメリカ合衆国）が設立され、その中の WG3 が Building Control Design を担当し 15 年にわたり ISO 規格化作業を行い今なお継続している。ISO 規格としては、文献[2]として公開されている。日本では、空気調和・衛生工学会の BEMS 委員会で機能やアプリケーション、建物運用への利活用方法につい

て検討され、その成果が文献[3][4]で公開されている。通信やプロトコルについては、電気設備学会で、BACnet に関する通信仕様に関する検討が行われており、文献[5][6]で公開されている。

一方で、情報通信は BACnet 等により標準化されたものの、下記のような課題があると考えられる。

- ① 通信の標準化は主にビル内部での通信を想定していること
- ② 建築設備機器同士の接続を想定していること
- ③ 通信されるデータの内容、取扱について規定されていないこと

建築物の DX 実現を目指すスマートビル将来ビジョン検討会（経済産業省主導）でも、業界の通信に関する共通認識不足を課題としてとらえ、標準化に向けた検討を進めている。

ビルや街区において、今後、さらに省エネルギー・低炭素化を推進するためには、笹島、國友らが示すように<sup>7)</sup>、施設単位で省エネルギー・低炭素化を図る必要がある、かつ、地域熱供給プラントや需要家ビル間の連携は重要であると言える。さらに、中里、百田らが示すように、人の位置検知情報と連携することの有効性も提言されている<sup>8)</sup>。さらに、家庭用の EMS である“HEMS”（Home Energy Management System）、産業用の EMS である“FEMS”(Factory Energy Management System)でも、BEMS とは異なる規約で規定されたプロトコルが普及し、目的が異なる情報が通信されていることを考慮すると、これら多種多様な情報を通信し活用することができる“仕組み”を確立することは重要であると言える。

また、デジタルツイン技術との連携に関しては、負荷側のシミュレーション技術の活用が必要となる。建築設備分野のシミュレーションとしては、海外で国際的に広く普及しているプログラムとしては、EnergyPlus, TRANSYS, ESP-r, HVACSIM+などが挙げられる。国内では、HASP/ACLD/ACSS, BECS, FACES, EESLISM など特徴あるプログラムが数多く開発され、実務においても長年にわたって使用されてきた実績がある。最新のものとして Popolo, LCEM, BEST 等が開発されている<sup>9)</sup>。

### 3. 熱・エネルギーマネジメントシステムに関する規格、ガイドライン、制度等

熱・エネルギーマネジメントシステムを検討していくうえで、考慮すべき規格、ガイドラインとしては、以下がある。エネルギー需給、気温、湿度、等の環境情報を収集・可視化・解析し、その結果に基づき、クラウド技術を活用して設備機器等を制御する「環境クラウドサービス」に関するガイドラインとしては、「環境クラウドサービスの構築・運用ガイドライン（平成 23 年 12 月、総務省）」がある。サイバーセキュリティおよびフィジカルセキュリティに関しては、「サイバーセキュリティマネジメントシステム認証基準」（IEC62443-2-1）などがある。また、「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」（経済産業省商務情報政策局サイバーセキュリティ課）や同ガイドライン「(個別編：空調システム)」(現状：パブリックコメント期間終了)などがある。また、電気学会の標準仕様として、ビル用マルチエアコンによるエネルギーサービスに関する標準仕様（JEC-TR-59004,2019）、蓄熱システムによるエネルギーサービスに関する標準仕様（JEC-TR-

59001,2018)) などがある。

要件を満たすことで、エネルギーマネジメントシステムの設計費、設備費、工事費等に対して、補助を行うことで導入促進を図る制度としては、「令和 4 年度 先進的省エネルギー投資促進支援事業（経済産業省）」、「令和 4 年度 ZEB 実証事業（経済産業省）」、「令和 4 年度 PPA 活用等による地域の再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業（環境省）」、「令和 4 年度 建築物等の脱炭素化・レジリエンス強化促進事業（環境省）」などがある。なお、エネルギーマネジメントシステムの導入により、削減できるエネルギー消費量の目標としては、「令和 4 年度 先進的省エネルギー投資促進支援事業（経済産業省）」では 2%以上の削減が求められている。

#### 4. 熱・エネルギーマネジメントシステムの基本フレーム

課題を整理するうえで、基本フレームを設定した（図 4.1）。基本フレームは、建物設備および各種センサ、外部情報からの情報を収集する IoT/platform 層とデータを可視化・分析・最適化制御を行う Application 層、実建物のデジタルツインである仮想 EMS、建物設備などのシミュレータから構成される。

建築設備は、建物ごとに異なるものの、一般的な構成要素としては空気調和設備、給排水衛生設備、その他建物設備である。空気調和設備としては、冷凍機、ポンプ、ファンコイルユニット、送風機、冷却塔、パッケージ型空気調和機、換気送風機、全熱交換器などが挙げられる。給排水衛生設備としては、給水ポンプ、排水ポンプ、ガス湯沸かし器やヒートポンプ給湯機などの給湯設備が挙げられる。その他にも照明設備、エレベータ、エスカレータなどがある。

ここでの各種センサとは、建築設備に付随する制御用のセンサ（制御センサ）ではなく、別設置のセンサを想定している。例えば、PMV センサ、CO<sub>2</sub> 濃度センサ、人流を把握するためのセンサ（人感センサ、画像センシング、レーザー、赤外線、他）などである。

外部情報は、気象予報、建物やエリアのイベント情報、スケジュールなどがある。

本検討では、冷凍機、ポンプ、ファンコイルユニット、送風機、冷却塔は熱源制御器を介して制御されると想定し、個々の機器内部の制御までは考慮していない。また、パッケージ型空気調和機、照明設備に関しても同様である。

現状の建物においては、BEMS 等の導入により、建物内に設定される各種設備機器の情報収集や制御、分析は行われているが、共通的な規格等がないことから、建物ごとに BEMS に接続される機器やセンサなどの仕様を確認したうえで、情報設計、構築されているのが実情である。本 WG では、各種データを活用した新たなサービス（制御）を実現するために複数の機器の運転データ、および、各種センサデータ、外部情報を効率的に収集、活用できる仕組みを構築することを目的に、基本フレームを用いて検討を行う。

