

ケーススタディ：ハワイ州マウイ島における日米スマートグリッド実証

Japan—U.S. Collaborative Smart Grid Demonstration Project in Maui Island of Hawaii State:

A case study

入江 寛（三菱総合研究所）

1. はじめに

米国ハワイ州のマウイ島では、2011年度から2016年度にかけて、スマートコミュニティのプロジェクト「JUMPSmartMaui (JSM)」が行われてきた。このプロジェクトは、導入が拡大する再生可能エネルギーを有効に活用するとともに、電気自動車 (EV) の普及を拡大することを目的として、日本のNEDOをプロジェクトリーダーとして、ハワイの関係者と日本企業が協力してスマートコミュニティを構築したものである。

スマートコミュニティは、先進的な環境・エネルギー技術を統合し、対象とするコミュニティに帰属する市民に持続可能で安心・安全な生活を提供する社会システムであると言える。この意味では、一般市民に対して、スマートコミュニティがどのような価値を与えたかという観点が重要である。本資料は、この視点に立ち、特に一般市民 (JUMPSmartMauiに参加したボランティア) が深く関係するEV関連の取り組みを中心に、その実施内容と結果を整理し、この取り組みからの今後のスマートコミュニティ構築に向けた示唆をまとめている。

大きな島 (島の総面積約 1,884km²) であり、人口約 14.5 万人、観光業を主産業とする島である。主たる電気事業者はマウイ電力 (MECO) であり、電力のピーク需要はおよそ 205MW である。

マウイ島を含むハワイ州は、エネルギー事情として、エネルギーコストが極めて高いという特徴を有している。図2に、2015年の米国における州別の電力小売料金を示す。ハワイ州が本土に比べて極めて高い電気料金となっていることが示されているが、これはハワイ州が離島で構成されているなどの理由から、外部から輸入される化石燃料 (特に石油) に大きく依存しているという事情に起因している。

このようなエネルギー事情を抱えるハワイ州は、環境意識の高まりも相まって、2008年に、「ハワイ・クリーンエネルギー・イニシアチブ (HCEI)」を開始し、2009年にはRPS (再生可能エネルギー利用基準) を設定した。2009年に設定されたRPSでは、再生可能エネルギーの発電比率を2015年までに15%、2020年までに25%、2030年までに40%まで高めることを目標としている。その後、2015年5月に出された法律 (HB 623) では、先述の目標が2020年までに30%、2040年までに70%、2045年までに100%と、より野心的なRPS目標が設定されている。

2. JUMPSmartMaui の概要

2.1 ハワイ州のエネルギー事情

JUMPSmartMaui の舞台となるマウイ島は、ハワイ州で2番目に

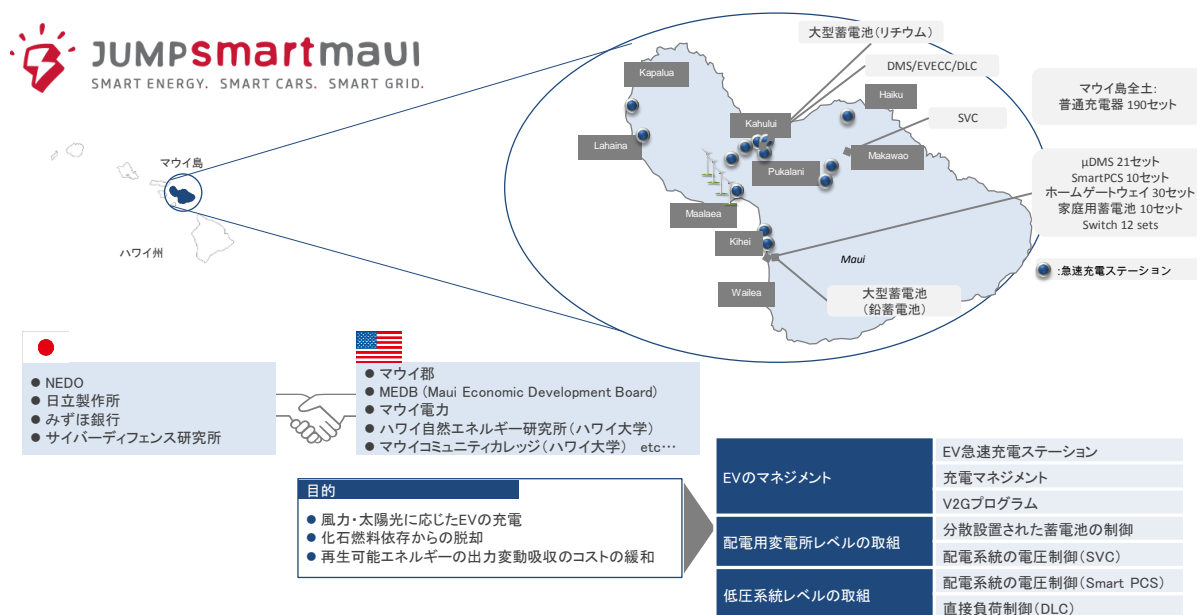


図1 米国ハワイ州マウイ島における日米スマートグリッド実証 (JUMPSmartMaui) の全体像

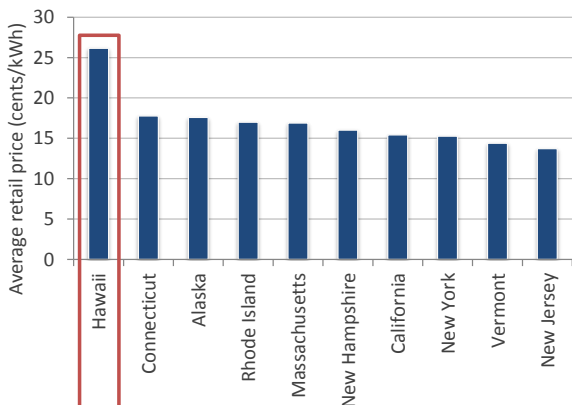


図2 米国の各州の電気小売料金 (2015年平均値。トップ10州を抽出)

ハワイ州は、再生可能エネルギーの導入を促進していくと同時に、化石燃料、特に石油に依存するエネルギー構造からの脱却のソリューションとして、EV（電気自動車）の普及も重要であるとしており、例えば以下のようなEV促進策を法律として定めている。

<EV促進施策としての Act 168, Session Laws of Hawaii 2012>

- 州や郡の公共駐車場や路上パーキングメーターの駐車料金が無料
- 電気自動車のライセンスプレートがついている車は、High Occupancy 車線での走行が可能

2.2 構築されたスマートコミュニティシステム

ハワイ州では、以上に示した通り、再生可能エネルギーの促進、及びEVの普及をエネルギー政策上の重点課題として据えてきている。JUMPSmartMauiでは、このハワイ州のエネルギー政策目標と合致したスマートコミュニティの構築を行うために、具体的なプロジェクトの目的を以下の通りに据え、再生可能エネルギーとEVをサステナブルに普及していくための仕組みづくりを目指した。

<JUMPSmartMauiの目的>

- 風力・太陽光に応じたEVの充電
- 化石燃料依存からの脱却
- 再生可能エネルギーの出力変動吸収のコストの緩和

JUMPSmartMauiのスマートコミュニティシステムの全体構成を図3に示す。JUMPSmartMauiでは、上記の目的のもと、マウイ島内のEVのマネジメント、及び島の一地域であるKihei地区を中心とした配電用変電所レベル、低圧レベルでの電力システムソリューションの高度化を行っているが、これらを統合して管理するシステムは「統合DMS (Distribution Management System)」と呼ばれている。統合DMSは、各マネジメントシステム(図3中のEVECC、DLC、EMS-Plus、GCS)と連携して、システム全体の運用計画を作成している。低圧レベルのマネジメントシステムであるμ-DMSは、柱上変圧器単位でのシステムのマネジメントを実施しており、統合DMSで作成される計画と連動して、柱上変圧器以下の構成要素の制御を行う。

