

博士論文

未電化地域の地域性を考慮した
電化プロセス

沼田 雅子

要旨

持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) の目標 7 に「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」と定められているように、エネルギーアクセスの改善はクリーンエネルギーによって成し遂げられるべきとされ、取組が世界でなされている。

近年、電力供給の手段として、ソーラーランタン、ソーラーホームシステム (SHS)、ミニグリッドといった分散型電源が注目を集めている。ソーラーランタンは、照明用途に加え、USB 差込口を持ち、携帯電話の充電が可能である。SHS は太陽光発電パネルを家屋の屋根や庭に設置し、世帯単位で電化するものである。中容量であれば照明、携帯の充電に加え、ラジオ、比較的大容量であれば TV や DVD プレイヤーも利用可能となる。ミニグリッドは、1 から数か村の需要に対応する小規模な発電所と家々を配電線で結び、電力を供給する。配電線を敷設する必要があるため、ある程度家々が近接している場合に適している。これらの分散型電源は、基幹送電網の延伸と比較すると、導入が容易で工事期間も短く初期投資額も少ない。迅速に電力アクセスを改善するためには、基幹送電網の延伸だけでなく、分散型電源の活用が必要不可欠である。

エネルギーアクセスの研究においては、その未電化人口の多さゆえサブサハラアフリカやインドが注目されているが、東南アジアに位置するミャンマーも未だ電化率は低く、アジアの中では北朝鮮に次いで 2 番目に低い。世界で獲得されているエネルギーアクセス研究の知見を、ミャンマーの状況に取り入れ、分析を加速させていくことが有効であると考ええる。ミャンマーでは、政府発表による電化率は 2019 年には 50% 超まで伸びている。ただ、ミャンマー政府は、基幹送電網に接続された世帯の割合を電化率として発表しており、基幹送電網をより重要視していると推測できる。

しかし、基幹送電網延伸の投資効率も人口密度の低下に伴い、落ちていき、また供給能力不足により、乾季に都市部で停電が頻発している現状を考えると、全国の基幹送電網に接続されていない残りの約半数の世帯を 2030 年までに全て接続することが最良とは考えられない。さらに、導入の際には、地域の状況に応じた、電力システムの選定が重要である。本稿では、ミャンマーの地方部において、こういった電力システムの導入が適しているか経済的、社会的観点から分析し、分散型電源の電化手

段としての有効性を示した。

ミャンマーの地方部、特に紛争被害を受けた少数民族地域においては、分散型電源の中でも SHS などの独立型太陽光発電機器が有効である。ミャンマーは独立以降 70 年にもわたる紛争を国内に抱え、いまだ和平は成し遂げられていない。一部停戦協定が結ばれた地域においても依然として状況は不安定である。このような地域を含めて持続可能な開発を行っていくためには、地域のニーズに沿って考える必要がある。同時に、こういった地域での新規プロジェクト導入の際は、地域の状況を悪化させないように慎重に取り組まれるべきである。本稿では、地域の発展に重要と考える分野について、ステイクホルダーへインタビュー調査を行い、適切な生活水準 (Decent Living Standard, DLS) の枠組を用いて質的データ分析を行った。結果より、地域において、教育や保健医療といった分野と並び、情報コミュニケーション分野が重要視されており、その物的要件である携帯電話の必要性が大変高まっていることが分かった。それに伴い、携帯電話を充電するための電力の重要性も増しているといえる。しかし、情報コミュニケーションアクセス及び電力アクセスに注目する支援プロジェクトは他の分野と比較すると大変少なく、地域への電化支援が望まれる。

