

ケーススタディ：フランス・リヨンにおけるスマートコミュニティ実証

一ノ宮 弘樹（三菱総合研究所）

1. イントロダクション

フランス・リヨンでは2011年から2017年にかけて、日本との合同プロジェクトとして、欧州の高い環境目標に適合するための先進的なエネルギー技術を活用した未来型都市モデルの構築にフォーカスしたスマートコミュニティ実証が実施された。

これは、NEDOの「スマートコミュニティ海外実証プロジェクト」の1つで、リヨン都市共同体（Grand Lyon la Métropole）が再開発公社（SPL Lyon Confluence）への委託に基づいて推進しているリヨン・コンフルエンス地区の再開発事業の一部として実施された。NEDOとリヨン都市共同体との間に締結されたMoA（Memorandum of Agreement）のもと、日本の東芝とフランス側の主要実証パートナー4社がIA（Implementation Agreement）を結び、共同で実証が行われた（図1）。

本実証では、新築ビル及び既設住宅への省エネ関連技術の導入や、情報通信技術を用いたPV発電量管理システム、EVカーシェアリングシステム、都市のリアルタイムエネルギー利用情報を管理して効果的・効率的な都市計画の推進を支援するシステムの構築と効果検証が行われ、この過程でいくつかの重要な示唆が得られている。

本ケーススタディでは、本実証の取り組みを通して得られたスマートコミュニティ関連技術に対する示唆や実証の社会的意義について取りまとめる。

2. リヨンにおける取組

リヨン都市共同体とSPL Lyon Confluenceは、2003年から2025年に掛けてリヨン・コンフルエンス地区の再開発（図2）を行っており、これに伴い、大幅な人口増加が予想されている。一方で、EUによる”20-20-20”やフランス政府による”グルネル法”、”RT2012”といった環境政策により、再生可能エネルギーの導入促進やエネルギー効率の向上、CO2排出量の削減が義務付けられている状況である。

再開発による人口増加に伴い、地域内の交通渋滞や駐車スペース不足、排気ガスによる環境悪化も懸念される中、環境政策で定められるCO2排出量削減目標を達成するためには、先進的なエネルギー技術の活用が不可欠である。

リヨンにおける取組では、このような背景に基づき以下の4つの技術実証を行った（図3）。

- Task1：ポジティブエナジービルディング（PEB）
- Task2：太陽光発電を活用したEV充電管理システムとカーシェアリング
- Task3：家庭内エネルギーモニタリングシステム
- Task4：コミュニティマネジメントシステム（CMS）

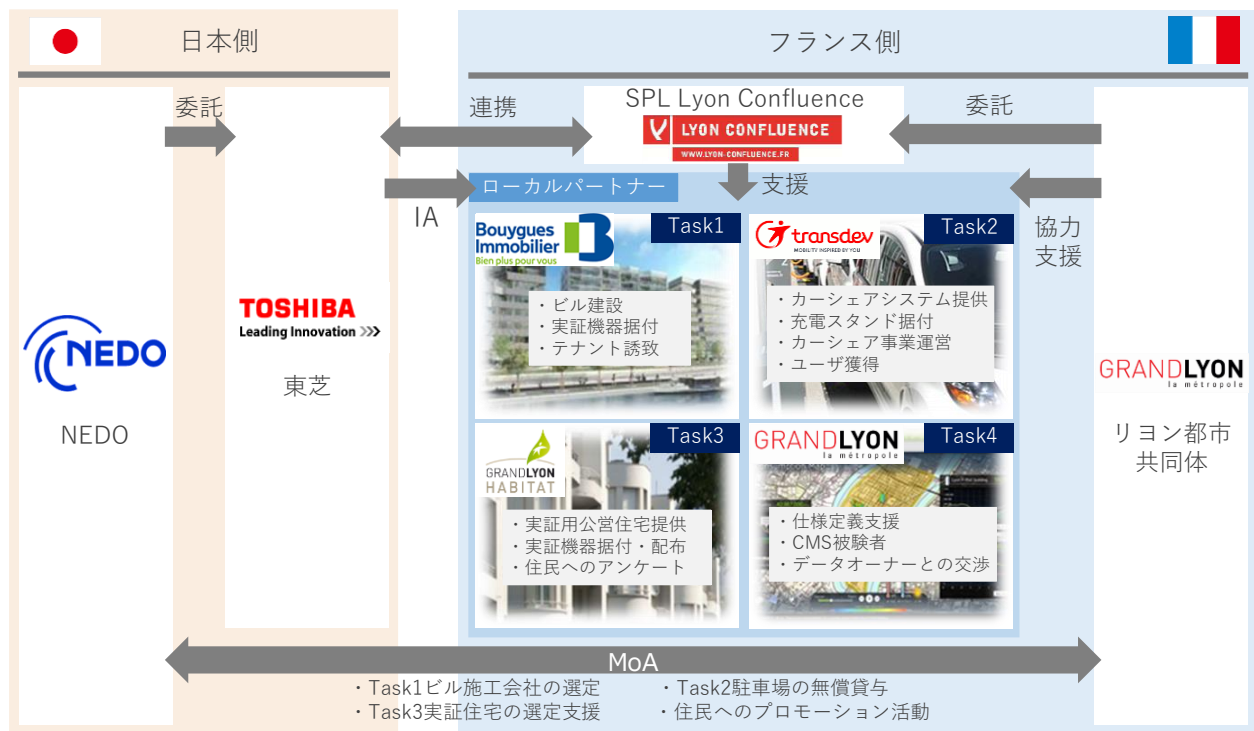


図1 実証体制



図2 再開発後のコンフルエンス地区の全景イメージ

<https://www.aderly.fr/2015/03/lyon-elue-ville-de-demain-2014-en-france/>
(2017年7月25日取得)

Task1 では、再開発事業に伴い新設された複合ビル（オフィス、店舗、住居を有するビル）に対して、日本のスマートエネルギー技術を積極的に導入し、省エネ、蓄エネ、創エネ性能に優れたビルの構築が行われた。太陽光パネルやBEMS（Building Energy Management System）/ HEMS（Home Energy Management System）、省エネ設備等の導入により、ビル全体で消費するエネルギーより、多くのエネルギーを作り出すポジティブエナジービルディング（PEB）の検証が行われている。

Task2 では、ゼロエミッション交通の確立を目指してPVをエネルギー源とするEVカーシェアシステムの構築が行われた。EV

充電スケジュールを最適化することにより、PVをEVの充電に積極的に利用し、再生可能エネルギーの変動吸収による社会投資コストの最小化を図っている。交通関連で都市に共通した課題となっている交通渋滞と駐車場不足をカーシェアで、排気ガスによる大気汚染をEVで解消することが狙いである。

Task3 では、再開発地区の既存公営住宅にエネルギー情報収集装置を設置し、情報収集のためのネットワークを構築することで消費エネルギーの見える化を実現し、この見える化による省エネへの有効性の検証が行われた。また、エネルギー利用に関するレコメンデーションを提供することによる住民の行動変革に関する検証も実施されている。

Task4 では、Task1～Task3の取得データ、更には再開発地域内の他ビルのエネルギーデータ、PV発電データ、気象データなどのリアルタイムデータ、人口統計情報や地図情報などのデータを統合的に管理し、リヨン都市共同体の都市のエネルギー計画を支援するツールとしてコミュニティマネジメントシステム（CMS）の構築が行われた。CMSの構築を通して、都市計画等の行政業務における地域のデータ活用システムのシステム化要件を明確化することが狙いである。

本章で見てきた通り、本実証では4つのTaskを通して、リヨン都市共同体が目指す環境都市構造と日本の先進的なエネルギー技術を融合させたスマートコミュニティの構築が行われた。次章以降では、各Taskの実施内容や実証結果、成果について取りまとめる。