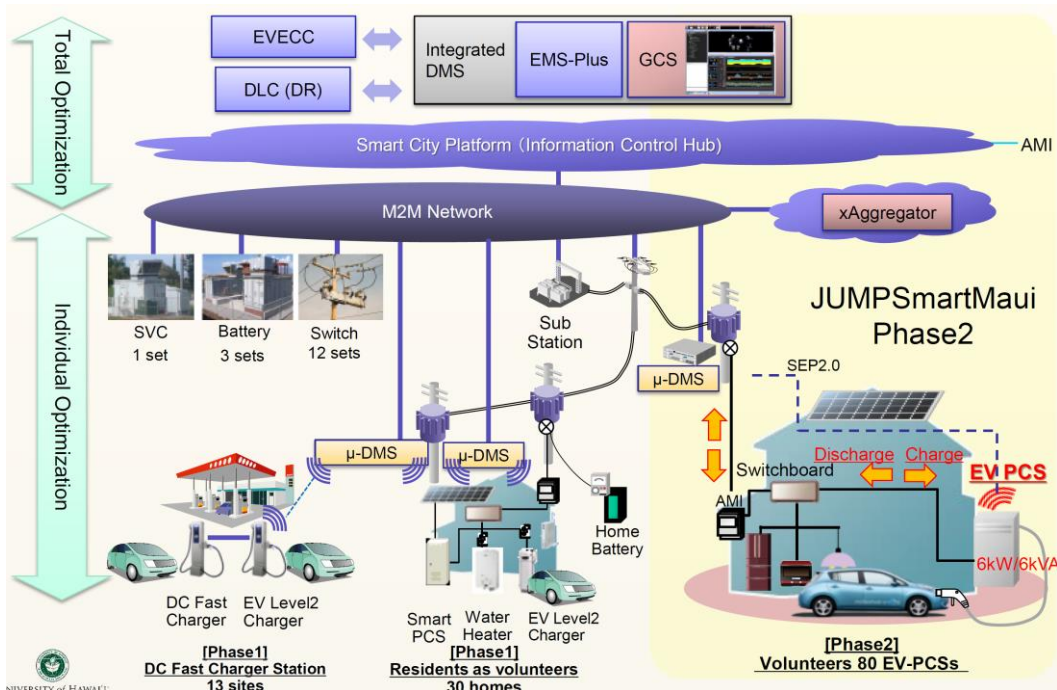


図3 JUMPSmartMauiのスマートコミュニティシステムの全体構成

柱上変圧器以下の構成要素としては、EVの急速充電ステーション、並びに実証試験にボランティアとして参加した一般家庭があり、それぞれ急速充電器や普通充電器、家庭における電気温水器、太陽光発電のPCS（Power Conditioning System）などがエネルギー機器として内包されている。統合DMS及びμDMSは、互いに連携して、これらの機器を制御する他、統合DMSは電力システム上の制御機器である蓄電池やSVC（Static Var Compensator）などの制御も行う。

様々なシステムが互いに結びついているこのシステムを用いて、JUMPSmartMauiでは様々なスマートコミュニティ上のエネルギーサービスに関する実証試験を実施してきた。それらの内容とスケジュールを図4に示す。JUMPSmartMauiのプロジェクト期間は、大きく分けて2011年10月～2015年3月のフェーズ1と、2015年4月～2017年2月のフェーズ2に分けられ、それぞれのフェーズで実施している内容が異なる。このケーススタディでは、一般市民とスマートコミュニティとのインタラクションに重点を置いているために、実証試験に参加したボランティアが中心的な役割を担う以下の3つのEVに関するプログラムに焦点を当て、次章以降その具体的内容を見ている。

<このケーススタディが焦点を当てている3つのプログラム>

- EV急速充電ステーション利用プログラム
- 電気自動車の充電マネジメントプログラム
- V2Gプログラム

ここでは、上記以外の主なJUMPSmartMauiでの取組内容の概要をまとめている。これらの取組の詳細については、参考文献[1]、[4]などに詳しく書かれているので、そちらを参照されたい。

直接負荷制御(DLC)

負荷への電力供給を外部から制御するプログラムであり、フ

ェーズ1において実施された。ここでいう負荷には、後述するEVも含まれるが、その他に、各家庭が設置している電気温水器も対象となっている。キヘイ地区に在住のボランティア30件にある電気温水器の直接負荷制御の仕組みを図5に示す。制御対象となる電気温水器の日常の運転スケジュールは、再生可能エネルギーの発電電力の有効利用と電力システムの需要ピーク削減を考慮して、計画される。この運転を計画調整運転と呼ぶ。また、風力発電の出力が急激に低下するなど、電力の供給不足が突発的に発生した際には、電気温水器はそのシグナルを受け、電力の消費を中断する。この運転を緊急調整運転と呼ぶ。

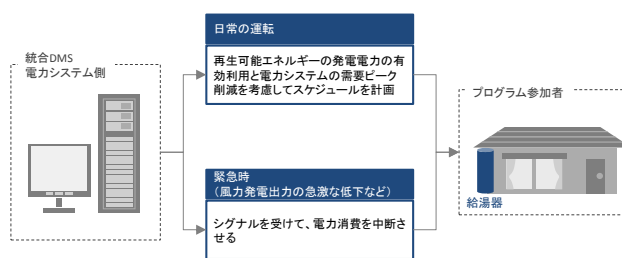


図5 直接負荷制御のプログラムの仕組み

分散設置された蓄電池の制御

JUMPSmartMauiでは、2台の大型蓄電池を導入し、統合DMSからの制御を行う実証試験を実施している。2台の蓄電池とは、①ハワイ大学マウイ校に設置されたリチウムイオン電池と、②マウイ郡の下水処理場に設置された鉛蓄電池である。

蓄電池の制御には、二つのアプリケーションが存在する。一つ目は余剰電力を有効活用するためのスケジュール運転モードであり、この運転スケジュールはEMS-PLUSにおいて作成される余剰電力予測をもとに充電時間を決定し、放電時間は18時～21時として、統合DMSより各蓄電池に指令される。

もう一つは周波数変動（需要と供給のインバランスによって生じる）を緩和するための緊急指示運転機能であり、統合DMS

		FY2011	FY2012	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016
EVのマネジメント	EV急速充電ステーション利用		設計・製作	据付		運転	
	充電マネジメント		設計・製作	据付		運転	
	V2Gプログラム				設計・製作	据付	運転
配電用変電所レベルの取組	分散設置された蓄電池の制御		設計・製作	据付		運転	
	配電システムの電圧制御(SVC)		設計・製作	据付		運転	
低圧システムレベルの取組	配電システムの電圧制御(Smart PCS)		設計・製作	据付		運転	
	直接負荷制御(DLC)		設計・製作	据付		運転	

図4 JUMPSmartMauiの取組内容とスケジュール

によって指令される。

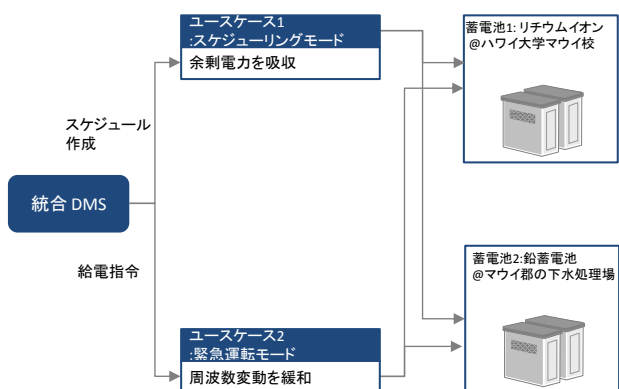


図6 分散設置された蓄電池の制御

配電システムの電圧制御

配電システムにおける電圧変動や、逆潮流、過負荷と言ったローカルなシステム課題に対して、JUMPSmartMaui では、「Smart PCS」と呼ばれるソリューションを提供している。これは、家庭に設置した太陽光発電のPCS (Power Conditioning System)が、電圧変動に応じて、自身の無効電力・有効電力を制御するというものである。