インタビューデータの分析により、電力供給の手段の中で、大規模発電所、特に大規模ダムは歴史的にエネルギー正義/不正義に関する多くの問題を引き起こしてきており、人々の警戒心が大変強いことが分かった。一方、分散型電源は地域の緊張を高める懸念は少なく、大規模発電所と基幹送電網による電化よりも紛争被害地域に適していると考えられる。さらに、紛争被害地域の村は、過去の焼き討ちや強制移住などのために、一軒一軒が離れ、延焼しにくいよう、狙われにくいように、木々に隠れるようなまばらな配置となっていることが多い。こうした地域においては、分散型電源の中でも配電コストが不要な SHS やソーラーランタンといった独立型太陽光発電機器がより適している。独立型太陽光発電機器は、照明や携帯電話充電といった基本的な電力需要しか満たすことができない。しかしながら、現代社会における情報の重要性を考えれば、このような小さな電力アクセスの改善であっても、DLS 向上への大きな貢献であると言える。

紛争被害地域以外の、ある程度の人口密度を持つ地域であれば、より大きな需要に対応できるミニ

グリッドを導入し、ミャンマーの豊富な再生可能エネルギー資源を活用するメリットは大きい。ミャンマーでは、既存のミニグリッドの電源としてディーゼル発電機が多く使われているが、気候変動への影響を考えると、再生可能エネルギーである太陽光発電の普及が望まれる。ただし、オフグリッド地域への導入が前提であるため、バックアップ電源の設置は必要不可欠である。近年、世界的に太陽光発電機器の価格下落は急速に進んでいるが、ミャンマーにおいてバックアップ電源も含めた太陽光電源ミニグリッドの経済性評価は十分に行われていない。そのため、ミニグリッドの電源について太陽光発電と旧来のディーゼル発電の経済性比較を均等化発電原価 (Levelized Cost of Electricity, LCOE) を用いて行った。本稿では、ミニグリッドの開発事業者へのインタビュー及び質問票調査、フィールドワークによりミャンマーの太陽光発電機器とバッテリーの価格データを集め、それを基に太陽光発電とバッテリーを電源とするミニグリッドの LCOE を計算し、ディーゼル電源のミニグリッドの LCOE と比較した。結果より、輸送コストのためにディーゼル燃料価格が都市部より高くなる地方部においては、太陽光発電とバッテリーを電源とするミニグリッドがディーゼル電源のミニグリッドに対してコスト競争力を持つことが分かった。しかしながら、より効率的な運用のためには、小規模ビジネスによる産業需要のような日中の電力需要を増加させることが重要である。

地方部において、太陽光発電を電源とするミニグリッドは既存のディーゼル電源ミニグリッドに対してコスト競争力があることが分かったにもかかわらず、その普及は急速に進んでいるとは言えない。そのため、続いて、再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの普及を妨げる障壁を分析した。Analytic Hierarchy Process (AHP) を用いたステイクホルダーへの質問票調査の結果を元に、各障壁要因の優先順位付けを行った。回答者間のコンセンサスが低い場合は、K-means 法を用いてクラスタリングし、クラスタごとの意見を分析した。経済的、技術的、法規制上の障壁の重要度については比較的高い意見の一致がみられたが、社会文化的、および金融上の障壁要因については意見が割れていた。ミャンマーにおいてははまだ障壁の各要因の多くが解決の見込みなく残っており、最大の障壁について意見の一致がみられる段階ではないと考えられる。しかしながら、結果は障壁要因が甲乙つけがたい、ミャンマーにおけるミニグリッド普及の困難を示すものではあるものの、各障壁要因の重要度の算出は、対策に取り組む上での一助となり得るものであり、有意義と考えられる。

本稿ではミャンマー地方部において、その地域の実情に応じて、導入に適した分散型電源を示し、その有効性や導入における問題点を示した。地域の緊張を悪化させないことが最も重要となる紛争被害地域においては SHS などの独立型太陽光発電機器、少数民族紛争の影響がなく、ある程度家々が密集している地域においては、小規模ビジネスの産業需要にまで対応できるミニグリッドの導入が有効である。電力へのアクセスを迅速に改善するためには、基幹送電網延伸のみならず、分散型電源も有効に活用し、また電力政策全体として協調性を保つことが望まれる。

