

第4章

農村部電化プロジェクトへの参画可能性と成功要因 ーインド地方農村部における取組事例の検討からー

今井 健一

はじめに

インドの電力事情には現在2つの課題がある。1つは、経済発展、都市化、個人の購買力上昇などに伴い増加する電力需要に対して電力供給が追いつかない電力不足の状況をいかに改善するかという課題である（MNRE [2011b, 7]）。インドにおける電力需給の不均衡は深刻であり、電力需要ピーク時における電力供給は約13%の不足であり、この不均衡は長期的にはさらに増加することが予測されている（MNRE [2011b, 7]）。もう1つは、電力が送配電されていないため電力を利用できない、あるいは送配電されていても利用時間帯が限られていたり、電力供給が不安定なため電力の利用に不自由を強いられている地域、特に地方農村部の電化をいかに促進するかという課題である。インドでは人口の40%にあたる約5億近くの人々が電力を利用できず（MNRE [2011b, 24]）¹、また、インドの全村落の11%にあたる約10万の村落が電化されていない状況にある（Sargsyan and others [2011, x]）²。これら2つの課題において、新エネルギーに寄せられる期待は大きい。

本章では上述したインドの電力事情における2つの課題のうち、インド地方農村部における電化促進の課題に焦点を絞り、2つの具体的な取組事例をととして新エネルギーが地方農村部における電化促進に向けてどのように利用されているのかをみる³。特に、

¹ インドにおいて電力を利用できない人口の割合がどのくらいであるかは、文献によって異なる。例えば Sargsyan and others (2011, x) は、電力を利用できない人口の割合が約3分の1であると報告している。

² 2001年インド国勢調査結果によると、地方農村部において照明源として電気を使用している世帯は地方農村部世帯全体の43.52%、灯油を使用している世帯は全体の55.61%、太陽光は0.29%、その他は0.27%、そして照明のない世帯は全体の0.31%となっている。一方、都市部における同様の数値は、電気87.59%、灯油11.61%、太陽光0.24%、その他0.22%、そして照明のない世帯0.35%となっている。またインド全体における同様の数値は、電気55.85%、灯油43.30%、太陽光0.27%、その他0.27%、そして照明のない世帯が0.32%となっている（Datt [2004, 107-110, Table 11, Table 12, Table 13]）。

³ 筆者は、第2節の取組事例である村落に2011年11月1日、そして第3節の取組事例である村落については2012年1月18日に訪れ、関連施設や村落世帯の住居を視察すると共に関連施設

取組事例における運営のしくみとステークホルダー（中央政府、村落、NGO/研究機関、企業など）の役割についての分析をとおして、新エネルギーによるコミュニティ単位の電力自給自足を成功裏に導くための要因について考察する。本章の構成は次のとおりである。まず、第1節では、インドにおける新エネルギー導入の現状を概観する。第2節では、インド地方農村部の電化促進に向けたバイオマスを利用した村落単位の電力自給自足の取組事例の分析をとおして、新エネルギーによるコミュニティ単位の電力自給自足を成功裏に導くための要因について考察する。第3節では、太陽光を利用した村落単位の電力自給自足の取組事例の分析をとおして、第2節と同様の考察を行う。そして、最後にインドにおける新エネルギーによる村落単位の電力自給自足の取組が示唆する日本の地域やコミュニティにおける新エネルギーによる電力供給のあり方、特に運営面について考察するとともに、インドの地方農村部電化促進における新エネルギーへの需要を日本企業がどのように取り込むことができるかについて提言をし、むすびとする。

第1節 インドにおける新エネルギー導入の現状

表1は2011年1月31日現在のインドにおける系統連系発電設備容量の技術別容量とその割合を示している。系統連系発電設備容量の54.47%が火力発電（主に石炭）であり、新エネルギーによる系統連系発電設備容量は1万8842MWで全体の10.94%となっている。2002年4月時点の新エネルギーによる系統連系発電設備量が3,475MWで全体のわずか2%に過ぎなかったことを考えると、9年間で新エネルギーが大きく普及したことがわかる（MNRE [2011b, 9]）。

表1 系統連系発電設備容量の技術別配分 (2011年1月31日現在)

技術	発電設備容量 (MW)	割合 (%)
火力	93,838	54.47
水力（小規模水力を除く）	37,367	21.69
新エネルギー	18,842	10.94
ガス	17,456	10.13
原子力	4,780	2.77
計	172,283	100.00

（出所）India, Ministry of New and Renewable Energy (2011a, 2).