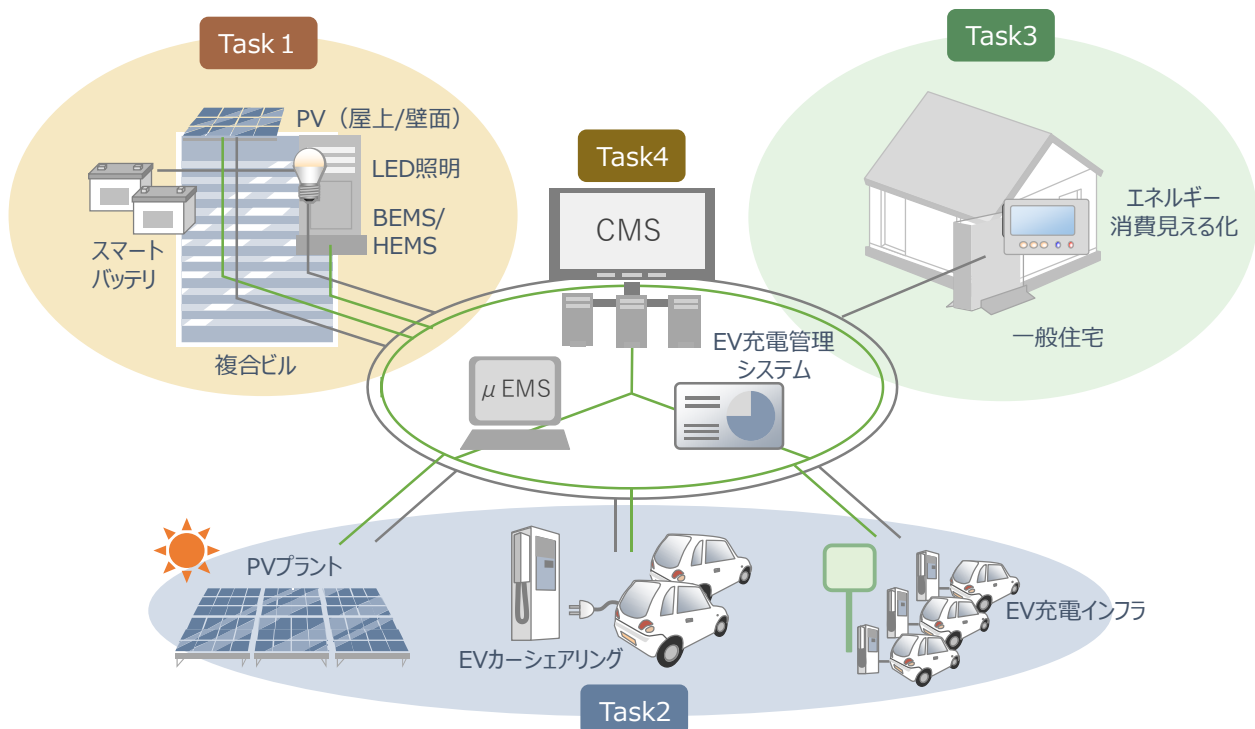


図3 リヨンにおけるスマートコミュニティ実証の全体像

3. Task1: ポジティブエナジービルディング (PEB)

オフィス、店舗、住居を有する複合ビルにおける PEB の実現を目指した Task1 は、ビルの設計から始まり、2013 年 6 月に着工、2015 年 9 月に竣工し、住民やテナントの入居が始まった。このビルは HIKARI と名付けられ、PEB の評価・検証が行われた。

本章では以下の 2 点から、Task1 に係る取り組みを紹介する。なお、本実証における PEB の定義は「一次換算で、ビル内で消費するエネルギー（電力、熱など）をビル内で生産するエネルギーが通年の積算値で上回った状態」としている。

- HIKARI ビルの設計・システム構築
- PEB の評価結果

3.1. HIKARI ビルの設計・システム構築

HIKARI ビルは、その名前に象徴されるように、自然光を最大限活用している点が特徴的なビルで、設計は日本人建築家の隈研吾氏によって行われた（図 4）。



図 4 HIKARI ビルの全景
(左から NISHI ビル、MINAMI ビル、HIGASHI ビル)

NISHI、HIGASHI ビルは大きな窓面を有し、照明負荷を低減させるために多くの自然光を取り込めるよう、螺旋状に切れ込みが入った構造になっている。MINAMI ビルは南壁全面に PV パネルが設置されており、十分な発電量の確保とデザイン性の両立が図られている。

設計面以外では、当時最先端のスマートエネルギー技術がふんだんに取り込まれたことも特筆すべき点である。これらの技術の一覧と各技術の特徴を表 1 と図 5 に取りまとめる。

表 1 HIKARI ビルに導入された主なスマートエネルギー技術

創エネ機器	<ul style="list-style-type: none"> ● PV パネル：屋上と壁面に設置 ● 菜種油コジェネシステム：フランスの輸出品である菜種油が燃料源 ● 吸収式冷凍機：コジェネからの排熱を利用して冷水を製造
蓄エネ機器	<ul style="list-style-type: none"> ● スマートバッテリー：鉛と SCiB™（負極にチタン酸リチウムを採用し、安全性、長寿命、低温性能等に優れた二次電池）を組み合わせた蓄電池システム ● 相変化蓄熱材：高い融解潜熱を有する物質を用いた蓄熱槽
省エネ機器	<ul style="list-style-type: none"> ● LED 照明：全館に導入 ● 輻射空調パネル：天井に温・冷水を流すことで、部屋全体の空調効率を向上
エネルギー管理	<ul style="list-style-type: none"> ● BEMS：ビル内の省エネルギーを実現しつつ需給をバランスさせるために、蓄エネ、省エネ機器等を監視・制御 ● HEMS：住宅機器の見える化や遠隔制御、自動制御等の様々な機能を提供

(注) SCiB™は株式会社東芝の商標又は登録商標です。

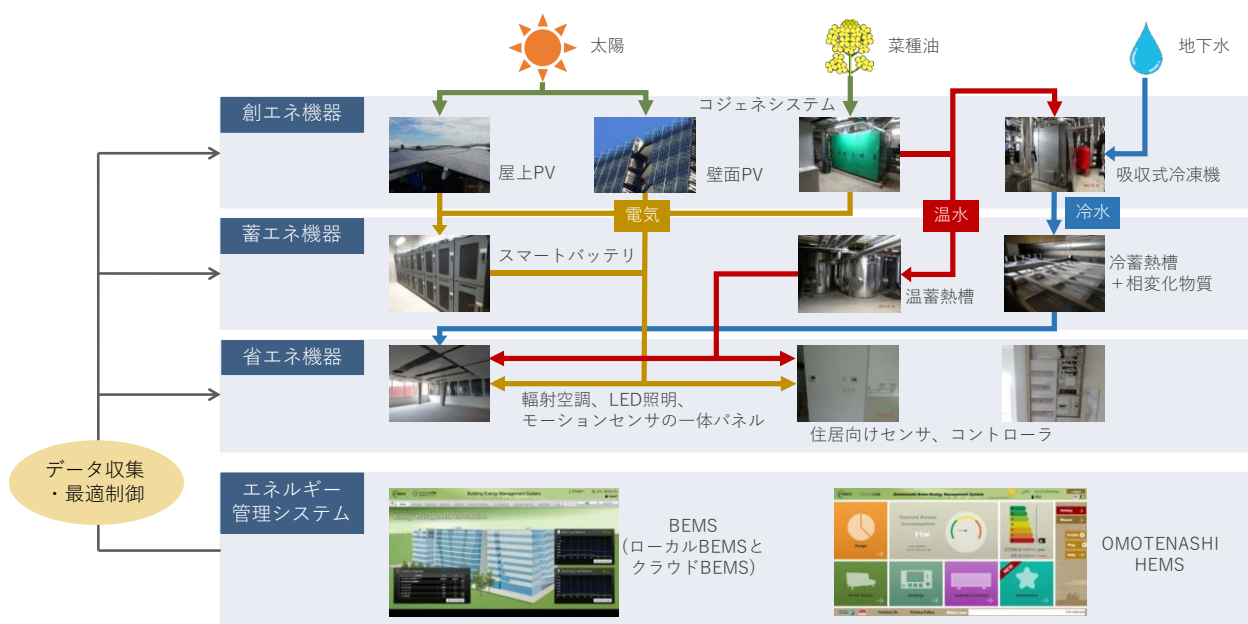


図 5 Task1 実証システムの構成

まず、PEB を達成するためのエネルギー供給源としては、PV と菜種油コジェネシステムが導入されている。菜種油コジェネシステムは熱源としても活用されており、コジェネからの排熱を利用した温水製造や吸収式冷凍機による冷水製造が可能である。これらの発電設備、熱源設備からの電力や温・冷水は、BEMS によってビル内の負荷状況に応じてスマートバッテリーや相変化蓄熱材に蓄えられ、必要な時に適切な量が供給されるように制御される。また、PEB の達成においてはエネルギー消費を抑えることも重要になる。HIKARI ビルでは省エネルギーの観点から、高効率 LED 照明や、温水や冷水を天井に循環させることで空調効率を向上させる輻射空調パネルが採用されている。

