

途上国の無電化地域を変える (かもしれない) オフグリッド・ソリューション

アジア開発銀行 Finance Specialist 村口 和人

○はじめに

私は現在、アジア開発銀行（ADB）の西中央アジア局エネルギー課で勤務しており、ADBが融資する電力関係のプロジェクトに携わっております。大規模なインフラであるガス発電所、水力発電所、送電線などを建設するプロジェクトも担当していますが、今回は最近手がけている太陽光発電と蓄電池を用いたオフグリッドのパイロット（実証実験）を紹介したいと思います。

我々が現在使っている電気は、一般的には大規模な発電所で発電され、送電線を經由してエンドユーザーへと届けられ、様々な電気機器・家電を動かすのに利用されています。日本においては、全国隅々まで送電線が整備され、基本的に電気へのアクセスに不自由を感じることはないと思います。他方、途上国においては、様々な理由からそもそも電気へ十分アクセスできない人、地域が多数存在します。IEAによれば、2016年時点でも世界全体で10億人、アジアだけを見ても4億人近い人々が電気へのアクセスがなしに暮らしています*1。これらの人々に電気を届けるのは重要な開発課題の一つです。Sustainable Development Goalsにおいても、“すべての人に手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する”が目標の一つとして掲げられています。

電気にアクセスできない地域が存在する要因は様々です。国内の発電キャパシティが不十分で国内需要を十分に満たすのが難しい場合もあれば、人口密度が希

薄すぎる、高い山々に囲まれている、治安上の要因から送電線の建設のための工事が困難、などの要因から送電線を建設する投資コストがリターンに見合わず、結果として無電化となっている地域も多数あります。場所によりますが、山間部では一つの家庭を送電線に接続するために何千ドルもかかるケースもあります。また、送電線の建設には数年の時間を要します。

そのような送電線が届いていない無電化地域に電気を届けるには、送電線（グリッド）に依存しない形で同様のサービスを提供する、オフグリッド・ソリューションが有効な場合があります。昨今の技術進歩で世の中には様々なオフグリッド・ソリューションが存在しますが、私が現在携わっている太陽光発電と蓄電池を活用した電化プロジェクトのパイロットもそのうちの一つです。

○太陽光発電+蓄電池を活用した家庭向けオフグリッドシステムのパイロット

現在、ADBではTechnical Assistanceを活用し、アフガニスタン、キルギス共和国、タジキスタン、モンゴル、パキスタンを対象に、太陽光発電と蓄電池を活用した家庭向けのオフグリッド電化システムのパイロットを行なっています*2。

・オフグリッドシステムの概要

当該パイロットにより、各家庭に太陽光発電のため

*1) IEA Energy Access Outlook 2017

(https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017SpecialReport_EnergyAccessOutlook.pdf)

*2) Access to Electricity with New Off-Grid Solar Technology in Central Asia

(<https://www.adb.org/sites/default/files/project-document/201581/49412-001-tar.pdf>)

のパネルが設置され、(1) 照明器具 (LED ライト)、(2) テレビ、(3) 扇風機 (アフガニスタン向けの場合)、(4) 冷凍庫/冷蔵庫が利用可能となり、一般的な家庭の電力ニーズをかなりの範囲カバーできるようになります。また、USB を介して携帯電話等の充電も可能です。蓄電池がセットになっているため、いったんフル充電されれば数日間は雨が降り続けても電気を利用可能です。

蓄電池はリチウム蓄電池を利用しています。リチウム蓄電池は、他の蓄電池 (鉛蓄電池など) と比べると初期投資コストは高いですが、その分寿命が長くライフサイクルコストで見ると優位であることに加え、軽いなど、オフグリッドシステムに望ましい性質を備えています。

アフリカなどでは、世界銀行等のイニシアティブにより、既に照明器具、携帯電話の充電などに絞った比較的小さな家庭用オフグリッドシステムが普及し、多くの家庭で利用されています。それに比べると、現在行なっているパイロット用のシステムは、複数の家電が稼働できる相対的に大きいシステムなのが特徴です。このような大きなシステムは当然コストがかかるため、これまで途上国向け、とりわけ所得水準の低い無電化地域での活用は難しかったのですが、近年、太陽光パネルの価格が大きく低下してきていること、電気自動車の普及に引っ張られる形でリチウム蓄電池の価格も大幅に低下していること*3、などから、オフグリッドシステム全体の価格も手ごろとなり、途上国向

