

つくばグリーンホロニズムタウン —カーボンニュートラルコミュニティの実現に向けて Tsukuba Green Holonism Town—Building A Carbon Neutral Community

森田 賢治 *・杉本 一郎 **・三石 洋之 *・石田 政義 ***
Kenji Morita Ichiro Sugimoto Hiroyuki Mitsuishi Masayoshi Ishida

As the problem of global warming becomes more apparent, many countries around the world are launching policies aimed at achieving net-zero greenhouse gas (GHG) emissions. We must urgently push for the decarbonization of energy and human activity. To this end, a task force of the Tsukuba 3E Forum has developed the concept of "Tsukuba Green Holonism Town," which utilizes renewable energy sources. This is a carbon-neutral community realized through demand response (DR) methods that harmonize residents, workers, distributed energy resources (DER), and vehicles. This paper presents the three basic policies of the community: achieving carbon neutrality in the community, balancing the energy demand and supply, and changing the lifestyle, work style, and mobility style of the community residents and workers. Furthermore, we show five functional categories and their linkages: community facilities with energy supply, conversion, and storage, common facilities equipped with DERs, vehicle-to-microgrid integration facilities, demand with DERs, and demand with appliances only.

Keywords : carbon-neutral community, balancing the energy demand and supply, photovoltaic, hydrogen, and demand response

1. まえがき

2016 年 11 月発効の「パリ協定 (The Paris Agreement) ¹⁾」を受けて欧州連合 (EU) は、2018 年 11 月に「欧州における気候中立 (Climate Neutral) の長期戦略ビジョン ²⁾」を示し、2020 年 3 月には「2050 年に向けた気候中立の法案」を提案した ³⁾。これを起点に“国が決定する貢献 (Nationally Determined Contribution)”として「温室効果ガス (GHG) の実質ゼロ (i.e. カーボンニュートラル)」が世界各国に波及している ⁴⁾。

わが国も 2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会を目指す」ことを宣言し ⁵⁾、2021 年 5 月に「地球温暖化対策の推進に関する法律 (温対法)」の一部を改正して、この宣言を基本理念として規定すると共に、地域の再生可能エネルギー (再エネ) を活用した脱炭素化を促進する事業に係る計画・認定制度を創設した ⁶⁾。

筆者らは、茨城県の自治体、大学、研究機関、企業等で構成される「つくば 3E フォーラム」においてタスクフォース (TF)「次世代エネルギーシステム」を推進し、水素エネルギーや燃料電池自動車・電気自動車が社会に実装される方策を検討・提案している ⁷⁾。特に 2020 年度から、再エネ由来の水素も活用しつつ、生活行動の変容をも促すことで、脱炭素を達成する『つくばグリーンホロニズムタウン』(注:

ホロニズムは全体調和主義を意味する造語、以下ホロニズムタウンと略す) を提唱し、その社会実装に向けた議論を進めている ⁸⁾。

本稿では、まず海外における再エネを活用したエネルギーコミュニティの先行実証事例を示し、ホロニズムタウンを位置付ける。次にホロニズムタウンを設計・構築・運用する上での基本的な考え方、ホロニズムタウンを構成する設備群と需要家群の「機能分類」について述べる。さらに、ホロニズムタウンの対象エリアと規模、時間経過に伴う課題への対応についても言及する。

2. 先行実証事例

風力発電、太陽光発電 (PV) といった出力変動する再エネを主力のエネルギー源としてコミュニティを形成し、デマンドレスポンス (DR: Demand Response) 等によりコミュニティ全体のエネルギー需給をバランスさせる研究と実証は、再エネの普及が進む英国・欧州で 2010 年代から EU フレームワークプログラム (Framework Programme) を中心に開始されている。以下に、欧州における特徴的な実証プロジェクトについて述べる。

Wattalyst (2011.10–2014.9) では、様々な価格とインセンティブ、消費プロファイルを含む DR プログラムのガイドラインやツールを策定・試験した ⁹⁾。EcoGrid EU (2011.3–2015.2) では、デンマークの離島 (Bornholm) の家庭 1,900 世帯と公共施設 100 棟に、再エネ (風力発電) を 50%以上導入して、リアルタイム・プライシング (RTP: Real-time