更に、HIKARI ビルではこれらの創エネ、蓄エネ、省エネ機器を最適制御するため、BEMS と HEMS が導入されている。BEMS は、先ほど言及したような蓄電・蓄熱最適化制御に加え、モーションセンサーによる LED 照明の最適制御等、入居者の快適性を損なわずに省エネを実現させるための機能を備えている。HEMS は住民向けのシステムで、住居内の空調、照明、ブラインド等の状態確認、遠隔制御、自動制御、スケジュール制御等の機能を備えており、住民の省エネ行動の促進に加え、利便性も実現したシステムである。

このように、HIKARI ビルは高エネルギー効率を実現するための独創的な設計に基づいて建設され、当時最先端のスマートエネルギー技術を多く採用したビルである。

3.2. PEB の評価結果

前節で見てきたような設計及びシステム構成の仕様が決まった段階で、実際に HIKARI ビルが PEB を達成できそうか確認するため、年間のエネルギー収支シミュレーションが行われた。設計時のシミュレーション結果を図 6 に示す。

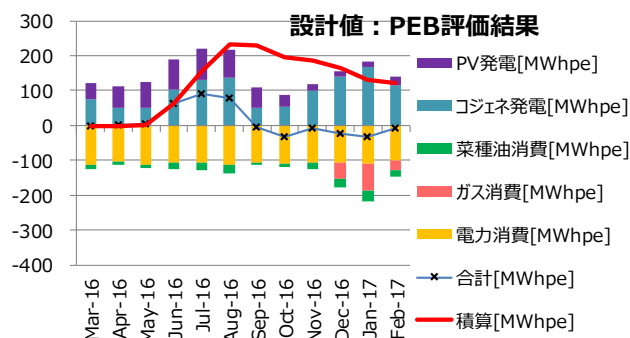


図 6 年間エネルギー収支シミュレーション (設計時)

ビル内で生成するエネルギー (PV、菜種油コジェネシステム) がエネルギー消費 (電力、菜種油、ガス) を上回り、+122MWhpe の PEB 余裕度があることが分かる。実際の運用段階では、様々な要因により設計条件からのブレが予想されるため、このような少し余裕のある設計になっている。具体的には、電力消費量

が想定より 9.4% 増えない限りは PEB が達成される設計である。

このようなシミュレーションの結果、日本とフランス側で設計上 PEB が可能であることを確認した上で、HIKARI ビルの建設が開始され、2015 年 9 月から実際に運営が始まった。運営開始後、収集した 1 年分 (2016 年 3 月 1 日～2017 年 2 月 28 日) の実績データを用いて PEB の評価を行った結果を図 7 に示す。

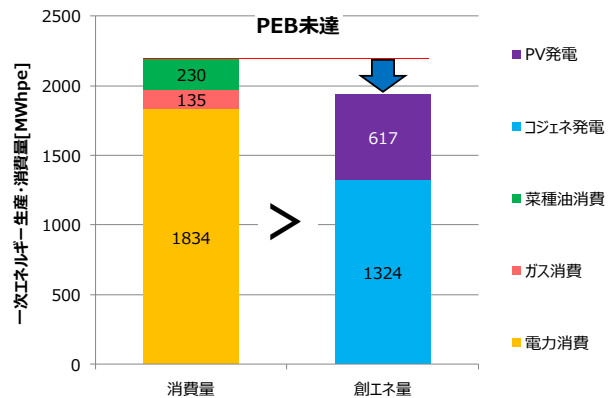


図 7 PEB の検証結果 (実績値)

純粋な実績値に基づく評価では、年間のエネルギー収支は▲259MWhpe であり、PEB が未達という結果となっている。これは、事務所エリアにおいて 24 時間稼働のサーバや専用の空調機などが導入され、事務所系統の消費電力が設計時よりも大幅に (2 倍程度) 大きくなってしまったことが主な原因として挙げられる。

次に、事務所系統の電力消費を設計時と同等とした場合にキャリブレーションした結果を図 8 に示す。

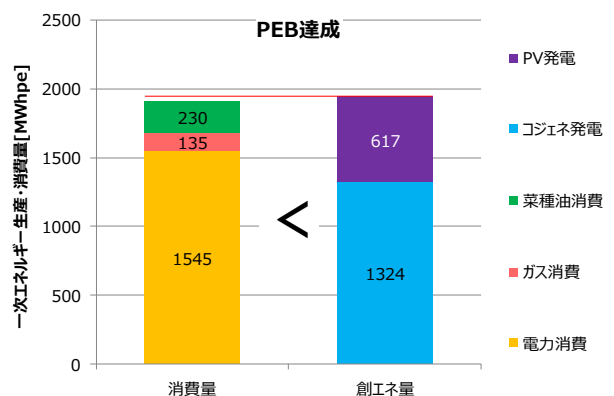


図 8 PEB の検証結果 (事務所系統のキャリブレーション後)

この場合の年間のエネルギー収支は+31MWhpe である。全体の 3 分の 1 を占める事務所系統の電力消費量が設計通りであれば、残りの 3 分の 2 である住宅や共用部電灯、その他動力需要については、実際の運用における設定条件からのブレを加味しても、PEB が達成できたという結果になった。

～ Key Findings ～

Point (1)： PEB のパイオニアとしての HIKARI ビルの価値

本実証では、最先端のスマートエネルギー技術の採用や設計上の工夫により、複合ビルのような複雑な環境下においても PEB が実現できる可能性を示した。世界に先駆けてこのような取り組みを行い、PEB のパイオニアとして位置づけられる HIKARI ビルは、今後の PEB の展開において重要なロールモデルになると考えられる。

SPL Lyon Confluence の技術アドバイザーを務め、本実証を技術的な側面からサポートしてきた Hespul の Bruno GAIDON 氏は以下のように語っている。

HESPUL Bruno GAIDON 氏のコメント

HIKARI ビルの設計時に PEB のパフォーマンス効果が計画されていたが、今回それが実際に実現可能であることを示したの
は非常に重要な成果である。

現在、コンフルエンス地区では次々と PEB の概念を取り入れた建物の工事が始まっており、PV の設置方法や壁面のデザイン等については、HIKARI ビルでの経験を生かしている。HIKARI ビルでの経験はこれから建築される PEB にとって無くてはならない貴重なものである。

一方で、今後 PEB が広く普及していく上で乗り越えるべき課題も明らかになった。HIKARI ビルは、当時最先端のスマートエネルギー技術をふんだんに取り込んだものであったが、実際に運用してみて、利用者のコスト負担や管理面での複雑性について改善を求める声もあった。

HIKARI ビルの建築において技術コンサルを務めた Manaslu の David CORGIER 氏は以下のようにコメントしている。

Manaslu David CORGIER 氏のコメント

HIKARI ビルは効率的なエネルギー利用の観点から理想的なビルであるが、最先端の技術を可能な限り集めたものであるため、予算面や管理・運用面のハードルが少し高い。

一方で、HIKARI ビルで最大限のスペックを経験することができたため、この中から必要な機能や技術を適切に組み合わせれば、他の都市にも PEB を展開していくことができるだろう。

HIKARI ビルは実証という位置づけであったからこそ様々な技術を試し、それらの技術についてノウハウを蓄積することができた。今後、HIKARI ビルを出発点として、よりシンプルで洗練された PEB が実現されていくことが期待される。

このように、当時最先端の技術を用いて複合ビルの PEB を体現した HIKARI ビルは、フランス国内のみならず、欧州中からの

注目を集めている。フランスのデベロッパーで、HIKARI ビルの建設を担当した Bouygues Immobilier の Edward WOODS 氏は、以下のように話している。

Bouygues Immobilier Edward WOODS 氏のコメント

複合ビルとしての PEB は先駆的な取り組みであり、様々な技術が限られたエリア内で全て実現されたという点で HIKARI ビルは欧州中から非常に注目されている。これまで世界中から多くの訪問団を受け入れており、大きな関心を集めている。Bouygues Immobilier としても HIKARI ビルでの経験は貴重であったと認識しており、将来の新規事業にも HIKARI ビルで得た知見を役立てて生きたい。

また、SPL Lyon Confluence の Show room で来訪者に対してコンフルエンス地区の再開発事業に関する紹介をしている Laetitia BOUSCARAT 氏は以下のように語っている。

SPL Lyon Confluence Show room Laetitia BOUSCARAT 氏のコメント

海外から多くの視察ツアーや観光客が訪れ、コンフルエンス地区の再開発事業について話を聞きにくる。その目玉が HIKARI プロジェクトであり、訪れた人には必ず HIKARI ビルをシンボリックなプロジェクトとして紹介している。コンフルエンス地区への観光客がこれだけ増えるとは我々自身も予期していなかったので嬉しいサプライズである。