を操業・管理する村落住民へのヒアリング調査を実施した。

インド政府新再生可能エネルギー省による「新再生可能エネルギーのための第9次五ヵ年計画」終了時点から「新再生可能エネルギーのための第11次五ヵ年計画」の2011年1月31日までに導入された新エネルギーによる系統連系発電設備容量の増加推移をエネルギー資源別に示したのが表2である。2011年1月31日現在における各エネルギー資源の系統連系発電設備容量が全体に占める割合は、風力が69.97%、小規模水力が15.67%、バイオが14.19%であるのに対して、太陽光はわずか0.17%となっている。2002年から2011年の過去9年間で、風力による系統連系発電設備容量は8倍近くに増加し、新エネルギーによる系統連系発電設備容量全体に占める割合を47.67%から69.97%と23%近く拡大させている。小規模水力による系統連系発電設備容量は約2倍に増加したものの、全体に占める割合は41.12%から15.67%とかなり縮小している。バイオは約7倍近くに増加しているが、全体に占める割合は11.15%から14.19%と大きな変化は見られない。一方、太陽光については、発電コストが高いため普及が僅かにしか進んでいない（和田 [2011, 140]）。

表2 新エネルギーによる系統連系発電設備容量のエネルギー資源別推移¹⁾

(2011年1月31日現在) (単位: MW)

エネルギー資源	潜在的発電容量予測値	発電設備容量増加分				2011年1月31日現在発電設備容量 ①+②+③
		第9次五ヵ年計画まで (~2002) ①	第10次五ヵ年計画 (2002~2007) ②	第11次五ヵ年計画 (2007~2012) 目標値 ③	第11次五ヵ年計画 (2011年1月31日現在実績値) ④	
風力	48,500	1,667 (47.67)	5,427 (80.27)	9,000 (73.59)	6,090 (70.95)	13,184 (69.97)
小規模水力	15,000	1,438 (41.12)	538 (7.96)	1,400 (11.45)	977 (11.38)	2,953 (15.67)
バイオ ²⁾	23,700	390 (11.15)	795 (11.76)	1,780 (14.55)	1,488 (17.33)	2,673 (14.19)
太陽光	20-30MW/ sq.km	2 (0.06)	1 (0.01)	50 (0.41)	29 (0.34)	32 (0.17)
計		3,497 (100.00)	6,761 (100.00)	12,230 (100.00)	8,584 (100.00)	18,842 (100.00)

(出所) India, Ministry of New and Renewable Energy [2011a, 2] を基に筆者作成。

(注) 1) 表中の () 内の数値はエネルギー資源別の割合 (単位: %) を示す。

2) バイオマス (薪、米穀などの農作物残滓) 発電、バイオマス・コージェネレーション、および一般廃棄物および産業廃棄物をエネルギー資源とした発電を含む。

以上は新エネルギーによる系統連系発電設備導入の現状であるが、インドにおける新エネルギー普及の現状と将来を考える上で見落としてはならないのが、新エネルギーによる非系統連系発電、すなわち、新エネルギーによる分散自立型発電である。なぜならば、インドの地方農村部における電化促進では新エネルギーによる分散自立型発電が中心的役割を果たしているからである。表3は、新エネルギーによる分散自立型発電容量のエネルギー資源別内訳と新エネルギーによる発電・発熱利用システム内訳である。表3が示すとおり、新エネルギーによる分散自立型発電の主要エネルギー資源がバイオマスと太陽光であることがわかる。

表3 新エネルギーによる分散自立型発電容量のエネルギー資源別内訳と新エネルギーによる発電・発熱利用システム内訳

(2011年1月31日現在)