また、特に電圧が不安定となりやすいポイントに、SVC (Static Var Compensator : 静止型無効電力補償装置) と呼ばれる電圧制御機器を設置し、電圧制御を実施している。

2.3 実証ボランティアの募集

このケーススタディで中心的に取り上げるEVに関する取組などでは、実証試験を開始するに当たり、実際の一般の方々にボランティアとして参加をしてもらうための、リクルーティング活動を実施した。このリクルーティング活動を主に担当したのは、マウイのNGOであるMEDB (Maui Economic Development Board) と、日立製作所のハワイ現地法人である。

日立製作所と実証関係者、及びプロジェクト全体にとって、コミュニティを構成する住民の方々との信頼関係を構築することが非常に重要であった。MEDB と日立製作所は、マウイ島の住民に対するヒアリングを多数実施し、彼らのエネルギーに関する意識や、優先事項、関心事項を理解した。ここで得た情報を基に、本プロジェクトのボランティア募集活動の全体設計を行い、具体的な活動として以下のような活動を展開してきた。

プロジェクトのブランディング

一般的にエネルギーという分野は、専門的な用語が多いことや理論が複雑であることから、市民にとって理解することが難しい面がある。また、当時のマウイ島では、再生可能エネルギーやEVのような新しい技術に対して、十分な理解が浸透しているとは言えず、これらの技術に対して懐疑的な住民もいた。

この背景を考慮して、マウイ島の住民に少しでも興味を持ってもらおうと、MEDB と日立は、まずは住民の方々が親しみやすいブランド作りを行ってきた。初めに検討されたのはプロジェクトの名称である。検討の結果、覚えやすく、インパクトがあり、且つこのプロジェクトの性格を表している名称として、「JUMPSmartMaui」という名称が採用された (“JUMP”は“Japan - US Maui Project”を表している)。合わせて、プロジェクトのロゴ (1 ページ目参照) も、一般市民にとって親しみやすいデザインで作成し、これをプロジェクト終了時まで統一的に使用し続けた。このことにより、この名称とロゴは、ボランティアの人々に明確に印象付けられている。

また、プロジェクトでは高度な実証試験が行われるものの、ボランティアの人々への説明資料や Web ページは、なるべくその難解さを緩和するための工夫がなされている。図7、図8は、それぞれボランティア募集時に使用されたプロジェクトのフライヤー及び Web サイトであるが、難解な専門用語は使用せず、一般の方々の心にダイレクトに働きかけるようなデザインとなっている。

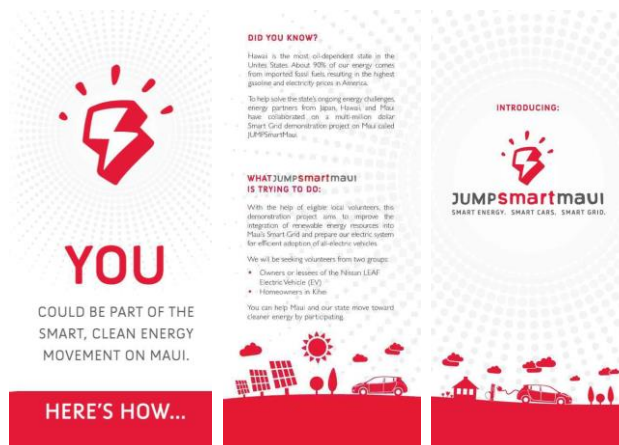


図7 募集時のフライヤー

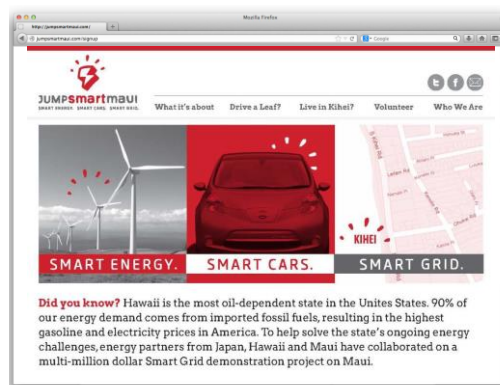


図8 JUMPSmartMaui Web サイト

ボランティアリクルーティングイベントの開催

JUMPSmartMaui という名をマウイ島全土に広めるために、本プロジェクトでは、テレビや新聞、ラジオ、SNS (Facebook、

Twitter)の各メディアを通じたPR活動を展開してきたが、最もボランティア獲得に効果的であったのは、ダイレクトにプロジェクトの魅力を訴求するために開催したイベントである。

最初のLaunch Eventは、2013年6月15日にマウイ最大のショッピングモールであるクイーンカアフマヌセンターで開催された。このイベントでは、マウイ郡長のAlan M. Arakawa氏を始め、プロジェクト関係者のスピーチが行われたが、その他にも、住民にプロジェクトに親しみを持ってもらうために、マウイ島出身のアーティストであるWillie K氏のコンサートや、クリーンエネルギーのアートデザインコンテスト、ショッピングモールに設置された急速充電器のデモンストレーションなどが行われた。会は盛況であり、400人以上の住民が集まった。



図9 Launch Eventの様子

また、2013年9月21日には急速充電器のMembership Kick off イベントが行われ、2013年10月6日にはマウイ島の最大の祭典である「Maui Fair」のパレードに参加し、実際にプロジェクトロゴ入りのEVで走行した。



図10 Maui Fairにおけるパレード参加の様子

プロジェクトとしてシステム全体の運用が開始された日(2013年12月17日)にも、運開式が行われた。12月17日はハワイ州から正式に「JUMPSmartMaui Day」として認定された。

これらのイベントで共通するのは、JUMPSmartMauiが現地に溶け込むための工夫がなされているということである。プロジェクト実施側が一方的に周知を行うのではなく、マウイ島現地のイベントとして位置付けることにより、多くの住民の関心を引き寄せることに成功している。

関心を寄せた方々へのきめ細かい対応

上記のイベントにおいて、ボランティアとなることを希望する人々には、「関心表明票(Interest Sheet)」に記入してもらっており、関心を示したボランティア候補には、後日にオリエンテーションを行うことで、具体的なプロジェクトの説明を行っている。このオリエンテーションでは、ボランティアとなる方々に、プロジェクトに納得して参加してもらうために、MEDBによって丁寧な対応がなされた。

オリエンテーションに参加できなかった等のボランティア候補については、MEDBと日立製作所のメンバーによる個別訪問を実施している。MEDBは募集時に限らず、プロジェクト実施中、ボランティア候補やボランティアに対し、一人一人丁寧に対応し、また実証試験に関わる疑問点に即財に対応してきた。このように、ボランティア一人一人を大事することで、ボランティアは皆このプロジェクトに対して大きな信頼を寄せている。



図11 関心表明書への記入とオリエンテーションの様子

マウイ郡長の積極的な関与

ボランティア募集に多大な貢献があったもう一つの事柄として、マウイ郡長であるAlan M. Arakawa氏が、積極的に協力を行ったことが挙げられる。Arakawa郡長は、再生可能エネルギーとEVの導入を促進していくことが、今後のマウイ島における重点課題であると捉えており、JUMPSmartMauiの意義を早期に認め、上述したイベントに積極的に参加した。

また、郡長夫人自身、EVをリースし、JUMPSmartMauiのボランティアとなっている。コミュニティのトップ自らがプロジェクトにコミットし、プロジェクトの意義を訴求する効果は非常に大きい。Arakawa郡長は、当時の心境を振り返って、以下のように述べている。

Arakawa 郡長の声

自分自身にとっては、コミュニティのベネフィットが何よりも大事である。JUMPSmartMauiは、皆さん一人一人のエネルギーコストを削減できる可能性を多分に秘めているという観点から、最も効果的な経済開発プログラムであると確信していた。また、マウイ島の美しさを保っていくためにも、非常に重要なプロジェクトである。