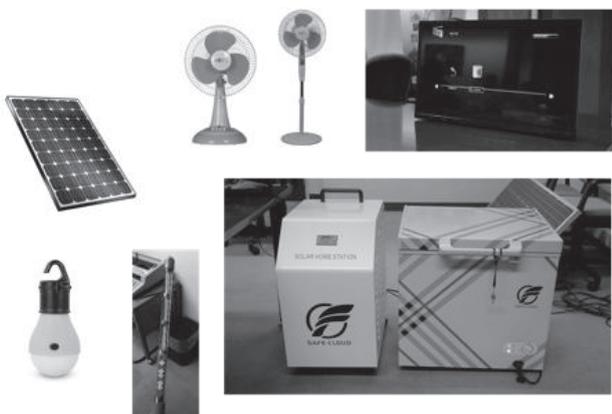
けの活用可能性が開けてきています。

また、賛否の分かれるところですが、今回のパイロットでは、消費電力が少ないDC家電を活用しているのも特徴です。通常、電気は発電された段階ではDC (直流) ですが、遠く離れた発電所から各家庭へ送電するまでの送電ロスを減らすため、AC (交流) に変換されて家庭に運ばれ、最終的にAC/DCアダプターや内蔵された変換器等でDCに再度変換して家電等で消費されています。

他方、オフグリッドシステムにおいては、発電する場所 (屋根の上の太陽光パネル) と消費する場所 (各家庭) がほぼ一体であり、送電ロスをほとんど考える必要がありません。そのため、太陽光パネルで発電した電気 (DC) をそのまま利用するDC家電を利用することが有効です。この場合、DCをACに、ACを家電レベルで再度DCに変換する際に生じていたロスがなくなるため、AC対応家電と比較して、非常に小さな電力消費量で家電を動かすことができ、結果、限られた太陽光パネル、蓄電池のサイズでより多くの家電を利用することが可能になります*4。DC家電は日本ではあまり見かけませんが、車から電源を引くキャンプ用品などはDC家電が散見されます。

DC家電の製造はAC家電と比較しても技術的には特に難しくないとされているものの、世の中に一般的に流通している家電はAC家電であることから、少なくとも現時点では価格、入手可能性、多様性などの面はAC家電には劣ります。それでも太陽光パネル、蓄電池のサイズを抑えることが可能であるメリットも考えると、現時点でもオフグリッドシステム全体で見れば、DC家電の活用はコスト面でも相応に魅力的とも考えられます。

他にも、オフグリッドシステムの魅力としては、再生可能エネルギーである太陽光発電を用いているので温暖化対策としても最適である点、送電線を引く場合は通常数年かかるのに比べて極めて短時間で電化を行うことができる点などがあげられます。



(写真1：オフグリッドシステムのイメージ)

*3) IRENAによれば、太陽光発電設備のコストは2017年と2010年を比較すると約70%低下している。また、電気自動車向けバッテリーのコストも2016年と2010年を比較すると約70%低下している。

*4) 例えば、パイロットで用いられているDCテレビ (32インチ) の消費電力は約25Wであるのに対し、市販されているACテレビ (32インチ) は比較的新しい型でも消費電力は70~100W程度。

・パイロット対象

受け入れ国側との協議、システムデザインの決定、調達、その他ロジスティックスの検討を経て、執筆時点でキルギス共和国、タジキスタンに各90ユニットが、アフガニスタン向けに80ユニットが設置され、稼働しています。

キルギス共和国、タジキスタンは旧ソ連の一部だった時代にほぼ100%の家庭に送電線が引かれ、電化されている、というのが建前です。他方、旧ソ連時代もなんらかの事情で取り残された地域、旧ソ連崩壊後、送電線網に十分なメンテナンスがなされなかったことから無電化状態に戻ってしまっている地域が、特に山岳地帯（標高4,000m超のパミール高原など）に点在しているのが現実です。今回のパイロットの対象となる家庭もそれらの地域から、受け入れ国政府と調整しながら選ぶこととなりました。アフガニスタンにおいては、資金不足、治安上の問題から送電線網が全国的に十分整備されておらず、数多く無電化地域が存在しているところ、比較的モニタリングが容易なカブール近郊の無電化村がパイロット対象に選ばれました。