コンフルエンス地区のシンボルとなり、コミュニティとしての価値を向上させているという点でも、HIKARI ビルの果たしている役割は大きいものであると言える。



図9 HIKARI ビル竣工式の様子

Point (2)： エネルギー効率と快適性・デザイン性の両立

HIKARI ビルは、スマートエネルギー技術を取り入れるだけでなく、自然光を最大限取り込んだり、風通しを良くしたりする

等、エネルギー効率を向上させるために設計面での工夫も積極的に行われた。特に、快適性やデザイン性を損なうことなく、エネルギー効率の向上を実現している点が特徴的である。

HIKARI ビルの住民・テナントは、以下のように HIKARI ビルでの生活を語っている。

HIKARI ビルの住民・テナントのコメント

住環境としては申し分無く、非常に満足している。窓の向きの配置が良く、自然光が一日中入ってくる。
壁面にPVが張り巡らされているが、全体のデザインに上手く溶け込んでいるため、普段は全く意識することが無い。

特に、HIKARI ビルは、自然光を最大限取り入れるために壁面がダイナミックに入り組んでいるデザインが印象的である。HIKARI ビルの設計を担当した KENGO KUMA & ASSOCIATES の Élise FAUQUEMBERGE 氏は、HIKARI ビルの設計を行った経験について以下のように語っている。

KENGO KUMA & ASSOCIATES Élise FAUQUEMBERGE 氏のコメント

これまでは自然の中に溶け込み、建物の存在感を「消す」ことをコンセプトとした設計をしていたが、HIKARI ビルでの経験は大きなターニングポイントになった。
HIKARI ビルの敷地の前には運河があり、背後には大きなスケート場があるため、狭い敷地の中で要求されるエネルギー効率を実現するための工夫が必要であった。躍動感のある壁面の切り込みはこのような制約があったからこそ得られたアイデアである。建物を「生きもの」として存在させるというこれまでとは全く逆のコンセプトを経験でき、現在他のプロジェクトでもこの経験を生かしている。

Point (1) では、HIKARI ビルがコンフルエンス地区のシンボルとしてコミュニティの魅力の向上に貢献していることについて紹介したが、その背景には Élise 氏が語ったような、従来の考え方からの発想の転換があり、建物のデザインという点でもインプリケーションをもたらした実証試験であった。

4. Task2: PV を活用した EV 充電管理システムとカーシェア

Task2 では、都市交通の共通課題である交通渋滞・駐車場不足の解消を目指した EV カーシェアサービスの提供、また PV 等の再生可能エネルギーの変動吸収を目的とした EV カーシェアの充電スケジュール最適化に係るシステム構築・運用が行われた。充電器や EV 等の機器導入やシステム構築が完了した後、2013 年 10 月～2015 年 12 月の間、実証試験が実施された。

本章では以下の 2 点から、Task2 に係る取り組みを紹介する。

- EV 充電管理システムの構築
- 回転率及び PV からの充電率に係る検証結果

4.1. EV 充電管理システムの構築

Task2 は、EV カーシェアの回転率を向上させつつ、より多くの再生可能エネルギーから EV の充電を行うことを目指した取り組みである。これを達成するために、Task2 で構築された各システムの機能を表 2、システム全体の構成を図 10 に示す。

表 2 Task2 で構築された各システムの機能

カーシェアシステム	EV カーシェアユーザから予約依頼を受け付け、EV 充電管理システムの計算結果をもとに EV 貸し出し可否や時間帯をユーザに送信。
充電最適化エンジン	カーシェアシステム、充電コントローラ、 μ EMS から収集した情報をもとに、最適な EV の充電スケジュールを計算。
μ EMS	PV 発電情報と気象情報をもとに PV 発電量予測を行う。また、電力系統の負荷状態を考慮するため、配電事業者（ENEDIS）とやり取りを行う。
充電コントローラ	EV 充電管理システムからの充電スケジュール指令を受けて、普通・急速充電器のリモートコントロールを行う。

(注) μ EMS : Micro Energy Management System

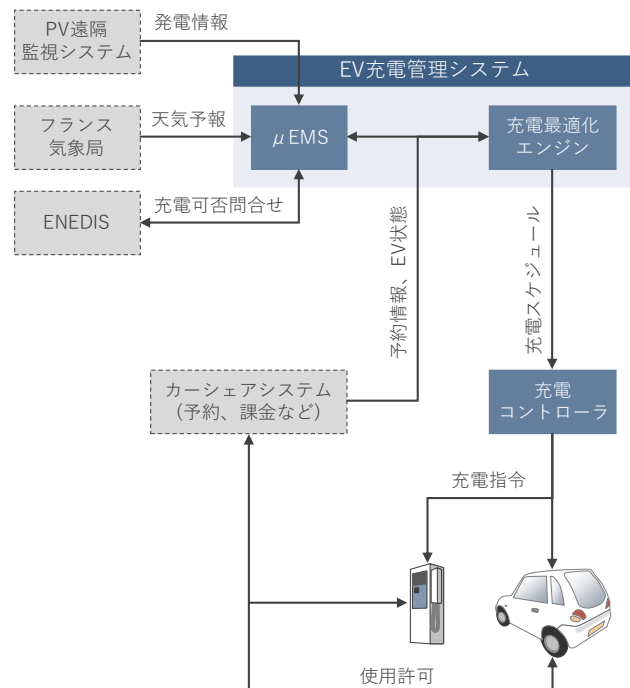


図 10 Task2 で構築されたシステムの全体構成

特に、充電最適化エンジン及び μ EMS から構成される EV 充電管理システムが重要な役割を果たしており、PV の発電量及び EV 充電時間を予測し、配電事業者からの系統制約情報を考慮しながら EV カーシェアのスケジュールを最適化する機能を持つ。EV 充電管理システムにおける EV カーシェア充電スケジュール最適化プロセスは以下の通りである（図 11）。

1. PV 発電量予測（ μ EMS）：フランス気象局から気象実績・予報情報、PV 遠隔監視システムから PV 実績情報を受信して、30 分単位で PV の発電量を予測し、PV の発電を最大限充電に利用するための充電タイミングを計算する。
2. 充電時間予測（充電最適化エンジン）：カーシェアシステムから収集したドライバー情報（利用傾向等）、EV 借用時間、申請走行距離等から消費電力量を予想し、必要な充電量・時間を計算。
3. 充電スケジュール最適化（充電最適化エンジン）：1. 及び 2. の結果をもとに、可能な限り EV1 台当たりの回転率を高め、PV の発電を最大限活用するための充電スケジュールを作成する。なお、 μ EMS 経由で配電事業者（ENEDIS）から系統の負荷状況に基づく充電不可スケジュールが送られてきた場合はこれも考慮する。

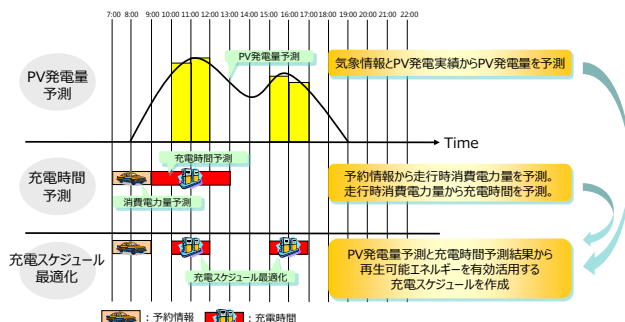


図 11 充電スケジュール最適化プロセス

図 11 は、あるユーザから 7:00~9:00 の EV 借用予約があった場合の簡単な例を示している。まず、 μ EMS によって PV の発電を最大限利用するための充電タイミングが 10:00~12:00、15:00~17:00 であると計算される。次に、充電最適化エンジンによって EV の利用による消費電力量の計算が行われ、充電に 4 時間掛かると予測される。これらの予測結果から、10:00~12:00、15:00~17:00 に充電するようにスケジュールが作成され、実際に充電コントローラを通して遠隔制御が実施される。

4.2. 回転率及び PV からの充電率に係る検証結果

前節で見てきたようなシステム構成に基づき、表 3 に示すような環境・条件のもと、実際に EV カーシェアが展開され、実証試験が行われた。

表 3 Task2 の実証試験の環境・条件

対象エリア	コンフルエンス地区内
期間	2013 年 10 月～2015 年 12 月
参加者	一般市民による登録制（任意）
EV 導入台数	30 台
充電器	普通 30 台、急速（CHAdeMO）3 台
充電ステーション	6 箇所