当初、再生可能エネルギーやEVの拡大を信じていなかった人が多かったが、これは今後のマウイ郡にとって非常に重要なことであることをどうしても訴えていきたかった。我々の取組が結実して、今回の成功があると振り返る。



図12 デモンストレーションに参加するArakawa 郡長

以上のような活動を通して、表1に示すように、多数のボランティアが参加することとなった。以下の章では、表1に示される各プログラムについての状況を整理している。

表1 実証試験のプログラム参加者数(終了時点)

プログラム	ボランティア数
急速充電器利用プログラム	387名
充電マネジメントプログラム	190名
V2Gプログラム	80名

※延べ人数であり、一人が複数のプログラムに参加していることがある

3. EV 急速充電ステーション利用プログラム

3.1 プログラムの内容

2.1節で示した通り、ハワイ州は政策としてEVを普及させていくことを掲げている。EVの普及を促進していくために重要なものは、EVに関わるインフラストラクチャーの整備である。JUMPSmartMauiでは、この目的意識から、EVのインフラストラクチャーとして、マウイ島のショッピングモールや公共施設等、住民が訪れる場所に、図13に示す急速充電器を設置し、ボランティアにその急速充電ステーションを利用してもらうプログラムを用意した。

Features

- Quickly charges based on CHAdeMO standard.
- Hitachi charger has multiple stands.(Maximum 4 stands.)
- Stand type user terminals save installation space.
- Total max power output of stands is less than 60kW.
- Output power setting of each stand is programmable.



図13 プロジェクトで設置した急速充電器

Items	Power Distribution Type
Input	3 phases, AC480V (50/60Hz)
Input Capacity	Low-voltage contract :49kW High-voltage contract :68kW
Output Voltage	DC 50V~500V
Output Current	DC 0A ~ 125A (1 stand max)
Output Capacity	15kW/50kW (Max.1 Stand) 15kW (Max.4 Stand) 30kW (Max.2 Stand) 45kW+15kW (Max.2 Stand)
Vehicle I/F	Based on CHAdeMO protocol
Host I/F	Communication capability to the host system (Optional functions : recharging management, billing control)

急速充電ステーションのロケーションを図14に示す。2014年9月21日の急速充電ステーションの運用開始時点では5か所であったが、最終的には合計13か所に設置されている。このステーションのロケーションは、ボランティアからの要望をベースに、JUMPSmartMauiのプロジェクトチームがEVの航続距離を踏まえたシミュレーションを行い、実際にEVで移動する現地調査等を実施した上で選定している。

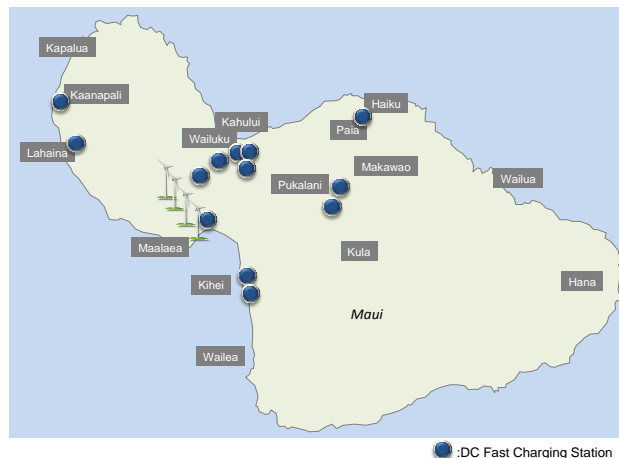


図14 急速充電器の設置場所



図15 急速充電ステーションの例

ChaDeMo¹の急速充電ポートを有するEVを保有していれば、このプログラムに参加することができる。プログラムの参加者は、JUMPSmartMauiのプロジェクト期間中、いつでも対象となる充電ステーションを利用することが可能となっている。

3.2 プログラムの成果と実際

プログラムの参加者は、設置された急速充電ステーションをよく利用したようである。図16はプログラムが開始された2013年9月21日からの3年間の、急速充電ステーションでの1日当たりの充電回数の推移である。プログラム開始後、利用回数が時間と共に増えていき、2015年3月以降は、1日平均120~140回程度利用されてきた。

¹ ChaDeMoとは、EVの急速充電の方式の一つであり、IECの国際標準として採用されている。急速充電の充電コネクタの形状や充電方法、通信方式等が規格として定められている。

また、それぞれのプログラム参加者がどの程度充電ステーションを利用しているのかを示すデータとして、図 17 の利用頻度の推移グラフがある。この図からは、1日1回以上充電ステーションを利用するプログラム参加者が、全体の 20%程度は存在し、約 80%以上の参加者が、1か月に1回は利用しているということを表している。

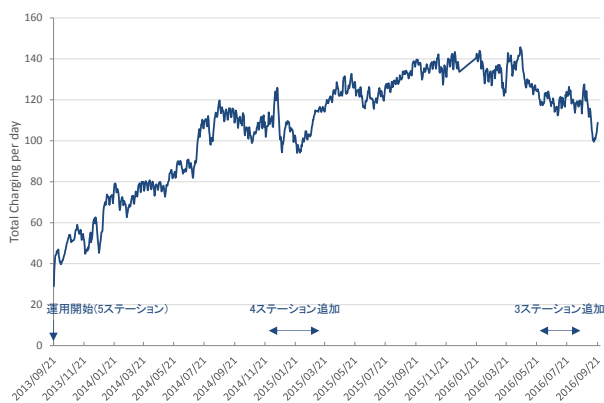


図 16 1日当たりの充電回数の推移
(全ステーションの合計)

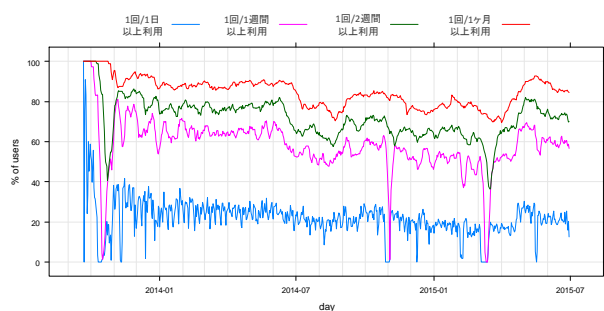


図 17 参加者の EV 急速充電ステーション利用頻度

本ケーススタディを作成するに当たり、実際にボランティアとして参加していた Deborah C. Rybak 氏と Damon Glastetter Michael Santiago 氏に、急速充電器の利用についてヒアリングを行った。二人の声を以下に示しているが、EV を利用する上で、急速充電器のようなインフラは必要不可欠であり、今回の実証試験では、彼らのニーズに十分に答えたことが伺える。

Damon Glastetter Michael Santiago 氏の声

妻も日産 LEAF を保有している。彼女は町に用事がある際や、奥地やラハイナに向かう際にレベル 3 の急速充電器を利用している。
道行く途中に複数の急速充電器があるのが便利である。
急速充電器だと、多くの場合、10 分程度も充電すれば次の走行が十分に行えるようになる。

Deborah C. Rybak 氏の声

私自身、急速充電器は 1 週間に 1 回程度利用している。買い物がある際にはつなげておけばいいので、気軽に利用できる点がいい。また、ちょっとした遠出をする際、エアコンを利用すると走れる距離が短くなる。外出先に急速充電器があると、充電が空になる心配がなくなるので、不安がなくなった。
このように、急速充電器は非常に便利であり、我々 EV に乗っている人々からすると必要不可欠なものである。
故障情報も MEDB によって即座にシェアされ、また一つのサイトには複数の急速充電器が置いてあるので、実証試験に対する不満は全くないが、強いて言えば、急速充電ステーションはもっともっと多くあった方がいいと考える。

Rybak 氏のコメントの最後に、急速充電ステーションがもっと多くあればよいのに、という要望が挙げられている。これについて、MEDB でボランティアとのリレーションシップマネジメントを担当していた Lory Basa 氏は以下のように振り返っている。