エネルギー資源／システム	2011年1月31日現在の数量
新エネルギーによる分散自立型発電（自家発電およびコージェネレーション用を含む）	
1. バイオマス発電／コージェネレーション（バガス ¹⁾ 以外）	274 MW
2. バイオマスガス化発電	約 128 MW
3. 一般廃棄物および産業廃棄物をエネルギー資源とした発電	約 68 MW
4. 太陽光発電	ピーク時 4MW
5. エアロジェネレーター ²⁾ /ハイブリッド発電	1 MW
計	約 461 MW
新エネルギーによる分散自立型発電利用システム	
1. 家族向けバイオガスプラント	433 万基
2. 太陽光発電家庭用照明システム	66 万 9,805 個
3. 太陽光発電ランタン	81 万 7,549 個
4. 太陽光発電街路照明システム	12 万 2,697 個
5. 太陽光発電ポンプ	7,495 個
6. 太陽熱利用温水システム - 集熱範囲	397 万 m ²

(出所) India, Ministry of New and Renewable Energy (2011a, 3).

(注) 1) サトウキビ等の絞りかす

2) 揚水用/小規模発電用の風力発電機

第 2 節 バイオマスを利用した村落単位の電力自給自足：牛糞からのバイオガスによる灌漑用水向け発電

風力発電あるいは太陽光発電とは異なり、バイオマスを利用した発電の技術は、バイオマスの多様性に起因して多岐にわたっており複雑である。表 4 は、インドにおけるバイオマスを利用した発電あるいはコージェネレーション（発電と排熱）の技術をバイオマスの種類と発電方法から分類したものである。

表 4 インドにおけるバイオマスを利用した発電/コージェネレーション技術

技術	バイオマスの種類	発電方法	備考
バイオガス発電	牛糞、鶏糞など	エネルギー源を発酵させることにより出るメタンガスを燃料とする発電	発酵後のエネルギー源を乾燥させて肥料としても利用可能
バイオマス発電	薪、米殻などの農作物残滓	エネルギー源を燃焼させることによる発電	発電のみならず排熱利用も可能（コージェネレーション）
バイオマスガス化発電	灌木などの固形燃料	エネルギー源を蒸し焼きにすることによって出る一酸化炭素や水素などを燃料とする発電	バイオマスガス化炉（Biomass Gasifier）を使用
バガス発電	サトウキビ	サトウキビの搾りかす（バガス）を燃料とする発電	発電のみならず排熱利用も可能（コージェネレーション）

（出所）和田 [2011,140-143]、MNRE [2011a, 4]、および筆者によるインド現地調査を基に作成。

本節で取り上げるのは、バイオガス発電による村落単位の電力自給自足の取組事例である。具体的には牛糞からのメタンガスを利用したバイオガス発電による村落の灌漑用水向け電力の自給自足である。バイオマスエネルギーが地方農村部における電化促進に向けてどのように利用されているのか、特に運営のしくみとステークホルダーの役割についての分析をとおして、新エネルギーによる村落単位の電力自給自足を成功裏に導くための要因について考察する。

取組事例の村落は、ニューデリー駅より列車で 4 時間半ほど南下すると到着するジャンスィー（Jhansi）駅よりさらに車で約 30 分のところにあるマディヤ・プラデーシュ州

内オーチャ村である。このオーチャ村がある中央インド **Bunderlkhand** 地域（ウッタル・プラデーシュ州とマディヤ・プラデーシュ州にまたがる地域）はしばしば旱魃に襲われるため、畜産がこの地域の人々の主たる生計の糧となっており、地域の人口 1,000 人に對し家畜 1,100 頭が育てられている。オーチャ村では、数において人間を上回る牛が排出する大量の糞を利用したバイオガスプラントを村の人々が運営している。牛糞を発酵させることで出るメタンガスを燃料として発電し、その電力を使って地下水を汲み上げ、村落一帯に灌漑を行なっている。また、発電後の牛糞残滓は乾燥させ、肥料として利用している。エネルギー資源である牛糞は購入コストも輸送コストもかからないのでエネルギー資源の調達コストはゼロということになる。村が持つ利点を活かしたエネルギー資源の調達、そして村が必要とするニーズに沿った電力の利用が考慮された取組といえる。