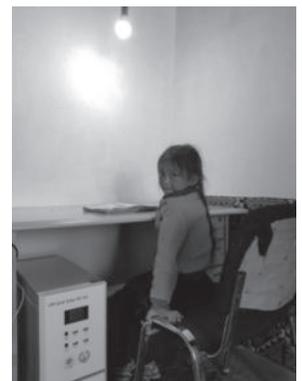
・パイロット評価項目

パイロットにおいては、当該オフグリッドシステムは家庭の需要にマッチしているか（もっと照明器具が必要、冷蔵庫よりは調理器具や洗濯機が必要など）、当該システムが適切に稼働するか・どの程度のメンテナンスコストが必要となるか・電力需要と太陽光パネル、蓄電池のサイズがマッチしているか、等の技術的な側面に加え、当該地域において当該システムが文化的・社会的に受け入れられるか（Social Acceptability）、当該システムの利用に対し、各家庭はどのくらいの金銭的、経済的価値を見出すか、また、各家庭にはどの程度の支払い能力があるか（Willingness to Pay, Ability to Pay）等を評価することになっています。

これらの評価等を踏まえ、そもそも当該オフグリッドシステムが無電化地域を電化する上で適切なソリューションなのか、どのような地域においてより有効、又は有効ではないのか、技術的に改善すべき点はないか、どのようなビジネスモデルとすれば持続可能かなどを今後検討し、より大規模なプロジェクトに繋げていけるか、を検討することとなります。



(写真2、3：キルギスの山間部では、トラックの通ることのできる道が無いいため馬や船を使ってパイロットシステムを運搬した。)



(写真4、5、6：タジキスタンのパミール高原の家庭に設置されたパイロットシステム)

・ビジネスモデル上の論点

技術面については、私はエンジニアではないので本稿では詳しく論じませんが、オフグリッドシステムに関するビジネスモデル上の論点について以下で簡単に取り上げます。

読んでいただければわかるとおり、オフグリッドシステムの利用者から一定の金銭を徴収して初期投資コストやメンテナンスコストを回収する場合、本件はファイナンス面ではいわゆるリース取引に近似した形態となります。途上国の中でも物理的にアクセスの難しい地域の、比較的所得が低い家庭に対して物品（オフグリッドシステム）及びメンテナンスサービスを提供していく中で、いかにコストを下げ利用しやすいものとするか、また、不払い等のリスクを低減させてコストを回収するか、その為にはどのようなメカニズムが必要か、誰がどのような責任、リスク及び権利を分担するのか、といういわゆる Bottom of the Pyramid 向けのビジネスを政府や民間セクターを巻き込んでどのように実現するか、という難題の解決策が求められています。

論点1：対象地域

当然のことですが、オフグリッドソリューションを採用するにあたっては、送電線を引く場合とのコストベネフィットの比較衡量が必要となります。送電線を引く方がコストが安いのであれば、わざわざオフグリッドソリューションに頼る必要はありません。また、関連して、二重投資を防ぐため、オフグリッドシステムを導入する地域は少なくとも今後数年は送電線による電化が行われる見込みが無い地域を対象とすべきでしょう。この観点からは、オフグリッドによる電化を目指す場合であっても、国全体の中長期計画とうまくすり合わせを行なった上で対象を絞り込んでいく必要があります。また、以下に論じるように、利用者からの費用回収可能性を高めるためには比較的所得水準の高い地域を対象とすることが望ましいですが、他方で低所得者への対応という観点からは、比較的所得

水準の低い地域を対象とすべきとも考えられます。

論点2：誰がなにを負担するか

上記のオフグリッドシステムは、パイロットフェーズで約1セット（太陽光パネル、蓄電池、コントローラー、LEDランプ数個、扇風機、テレビ、冷蔵庫）で約1200ドル、より大規模に調達を行うと1セット1000ドル以下に抑えられると予想されています。また、家庭の所得水準やニーズにあわせて、家電を一部削り、より小さな太陽光パネル、蓄電池で稼働する相対的に安価なシステム（例：500ドル）を構築することも可能です。これに、輸送コスト（無電化地域は点在しており、また、交通のアクセスが困難な場合が多く、輸送コストが予想以上にかかる）、メンテナンスコスト（含む4年～5年後の蓄電池交換費用）がプラスされます。これらの費用を、誰がどのように負担するかが論点となります。^{*5*6}