なお、実証試験終了時点での登録者数は 175 名程度、年間の EV 予約回数は 1,700 回/年程度であった。充電ステーションの設置エリアがコンフルエンス地区に限定されていたこともあり大規模ではなかったが、コンフルエンス地区の人口が 15,000 名程度であることを考慮すると比較的高い参加率であった。

Task2 では、以下の 2 点について効果検証が行われている。本節では、これらの検証結果についてそれぞれ紹介する。

- EV カーシェア回転率向上
- PV からの充電率向上

EV カーシェアの回転率向上に係る検証

構築したシステムによる EV カーシェアの回転率向上効果を検証するため、2013 年 11 月～2014 年 3 月の期間に実際に予約が行われた計 44 件のデータを用いて、充電スケジュール最適化機能が有る場合と無い場合についてシミュレーションが行われた。充電スケジュール機能が無い場合は、EV 返却後に必ず 3 時間の充電時間が確保されるような想定となっている。また、十分に EV カーシェアが利用されている環境を想定するため、44 件の予約が全て 1 日に行われ、カーシェアの対象となる EV は 5 台という条件のもとでシミュレーションが行われた。

このシミュレーション結果を図 12 に示す。

	充電スケジュール最適化機能無し	充電スケジュール最適化機能有り
予約受け入れ率	29 / 44	44 / 44
EVカーシェア回転率	5回/日	9回/日

図 12 EV カーシェア回転率に関するシミュレーション結果

シミュレーション結果から、充電スケジュール最適化機能を適用することで、予約受け入れ率が 29/44 から 44/44 に向上し、全ての予約が受け入れ可能になったことが分かる。また、EV カーシェア回転率（EV1 台当たりが 1 日に受け入れ可能な予約回数）は、5 回/日から 9 回/日に向上しており、EV1 台につき、1 日で約 4 回多くの予約が受け入れ可能になる結果となった。

これは、EV 充電管理システムによって厳密に充電時間を予測でき、3 時間で固定される場合と比べて 1 回当たりの充電時間を短縮できたためである。

PVの充電率に係る検証

本実証試験で開発されたアルゴリズムの有効性を検証するため、4.1節で見てきたようなPVの発電を優先的に充電に活用する「再生可能エネルギー優先モード」以外に、「通常モード（EVの返却直後に次のEV利用に必要な分を充電するモード）」と「夜間モード（充電コストの安い夜間帯に多く充電するモード）」の2つを加えた3つのモードが想定され、充電ステーション毎にモードを変えてEVカーシェアの運用が行われた。

この検証結果を表4に示す。

表4 3つの充電モードにおけるPV利用率

モード	実証期間の平均 PV利用率[%]	夏期晴天時の PV利用率[%]
再生エネ優先	67.1	82.0
通常	61.3	74.1
夜間	35.7	N/A

(注) PV利用率[%] : (PV利用量[kWh]) ÷ (充電総量[kWh])

夜間モードのPV利用率が低いのは当然であるが、再生可能エネルギー優先モードは通常モードと比較しても平均で約6%、夏期晴天時には約8%のPV利用率の向上を実現している。

PV発電量及びEV充電時間の予測精度について

EVカーシェアの充電スケジュールの最適化において、回転率を高めることと、再生可能エネルギーからの充電率を向上させることは一部トレードオフとなる部分もあるが、本実証試験では双方の効果の向上を実現することが出来た。この1つの要因として、PV発電量及びEV充電時間の予測精度が良かったことが挙げられる。PV発電量及びEV充電時間の予測誤差に関する当初の目標値は20%以内であったのに対して、誤差の実績値はそれぞれ約10～15%、12.6%であった。誤差が少ない予測システムが構築されたことで、より精緻な充電スケジュール最適化が可能になっている。

～ Key Findings ～

Point (3)：当時最先端のEV充電管理システムの構築

現在、幾つかの地域で電力会社と充電ステーションの間のコントロールシステムの構築が行われているが、本実証は世界に先駆けてこのようなシステムを構築した取り組みであった。

フランスの配電網の95%以上をカバーしており、欧州最大級の配電事業者であるENEDISのPatrick RAKOTONDRAHAHY氏は、Task2における当時最先端の充電最適化システムの構築について、以下のように語っている。

ENEDIS Patrick RAKOTONDRAHAHY氏のコメント

本実証で構築されたシステムについて、2014年にICCVE (International Conference on Connected Vehicles & Expo) で発表したところ、賞を受賞した。当時、電力システムのオペレータと充電ステーションとのコミュニケーションシステムは存在しなかったが、それがほぼ実用化に近い形で開発されたことが評価された。

近い将来、フランスでEVの利用が定着した際には、今回構築されたシステムが活躍するだろう。コンフルエンス地区に限らず、フランス全土に汎用化できるようにしていきたい。

フランスでは、2040年までに国内でのガソリン車、ディーゼル車の販売を禁止する目標を掲げており、今後EVの導入拡大が予想されている。このような状況の中、ENEDISは大量のEV利用による系統への影響を懸念しており、本実証で構築されたシステムや技術が近い将来役立てられていくことが期待される。

また、本システムの構築を担当した東芝の山口直樹氏は、以下のように本実証試験での経験を振り返っている。

東芝 山口直樹氏のコメント

実証期間中、予期せぬアクシデントの発生に加えて文化の違い等もあり、難しい部分が多かった。特にシステム構築については、当時馴染みの無かったEVカーシェアということで、ユースケースやシナリオ等の資料作成に力を入れて、要件まで落とし込んだ。カーシェア事業に関する様々な制約や規制、それらに関する申請など技術だけでなく面でも学ぶところが多かった。

時代を先取りした取り組みではあったが、最近注目されつつある分野であるため、東芝としても今回得られた経験やデータを活用して、この領域の更なる展開に繋げていきたい。

Task2は限られたエリア、条件で実施された実証試験ではあったが、再生可能エネルギーによる出力変動やEVの導入拡大に伴うローカル配電網の負荷増加等に対するソリューションとして、今後より一層注目されていくであろうこの領域の更なる展開に向けて、特に技術面で価値のある取り組みであった。

5. Task3:家庭内エネルギーモニタリングシステム

Task3では、再開発地区の集合住宅にエネルギー情報収集装置を設置し、消費エネルギーの見える化を実現して、この見える化による省エネへの有効性の検証が行われた。

実証サイトとなったCité Perracheは再開発地域に位置しており、Grand Lyon Habitatがオーナーを務める公共団地である。総世帯数は275世帯であり、この内165世帯が本実証試験に参加した(図13)。



図13 Task3 実証サイト Cité Perrache

本章では以下の2点から、Task3に係る取り組みを紹介する。

- システム構成及びタブレットの機能
- 見える化による省エネ効果の結果

5.1. システム構成及びタブレットの機能

本システムは大きく分けて、見える化装置、データ収集装置、電力データ計測装置、ガス・水道メータデータ計測装置の4つから構成される。それぞれの装置の機能を表5、またシステムの全体構成を図14に示す。

表5 見える化を実現するために導入された機器

見える化装置	消費エネルギーの見える化を提供する装置。エネルギー情報を分かり易く提供することを目的にタブレット端末を採用。
データ収集装置	各家庭の電力、ガス・水道メータデータ計測装置から収集されるエネルギー情報の保管や見える化に合わせたデータ加工を行う。
電力データ計測装置	クランプ型の電流センサーを使って、分電盤からのフィード毎の電力データを計測する。
ガス・水道メータデータ計測装置	電力だけでなく、家庭でのエネルギー利用状況全体の見える化を目的に、ガス及び水道の利用データも収集。

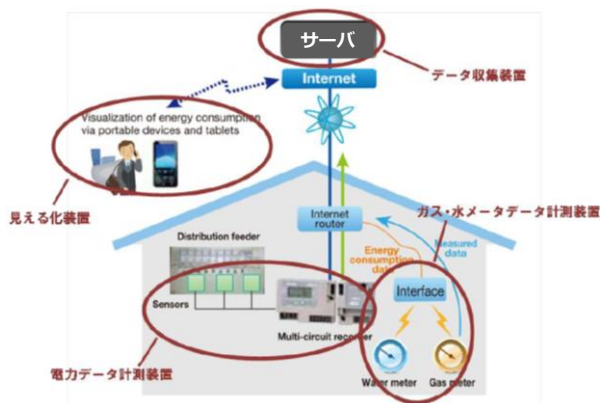


図14 Task3 で構築されたシステムのイメージ

本システムにおいて、住民の省エネ行動を促進するために重要なのは見える化装置のインターフェースであり、見える化の目的に合わせて様々な種類の画面が用意されている。以下に主な4つの画面を紹介する(図15)。