このオーチャ村のバイオガスプラントは現在、村自らの手によって運営されており、バイオガスプラントの運営にかかる様々な懸案事項は村の人々によって構成される委員会によって議論され、また、バイオガスプラントの操業・管理は村によって雇用された村の住人によって行なわれているが、この取組事例がうまく機能している要因として、特に次の 3 つを挙げることができる。1 つは、地元の NGO である **Development Alternatives Group** が果たしているファシリテーター（調整役）としての役割である。1982 年にインドで創設された **Development Alternatives Group** は、貧困層の生活向上を持続可能なそして環境に負荷をかけない方法で実現することを活動の目的としている。この NGO がオーチャ村のバイオガスプラントのビジネスプランを描くとともに、村自らの手で解決出来ない問題が生じた場合には必要なサポートを提供している。2 つ目は、エネルギー資源の調達費がゼロであることなど立ち上げ後の運営が経済的に持続可能な方法で行われていることである。すなわち、外部からの援助や融資に依存することなく採算の取れる形でバイオガスプラントが運営されている。そして 3 つ目は、バイオガスプラント建設に伴う初期費用については中央政府からの支援を得ていることである。初期投資に必要な資金は村にとっては大きな負担であるため、このような支援がなければ実現は困難であったと考えられる⁴。

⁴ インド政府からの支援があるのは、第 12 次 5 年計画（2012~2017 会計年度）において、系統連系発電の範疇では新エネルギーによる発電設備容量を約 40GW 分増加させる計画を打ち出す一方、非系統連系発電の範疇（分散自立型発電および分散自立型発電利用システム）においては地方農村部電化促進の一環として約 8,000 の僻地村落の電化などの計画を打ち出していることから理解できる（MNRE [2011b, 19]）。また、インド政府は、地方農村部電化促進においてバイオマスと太陽光を有望な新エネルギーと位置付けており、2022 年までに、1 万の村落を対象にバイオマスを利用した電化を、そして 1 千の村落を対象に太陽光を利用した電化を行う計画を打ち出している（MNRE [2011b, 24-25]）。これらの電化を実施する際に発生する初期費用を補填するための財政的支援の存在が成功の鍵となっている（MNRE [2011b, 25]）。

第3節 太陽光エネルギーを利用した村落単位の電力自給自足：‘Lighting a Billion Lives’ キャンペーン

本節では、インドの首都ニューデリーに本部を置くエネルギー資源研究所（TERI: The Energy and Resources Institute）が中心となって世界で展開している太陽光エネルギーを利用した村落単位の電力自給自足の普及に向けた‘Lighting a Billion Lives’キャンペーンの下で実施されている取組事例を取り上げ、特にその運営のしくみと各ステークホルダーが果たしている役割の分析をとおして、新エネルギーによるコミュニティ単位の電力自給自足を成功に導くための要因について考察する。

TERIが発行する‘Lighting a Billion Lives’キャンペーンの冊子には、世界の約16億人が電気へのアクセスが不十分な生活を送っており、その内の25%にあたる約4億人がインドに住むと報告されている。本キャンペーンでは、インドを中心に世界各国に約400万の太陽光発電兼ソーラーランタン充電ステーション（以下、太陽光チャージステーション）を設置し、各ステーションで充電できるソーラーランタンを各50個利用可能とすることによって、キャンペーンのタイトルどおり世界各国の地方農村部で暮らす10億の人々に安全でクリーンな灯りをもたらすことを目標としている。取組事例として取り上げる村は、首都ニューデリーの南約30kmに位置するハリヤーナー州グルガオン市（City of Gurgaon, State of Haryana）近郊にあり、世帯数は約40ほどである。この村があるハリヤーナー州メワット県（Mewat District）は行政区分上5つのブロック（Block）より構成されており、その大部分の土地が平地であり、年間平均降水量は336～440mmである。2001年国勢調査時点でのメワット県の人口は約99万人（世帯数は約14万）であり、その95%が農村人口である⁵。この村では、太陽光チャージステーションが新たに村のコミュニティセンター内に設置されたことにより、この太陽光チャージステーションでソーラーランタンを充電し利用することができるようになった。村の住民は、従来、灯りを灯油やパラフィンオイルに依存していたが、ソーラーランタンが利用できるようになったお蔭で火事の心配がないといった安全面、灯油を燃やすことによって出る煙を吸わずに済むといった健康面、より明るい灯りによって子供達が夜勉強できるといった教育面、そして夜でも仕事や家事ができるといったライフスタイル面と多岐に亘って人々の生活が大きく変化している。さらには、‘Lighting a Billion Lives’キャンペーンにおいて‘entrepreneur’と呼ばれる新たな雇用（太陽光チャージステーションの操業・管理を任された人で村の住人でもある）、そして夜電気が利用できるようになったことによる新たな所得も生まれている。