目次

| | |
|---|----|
| 1. 序論 | 1 |
| 2. 紛争被害地域における分散型太陽光電源の可能性 | 12 |
| 2.1. まえがき | 12 |
| 2.2. ミャンマーにおける紛争 | 15 |
| 2.3. 分析の枠組 | 18 |
| 2.3.1. Decent Living Standard (DLS) | 18 |
| 2.3.2. Energy justice（エネルギー正義） | 20 |
| 2.4. 手法 | 21 |
| 2.4.1. インタビュー調査 | 21 |
| 2.4.2. コーディング手順 | 23 |
| 2.5. 結果 | 24 |
| 2.5.1. 紛争被害地域における DLS 各側面に対するニーズ | 24 |
| 2.5.2. 電化手段の比較 | 31 |
| 2.6. 結論 | 36 |
| 3. ミャンマーにおける太陽光発電を電源とするミニグリッドの経済性評価 | 38 |
| 3.1. まえがき | 38 |
| 3.2. 内外の先行研究 | 39 |
| 3.3. 方法論及びデータ | 41 |
| 3.3.1. コストデータ | 41 |
| 3.3.2. 需要の想定 | 43 |
| 3.3.3. 気象条件 | 45 |
| 3.3.4. 電源容量の最適化計算 | 45 |
| 3.4. 結果 | 46 |
| 3.5. 考察と結論 | 50 |
| 4. 再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの普及に対する障壁分析 | 54 |
| 4.1. まえがき | 54 |
| 4.2. 方法論 | 55 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1. 障壁分析の枠組 | 55 |
| 4.2.2. 階層分析法 Analytic Hierarchy Process (AHP)..... | 55 |
| 4.2.3. K-Means 法によるクラスタリング..... | 59 |
| 4.3. 障壁の種類 | 60 |
| 4.3.1. 技術的な障壁 | 60 |
| 4.3.2. 法規制上の障壁 | 61 |
| 4.3.3. 経済的な障壁 | 62 |
| 4.3.4. 社会・文化的障壁 | 64 |
| 4.3.5. 金融上の障壁 | 65 |
| 4.4. 結果 | 66 |
| 4.4.1. 比較的高い意見の一致が見られた障壁 | 66 |
| 4.4.2. 意見が分かれた障壁 | 67 |
| 4.5. 議論と結論 | 69 |
| 5. 結論 | 73 |
| 6. 参考文献 | 81 |
| Appendix..... | 97 |
| Appendix 1. Details of the Survey for LCOE Calculation | 97 |
| Appendix 2. AHP Questionnaire for Barrier Analysis..... | 108 |

图目录

| | |
|--|----|
| Figure 1 Energy ladder | 1 |
| Figure 2 Solar lantern | 2 |
| Figure 3 SHS and solar mini-grid | 2 |
| Figure 4 Illustrating the “mini-grid space” | 3 |
| Figure 5 Source of electricity | 5 |
| Figure 6 Demand forecast through 2030 and actual generating capacity | 6 |
| Figure 7 States and regions of Myanmar | 8 |
| Figure 8 Initial costs per household connection with increasing penetration rate for four states / regions | 9 |
| Figure 9 Rakhine State Investment Fair 2019 | 13 |
| Figure 10 Map of Kayin (Karen) State | 13 |
| Figure 11 Ethnic Armed Organizations and their controlled area | 16 |
| Figure 12 NCA and EAOs: participation status | 17 |
| Figure 13 Locations of interviews | 22 |
| Figure 14 The attention of each dimension | 25 |
| Figure 15 Viewpoints on each dimension at each scale | 25 |
| Figure 16 Viewpoints of each power source | 31 |
| Figure 17 Breakdown of the negative viewpoints | 32 |
| Figure 18 Baluchaung No. 2 Hydropower Plant and a soldier at the checkpoint to enter the plant | 37 |
| Figure 19 Load scenario | 44 |
| Figure 20 GHI and temperature of Nay Pyi Taw | 45 |
| Figure 21 Capacity shortage vs LCOE | 47 |
| Figure 22 State of charge of lead-acid battery with capacity shortage 5% | 48 |
| Figure 23 LCOE: Load scenario A (night only) | 49 |
| Figure 24 LCOE: Load scenario B | 49 |
| Figure 25 Comparison of tariffs and LCOE values | 50 |
| Figure 26 Mini-grid in Magway Region | 53 |
| Figure 27 Hierarchized barriers | 66 |
| Figure 28 Weights of factors of economic, technical and regulatory barriers | 67 |