そもそも無電化地域は途上国内でも相対的に所得水準が低い家庭が集まっている場合も多く、また、生活において一定程度の電気を利用できる、ということが文化的な生活を送る上で最低限必要な権利であると考えられる場合、社会政策上、これらを全て贈与ベースで各家庭に配布することも理論上は考えられます。一方で、贈与されたものは各家庭が身銭をきったものでないこともあり、利用者にオーナーシップの意識が生まれにくく、適切に管理・メンテナンスされないケースも多いこと（途中で故障した場合に打ち捨てられて終了するなど、持続可能性がない）、贈与ベースでは政府やドナーの資金にも限りがあることから、対象とできる家庭数が限られてくる、などの問題が生じます。

他方、そもそも電気は利用者が消費する私的サービスであって、それに必要なコストは利用者が負担すべきである、との考え方もあり得ます。比較的所得のある地域においてはこのパターンも成り立つかも入れません^{*7}。現に、送電線が届かない“無電化地域”であっても、自分でディーゼル発電機などを購入し、電気を利用している家庭も散見されます。金利負担などを考

*5) 送電線を建設するコストよりもオフグリッドシステムを利用する方が経済合理的である場合にのみオフグリッドシステムが利用されるであろうことが想定される。

*6) 家庭によっては、家電を一部削っても費用負担が小さいシステムを望む場合も想定されるため、サイズ及び構成の異なる複数パターンのシステムを提供することも考えうる。

*7) 所得水準が低そうに見える途上国の農村部においても、出稼ぎに出ている親族からの海外送金等によって相応に現金収入がある家庭も存在する。ただし、正確なデータを把握することは困難であるケースも多い。

慮しない場合、1200ドルのセットを5年で分割払いすると、月20ドル。これを負担してもオフグリッドシステムを利用したいと考えるか、また、実際に支払えるかどうかは、前述のWillingness to PayとAbility to Payに依存します。^{*8}全額利用者負担でコストリカバリーが可能と見込まれる場合には、民間事業者がビジネスベースで電化プロジェクトを行うことも考えられます。その場合でも、政府やMDBsは、品質を担保する基準・認証などの制度整備や低利のローンの提供などによってこれを支援できるかもしれません。

なお、現在パイロットを行なっている国々の状況や、対象となる家庭の所得水準などを踏まえると、全額贈与と全額自己負担の中間的な負担構造が現実的かもしれません。例えばオフグリッドシステムのコストの一定割合及びメンテナンスコストの全額は利用者の自己負担とする一方で、その他のコストは低所得／無電化家庭向けの社会サービスの一環として政府支出(MDBs等の資金が一部これをバックアップ)がカバーする、という形でバランスを取ることも考えられます^{*9}。

論点3：誰がサービスを担うのか

本件に限らず、途上国におけるプロジェクトの全てを政府や電力公社など公的セクターが担わなければならない必然性はありません。本件についても、利用者の選定、物品の調達、設置、料金の徴収、メンテナンス等、全てのプロセスを公的セクターが担うことも考えられますが、民間セクターとうまく連携する方がより効率的かつ持続可能となるはずです。当初は公的セクターが多く役割を担う場合でも、中長期的に民間セクターの参入をいかに促していくか、という目線も重要です。

例えば、家庭向けオフグリッドシステムのメンテナンスサービス(断線したケーブルを直す等)は必ずしも政府や電力公社が得意とするところでは無く、ローカルなエンジニアリング会社との連携が必要となるかもしれません。また、ベーシックなメンテナンス程度であれば、農村のエンジニア又は比較的手先の器用な

農村の若者などでも一定のトレーニングを受ければ対応可能とも考えられます。この場合は、オフグリッドシステムの設置と合わせてキャパシティビルディングのためのトレーニングが必要となるかもしれません。

また、利用者にオフグリッドシステムを届ける段階でも、公的セクターが最終的な利用者である家庭と直接契約をするのか、それとも利用者とのやりとりは民間事業者に委ね、公的セクターは事業者向けの低利のローン提供や補助金等で支援するのかなど様々なバリエーションが考えられます。