Lory Basa 氏の声

今回の実証試験において、皆さんに急速充電器を利用して頂いて、生活の上で必要不可欠だということがわかって非常に良かった。
JUMPSmartMaui という一つの実証試験によって設置できる急速充電器の数には限界があり、全ての要望通りに設置していくのは難しいだろうが、今後このような要望に応えていかなくてはならないだろう。

4. 電気自動車の充電マネジメントプログラム

4.1 プログラムの内容

再生可能エネルギーが多く発電しているのに、負荷が少なくなってしまう時間帯に、電気自動車が充電を行うように誘導をすると、その電気自動車の充電が電力システムの運用に貢献していると言える。JUMPSmartMaui では、この電気自動車の充電マネジメントの可能性を検証するために、プロジェクトのフェーズ 1 において、充電マネジメントプログラムを用意している。

このプログラムに参加するためには、プログラムの参加者は日産リーフ（特に SV、SL モデル）² を保有、もしくはリースしていることが必要であり、プログラムの参加者の家庭、もしくはオフィスには、普通充電スタンド（レベル 2）が設置される。

自宅、もしくはオフィスでの EV の充電を行う時には、次に利用するタイミングまでに充電が完了していれば十分である。このプログラムにおける充電マネジメントは、プログラムの参加者が希望する充電終了時間を考慮した上で、充電の開始時間をシステム側に“委ねる”というコンセプトで実現されている。

プログラムにおける充電マネジメントの仕組みを図 18 に示す。充電マネジメントを行う統合 DMS は、翌日の再生可能エネルギー

² 通信モジュールを搭載している日産リーフであることが必要である。

一の発電電力及び負荷の予測値より、両者のかい離を埋めるように充電スケジュールを作成し、各EVの普通充電器への接続状況、及び充電終了希望時間を考慮した上で、各EVに対して充電開始時間を指示している。

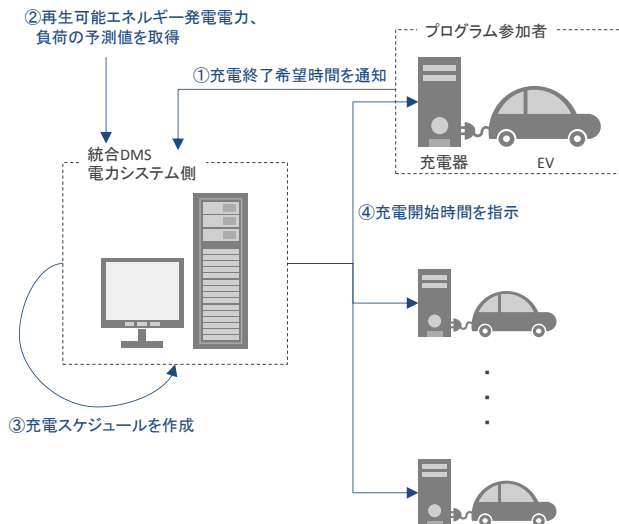


図18 充電マネジメントのプログラムの仕組み

通常、EVは充電スタンドに接続されたら即充電を開始するが、上記のような充電マネジメントを行うことで、電力システム上の需要と供給を埋めるようにEVの充電がなされ、またこの電力システムへの貢献は、プログラム参加者にとって負担の少ないものとなっている。なお、このプログラムでは、充電マネジメントに応じたことによる報酬は設定されておらず、プログラム参加者はボランティアに参加することが想定されている。

各ボランティアは、充電の実績等を、Webポータルにおいて確認することができる。そのWebポータルの画面を図19に示す。

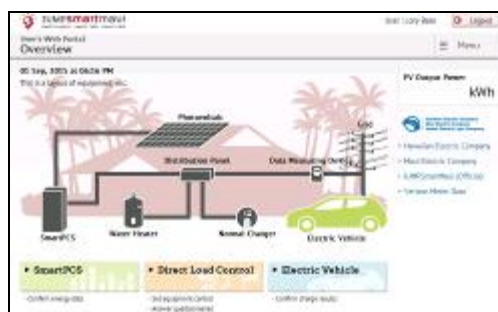


図19 充電マネジメントのWebポータル画面

4.2 プログラムの成果と実際

図20は、充電マネジメント実施前のEV全体の充電状況を表したものである。EVが最も充電されている時間帯は、家庭の需要ピークである7pm~8pmとなっている。

一方で、充電マネジメント実施後のEV全体の充電状況を表す

図21を見てみると、EVが最も充電されている時間帯は、電力システム全体のオフピークである10pm~11pmへとシフトしていることが見て取れる。即ち、充電マネジメントにより、電力システム上のピークを緩和できることが示唆される。

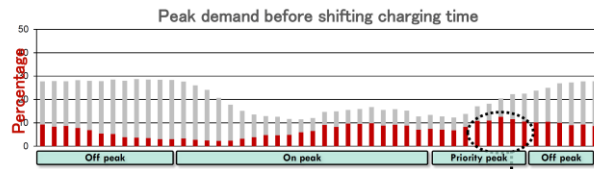


図20 充電マネジメント実施前のEV全体の充電状況

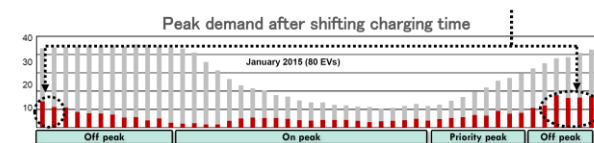


図21 充電マネジメント実施後のEV全体の充電状況

更なるこのプログラムによる負荷シフトの定量的な分析については、6.1節にて記載を行っているが、もう一つ重要なのは、このような負荷シフトに対して、デマンドレスポンスを受ける側、即ちボランティアの人はどのように受け止めているかということである。ボランティアとして参加したDamon Glastetter Michael Santiago氏は、プログラム中の経験を振り返り、以下のように語っている。

Damon Glastetter Michael Santiago氏の声

この実証プログラムでは、いつまでに充電が完了していればいいかを指定できる。私の場合は朝7時ごろに設定していた。いつもその時間になると充電は完了していたため、何も不便はなかった。

帰宅後、充電器に接続すれば、後は自動であった。次の日の朝に満充電となっている限り、充電がどのように管理されているかは全く気にならなかった。私は、このような取り組みに関して、世界中の動向をフォローしており、このような取り組みがどのように電力システムの安定化を支援しているかを理解できた。このような取り組みはより普及が促進され、拡大されるべきであると考えている。

つまり、このプログラムは、参加者に負担を強いることなく、電力システムにフレキシビリティを提供できる枠組みであることが伺える。

5. V2G（電気自動車からの放電）プログラム

5.1 プログラムの内容

2015年4月から開始されたフェーズ2では、上記のプログラムを更に発展させ、EVからの放電を行うというV2Gプログラ

ム」が実施されている。

このプログラムの参加者は、EV からの放電を可能とする“EV-PCS”という機器を家庭、もしくはオフィスに設置する。

EV の充電、及び EV からの放電についての基本的な考え方を図 23 に示す。深夜、及び PV が多く発電しているような昼間に電気自動車に充電を行い、ピーク時間帯である夕方に放電を行うという充放電サイクルが想定されているが、このほかに、緊急時（例えば風力発電等が急激に停止した場合など）に、EV からの放電を行い、需要を賄うことで、電力システム安定化に貢献するという仕組みになっている。このような充電・放電のタイミングは、前章の「充電マネジメントプログラム」同様、統合 DMS によってスケジューリングされる。