*一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部
〒305-0822 茨城県つくば市荏荏 2530
kmorita@jari.or.jp

** 株式会社エネルギー・生活科学研究所

*** 筑波大学 システム情報系 構造エネルギー工学域

Pricing) による様々な DR 手法の有効性を検証した¹⁰⁾。後継の EcoGrid 2.0 (2016.1–2019.9) では、コミュニティの範囲を広げてローカルフレキシビリティ市場 (LFM: Local Flexibility Market) のサービスとして供する DR 手法を提案した¹¹⁾。英国・欧州では LFM が 2019 年から開始され、配電事業者 (DSO: Distributed System Operator) 向けの需給調整力 (予備力) として DR 手法が位置付けられている¹²⁾。日本において配電事業 (許可制) は 2022 年 4 月から開始される予定で、LFM についても未だ議論の段階である¹³⁾。

また NETffient (2015.1–2018.12) では、ローカル配電網やマイクログリッドを対象に電気化学電池とスーパーキャパシタを組み合わせたハイブリッド型エネルギー貯蔵システム (HESS: Hybrid Energy Storage System) によるエネルギー管理手法を検証した¹⁴⁾。後継の ISLANDER (2020.10–2024.9) では、ドイツの離島 (Borkum; 面積 30 km², 5,500 世帯) をパイロットと位置付けている。この島は年間の電力消費量が 30.6 GWh, 熱消費量が 130 GWh で、電力の約 50 % を外部の市場から連系線 (海底ケーブル) で供給し、38.7 % を自島の再エネで賄っている¹⁵⁾。ISLANDER では洋上風力発電、大規模太陽光発電等を集中配置したパルク発電と、分散型エネルギー源 (DER: Distributed Energy Resources), 水素貯蔵システム, 電気自動車の充電ネットワーク等により、2030 年までにカーボンニュートラルを達成する目標を掲げている¹⁶⁾。

英国・欧州の離島等のローカル地域ではエネルギー需要がほぼ安定し再エネ設置に対する制約も少ない。それゆえ、適正なエネルギー需給、脱炭素化の仕組みの構築が容易であるが、ホロニズムタウンは地方の中核都市 (e.g. つくば市) を対象にしているため、その都市の発展または衰退に応じた柔軟なエネルギー需給、周辺地域と協調した脱炭素化の仕組みが要求される。

3. ホロニズムタウン

ホロニズムタウンでは各再エネ要素技術を合理的に組み合わせ統合し、エネルギー供給から利用までの一連のプロセスを調和させる。これまで当然のように思われてきた需要側本位の自由なエネルギー消費行動を転換し、やむを得ない状況においては協力を要請する。環境の改善、エネルギー需給の自立だけでなく、コミュニティとそこに暮らす人・働く人の全体的な協調を規範としている。

ホロニズムタウンが立脚する 3 つの基本理念と 5 つの機能分類を以下に示す。

3.1 基本理念

ホロニズムタウンのコンセプトは、コミュニティの環境性能、地産地消を指向するエネルギー需給、それらを支え

る人々のエネルギー消費行動の変容に係る、以下の 3 つの基本理念から構成される。

(1) コミュニティのカーボンニュートラルを達成

コミュニティは近隣に設置されたゼロ・エミッションのエネルギー源を合理的に使用する、または CO₂ リサイクル技術を活用することで、2030 年を目途に「GHG 排出量の実質ゼロ」を達成する。

(2) コミュニティのエネルギー需給をバランスング

コミュニティは自然変動する再エネの短期的・長期的な供給量を予測し、時刻・曜日や季節と共に変化するコミュニティ内のエネルギー需要に対して、エネルギー変換・貯蔵技術を活用して大枠をバランスさせる。

(3) コミュニティの人々の生活様式、働き方、移動機会と様式を変容

コミュニティで暮らす人や働く人は、予測されるエネルギー供給とその継続期間に基づき、需要を合わせるために、所有する分散型エネルギーだけでなく、生活様式、働き方、および移動機会と様式を柔軟に変更させる。