検討は、基本フレームをベースに下記の 5 つの観点から実施した。また、④に関しては、事務所用パッケージ型空気調和機（ビル用マルチ）を対象に、データ収集範囲の拡大、および制御範囲の拡大に向けた課題を検討した。

- ① 基本的なアーキテクチャ
- ② データ利用とセキュリティ
- ③ IoT/platform 層とのデータ授受、機能分担
- ④ 各機器への上位からの制御範囲
- ⑤ 普及促進、インセンティブの考え方

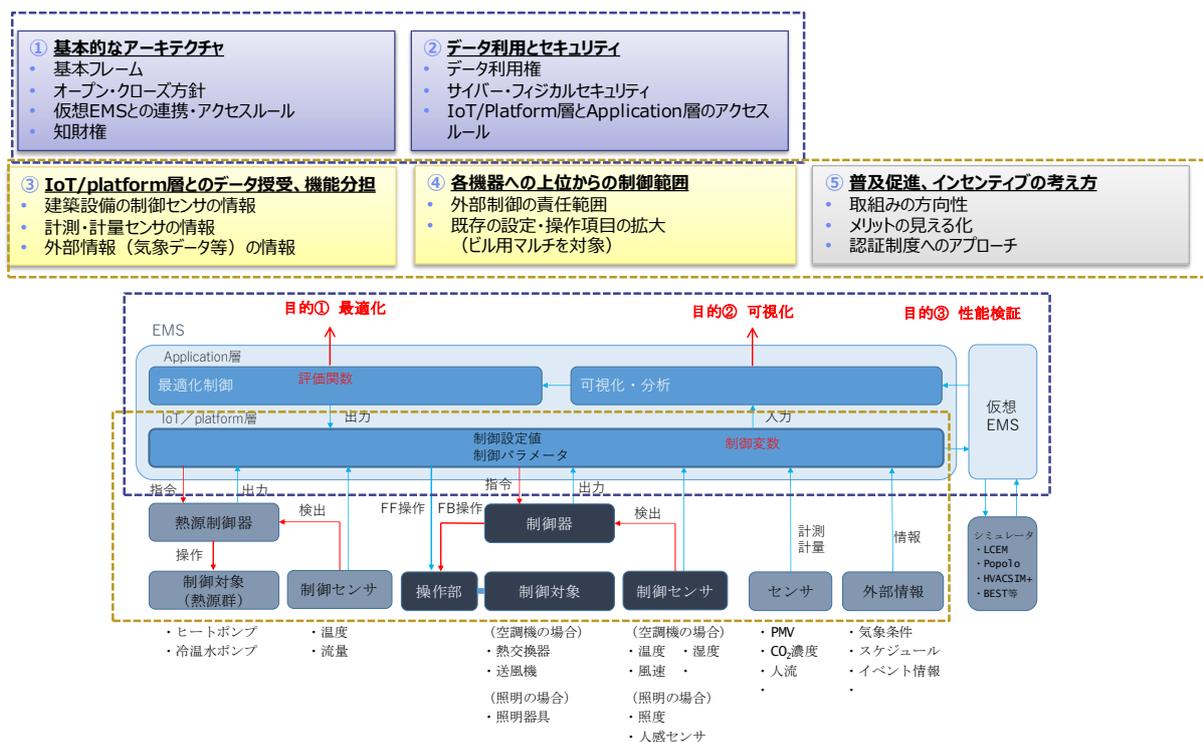


図 4.1 基本フレーム

## 5. 検討結果

### ①基本的なアーキテクチャ

基本フレームによる検討では、「IoT/platform 層」と「Application 層」は分けているが、実際の運用において、特に小規模の建物においては、「IoT/platform 層」と「Application 層」と特に分けて考える必要がない場合も考えられる。さらに、オンプレミスかクラウドかといった切り分けもでてくる。「IoT/platform 層」、「Application 層」共にクラウドの場合もあれば、「IoT/platform 層」はオンプレミス、「Application 層」はクラウドの場合もあり、または、「IoT/platform 層」、「Application 層」共にオンプレミスの場合もある。

どの構成とするかは、建物ごとに実施するのか、エリアで実施するのかといった点や、扱うデータ量や実施する処理内容によって、選択していく必要がある。

「IoT/Platform 層」のアクセスルールについては、WebAPI で共通化する。WebAPI は既に確立しているもの（ECHONET Lite WebAPI、Azure Digital Twins など）を使用するのがよいと考える。

また、構築していくうえでは、建物種別や用途も異なるため、オープンな部分（共通的なルール（規格）が必要な部分）とクローズな部分（主に各社が用途に応じて独自に開発・提供する部分）に分けられる。基本的な考え方としては、共通的なルール（規格）があることで効率的に構築できる「IoT／Platform 層」部はオープンとし、建物やエリアの個別ニーズに対応するためや差別化を図るべき各社のノウハウが必要な「Application 層」はクローズとする。また、バラつきが無く公平で明確な評価が必要な「仮想 EMS（シミュレータ）」は、オープンな汎用ツール（LCEM ツールなど）を使用すべきと考える。なお、仮想 EMS（シミュレータ）との連携・アクセスルール、必要なデータ項目・間隔は、シミュレータ自体や評価目的によっても異なり、建物に応じたカスタマイズも必要になる場合もあることから、シミュレータのカスタマイズに関するルール化も必要である。

本検討で対象とした熱・エネルギーマネジメントシステムの運用フローの一例を図 5.1 に示す。設計時のデータに基づき、「仮想 EMS（シミュレータ）」は構築される。運用段階では運用データを「IoT／Platform 層」で収集し、「仮想 EMS（シミュレータ）」および「Application 層」に送られる。「仮想 EMS（シミュレータ）」では、設計条件における消費電力量や CO<sub>2</sub> 排出量を試算し、結果を「Application 層」に送る。「Application 層」では、実システムの運用結果と設計条件による試算結果を比較することができる。また、システムの制御目的に応じてパラメータを「仮想 EMS（シミュレータ）」に送り、試算結果を得ることで、実際に制御する前にその効果を推定できると共に、推定結果と実際の運転結果の比較も見える化できる。従来のエネルギーマネジメントシステムと本検討対象のエネルギーマネジメントシステムとの違いは、熱の見える化である。熱負荷が見える化することで、その熱負荷に対する制御検討の幅が広がり、現状よりも高度な制御も期待できる。また、見える化した結果は、日々の運用改善の他、機器の経年劣化状況より更改要否の判定にも利用でき、改修計画にも活用可能である。