論点4：サービス形態・料金の徴収等

家庭にオフグリッドシステムを設置した後、当該オフグリッドシステムは誰が所有することになるのか、という論点もあります。利用者が一定期間(例：5年)オフグリッドシステムを利用又は一定金額を払い込んだ後は、当該システムの所有権は利用者に移転する形(この場合、所有権移転後のメンテナンス費用は利用者負担となることが多い)も考えられます。他方、利用者から毎月レンタル料を徴収するが、所有権は利用者に移転しない形(Fee For Service)も考えられます(この場合、メンテナンス費用は業者側が負担する形となる)。

無電化の農村部において、誰がどのようにして利用者から料金を徴収するのか、という点も論点になります。設置時に一括で支払いを受けることができればそれに越したことはないですが、現実的には分割払いとなることが想定されます。徴収コストを下げる為に、農村のコミュニティと協力する、地元で活動するマイクロファイナンス機関やNGOとパートナーシップを組む、民間サービサーに委託するなどさまざまな形態が検討されています。また、最近では銀行口座を持たない者でも携帯電話を利用して送金が可能なモバイルバンキングが途上国で普及しており、これを料金徴収に活用することも一案として考えられます。

悩ましいのが、利用者が料金を支払わない場合や、オフグリッドシステムを持ち逃げするような場合にどのように対処するのか、また、そのようなリスクをい

*8) 例えば、キルギスの山間部の家庭においては、現時点でもディーゼル(小型ディーゼル発電機を用いて家電を利用している場合)や灯油に月十数ドルを支出している例も多く、それを代替しより多くのサービスを得ることができる、と考えると20ドルの支出は許容範囲との考え方もできる。

*9) 例えば、太陽光パネルと蓄電池に係る費用は電力を供給する上でのインフラとして捉え、政府が支出する一方で、家電部分は私的サービスの消費と捉え、各家庭が負担するなど。

かにして減らすのかという論点です。技術的な解決策としては、各ユニットにGSMを搭載し、仮に支払いが一定期間滞る場合には、遠隔操作でシステムを利用できないようにしてしまうという形も可能です。また、同様のシステムを用いて農村内の誰か一人でも支払いを滞らせると農村内の全てのシステムが止まるようにしておく、など、支払いに農村内での一種の連帯保証のメカニズムを入れることで、コミュニティ内でのピアプレッシャーを活用し、支払いを担保することも考えられます。事前には、利用者の支払い能力を見極めた上でスクリーニングを行い利用の可否を決定することで不払いリスクをコントロールすることも考えられます。ただし、この場合は本来政府が社会政策上ターゲットとしたかっただけであろう低所得家庭が利用者から排除されてしまう可能性が高いです。これを避けるには、ターゲットとするグループが支払い可能な料金水準となるよう、補助金等の水準を調整する等の工夫が必要となります。

中期的には、ローカルな金融機関と協力して、これらの取引を通じて各家庭のクレジット履歴のデータを蓄積し、将来的に他の用途においてもより融資を受けやすくする、といった発展も展望しえます。

パイロットを通じて蓄積したデータや知見を活用して、国、地域ごとの特性を踏まえながら、上記のような論点に対してどのような解を提示できるのか、関係者が知恵を絞っているところです。

○終わりに

これまで長々と現在行なっている太陽光発電を用いた家庭向けのオフグリッドシステムを用いたパイロットについて記載してきましたが、上述の通りまだパイロット段階であり、検討すべき内容、改善すべき部分も多々存在します。また、世界中で、本件の他にも無電化地域を電化する上で有効な様々なテクノロジーが開発・検討されています。例えば、無電化地域でも比較的家庭がまとまって居住しており、相応に人口密度が見込める場合（離島の集落など）には、農村に再生可能エネルギー等を用いた中規模の発電設備や蓄電設備を設置し、そこから近隣家庭に配電するミニグリッドシステムがより有効かもしれません。また、地域に

よっては再生可能エネルギーの中でも太陽光よりも風力や地熱等を用いた方が（又はそれらを組み合わせた方が）効率的かもしれません。

いずれにせよ、昨今、エネルギー分野では様々な新しいクリーン技術が開発され、様々な課題はあれど、商業ベースでも成り立ちうる水準にかなり近いところまでコストも下がってきています。これらの技術をいかに活用し、公的セクター、民間セクターを巻き込んで途上国の抱える課題を解決していくのか、新しいアイデアが求められています。

（以 上）