これらの基本理念を具体的に記述すると、上記 (1) については、

- 2030 年を目途に、コミュニティ内では CO₂ 実質ゼロのエネルギーを使用する。そのためのエネルギー源は、コミュニティの属する地方自治体に設置された再エネ、原子力発電 (ただし現有設備のみ) を適正に配分する。
- CO₂ リサイクル技術として、CO₂ 分離・回収¹⁷⁾やメタネーション¹⁸⁾の確立した手法を使用する。

上記 (2) については、

- 主力の再エネとして PV による、翌日・一定期間・一年の発電量を予測する。また原子力発電は一定量として、供給計画を策定する。
- エネルギー需要の時刻・曜日による短期的な変動と、季節による長期的な変動を類型化して予測し、需給計画を策定する。
- 供給計画と需要計画を大枠で合わせるため、水電解システム・燃料電池による水素へのエネルギー変換、バッテリーによる蓄電等の確立した手法を使用する。

上記 (3) については、

- 自然変動する PV の対応策として、日本においても発生する「Dunkelflaute¹⁹⁾」に対して、電動車両とマイクログリッドの統合 (VmGI: Vehicle-to-Microgrid Integration)²⁰⁾の仕組みを導入する。
- エネルギー需要を局所的に供給計画に合わせるために、需要家の所有する燃料電池等を活用して、協調的な DR を行う。