なお、「仮想 EMS（シミュレータ）」の精度については、設計時のデータのみでは限界があると思われる。「仮想 EMS（シミュレータ）」で、実データとの比較を行い建物特性等や機器特性を補正することで、精度向上を図る仕組みを具備することが望ましい。

知財等の権利に関しては、クローズ部分は各社で知財権を取得することになると思うが、オープンな部分で知財権が発生した場合には、基本公知化するか、RAND ライセンスなどで条件を決めることになると思う。

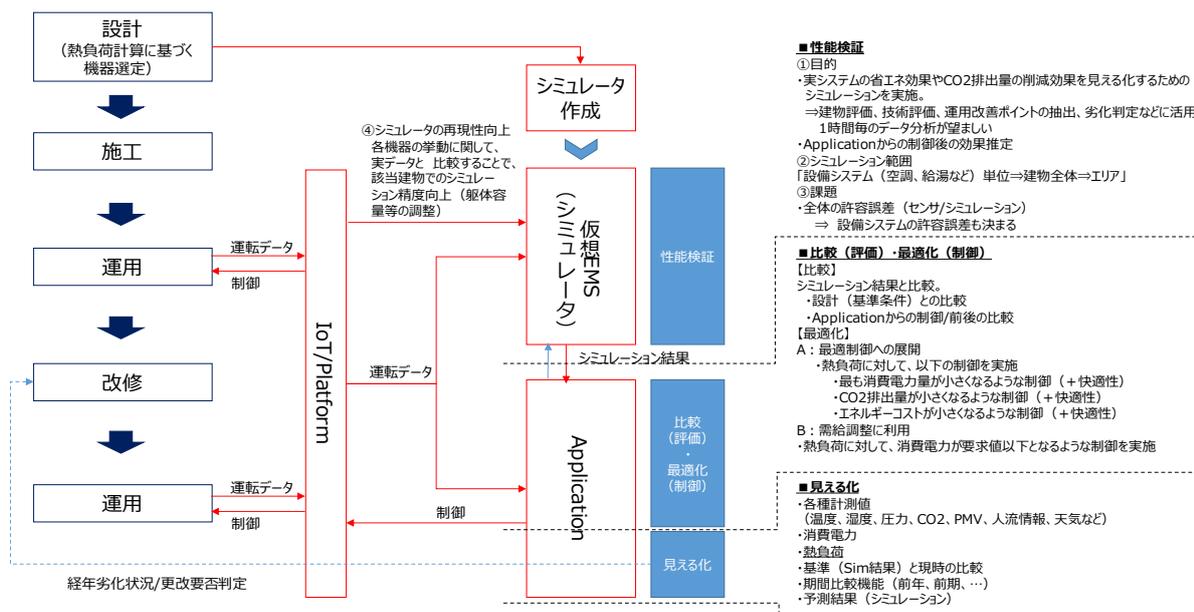


図 5.1 運用フロー

## ②データ利用とセキュリティ

データの利用については、「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」（経済産業省情報経済課）に則る。「AI・データの利用に関する契約ガイドライン 1.1 版」には、

- ・データは、無体物であり、日本の民法では所有権や占有権等の物権の対象とならない。
- ・データの利用権限を設定し、当事者による利用を促進するとともに、データの利用によって得られる収益を、投資インセンティブも考慮しながら、当事者間で分配するという考え方が基本。
- ・「データ・オーナーシップ」がいずれの当事者に帰属するのかというオール・オア・ナッシングで交渉するよりも、個別事案に応じて《どのデータを、どちらの当事者が、どのような条件で利用できるのか》という利用条件をきめ細やかに調整し設定していくことが重要である。

と記載されている。

セキュリティに関しては、サイバー・フィジカルの両面を考慮する必要がある。サイバーセキュリティおよびフィジカルセキュリティは、サービスの開発ベンダ、メーカーで一般のICT機器と同様に各種規約やガイドライン（「サイバーセキュリティマネジメントシステム認証基準」（IEC62443-2-1）など）に基づいて開発し、製品やサービスレベルで保証する。併せて、「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」（経済産業省商務情報政策局サイバーセキュリティ課）や同ガイドライン「（個別編：空調システム）」（現状：パブリックコメント期間終了）も参照し、ビル設計や施工に反映する必要がある。

運用においても、サイバー・フィジカル両面を意識した運用規約の設定や、現地作業員の教育が必要となる。

### ③IoT/platform 層とのデータ授受、機能分担

「建築設備」のセンサ情報に関しては、利用目的や提供サービスに応じて、必要な情報を収集できるような仕組みとする。通信プロトコルについては、業務用ビルなどでは、採用事例の多い BACnet などを用いる。工場などでは、同様に採用事例の多い「OPC UA」などのプロトコルを利用することで早期のシステム導入が見込めると考える。データ項目・データ間隔・データ精度については、利用目的や提供サービスに応じて個別検討する。ただし、建築設備のセンサ情報については、メーカー・機種により値が持つ意味が異なることがあるため仕様を統一することが求められる。また、計量法に準拠可能な計量按分システムも求められる。

「計測・計量センサ（CO<sub>2</sub>濃度センサ等）」は多様性や安価さを保つため、各センサや情報源の通信方式・データ方式を確認し、「IoT/Platform 層」につなげられるよう「IoT/Platform 層」側を個別エンジニアリングする。