- Top 画面：居住者が一目で電気、ガス、水道の各トータルエネルギー消費量を金額(ユーロ)で確認できる。過去の実績に基づき算出される目標値に対して、良いと緑、悪いと赤など、視覚的に分かるようになっている。
- Summary 画面：電力データ計測装置により分電盤ごとに詳細電力消費量がモニター出来るため、ネックとなっている家電製品を特定することができる。また、その機器を表示するガイダンス機能も備わっている。
- Ranking 画面：ビル内の他の住民との比較により省エネへの意識付けを狙っており、優劣によって色づけされるようになっている。
- Detail 画面：電力・ガス・水の消費量及び使用料金について、過去の推移を表示する。



図15 見える化システム画面の主な例

Task3は参加希望者を募った訳ではなく、Cité Perrache という地域を対象に実施したため、必ずしもエネルギー利用に関心が無い住民も一定数含まれる。本実証で実装された見える化装置のインターフェースは、そのような人達でも分かり易いように、トップ画面をkWh表示ではなくユーロ表示にするなど、全体的に可能な限りシンプル且つ効果的な画面になるような工夫が施されている。

5.2. 見える化による省エネ効果の結果

前節で見てきたようなシステム構成に基づき、2014年6月15日～2015年12月31日に掛けて、見える化による省エネ効果の検証が行われた。本節では、特に以下の3つの機能による効果検証の結果について紹介する。

- 見える化導入による省エネ効果
- ランキングによる省エネ効果
- 省エネガイダンスによる省エネ効果

検証方法としては、各機能の利用頻度が高い世帯のグループと利用頻度が低い世帯のグループでエネルギー消費量の違いを比較することで評価している。このような方法に基づき、実際に各機能の省エネ効果を検証した結果を表6に示す。

表6 各機能の省エネ効果検証結果

機能	省エネ効果 (全期間)	省エネ効果 (冬季のみ)
見える化	+4.7%	+6.0%
ランキング	+5.0%	+6.4%
省エネガイダンス	+1.5%	<u>+10.3%</u>
合計	+7.8%	+11.5%

(注)「省エネ効果=100×(エネルギー消費量2-エネルギー消費量1)÷エネルギー消費量2」とする。但し、エネルギー消費量1は本システムの利用頻度が高い世帯グループ、エネルギー消費量2は低い世帯グループのエネルギー消費量を指す。

基本的にはどの機能であっても、利用頻度の高いグループの方がエネルギー消費量は低く、各機能が省エネに貢献していることが分かる。特にフランスで最も電力消費量が大きくなる冬季の結果を見ると、ガイダンス機能が有効な手段であることが示唆されている。

～ Key Findings ～

Point(4): ターゲットに応じた省エネ訴求方法の重要性

Task1のHIKARIビルでは参加者を募り、エネルギー利用に関心の高いユーザを対象に実施したが、Task3はCité Perracheという地域を対象に実施したため、一部の住民を除いてエネルギー利用への関心はそれほど高くなかった。実際に、1週間の内、1日以上頻度で見える化を利用するミドル～ヘビーユーザは全体の約10%程度(約16名)に留まった。一方で、このような省エネの訴求が難しい環境においてエネルギーの見える化に関する実証試験を実施したからこそ得られた発見もあった。

リヨンにおいて公営住宅を運営しており、Cité Perracheのエコリノベーションを担当しているCécile AUBERT氏とMossen HALLALI氏は以下のように語っている。

Grand Lyon Habitat Cécile AUBERT 氏、Mossen HALLALI 氏のコメント

他の住民と競争させて省エネに対する意欲を高めようとしたが、他の人よりパフォーマンスが低いことを示す赤色の表示

を見ると、寧ろやる気をなくしてしまったようである。HIKARIビルの住民であれば効果的であったと思うが、相手によってアプローチを変える必要があることを学んだ。アイデアとして他地域への展開は十分考えられるので、インターフェースを改善しつつ、基本コンセプトは踏襲して使っていきたい。また、今回は必ずしもエネルギー利用に対する関心が高くない人々を対象としていたため、ミドル～ヘビーユーザが10%程度であったことは、決して悪い数字ではないと考えている。難しい状況の中、真摯に住民と向き合い、見える化装置の設置に尽力してくれた東芝の技術スタッフには感謝している。

また、実際に本実証試験に参加したCité Perracheの住民は、見える化システムを使った実証期間中の生活を以下のように振り返っている。

Cité Perrache 住民のコメント

タブレットで赤色の表示を見ると少し落ち着かなかったため、基本的には電力消費量の推移を確認して、過去の自分と比較して節約効果を実感していた。ユーロ換算で表示してくれたのは分かり易かったし、ガイダンス機能も非常に良かった。忠実にガイダンスに従って省エネを実践したことで、40ユーロ/月程度であった電気代と水道代を20ユーロ/月程度まで節約することができた。見える化装置の設置に当たっては、東芝の技術スタッフが身振り手振りを交えて、簡単なフランス語も使いながらコミュニケーションを取ってくれて嬉しかったし、安心できた。

Grand Lyon Habitat やCité Perracheの住民からのコメントにもある通り、このような難しい状況においても実証試験を無事やり遂げることができたのは、現地で精一杯見える化装置の設置に当たった東芝の技術スタッフに依るところも大きい。現地で機器の設置に当たった東芝の秋山光吉氏、大熊敏之氏は以下のようにコメントしている。

東芝 秋山光吉氏、大熊敏之氏のコメント

勿論、言語の違いはあったが、ジェスチャーなどを使いながら気持ちで接することを意識した。日本人としての礼儀作法を忘れずに、相手が外国人であることを意識せずに誠意を持って対応した。こういった国際的且つ市民と直接係るようなプロジェクトでは、このような誠意が重要であると肌で感じることが出来た。

理想的なスマートコミュニティの実現においては、必ずしもエネルギー利用に関心が無い人達も含め、その地域に住む全ての人の積極的な関与が重要になる。Task3は、広くコミュニ

ティ全体の意識を高めるためにそれぞれの住民の性質に応じた適切なアプローチを組み合わせること、またスマートコミュニティへの理解を得るために誠意を持って市民と関わることの重要性を示した取り組みであった。



図 16 現地でタブレットの説明をする東芝の秋山光吉氏

6. Task4: コミュニティマネジメントシステム (CMS)

本実証のカウンターパートであるリヨン都市共同体は、地域内で様々な施策を並行して実施しているため、関連するデータを統合管理して、施策の進捗状況や効果を確認しながら、再開発事業を無駄なく効率的に進めることが望ましい。Task4 では、このような背景から、Task1～3 の取得データ、及びその他の再開発地域内で収集可能なデータを統合的に管理し、地区のエネルギーを中心とした見える化を実現するために、CMS の構築が行われた (図 17)。

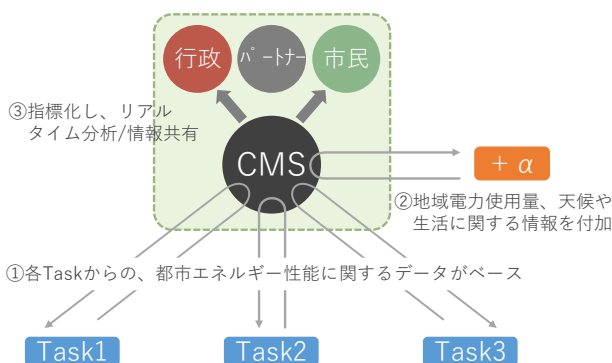


図 17 CMS のコンセプト

一方で、実証開始当初は CMS について類似の事例が無い上に、ユーザのニーズも明確では無く、システムの開発・運用が開始した後もデータの収集先が増減したり、システムで扱うデータの種類や量、データの活用方法等が途中で変更になったりすることが想定されたため、システム開発が一度で終了するような開発プロセスではなく、Define (仮説要件の定義)、Develop (システム開発)、Evaluate (ユーザによる評価) を繰り返し実施するプロセスを基本とすることにした (図 18)。