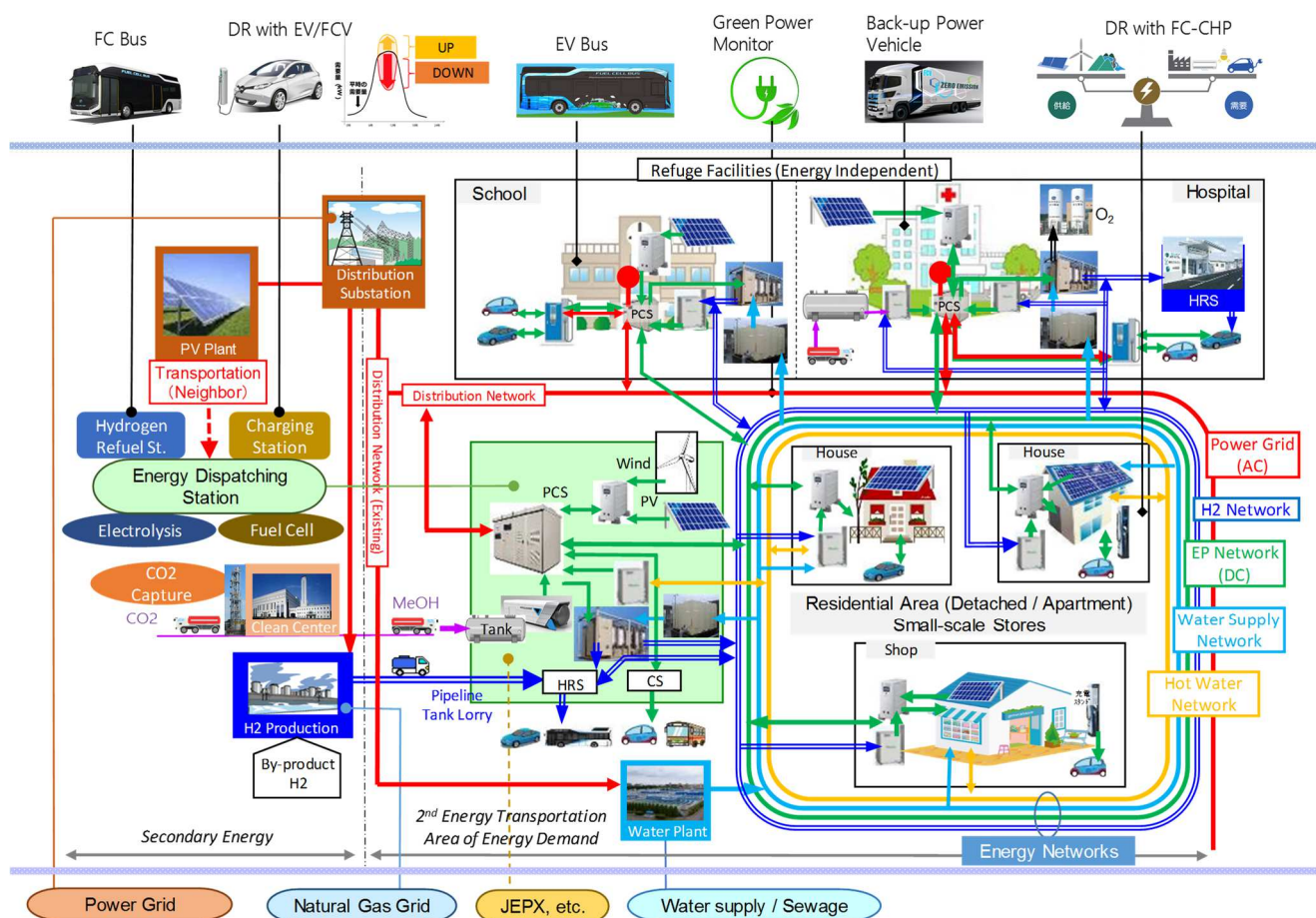


図1 つくばグリーンホロイズムタウンのコンセプト（イメージ）⁸⁾

- 需要家は、エネルギー供給の予測に基づき、生活様式の変更（e.g. 生活行動時間）、働き方の変更（e.g. フレックスタイム）、移動機会・様式の変更（e.g. リモートワーク、電動アシストリカンベント使用⁸⁾）等の生活行動に変容する。

この基本理念を基に具体化したコンセプト（イメージ）を図1に示す。

- エネルギー供給ステーション（EDS: Energy Dispatching Station）：風力、PVといった再エネと余剰・不足エネルギー調整のための蓄電池・燃料電池・水電解槽・水素タンク等で構成される。学校、病院、住宅等各消費地の屋根にはPVを設置し、生成された電力はコミュニティで融通し合う。
- 直流ネットワーク（図1の緑線）：EDSで生成する電力が直流であることから、各需要家へは直流のまま供給し、各需要家内で交流に変換する。
- 水素利用（図1の青線）：水素は貯蔵が容易であることから、エネルギーバッファとして利用する。これを水素ステーションとしても利用することで、単独では自立運営が不可能な水素ステーションひいては燃料

電池自動車の普及にもつなげる。

- 配電網（図1の赤線）：水力や原子力（ただし現有設備のみ）等で発電した電力は、既存の配電網を用いて送電する。また、他地区のホロイズムタウンとの電力融通にも交流系統を利用する。

3.2 機能分類

表1に、つくばグリーンホロイズムタウンの機能分類とその構成設備・車両の概要を示す。ホロイズムタウンは、基本理念の具体的記述に基づき、5つの機能分類（設備群と需要家群）によって構成される。

ここで、コミュニティ設備群はコミュニティのエネルギー供給・変換・貯蔵の核となる設備であり、電力から水素への変換・貯蔵とパイプラインによる供給に特徴を有する。公共設備群はコミュニティ内の公共施設に設置された再エネ等の設備であり、製造したエネルギーの全量をコミュニティに供する。VmGI設備群は電動車両によるコミュニティへの予備力の供給設備であり、運用については規制緩和も必要となる。需要家群はDER・RESや電動車両を所有する需要家と、その他の需要家に分けられるが、エネルギー消費機器はすべてDRの対象となる。

表 1 つくばグリーンホロニズムタウンの機能分類と構成設備・車両（概要）

分類名称	構成設備・機器	
	(供給側)	(変換・需要側)
コミュニティ 設備群	近隣の契約電源（再生可能エネルギー）	エネルギー供給ステーション（変換・貯蔵）
	近隣の原子力発電	水素ステーション / 充電スタンド
	エネルギーネットワーク（電力 / 水素 / 温水）	
共用設備群	公共施設等に設置された再生可能エネルギー	同施設に設置された変換・貯蔵設備
VmGI*設備群	充電スタンド（燃料電池バス / 電気バス）	エネルギーネットワーク（電力）
需要家群 (DER / RES**所有)	需要家に設置された分散型エネルギー / 再生可能エネルギー	エネルギー変換器 / 電気自動車 エネルギー消費機器（制御可 / 制御不可）
需要家群 (消費機器のみ)		エネルギー消費機器（制御可 / 制御不可）