「外部情報（気象データ等）」は情報発信者の定義する方式で、契約により取得する。

### ④ 各機器への上位からの制御範囲

各機器への上位側からの制御に対して入力後の機器の挙動に関する責任所掌の考え方が課題となる。メーカーは想定される入力に関しては、製品開発の過程で検証を行い、その挙動は保証範囲であるが、想定外の入力に対する挙動に関してまでの保証となると、開発負荷が大きくなる。そのため、「外部制御入力の責任は、原則、建物側（設計、構築、運用）。入力後の挙動はメーカー責任。」とするのが現実的であると考え。つまり、機器の信頼性（故障）、能力、寿命に対する懸念から、既存の設定・操作項目を活用し外部制御するのが原則となる。ただし、他機種との連携などで設定・操作項目の拡大が必要な（既存の項目で実現できない）場合については、そのメリットの検討は必要であるが、各メーカーにその項目の必要性を訴え、検討を依頼する必要がある。同じく、将来のカーボンニュートラルを見据えより積極的な運転を行いたい場合にも、故障予見などの先端技術と組み合わせて保証範囲外の入力に対する機器の信頼性を担保するなど、各メーカーとの協議は必要と考える。標準化が必要な場合は、空調機であれば、日本冷凍空調工業会などで議論し、標準規格等に反映する。分野や項目が多岐にわたるなど単一の業界での議論に限界がある場合には、必要に応じて専用のコンソーシアムを設立し、標準規格化する、などの仕組みが必要と考える。

また、事務所用パッケージ型空気調和機（ビル用マルチ）を対象に、データ収集範囲の拡大、および制御範囲の拡大に向けた課題を検討した。具体的には、更なる省エネルギー化、再生可能エネルギー導入を実現するための制御案（省エネルギー制御、デマンドレスポンス制御）に対して、運転データの出力項目の拡大および制御項目の追加が可能か検討した（表 5.1）。検討の結果、機器の保護に関わる制御項目に関しては、上位側からの制御を許容できないが、メーカーのコントローラ経由であれば実現可能な項目や、今後開発すれば実現可能な項目はあった。また、出力する運転データについては、直接計測する温度等であれば、ある

程度の精度は見込めるものの、算出が必要な冷房能力、暖房能力などは、精度上の課題があることが分かった。しかし、本エネルギーマネジメントシステムの特徴である「熱の見える化」を実現するためには、事務所用パッケージ型空気調和機（ビル用マルチ）の冷房能力（冷房負荷）、暖房能力（暖房負荷）の把握がポイントである。能力の推定方法としては、機器側の運転状態から機器側で推定する方法と運用状況（屋外の温度、湿度、日射、風向・風速などの外部環境と室内の温度、湿度、人員、照明・コンセント使用量などの内部環境）から試算する方法が挙げられる。システム全体の簡素化およびエネルギーマネジメントシステムの計算負荷低減の観点からは、機器側で推定する方法の方が望ましいと考えるが、機器側で推定する方法については、精度上の課題に加え、出力方法（BACnet オブジェクトの定義）も確立されていないため、実用化には時間を要すると考えられる。そのため、早期の運用システム実現に向けては、運用状況から試算する方法も手段の一つとして検討する必要がある。

なお、実用化に向けては、コストにも影響するため、各種項目の拡大においては、その必要性を十分精査のうえ、検討する必要がある。今後は、建物の設計、構築、運用側と機器メーカーとの間でより高度な制御方式を行うために、必要な項目、許容すべき精度を議論していくことも重要であると考えられる。

表 5.1 出力項目及び制御項目の対応状況

状況	出力項目	制御項目	目的
対応済	【参考】 発停（ON/OFF）、運転モード（冷房/暖房/送風、など）、 室内温度設定、風量レベル、風向、室内温度、警報	【参考】 発停（ON/OFF）、運転モード（冷房/暖房/送風、など）、 室内温度設定、風量レベル、風向	—
対応済 （一部メーカーで開発要）		電流値閾値、節電制御	デマンドレスポンス制御
開発すれば対応可能だが精度に課題あり	冷房能力、消費電力/電流、負荷率		省エネルギー制御
対応不可	蒸発温度、凝縮温度	蒸発温度設定	省エネルギー制御

## ⑤普及促進、インセンティブの考え方

カーボンニュートラル実現に貢献するための普及促進に向けて、長期的な方向性としては、グローバル展開を見据えたうえで規格化や法律などへ反映することが重要である。そのためには、仮想 EMS（シミュレータ）との連携、複数台の異機種との連携によるメリットの定量化が課題となる。

しかし、テナントオフィスビルの場合、専用部の空調の光熱費はテナント負担となるため、省エネルギー化によるビルオーナーへの直接的なメリットは少なかった。ただし、カーボンニュートラル化に向けた動向が社会的に注目されるにつれ、エネルギー消費の削減に対する企業努力が見え始めている。

メリットの例としては、運用コスト面の他、認証などに省エネルギー効果を反映できる仕組みとすることが挙げられる。例えば、BELS 認証の BEI 値算出時に算定できる省エネ手法と実運用時の省エネ運転手法の両方が確立できれば、導入に伴う便益を得やすくなる。また、建物全体の省エネ化以外に、仮想 EMS（シミュレータ）にて、省エネ手法の検討が可能とすると、設定温度を変更した場合の省エネ効果の予測値が確認できる。実運用にて実施する前

に、省エネルギーと引き換えになるデメリットも把握できるため、省人省力で効率的な運用が可能になると思われる。

## 6. 今後の課題

### ①エネルギーマネジメントの対象範囲

エネルギーマネジメントの対象範囲（建物内、建物群など）により、具体的なシステム構成は異なる。それぞれのシステム構成により、セキュリティの考え方や、Platform の役割も変わってくるため、実用化に向けては、マネジメント範囲毎に検討する必要がある。

例えば、主に大規模建物などで建物内に運用管理者が常駐している場合であれば、図 6.1 に示す通り、建物内に「EMS」「仮想 EMS」の構成が考えられる。

また、建物内に運用管理者は常駐しているが、エネルギーマネジメントは複数の建物を対象にする場合であれば、図 6.2 に示す通り、建物内に「EMS」、建物外に「仮想 EMS」の構成が考えられる。

一方で、小規模建物などで建物ごとの管理者不在の場合で、エネルギーマネジメントは複数の建物を対象にする場合は図 6.3 に示す通り、建物外に「EMS」「仮想 EMS」の構成が考えられる。