| | |
|--|----|
| Table 1 DLS material requirements | 19 |
| Table 2 Interview details | 23 |
| Table 3 Interview ID of semi-structured interviews | 23 |
| Table 4 Coding framework | 24 |
| Table 5 Example of comments about DLS dimension | 30 |
| Table 6 Example of comments about power sources | 35 |
| Table 7 Assumptions for solar PVs and batteries | 42 |
| Table 8 Assumptions for diesel generators | 43 |
| Table 9 General assumptions for calculations | 43 |
| Table 10 Load assumptions for scenario A | 44 |
| Table 11 Load assumptions for scenario B | 44 |
| Table 12 Scenario types and their capacities | 47 |
| Table 13 Fundamental scale | 56 |
| Table 14 Random index (<i>R.I.</i>) | 56 |
| Table 15 Details of the questionnaire survey | 59 |

Abbreviation list

ADB: Asian Development Bank

ASEAN: Association of Southeast Asian Nations

AHP: Analytic Hierarchy Process

CAPEX: Capital expenditure

C.I.: Consistency Index

CSO: Civil Society Organization

DLS: Decent Living Standard

DRD: Department of Rural Development, Ministry of Agriculture Livestock and Irrigation

DVD: Digital Versatile Disc

EAOs: Ethnic Armed Organizations

GIZ: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

HDI: Human Development Index

IDP: Internally displaced person

IT: Information Technology

JETRO: Japan External Trade Organization

JICA: Japan International Cooperation Agency

JICS: Japan International Cooperation System

KNPP: Karenni National Progressive Party

KNU: Karen National Union

kWh: Kilowatt hour

kV: Kilovolt

LCOE: Levelized Cost of Electricity

LED: Light-emitting diode

MMK: Myanmar Kyat

MOEE: Ministry of Electricity and Energy

NCA: Nationwide Ceasefire Agreement

NDC: Nationally Determined Contributions

NEP: National Electrification Project

NGO: Non-Governmental Organization

NLD: National League for Democracy

NREL: National Renewable Energy Laboratory

PAYG: Pay as you go

R.I.: Random index

SDGs: Sustainable Development Goals

SHSs: Solar Home Systems

TDI: Township Development Index

TV: Television

USB: Universal Serial Bus

USD: United States Dollar

VEC: Village Electrification Committee

1. 序論

持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) の目標 7 において、「エネルギーをみんなに そしてクリーンに」と謳われているように (United Nations, 2015), エネルギーアクセスの改善はクリーンエネルギーによって解決すべきとして認知されており, 取組が世界で進んでいる. 電気エネルギーへのアクセスをもたない人々の数は, 世界で 2010 年の 12 億人から 2017 年の 8 億 4,000 万人にまで減少してきた(IEA, IRENA, UNSD, WB, & WHO, 2019).

近年, 電化の手段として, ソーラーランタン, ソーラーホームシステム (SHS), ミニグリッドといった分散型電源が注目を集めている. エネルギーアクセスの改善を, 各システム及びその供給可能容量から段階的に表したものが Figure 1 に示すエネルギーラダー (Acumen Fund, 2012) である. ソーラーランタンは, 伝統的な薪やろうそく, ケロシンランプと比較すると空気を汚すこともなく, より効率的である. 多くは照明だけでなく USB 差込口を持ち, 携帯電話の充電が可能である (Figure 2). SHS