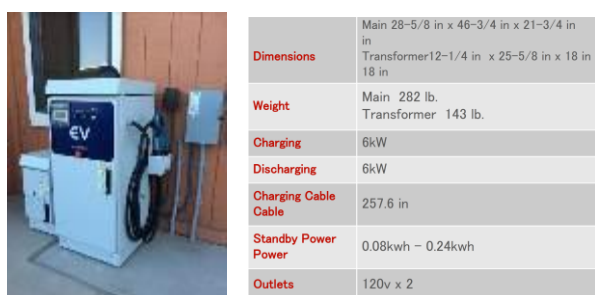


図 22 EV-PCS のスペック

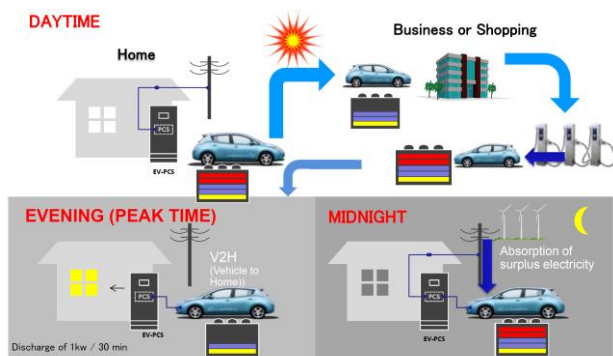


図 23 V2G プログラムが想定している EV の充放電

また、このプログラムで設置される EV-PCS は、バックアップモードを有しており、停電により電力システムから電力が供給されない場合、EV-PCS に必要な家電を接続することで、EV に蓄えられている電気を供給することが可能となっている。

5.2 プログラムの成果と実際

図 24 は V2G プログラムの実施結果を表している。赤い実線が、プログラム開始前の、各ボランティアが EV の充電を行った実績（ある期間の平均）を表している。これに対し、放電方向及び充電方向の棒グラフが、プログラムの期間中の EV の充電及び放電を表している。充電方向については、4.2 節で示した受電マネジメントプログラム同様、需要のピーク時間帯(18~21 時)から

深夜に EV の充電がシフトしていることがわかる。更に、放電方向を表すオレンジの棒グラフからは、需要のピーク時間帯において放電を行い、需要のピーク時に電力を供給している EV があるということがわかる³。つまり、この結果は、今回の V2G プログラムが意図通りに動作していることを表しているが、充電マネジメントの結果同様、この結果が電力システムにとってどの程度のインパクトがあるかについては、6.1 節にて記載を行っている。

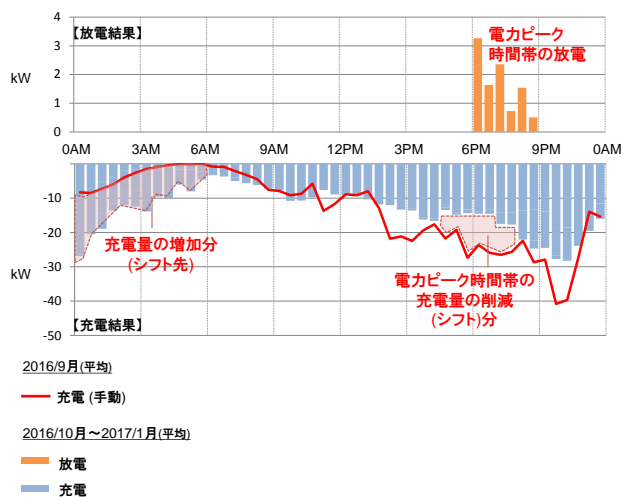


図 24 V2G プログラムによる放電と充電の様子

電気自動車から電力を「返す」という V2G のコンセプトは世界中で検討されており、技術的検証等は多々なされているが、実際の一般市民に利用してもらうことを大規模に展開した事例はあまりない。先進的な取組であるこのプログラムに参加することについて、ボランティアの Damon Glastetter Michael Santiago 氏は以下のように言及している。

Damon Glastetter Michael Santiago 氏の声
 私がこのプログラムに参加したのは、実体験をし、ソリューションの確立に貢献したいと考えたからである。世界での類似のプログラムについて読み知っていたが、それがここのハワイにおいて動くところを見てみたかった。
 EV の電池劣化あるかもしれないと考えたが、電池の寿命に悪影響がないということで安心し、喜んで実証試験に参加した。

また、同様にこのプログラムに参加していた Deborah C. Rybak 氏は以下のように語っている。

³ なお、放電については、EV-PCS が 1 台あたり 6kW まで放電出力可能であるにも拘わらず、系統接続に関する電力会社の現行ルールによって、実際の放電は 1kW 以下に制限されており、放電が許される時間も 18~21 時の間に 1 回 30 分以内と制限されている。

Deborah C. Rybak 氏の声

エキサイティングな実証試験に参加できたと思う。新しい技術だと聞いて、そのようなことに貢献できることは非常にうれし
いし、環境問題に対して良いことをすべきだと考えている私に
とって、参加することは「Kuleana（ハワイ語で責任・使命の意
味）」だと感じた。

プログラムでは、充電完了の時間について、希望をくみ取っ
てくれたので、不便は全くなかった。不便もなく、コミュニティ
全体にとっていいことができたので、金銭的なインセンティブ
は必要ないと感じた。

JUMPSmartMauiに参加したボランティアには、環境問題やコミ
ュニティへの貢献ということに対して意識が高い方が多いとい
う事実はあるものの、インタビューに応じたボランティアが、
自分自身に不便が無ければ、特に技術的な抵抗もなく、また金
銭的なインセンティブは必要ないのではないかと考えている
点は注目に値する。このような点については、6.2節において改
めて記載を行っている。

6. 今後のスマートコミュニティ構築に向けた示唆

本ケーススタディでは、JUMPSmartMauiの中でも、特にEVに
関する取組をトピックとして取り上げ、プログラムの内容と結
果、参加したボランティアの実体験等を示してきた。このケー
ススタディの最後に、6か年のこの取組を行った経験からの、今
後のスマートコミュニティ構築に向けた示唆を挙げる。

6.1 EVの分散型エネルギーリソースとしての価値

4章及び5章に記した充電マネジメントプログラムとV2Gプロ
グラムは、EVを電力システム全体のマネジメントに活用する取
り組みとなっている。今回の取組において設計されたマネジメ
ント手法は、EVを保有する需要家（ボランティア）に不便を与
えることなく、無理なく参加できる仕組みとなっていることが、
ボランティアへのヒアリングから明らかとなっている。また、
全体の傾向として、EVの充電がピーク時間帯を避けるようにシ

フトされ、またV2Gによって、ピーク時間帯にEVから放電がで
きていることも、これまでに見てきた通りである。ハワイ大学
のハワイ自然エネルギー研究所（HNEI）のMarc M. Matsuura氏
は、今回の実証試験について、以下のように語っている。

Marc M. Matsuura 氏の声

今回構築されたシステムにより、EVが電力システムに対してフ
レキシビリティを提供することが十分に可能であるということ
が、今回の実証試験で明らかになった。

この点において、今回の実証試験は非常に価値のあるものであ
ったと確信している。

しかし、電力システム側から見れば、EVを常に利用可能な「エ
ネルギーリソース」として見做すには、EVならではの不確実性
を十分に考慮しなければならないであろう。EVは移動体であり、
常に電力システムに連系されているわけではなく、満充電され
ている時はそれ以上充電が行えず、充電が切れた場合には放電
が不可能である。また、エネルギーリソースとして活用したい
ようなイベントが発生したときに、EVで運転を行いたければ、
そのイベントへの貢献はキャンセルされてしまう。

上記の不確実性を考慮した上で、EVがどの程度エネルギーリ
ソースとして有効かを試算した結果を表2に示す。(E)列に、
EV-PCSの容量に対する有効なエネルギーリソースとしての容量
の比率を示しているが、ピーク時間帯の放電ということにつ
いては、EV全体の14%から31%程度が有効なエネルギーリ
ソースとして見做しうることが示されている。しかし、この数字
は、対象とする時間帯によって大きく変わり、昼間は充電器に
接続されているEVが少なく、また家庭で待機しているEVは、
満充電に近い状態のものがほとんどなので、全体の2~4%程
度しか有効なエネルギーリソースとして見做すことができない
という結果となっている。尤も、この数字は今回の実証試験の
枠組みの中で得られたデータであり、今後サービスの工夫次第
で向上の余地があるものと考えられる。日立製作所の笠井真一
氏は以下のように語っている。