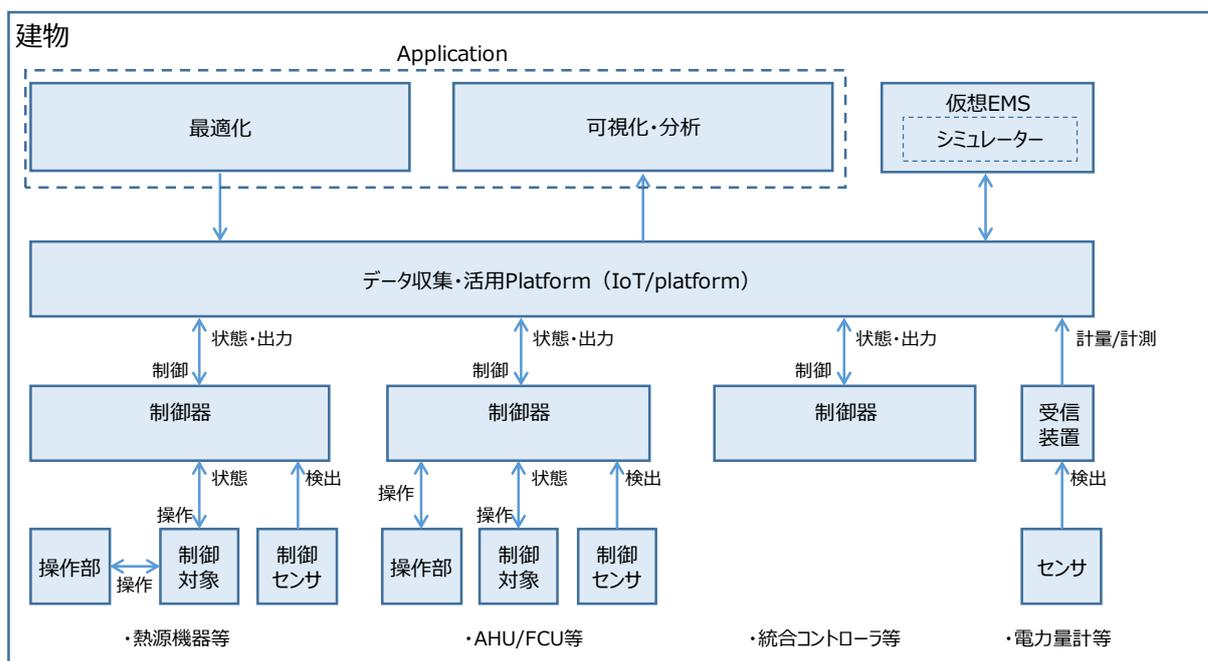


図 6.1 建物内に「EMS」「仮想 EMS」がある場合

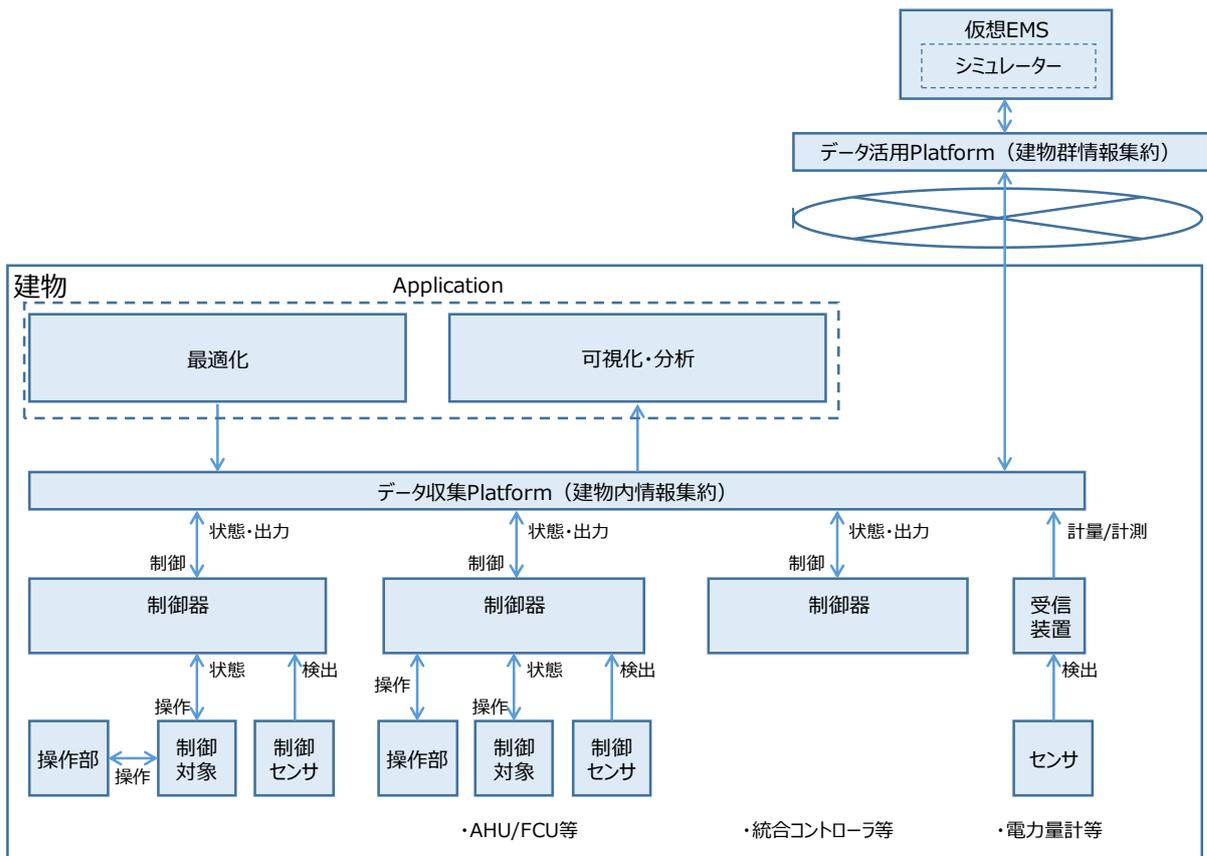


図 6.2 建物内に「EMS」、建物外に「仮想 EMS」がある場合

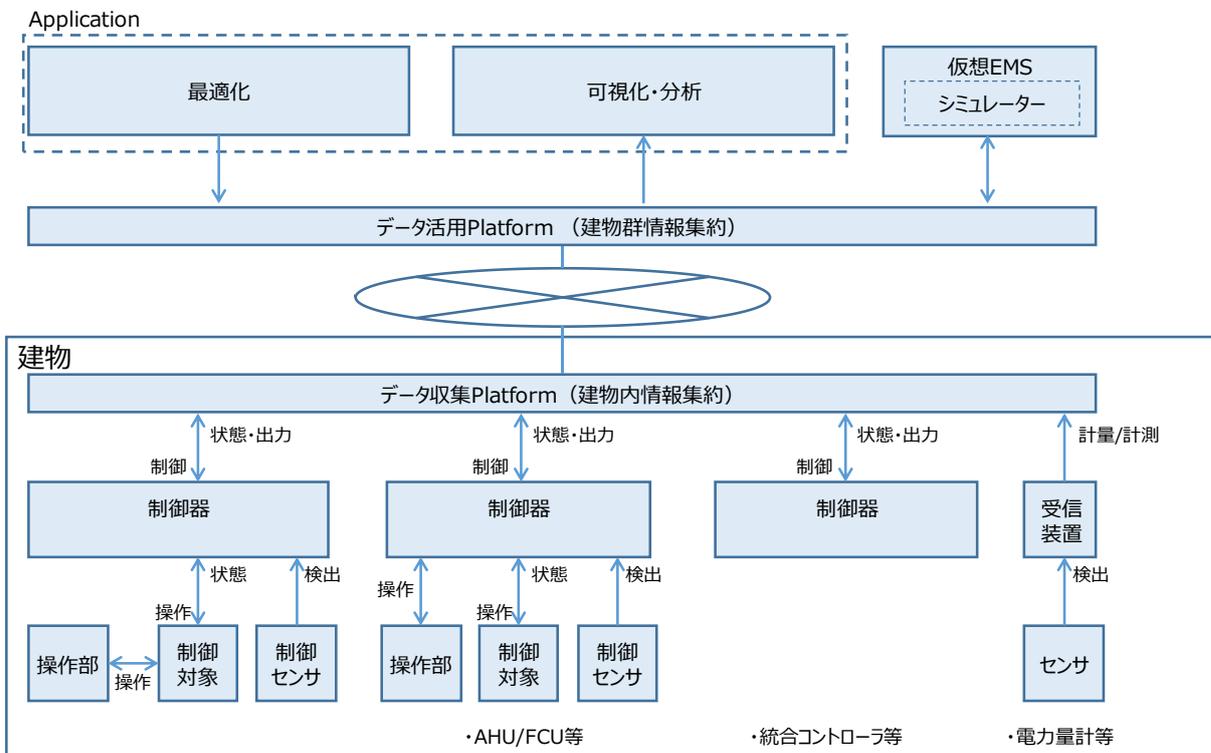


図 6.3 建物外に「EMS」、「仮想 EMS」がある場合

## ②Application の想定

各機器の制御範囲の拡大やデータ収集項目および間隔などについては、Application に応じて、そのメリットを含め検討して必要がある。

Application としては、「最適化」と「可視化/分析」が主な役割であり、その例としては、「最適化」

- ・仮想 EMS（シミュレータ）と連携した各機器へのリアルタイム制御、設備劣化状況の把握
- ・電力アグリゲータからの指示に対応したデマンド制御
- ・各設備機器のコントローラへの需要情報入力

「可視化/分析」

- ・各種計測値の表示（消費電力、温度、湿度、圧力、CO<sub>2</sub>、PMV、人流情報、天気など）
- ・建物および建物群のコミッショニングへの活用

が挙げられる。

## 7. まとめ

本WGでは、熱・エネルギーマネジメントシステムの現状を調査し、取り纏めたと共に基本フレームを設定し、「①基本的なアーキテクチャ」、「②データ利用とセキュリティ」「③IoT/Platform 層とのデータ授受、機能分担」「④各機器への上位からの制御範囲」「⑤普及促進、インセンティブの考え方」の5つの観点から検討を行い、課題を整理した。

標準化およびルール化は重要であると考え、多機種で複雑なシステムとなり得るため、早期の実用化に向けては、できる範囲から実行していくことも重要だと考える。

また、普及促進に向けては、メリットの見える化も重要である。メリットを定量的に検討するためには、共通のルールに基づいた方法での効果算出をする必要がある。