(*) VmGI: Vehicle-to-Microgrid Integration（電動車両とマイクログリッドの統合）

(**) RES: Renewable Energy Sources（再生可能エネルギー）

また、ホロニズムタウンの対象エリア・規模、および時間経過への対処は以下のように想定している。

- 既設の市街地（住宅地等）100 – 200 世帯を 1 つのコミュニティとして設定し、既設のインフラ（配線、配管、管路等）は流用する。
- 市街地の時間経過に伴う発展/衰退に即して、コミュニティ単位で拡張/縮小し、コミュニティ間の連系により設備の稼働率（利用率）を最大化する。

4. まとめ

本稿では、つくばグリーンホロニズムタウンのコンセプトとして、3 つの基本理念とその具体的な仕組みや手法、それらに基づく 5 つの機能分類（設備群と需要家群）とその構成設備等を示した。さらに、ホロニズムタウンの対象エリア、規模および市街地の時間経過に伴う課題への対応についても述べた。脱炭素化社会の実現に向け、全力で取り組んで行く。

謝辞

本稿の「つくばグリーンホロニズムタウンのコンセプト」を策定するに当たり、つくば 3E フォーラム次世代エネルギーシステム TF の参画メンバーに議論をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) United Nations Climate Change HP, “The Paris Agreement,” <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>（アクセス 2021.11.29）
- 2) EC Communication COM (2018) 773, “A Clean Planet for all; A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy,” Brussel, 28 November 2018.
- 3) EC Press, “Committing to climate-neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact,” Brussel, 4 March 2018.
- 4) UNFCCC; Nationally determined contributions under the Paris Agreement, Third session, Glasgow, 31 October to 12 November 2021, 17 September 2021.
- 5) 外務省 HP; 気候変動、日本の排出量削減目標（令和 3 年 7 月 6 日）
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html（アクセス 2021.11.29）
- 6) 環境省報道発表; 地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の閣議決定について（令和 3 年 3 月 2 日）
<https://www.env.go.jp/press/109218.html>（アクセス 2021.11.29）
- 7) つくば 3E フォーラム HP; タスクフォース 次世代エネルギーシステム
https://eeeforum.sec.tsukuba.ac.jp/taskforce/next_generation.n.php（アクセス 2021.11.29）
- 8) Morita K, Sugimoto I, et al: Tsukuba Holonism Town—Building A Carbon Neutral Community, SOLARIS 2021, September 2021, Tokyo, Japan.
- 9) Wijaya T, Aberer K, et al: Matching demand with supply in the smart grid using agent-based multiunit auction, COMSNETS 2013, January 2013, Bangalore, India.
- 10) Larsen E, Judex F, et al: Demand response evaluation and forecasting — Methods and results from the EcoGrid EU experiment, Sustainable Energy, Grids and Networks, Vol. 10, June 2017, Pages 75-83.
- 11) Heinrich C, Bindner H, et al: EcoGrid 2.0: A large-scale field

- trial of a local flexibility market, *Applied Energy*, Vol. 261, March 2020, 114399.
- 12) Schittekatte T, Meeus, L: Flexibility markets: Q&A with project pioneers, *Utilities Policy*, Vol.63, April 2020, 101017.
- 13) 経済産業省; 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 持続可能な電力システム構築小委員会 第二次中間取りまとめ (2021 年 8 月)
- 14) Serpi A, Damiano A, et al: An Optimal Power and Energy Management by Hybrid Energy Storage Systems in Micro-grids, *Energies* 2017, 10, 1909
- 15) ISLANDER Newsletter #1, June 2021.
- 16) ISLANDER Deliverable 1.1, High-level view of the overall system and components, 29 December 2020.
- 17) 飯嶋, 遠藤, 島田: 地球温暖化対策技術としての CO2 回収技術, 三菱重工技報 Vol.47 No.1 (2010)
- 18) 泉屋, 高野, 四宮, 熊谷: 再生可能エネルギーによる CO2 からのメタン製造技術, *エネルギー・資源*, Vol. 41, No.6 (2020)
- 19) Li B, Russchenberg H, et al: A Brief Climatology of Dunkelflaute Events over and Surrounding the North and Baltic Sea Areas, *Energies* 2021, 14, 6508
- 20) Træholt C, Romero R: Electric Vehicles: Recent Status, Challenges, and Future Prospects, *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, January 2019