表2 EVのエネルギーリソースとしての有効性の試算結果

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
	EV-PCS1台 あたりの出力	本実証での 実接続率	本実証での SoC余力	エネルギーリソースとして有 効であると見做しうる容量 (80台のケース) (A)×(B)×(C)×80	左記容量のEV80台の 電池総容量に対する比 率
放電（ピーク時間帯）	6.0 kW	27 - 41%	50 - 75%	67 - 149 kW	14.0 - 31.0%
充電（夜間）	5.4 kW	28 - 43%	30 - 70%	36 - 130 kW	8.3 - 30.1%
充電（昼間）	5.4 kW	8 - 11%	20 - 35%	9 - 17 kW	2.1 - 3.9%
放電（屋下がり）	6.0 kW	9 - 20%	70 - 80%	30 - 77 kW	6.3 - 16.0%

(注) 「SoC余力」は、その時間帯に放電や充電が可能なSoCレベルの車両割合を示す。
この結果では、EV-PCSは出力仕様どおり6kWの出力が可能であると考慮している。

笠井真一氏の声

ここ数年のEVの増加率で今後も増加すれば2045年までにはEVは島の乗用車の30%を超える。この数量のEVを活用できれば、マウイ電力が2045年再エネ100%に向け電力系統安定化のために住宅から確保しようとしているエネルギーリソースの量の1/3程度をEVで賄えることになり、EVの貢献は大きいといえるのではないだろうか。

今回の実証試験では、需要家の方々に負担がない範囲で、インセンティブなしに充電・放電の時間を我々に委ねていただいた。その意味では、今回得られた成果からのデータは、いわばベースラインとして捉えることができるであろう。

インセンティブを含め、プログラムの設計を更に検討し、エネルギーリソースとしての価値を高めていくことが重要だ。また、勤務先等に充電スタンドを増やすことで、昼間に有効なエネルギーリソースの量は増える。今回得られた教訓をもとに、我々のソリューションを更に進化させていきたい。

以上のように、実証試験では、コンセプトの証明としては成功したが、同時に更なるサービス向上のためのヒントを与えてくれたものであると言える。電力システムをマネジメントする立場にあるマウイ電力のDavid Tester氏は、今回の実証試験から得られたデータについて、以下のように語っている。

David Tester 氏の声

EVはエネルギーマネジメントのリソースとして非常に重要な位置づけにある。今回の実証試験では、我々が行いたいことについて、そのコンセプトが有効であることを十分に示してくれ、新たなサービスの可能性を示唆してくれた。

実展開に当たっては、インセンティブ等、今後検討しなくてはならないことがまだ多いが、JUMPSmartMauiは、そのための貴重な実データを我々に提供してくれた。このようなデータがあるかないでは大きな違いであり、このような機会を与えてくれたNEDOや日立製作所に感謝している。

6.2 技術実証の枠を超えて

技術実証としての性格を有するJUMPSmartMauiでは、様々な技術の展開、及びその検証が行われてきた。この一連の活動は、スマートコミュニティの技術の可能性を切り拓いただけでなく、実証試験の場であるマウイ島にとって多大なインパクトを与えたとマウイ郡長のAlan M. Arakawa氏は語る。

Arakawa 郡長の声

JUMPSmartMauiでは、スマートグリッドという新たな技術が実現可能であるということに我々は気づかされた。マウイ島で行われた取り組みが、再生可能エネルギーで100%を賄うというハワイ州全体の目標に繋がっている。

EVについても、航続距離や運転性に懐疑的な方もいたようだが、今回の実証試験で皆が問題なく走っている姿を見て、EVに対する不安が緩和されたようである。

今回の取り組みは、当初思い描いていたよりも大きなインパクトをマウイ島に与えており、市民一人一人の意識変革に大きく貢献している。最初は誰も再生可能エネルギーの拡大やEVの普及を信じていなかったが、今では、これらの新たな技術にシフトしていくビジョンを、皆さんと共有できていると確信している。

現に、JUMPSmartMauiが開始された以降、マウイ島におけるEVの台数は大幅に増加している。図25は、2011年以降のマウイ島におけるEV登録台数の推移であるが、2011年1月には68台しかなかったのが、2017年3月でその数は800台にまでなっている。この点について、マウイ電力のDavid Tester氏は以下のように語っている。

David Tester 氏の声

技術的な検証にも十分意義があるが、このJUMPSmartMauiという取組の最も大きな成功は、マウイ島における実際のEV台数を増やしたことだ。

EVのインフラを整え、実証試験での経験を伝えていくことが、マウイ島におけるEVのプロモーションとして大きな貢献をしたと皆感じている。

電力会社としては、EVをエネルギーリソースとして活用することに興味があるが、その前にEVが普及しないことにはそのコンセプトは成立しない。技術的な検証だけでなく、基盤となるEV普及のきっかけを作ったという点がこの実証の第1の意義である。

つまり、JUMPSmartMauiは、技術実証という枠を超えて、マウイ島におけるEV普及のムーブメントの火付け役としての役割を担ったということである。表1に示した通り、JUMPSmartMauiの急速充電器利用プログラムのメンバー数は387名であり、これだけでも島のEV保有者の約半数にあたるが、MEDBのLory Basa氏は、このほかに、JUMPSmartMauiのボランティアから、他の住民への展開について、以下のように語っている。

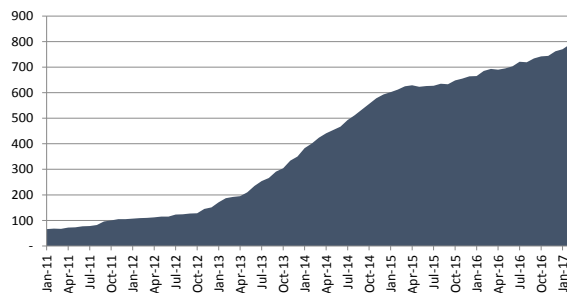


図25 マウイ島におけるEVの台数の推移

Lory Basa 氏の声

JUMPSmartMaui に参加したボランティアの人々は、実証試験での良い経験を、JUMPSmartMaui の外の人にも伝えているという報告を、ボランティアの方々から聞いている。これが、EV の島内での拡大を支えている側面は確かにあると感じている。

JUMPSmartMaui にボランティアとして参加した人々は、環境に対する意識の高い人が多いという特徴があるが、この「実証試験での良い経験」は、何から生まれるのであろうか。ボランティアの Deborah C. Rybak 氏のコメントを以下に引用する。

Deborah C. Rybak 氏の声

JUMPSmartMaui が我々にとって非常に良い経験だったことの一歩の大きな理由は、MEDB の存在である。彼らとの信頼関係が、この取組に対してポジティブでいられた。実証試験に参加する時もフレンドリーに接してくれたし、実証試験中も困ったことがあれば気軽に相談した。彼らが、我々をファミリーのように接してくれることで、一緒にビジョンに向かっていけるという気持ちになった。

まさに、MEDB のボランティア募集から、実証試験中のフォローに至るまでの対応が、ボランティアから信頼を得て、JUMPSmartMaui というプロジェクト全体が彼らにとっていい経験にしてきたということが言える。MEDB のトップである Jeanne U. Skog 氏、及び日立製作所の平岡貢一氏は、これまでを振り返って以下のように語る。

Jeanne U. Skog 氏の声

今回の JUMPSmartMaui プロジェクトは、今後も我々に多大なインパクトを与える取り組みである。この経験を、この島にとって非常に良いものにしていきたいという思いで、ボランティアとのリレーションシップ構築を図ってきた。我々はこの島に住んでいる。この取組が失敗し、よい経験とならなかったら、それは我々に降りかかってくると思っていた。

このような取組は、まずは市民の方々に理解いただくために、互いの信頼関係の構築が一番重要である。我々が行ってきた取り組みも、この点を第一に捉えて計画し、展開してきた。その努力が結実し、ボランティアの方々から感謝の言葉をもらい、非常にありがたい。今やボランティアの方々、ファミリーである。