この村の太陽光チャージステーションは、TERIとパートナーシップ関係を持つ地元の

⁵ ハリヤーナー州メワット県のホームページより
（URL: <http://india.gov.in/outerwin.php?id=http://mda.nic.in/>）

NGO である IRRAD (Institute of Rural Research and Development) と村によって運営されており、太陽光チャージステーションの操業・管理は上述の ‘entrepreneur’ に任されている。太陽光チャージステーションにて充電可能なソーラーランタンは 1 台 100 ルピー/月で各世帯に貸与されており、‘entrepreneur’ は毎朝ソーラーランタンを各世帯から回収し、日中に太陽光チャージステーションでそれらを 3 時間かけて充電し、夕方、各家庭に戻すといった仕組みになっている。TERI が技術開発し、日本の企業によって製造されたソーラーランタンは 1 台 1,967 ルピーと村の人々が購入するには高い値段であるが、1 台 100 ルピー/月のレンタル料であれば利用してみようというインセンティブが働くようである。また、太陽光パネル設置等にかかる初期費用については TERI と IRRAD によって工面されており、前者は企業や政府から、後者は地元企業と村落から資金を集めている。一方、‘entrepreneur’ への給与を含む太陽光チャージステーションの維持管理経費については住民から徴収するソーラーランタンのレンタル料で賄われており、経済的に採算のとれる持続可能な方法で運営されている。

‘Lighting a Billion Lives’ キャンペーンは村落内に設置された太陽光チャージステーションで発電された電力を利用したソーラーランプの普及を目的としているが、この太陽光による電力を料理用の熱源として、あるいは電動バイクの動力源として使用するなど利用範囲を拡大していくことも可能であろう。そのためには、ソーラーランプのように太陽光チャージステーションで充電可能なシンプルかつ低価格な電気調理用テーブルや太陽光チャージステーションで充電可能な電動バイクの開発と普及が必要となる。あるいは、それぞれの世帯が低価格な太陽光発電設備を設置するなどの発展型も考えられる。どちらのケースにおいても、村落世帯が購入できる価格あるいはレンタルできる価格範囲であることが普及のポイントとなるはずである。太陽光発電による電力の利用範囲を広げることによって、農村部の生活はさらに便利になるであろう⁶。

⁶ 限られた紙面の関係上、本章で取り上げていないが、村で発電した電力を村が自前で設置した送電線によって各世帯に届ける取組事例がある。この取組事例は ‘ミニグリッド・システム’ と呼ばれ、取組事例の村落は第 2 節の取組事例としてとりあげたオーチャ村と同じくマデイヤ・プラデーシュ州にあるランブーン村である。このランブーン村の人々によって運営されている太陽光発電ステーションは、2009 年、スウェーデンの太陽光発電会社により寄付されたものだ。また、太陽光発電ステーションを運営している村の代表者の話では、ここで発電された電力を各家庭に送電するにあたっては、既存の送電網を使用することなく村独自で送電網を設置することを村の人々によって協議し決定したとのことであり。この決定をした際には、政府に対し、今後永久に系統連系の送配電網を使用しないという念書を書いたとのことであった。村落の各世帯に電力が送電されていることから、‘Lighting for a Billion Lives’ キャンペーンの実例のように電力の利用が灯りだけに限られるということではなく、テレビ、扇風機と電力の利用範囲は広い。

むすび

第2節と第3節におけるインドの新エネルギーによる村落単位の電力自給自足の取組事例における運営のしくみとステークホルダーの役割の分析を通して、新エネルギーによるコミュニティ単位の電力自給自足を成功裏に導くための要因について考察したが、これらの取組事例が、将来の日本の地域やコミュニティにおける新エネルギーを利用した電力供給のあり方について示唆するものがいくつか考えられる。インドと日本のコミュニティにおける経済的・社会的・技術的環境は大きく異なり、また、インドと日本のコミュニティが電力の自給自足を必要とする背景も大きく異なるものの⁷、運営面で参考となるものが3点あると考える。