効果算出はシミュレーションの活用が有効と考えるが、シミュレーションの目的により、必要な精度、間隔は異なるため、Application の具現化が必要である。そこで、一例ではあるが、本エネルギーマネジメントシステムを用いた場合の運用イメージを整理し、各種データを用いたより高度なエネルギーマネジメントのメリットを検討した。

今後、実用化に向けて、エネルギーマネジメント範囲を始め、具体的なプロジェクトでの検証を行い、詳細な検討を進めていく必要がある。

### 【参考文献】

- 1) 空気調和・衛生工学会：環境・エネルギー性能の最適化のための BEMS ビル管理システム, 空気調和・衛生工学会, 2001
- 2) ISO 16484-2 Building automation and control systems (BACS), ISO, 2004
- 3) 空気調和・衛生工学会 ビル管理システム委員会：BEMS の普及と活用促進について, 空気調和・衛生工学会, 2007
- 4) 空気調和・衛生工学会 ビル管理システム委員会：空調制御アプリケーションから見た

- オープン化 BEMS ガイド, 空気調和・衛生工学会, 2007
- 5) 電気設備学会 : BAS 標準インタフェース仕様書, 電気設備学会, 2000
  - 6) 電気設備学会 : BACnet システムインターオペラビリティガイドライン, 電気設備学会, 2006
  - 7) 笹島他 : スマートエネルギーネットワークによる省 CO2 まちづくり, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2011
  - 8) 中里他 : 人の所在に関する情報と連携した BEMS の活用に関する実践的研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 227, 2016
  - 9) 一ノ瀬他 : 建築設備分野のシミュレーション技術の利用と応用空調・照明のシミュレーション、[https://www.comp.tmu.ac.jp/ichinose.arch/pdf/ichinose\\_0908kondan.pdf](https://www.comp.tmu.ac.jp/ichinose.arch/pdf/ichinose_0908kondan.pdf)