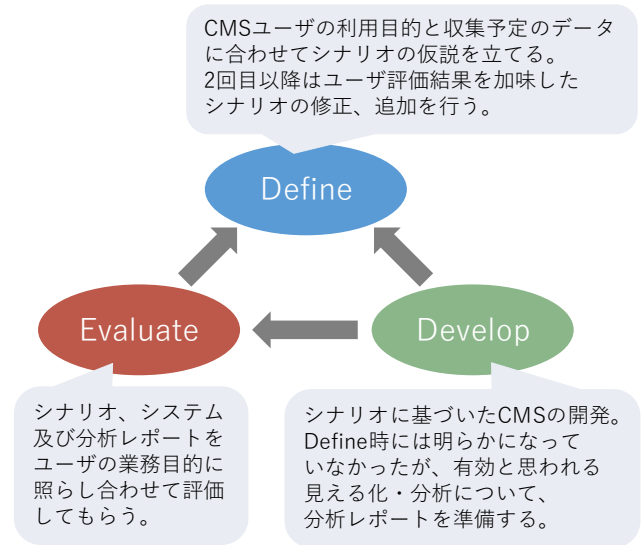


図 18 Task4 の進め方

本章では、この開発プロセスに基づき、Define、Develop、Evaluate の 3 点から CMS の構築に係る取り組み内容を紹介する。なお、本実証では最終的に Define - Develop - Evaluate プロセスは 2 回行われた。

Define

Define フェーズでは、想定されるユーザの利用目的、及び収集予定のデータに合わせて、CMS の活用に関するシナリオの仮説構築が行われた。2 回目のプロセスでは、シナリオをブラッシュアップするため、プロジェクト関係者へのインタビューも実施されている。

Define フェーズで定義された自治体の CMS 活用に関する 5 つのシナリオを以下に示す。

- シナリオ 1: エネルギー担当者が地域ビルのエネルギー消費量を確認し、目標値との比較や傾向を把握して、政策を評価・検討する
- シナリオ 2: エネルギー及び公共住宅担当者がビル改修の効果を確認して、政策を評価・検討する
- シナリオ 3: 公共住宅担当者が住民への情報提供の効果を確認して、省エネに関する情報提供施策を評価、検討する
- シナリオ 4: エネルギー担当者が地域エネルギー需給状況を確認する
- シナリオ 5: 交通及びエネルギー担当者が EV カーシェアの利用状況と再生可能エネルギー利用状況を確認する

Develop

Develop フェーズでは、Define フェーズで定義したシナリオに沿って CMS の画面及び必要なデータ収集の仕組みが開発された。開発された画面の例として CMS のトップ画面を図 19 に示す。



図19 開発されたCMSのトップ画面

画面左上のプルダウンから、5つのシナリオ毎に画面を切り替えることができ、各シナリオで必要な情報（エネルギー消費量、CO2排出量、PV発電量、天候など）の過去推移やリアルタイムのデータを建物・設備毎に見ることが出来る。

Evaluate

Evaluate フェーズでは、Develop フェーズで実際に構築されたCMSについて、シナリオ、システム、及び分析レポート等をユーザの業務目的に照らし合わせて評価してもらい、CMSの更なる向上が図られている。このようなプロセスを経て明確になった、ユーザの業務内容毎の見える化要件を表7に示す。

表7 リヨン都市共同体の業務内容毎の見える化要件

業務担当	課題（目的）	データ要件
再開発管理 担当	ビルのエネルギー消費量抑制施策の効果を確認したい。	ビルの年間目標値に対する実績値の比較 / エネルギー消費量の内訳
エネルギー 管理担当	地域のエネルギー消費量を概観したい。 地域熱供給制御のため、ビル毎のボイラーのリアルタイム消費量を把握したい。	地域エネルギー消費量の推移 / 用途別のエネルギー消費量内訳 / ビル別ボイラー消費量のリアルタイム見える化
公共住宅 担当	住居のエネルギー管理のために世帯データを個別に見たい。	各世帯のリアルタイムデータの見える化 / 前年との比較
交通担当	EVステーションの利用頻度、EVカーシェアの電力消費量を把握したい。	EVステーションごとのEV利用回数 / EVカーシェアの電力消費量の時系列変化

Task4 では、以上のような取り組みを通して、地域のエネルギー利用状況を見える化するためにCMSの構築が行われたが、本システムはこの実証試験に限ったものではなく、この領域におけるリヨン都市共同体の更なる展開に繋がっている（図20）。

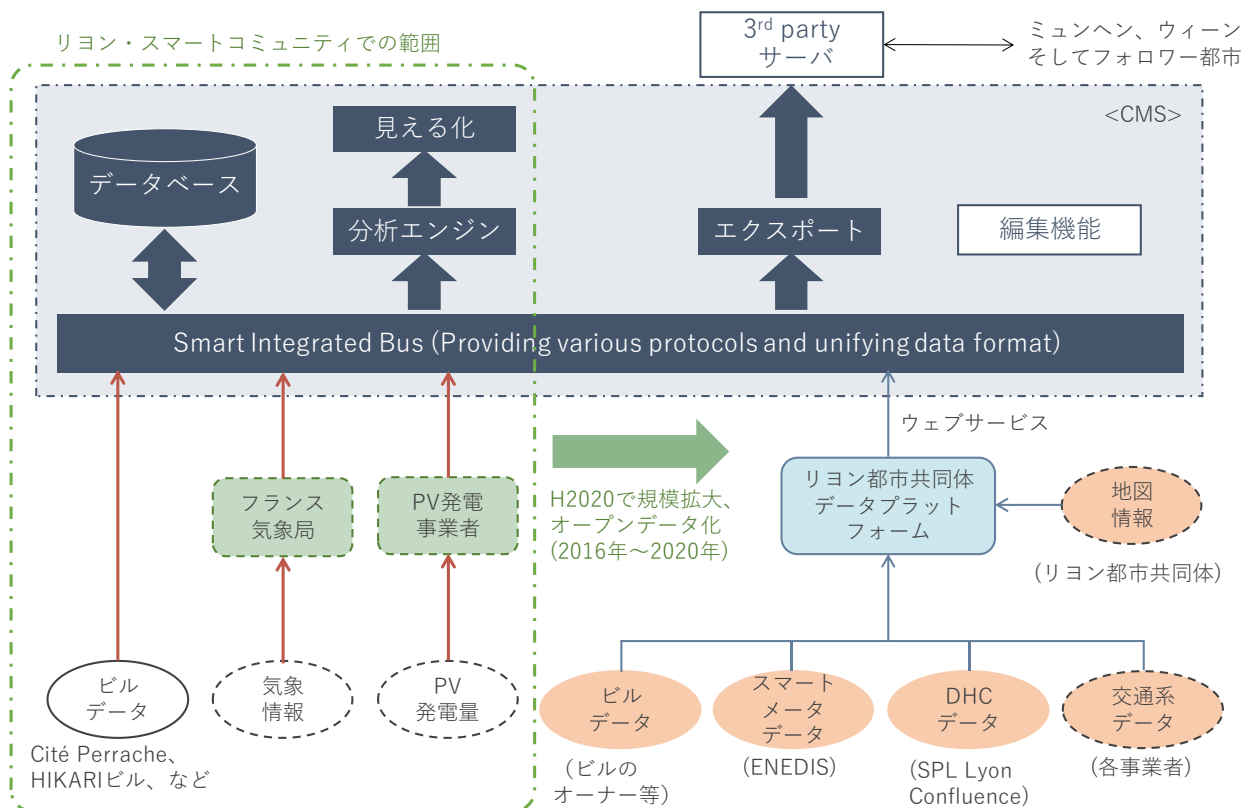


図20 本実証から Horizon 2020 (Smarter Together) への展開

EU では、Europe 2020 Growth Strategy として 2020 年までの EU の経済・社会に関する目標を定めた戦略が規定されており、特に研究開発・イノベーション関係の枠組みとして Horizon 2020 という枠組みが存在するが、その中で、本実証で構築された CMS が継続利用されることが決まっている。具体的には、Horizon 2020 の枠組みの一部である Smarter Together というスマートシティの構築に係るジョイントプログラムに、東芝と共にリヨン都市共同体が参加することになっており、このプログラムの中で、都市レベルでのエネルギー消費量、発電量、交通等の情報を統合・加工・見える化して新しいサービス等に活用していくことを目的に、本実証で構築された CMS が拡張されていく予定である。

～ Key Findings ～

Point (5)： 地方自治体における CMS の重要性

Task4 では、リヨン都市共同体の都市エネルギー計画ツールとして、Task1～3 で収集する情報を取りまとめ、分析や情報共有等を行う機能を持つ CMS の構築が行われた。