1点目は、コミュニティ単位での電力供給の取組が持続可能な形で継続されていくためには、コミュニティの住民が積極的に取組を支援し参加するためのインセンティブをもつよう広く住民に取組による直接的便益がもたらされることの必要性である。例えば、新エネルギーによって地球温暖化が軽減されると言ったところで取組の支援に向けた住民のインセンティブは高くないが、新エネルギーによって住民の経済・生活が著しく改善されるということであれば住民のインセンティブはかなり高くなる。2点目は、コミュニティ単位の電力供給の取組が持続可能な形で継続されていくためには、運営面で外部からの援助・融資を得ることなく経済的に採算が取れるようにすることの必要性である。その意味で、エネルギー資源の調達コストがゼロである第2節の取組事例のようにコミュニティが優位をもつエネルギー資源を活用することが重要である。そして、3点目は、コミュニティにとって大きな財政負担となるような初期投資については、政府による財政的支援を行うことの必要性である。

最後に、インドの地方農村部における新エネルギーへの需要を日本企業がどのように取り込むことができるかについての提言として、次の2点に言及したい。1点目は、新エネルギーによる電化を促進するためには、新エネルギーの普及に併せて新エネルギーを直接・間接に利用できる電化製品そのものの普及が必要であるが、インドの地方農村部ではこの点が遅れていることである。今後、新エネルギーの普及と共にニーズが高まる市場ではないかと考えられる。2点目は、インドにおける2つの取組事例が示しているようにその立ち上げと運営には、地元のNGOあるいは研究機関がファシリテーター

⁷ インドの場合、村落単位での電力自給自足を必要とする背景には電化による生活の向上があり、その方法として、系統連系電力にアクセスできない地方農村部では必然的に新エネルギーによる分散自立型の電力自給自足システムが有望となる。一方、我が国の場合、系統連系電力が電力供給の中心ではあるが、東日本大震災での経験を踏まえ、自然災害等で電力アクセスが遮断された場合の備えとして緊急時に必要とする電力を自給自足できるよう、あるいは低炭素社会構築の一環として、新エネルギーによる分散自立型発電や分散自立型発電利用システムの新たな導入を検討する地域あるいはコミュニティが、今後、現れるのではないかと考える。

として重要な役割を担っていることである。日本企業が新エネルギーを利用した地方農村部の電化促進事業に進出するのであれば、適切な技術の選定も含め、こういった地元の NGO あるいは研究機関とのパートナーシップをまず構築することが重要な要素になると考える。

参考文献

〈日本語文献〉

和田武 [2011]『拡大する世界の再生可能エネルギー：脱原発時代の到来』世界思想社

〈外国語文献〉

Datt, R [2004] “Living Conditions: Widening Rural-Urban Divide (Wake-up Call for Government) .” *Indian Economic Journal* 52 (1-2) (Apr.-Sep.) : 96-121.

India, Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) [2011a]. *Annual Report 2010-11* :
(http://mnre.gov.in/annualreport/2010_11_English/index.htm)

India, Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) [2011b]. *Strategic Plan for New and Renewable Energy for Energy Sector for the Period 2011-17* :
(<http://mnre.gov.in/policy/strategic-plan-mnre-2011-17.pdf>)

Palit, D. and A. Chaurey [2011] “Off-grid Rural Electrification Experiences from South Asia: Status and Best Practices.” *Energy for Sustainable Development* 15: 266-276.

Palit, D. and G. K. Sarangi [2011] “A Comparative Analysis of the Solar Energy Programs for Rural Electrification: Experiences and Lessons from South Asia.” Pre-conference Proceedings of Third International Conference on Addressing Climate Change for Sustainable Development through Up-Scaling Renewable Energy Technologies: 292-300. 12-14 October, Kathmandu, Nepal.

Sargsyan, Gevorg, Mikul Bhatia, Sudeshna Ghosh Banerjee, Krishnan Raghunathan, and Ruchi Soni [2011]. *Unleashing the Potential of Renewable Energy in India*. Washington, D.C.: The World Bank.