COCN

## データ収集・通信・デジタルツイン技術の共通化WG (データ収集と効果検証の統合)

主 査: NTTファシリティーズ  
副 査: 竹中工務店、東芝キャリア  
メンバー: アズビル、清水建設、ダイキン工業、日建設計総合研究所、富士電機、三菱電機

<本WGの目的>  
熱を含めたエネルギーの統合や最適化に向けては、これまでデータ収集が可能な情報に加え、新たに収集する情報と合わせて、“見える化”し、分析し、制御・運用していく必要がある。また、異なるメーカー間、機器間での連携も見込まれるため、共通的なルール(仕組み)作りが必要になると考える。本WGでは、共通的なルール(仕組み)構築に向けた問題を整理し、その実現に向けた課題を整理する。

0

COCN

### 背景

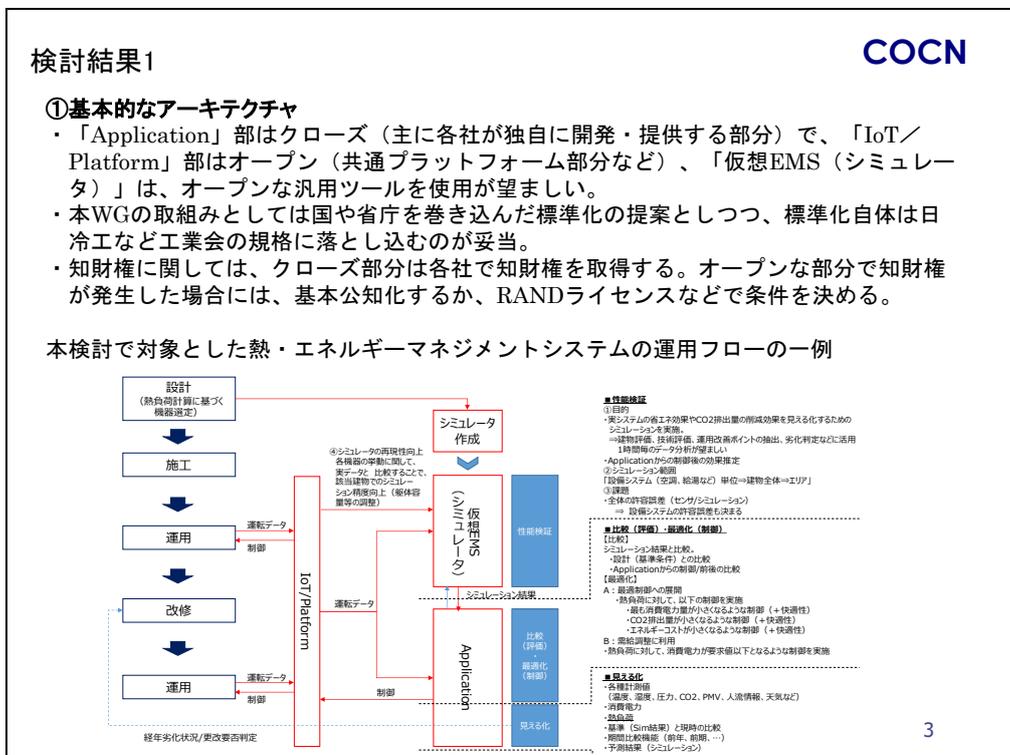
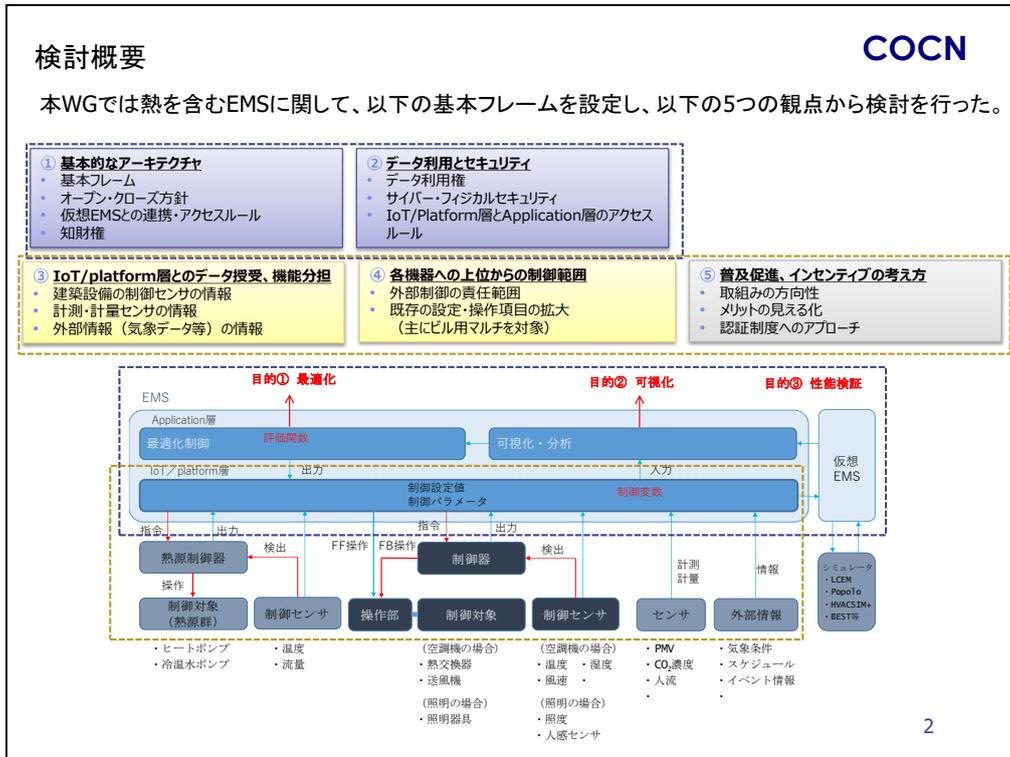
<既往の技術動向>