本 CMS の構築に係る経験から得られた気付きについて、本実証試験でリヨン都市共同体側の担当者を務めた Pamela VENNIN 氏は以下のように語っている。

リヨン都市共同体 Pamela VENNIN 氏のコメント

CMS の重要な点は、政策決定の効果を上げるためにデータを分野横断的に使用できることである。エネルギーやモビリティといったトピックに関する政策は、もはや別々に扱われることはない。リヨン都市共同体は、実証事業のおかげで重要な意思決定のためにデータを結びつける技術的な能力を持つことになる。私たちが次の段階に進めるよう後押しをしてくれたこの事業にとっても感謝している。

世界中でスマートコミュニティに係る実証や検討が実施されているが、各々は EV、省エネ、蓄電池、などスマートコミュニティ技術の一部にフォーカスしたものを細切れに実施しているケースも少なくない。様々な技術や概念が混在するスマートコミュニティを推進する地方自治体のような組織にとって、CMS のような全てのデータを束ねるシステムの価値は大きい。

実際にリヨン都市共同体は本 CMS の構築に係る経験をかけがえのないものと捉え、本章で見てきた通り、更なる展開に繋がっている。リヨン都市共同体において、情報システムの管理・構築を行っている Hervé GROLEAS 氏は、本実証で構築された CMS について以下のようにコメントしている。

リヨン都市共同体 Hervé GROLEAS 氏のコメント

実証で構築された CMS はエネルギーに特化したものであったが、現在 Smarter Together の枠組みでリヨン都市共同体の全ての政策に係るものに CMS を拡張している。今回の経験は、データ管理やインターフェースの仕様などの技術的な観点は勿論、政府レベルでのステークホルダー間の意識付けという点でも、非常に重要であった。本実証試験無しでは、現在構築中の新しい CMS はあり得ないだろう。

Smarter Together は欧州の他都市も多く参加している。リヨン都市共同体によって、本実証で構築された CMS を更に発展させたものが実現され、コンフルエンス地区のみならず、欧州の他地域でも CMS の概念が広がっていくことが期待される。

7. 更なるスマートコミュニティの構築に向けて

以上、本実証で実施された 4 つの Task について実施内容や成果を見てきたが、全ての Task に共通して、実証参加者が本実証で活用された技術や蓄積されたノウハウ、経験を積極的に次に活かそうとしている点が非常に印象的である。

本実証に立ち上げ当初からコミットし、コンフルエンス地区の再開発を推進する SPL Lyon Confluence の Maxime VALENTIN 氏は以下のようにコメントしている。

SPL Lyon Confluence Maxime VALENTIN 氏のコメント

今回の実証事業は、コンフルエンス地区の再開発事業への触媒効果をもたらし、リヨンの都市開発計画及びスマートシティ戦略の枠組みを創った。実証事業が終わることは名残惜しいが、実証の目的は続行することよりもこの体験を次のプロジェクトに繋げていくことにある。今回の経験が再開発事業にダイナミズムを与え、大きな後押しとなっている。

今後、今回の実証で得られた多くの経験が活かされ、コンフルエンス地区において理想的なスマートコミュニティが実現されていくことが期待される。また、本実証を立ち上げ、リヨン都市共同体で経済局長を務める Jacques de CHILLY 氏は以下のように本実証を振り返る。

リヨン都市共同体 Jacques de CHILLY 氏のコメント

本実証事業の先駆的なプログラムと独自のアプローチのおかげでイノベーションに拍車がかかった。100 以上の革新的なプロジェクト、スマートシティへの官民合わせて 3.4 億ユーロの投資、モビリティやスマートグリッドなどのテーマにおいて欧州トップクラスのクオリティを示したことなどにより、革新的なソリューションが提供されるスマートシティとしてリヨン都市共同体の国際的な評価に繋がった。

以上のように、コンフルエンス地区の再開発事業、及びスマートコミュニティ戦略の今後の発展に向けた基盤となり、コンフルエンス地区の魅力を高め、多くのバリューをもたらした本実証であったが、この背景には実証関係者による多くの苦労や尽力もあった。

日本での滞在経験があり、日本とフランスの双方の文化を理解しているという背景から、実証を通して各ステークホルダー間のコーディネータとして尽力した東芝システムフランスの Jessica BOILLLOT 氏は以下のように本実証を振り返っている。

東芝システムフランス Jessica BOILLLOT 氏のコメント

実証開始当初は、日本とフランスの間で仕事の仕方や言葉の違いから上手く行かない時もあったが、実証のコーディネータとして、日本文化の紹介セミナーを企画したり、実証関係者や参加者間の結びつきを作るために様々なイベントを企画したり、実証が良い方向に進むよう努めた。

会議やイベントを重ねるにつれて、日本側とフランス側の互いの理解が深まり、最終的に素晴らしいプロジェクトになったことがとても嬉しい。このようなプロジェクトにおいて、人と人との関係が如何に重要であるかを実感できた。

当時最先端のスマートコミュニティ技術を海外において構築し、運用した本実証は、技術面でもコミュニケーション面でも非常に複雑なものであったが、実証に関わる全ての人々がそのような困難を乗り越え、実証試験を成功させようと努力した。本実証は、海外に我が国のスマートコミュニティ技術を展開するために必要な経験やノウハウを蓄積するための機会でもあったが、海外にスマートコミュニティのようなインフラビジネスを展開するに当たっては、異国の文化を理解し、ヒューマンな側面も大事にする必要があることを強く実感できた実証であったのではないかと。

最後に、本実証においてプロジェクトリーダを務めた東芝の西村信孝氏のコメントを以下に引用する。

東芝 西村信孝氏のコメント

本実証は、我々にとっては実証という立て付けであったが、リヨン側からすると実事業であり、実用化に向けた先方からの期待値も大きかった。技術的にもコミュニケーション的にも非常に難しいプロジェクトであったが、リヨン側の協力もあり、無事プロジェクトを完遂することが出来た。実証に関わった人々が本実証で得た経験を更なる取り組みに繋げており、リヨンに我々の技術、知見、経験を残すことが出来て嬉しい。獲得した経験や知見はすぐに事業に活かせるものや中長期に取り組まなければならないものもあるが、着実に皆さんのお役に立てるよう貢献していきたい。

8. 謝辞

本ケーススタディの執筆にあたり、ご協力を賜った西村信孝氏、山口直樹氏、秋山光吉氏、大熊敏之氏（東芝）、Jessica BOILLLOT 氏（東芝システムフランス）、Jacques de CHILLY 氏、Marie-Anne GOBERT 氏、Émilie GERBAUD 氏、Paméla VENNIN 氏、Nicolas BAUMER 氏、Michèle FRICHEMENT 氏、Hervé GROLEAS 氏、Raphaël YOUSSEF 氏、Eymeric LEFORT 氏（リヨン都市共同体）、Maxime VALENTIN 氏、Laetitia BOUSCARAT 氏（SPL Lyon Confluence）、Edward WOODS 氏（Bouygues Immobilier）、Patrick RAKOTONDRAHAY 氏（ENEDIS）、Cécile AUBERT 氏、Mossen HALLALI 氏（Grand Lyon Habitat）、Bruno GAIDON 氏（Hespul）、Sylvain BRAINE 氏（INDEA）、Loïc LEQUERTIER 氏、Élise FAUQUEMBERGE 氏（KENGO KUMA & ASSOCIATES）、David CORGIER 氏（Manaslu）、Alain KERGOAT 氏（Smart Now）、Elizabeth HOWARD 氏（Sunmoov）、またインタビューに応じて頂いた HIKARI ビル入居者及び Cité Perrache 住民に感謝の意を表する。

なお、本ケーススタディは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託により作成されている。

9. 参考文献

- [1] NEDO, 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業 フランス・リヨン再開発地域におけるスマートコミュニティ実証事業 成果報告書」, 平成 23 年～28 年度成果報告書, 2017
- [2] 東芝レビュー 9 月号, 「スマートコミュニティで築く豊かな未来」, 平成 24 年
- [3] 土木技術 68 巻 8 号, 「環境最新事情 リヨン再開発地区スマートコミュニティ PJ」, 平成 25 年
- [4] 電気学会全国大会, 「フランス・リヨン市における省エネと快適性を考慮した HEMS 実証の取り組み」, 平成 25 年
- [5] 東芝レビュー 70 巻 2 号, 「フランス リヨン市におけるスマートコミュニティ実証事業の取り組み」, 平成 27 年
- [6] IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers) / ICCVE (International Conference on Connected Vehicles & Expo), 「Smart charging solution considering distribution network constraints」, 平成 25 年
- [7] ASHRAE 2015 Annual Conference, 「Energy Cost Minimization for Net-Zero and Positive Energy Buildings with Biomass Fueled CHP」, 平成 27 年