また、今回、NEDO と日立製作所が、我々の意見を尊重し、同じ目線で取り組んでくれたことも、成功の大きな要因だ。彼らの協力的な精神にも本当に感謝している。

平岡貢一氏の声

我々のような日本企業が、マウイ島で受け入れるためには、マウイ島の皆さんに信頼を得ることが非常に重要だった。

MEDB から、この島での取り組みを成功に導きたくれば、住民と同じ目線でやっていく必要があるというアドバイスを聞き、ただのソリューション提供だけでなく、マウイ島の皆さんに喜んでもらうために、日々創意工夫を行ったし、現地での密なコミュニケーションを図った。

その結果、当初では思い描いていないほどの応援の声を住民の方々から頂き、我々の取り組みは成功に向いつつあるということを確認した。今回の取り組みは、我々にとって貴重な財産である。

このような MEDB と日立製作所の思いと行動が、マウイ島における EV の普及拡大というムーブメントにどのように結び付いたかを、今一度図 26 に整理している。このスマートコミュニティ・スマートグリッドという分野は、技術的側面にスポットライトが当てられがちであるが、真にはそのコミュニティを構成している市民一人一人の生活が豊かになっていくことが最も重要である。JUMPSmartMaui は、技術ソリューションの提供における成功はもちろんのこと、EV や再生可能エネルギーという新しい技術をマウイ島に根付かせ、本格的な普及の基盤となったという点において、技術実証以上のインパクトをもたらしたと言える。

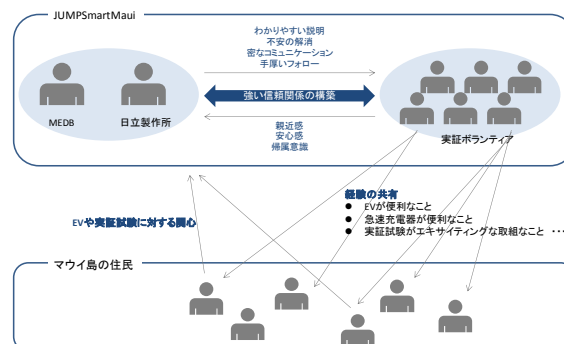


図 26 JUMPSmartMaui と EV 普及の関係

6.3 更なるスマートコミュニティの構築に向けて

前節に、MEDB・日立製作所とボランティア間の信頼関係について言及したが、もちろんこのような強い信頼関係は日米の実証ステークホルダ間にも形成されている。ハワイ大学 HNEI の Leon R. Roose 氏、及び日立製作所の江村文敏氏は以下のように語っている。

Leon R. Roose 氏の声

日立製作所の提供したソリューションは技術的に高い水準にあるという印象を受けたが、それだけではなく、今回の実証試験では様々な課題があるにもかかわらず、NEDO と日立製作所は非常に良く対応したし、我々の意見もかなり尊重してくれた。国際実証というのは一般的に言語の壁や考え方の違い等、非常に難しい面があるが、今回はその難しさを乗り越え、ハワイと日本がお互い納得行くシステムが出来上がった。

この成功をもとに、今後更なる協力の可能性を模索していきたい。

江村文敏氏の声

今回の成功は、現地の方々とのコラボレーションが非常にうまく行った結果だと思っている。慣れない土地で困難もあったが、現地の方々のおかげでここまで来ることができた。

このように、限られた期間内で多大な成功をおさめた JUMPSmartMaui であるが、2017 年 2 月に実証試験が終了した後、急速充電器等の設備は引き続きマウイ島におかれ、MEDB と日立製作所によって引き続き運用される予定となっている。MEDB のトップである Jeanne U. Skog 氏は以下のように語る。

Jeanne U. Skog 氏の声

NEDO のイニシアティブのおかげで、マウイ島には EV 普及のムーブメントができた。我々はこれを更に拡大していかなければならない。実証試験終了後も、継続して実証試験に参加したいという声を多くのボランティアからもらっている。我々はこの要望に応じていくが、サステナブルなサービスモデルを模索していかなければならない。喜ばれるサービスを拡大していくためには、更なる急速充電器の設置や、様々な車種への対応なども必要であろう。

実証試験を終了した JUMPSmartMaui は、今後新たなフェーズに入る。その際には、Jeanne 氏が指摘するように、様々な車種への柔軟な対応を含めた、サービスモデルの拡大が求められるであろう。今回確立した技術も、それに対応していくために、より柔軟なシステムやアプリケーションが求められる。このようにして、JUMPSmartMaui をきっかけとして、今後もマウイ島ではスマートコミュニティの構築が進められていく。同時に、NEDO も今回の成果と教訓を踏まえて、次なる展開を考えている。最後に、Alan M. Arakawa 郡長と、JUMPSmartMaui のプロジェクトマネージャーである NEDO の高田和幸氏の言葉を以下に引用する。

Arakawa 郡長の声

JUMPSmartMaui は世界的に見ても非常に成功したプロジェクトであろう。市民の意識・生活に変革をもたらした。NEDO と日立製作所によって、新しいコンセプトを与えられ、それがきっかけで、マウイ島における更なる取組を考えることができる。非常に感謝しているし、日本のステークホルダーと協力できて本当に良かった。コミュニティが更なるベネフィットを享受できるよう、この取組を拡大していかなければならないが、そのヒントは既にたくさん持っている。これらを今後もトライしていき、マウイのエネルギー事情の改善を行っていきたい。

高田和幸氏の声

このモデルを実現するために、コミュニティレベルでの意識高揚と住民の協力が非常に重要であることが裏付けられた。更なる展開に向けては、PV、電池、EV などがシステムとして統合されていく中で、需要家が個々の機器を少ない制約のもとで選択できるようになり、更には、DR や VPP 事業者を選択できるようになるなど、需要家の選択肢の幅を広げることが肝要。そのためのプラットフォーム整備が重要になってきており、マウイの成果を次に結びつけるためにも、取り組んで参りたい。

7. 謝辞

本ケーススタディの執筆にあたり、ご協力を賜った Alan M. Arakawa 郡長、Tokie Ogawa 氏（マウイ郡）、Jeanne U. Skog 氏、Lory Basa 氏（Maui Economic Development Board）、Deborah C. Rybak 氏、Damon Glastetter Michael Santiago 氏（JUMPSmartMaui ボランティア）、David Tester 氏（マウイ電力）、Leon R. Roose 氏、Marc M. Matsuura 氏（ハワイ大学ハワイ自然エネルギー研究所）、江村文敏氏（Hitachi Advanced Clean Energy Corporation）、高田和幸氏（NEDO）、笠井真一氏、平岡貢一氏、後藤知明氏（日立製作所）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。

8. 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 ハワイにおける日米共同世界最先端の離島型スマートグリッド実証事業」, 平成 23 年度～28 年度成果報告書, 2017
- [2] EIA, “State Electricity Profiles”
<http://www.eia.gov/electricity/state/>
- [3] ハワイ州 Department of Business, Economic Development & Tourism Web サイト, “Monthly Energy Data”
<http://dbedt.hawaii.gov/economic/energy-trends-2/>
- [4] EPRI, “JUMPSmartMaui Demonstration Project Phase 1 Assessment: EPRI Smart Grid Demonstration Initiative”
- [5] 江村文敏, et al. “スマートシティを構成する自動車関連技術とグローバル展開”, 日立評論, Vol. 95 No. 11, 786-790 (2013)
- [6] 平岡貢一, et al. “ハワイにおける EV を活用した島嶼域スマートグリッドモデル”, 日立評論, Vol. 96 No. 06, 394-397 (2014)
- [7] 高橋広考, et al. “マウイ島スマートグリッド実証プロジェクト向け緊急時 DLC 制御アルゴリズムの提案.” 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌) 135. 5 310-315. (2015)
- [8] 著者によるステークホルダーへのヒアリング