- ・ エネルギーマネジメントシステム (Energy Management System : EMS) は、家庭用、ビル用、産業用など用途別に開発され普及してきた
- ・ 建築物の通信は欧米を中心に標準規格の検討が進み、LonWorks、BACnet、KNXなどの標準規格が誕生
- ・ 業界の通信に関する共通認識不足が課題であり、多種多様な情報を通信し活用することができる“仕組み”を確立することが重要
- ・ デジタルツイン技術との連携に関しては、負荷側のシミュレーション技術の活用が必要 (EnergyPlus, TRANSYS, ESP-r, HVACSIM+, HASP/ACLD/ACSS, BECS, FACES, EESLISM, Popolo, LCEM, BEST 等)

<規格、ガイドライン、制度等>

- ・ クラウド技術を活用した設備機器の制御  
「環境クラウドサービスの構築・運用ガイドライン」 (総務省)
- ・ サイバーセキュリティおよびフィジカルセキュリティ  
「サイバーセキュリティマネジメントシステム認証基準」 (IEC62443-2-1)  
「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」  
「同ガイドライン (個別編: 空調システム)」 (経済産業省)
- ・ 電気学会の標準仕様  
「ビル用マルチエアコンによるエネルギーサービスに関する標準仕様」 (JEC-TR-59004)  
「蓄熱システムによるエネルギーサービスに関する標準仕様」 (JEC-TR-59001)

1



検討結果2
COCN

**② データ所有権とセキュリティ**

- ・データの利用については、「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」（経済産業省情報経済課）に則る。
- ・サイバーセキュリティおよびフィジカルセキュリティは、サービスの開発ベンダ、メーカーで一般のICT機器と同様に各種規約やガイドライン（「サイバーセキュリティマネジメントシステム認証基準」（IEC62443-2-1）など）に基づいて開発し、製品やサービスレベルで保証する。併せて、「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」（経済産業省商務情報政策局サイバーセキュリティ課）も参照する
- ・運用面では、サイバー・フィジカル両面を意識した運用規約の設定や、現地作業員の教育も必要

**③ IoT階層と機器階層のデータ授受と制御の機能分担/適用範囲**

- ・「計測・計量センサ（CO2センサ等）」は各センサや情報源の通信方式・データ方式を確認し、「IoT/Platform」につなげられるよう個別エンジニアリングする。
- ・「外部情報（気象データ等）」は情報発信者の定義する方式で、契約により取得する。
- ・「建築設備」のセンサ情報に関しては、利用目的や提供サービスに応じて、必要な情報を収集できるような仕組みとする。通信プロトコルについては、すでに汎用となっているBACnet、OPC UAなどを用いる。
- ・データ項目・データ間隔・データ精度については、利用目的や提供サービスに応じて個別検討する。ただし、建築設備のセンサ情報については、メーカー・機種により値が持つ意味が異なることがあるため仕様を統一することが求められる。

4

検討結果3
COCN

**④ 各機器への上位からの制御範囲**

- ・外部制御入力の責任は運用側、入力後の挙動はメーカー責任が基本的な考え方。
- ・機器の信頼性（故障）、能力、寿命に対する懸念から、既存の設定・操作項目を活用し外部制御するのが原則。
- ・将来のカーボンニュートラルを見据えより積極的な運転を行いたい場合にも、故障予見などの先端技術と組み合わせることで保証範囲外の入力に対する機器の信頼性を担保するなど、各メーカーとの協議は必要
- ・既存の設定・操作項目の拡大が必要（既存の項目で実現できない）な場合については、日冷工などで議論し、標準規格等に反映する。分野や項目が多岐にわたるなど、必要に応じて専用のコンソーシアムを設立し、標準規格化する。
- ・「熱の見える化」を実現するためには、事務所用パッケージ型空調機の冷房能力（冷房負荷）・暖房能力（暖房負荷）の把握が課題である。

**⑤ 普及促進、インセンティブ作り等の行政への要望**

- ・仮想EMS（シミュレータ）との連携、複数台の異機種制御のメリットの見える化が課題
- ・メリットは、投資コスト面、運用コスト面の他、認証などに省エネルギー効果を反映できる仕組みとすることが一つの手段。

5

COCN

### 今後の課題

- ・エネルギーマネジメントの対象範囲(建物内、建物群など)により、具体的なシステム構成および役割は異なるため、マネジメント範囲毎に検討する。
- ・各機器の制御範囲の拡大やデータ収集項目および間隔などについては、Applicationに応じて、そのメリットを含め検討する。

図 建物内に「EMS」「仮想EMS」がある場合  
(大規模建物などで建物内に運用管理者が常駐している場合を想定)

図4.3 建物外に「EMS」「仮想EMS」がある場合  
(小規模建物などで建物ごとの管理者不在で、EMSは建物群を対象にする場合を想定)

6

COCN

### まとめ

- ・本WGでは、基本フレームを設定し、「①基本的なアーキテクチャ」、「②データ利用とセキュリティ」、「③IoT/Platform層とのデータ授受、機能分担」、「④各機器への上位からの制御範囲」、「⑤普及促進、インセンティブの考え方」の5つの観点から検討を行い、課題を整理した。
- ・標準化およびルール化は重要であると考えているが、多機種で複雑なシステムとなり得るため、早期の実用化に向けては、できる範囲から実行していくことも重要だと考える。
- ・普及促進に向けては、メリットの見える化も重要である。メリットを定量的に検討するためには、共通のルールに基づいた方法での効果算出をする必要がある。効果算出はシミュレーションの活用が有効と考えるが、シミュレーションの目的により、必要な精度、間隔は異なるため、Applicationを具現化したうえで、更に検討を進めていく必要がある。
- ・今後、実用化に向けて、エネルギーマネジメント範囲を始め、具体的なプロジェクトでの検証を行い、詳細な検討を進めていく必要がある。

7

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 6階

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

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

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

事務局長 山口雅彦