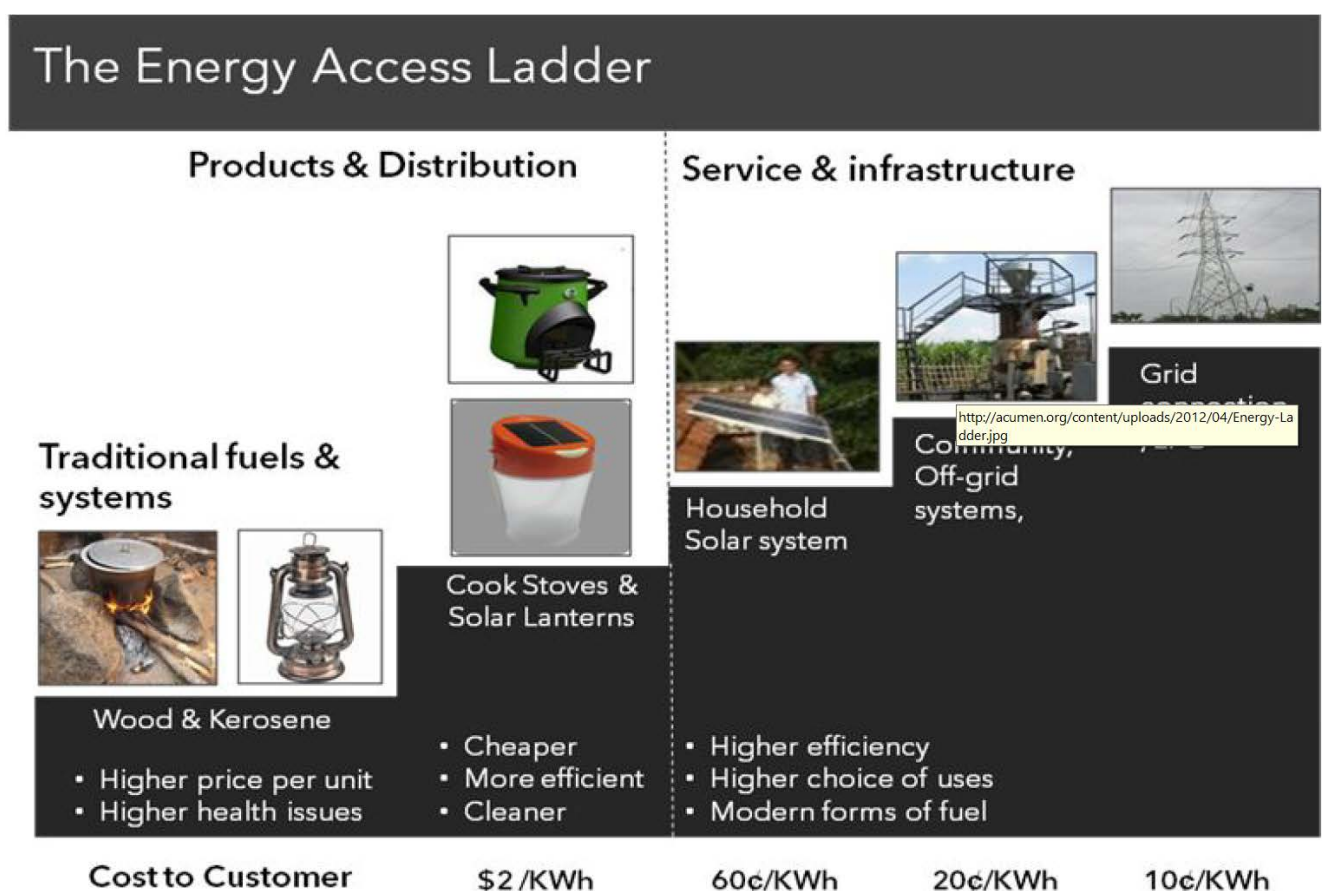


Figure 1 Energy ladder
(Acumen Fund, 2012)

は太陽光発電パネルを家屋の屋根や庭に設置し、世帯単位で電化するものである (Figure 3(a)). 中容量であれば照明, 携帯の充電に加え, ラジオ, 比較的大容量であれば TV や DVD プレイヤーも利用可能となる. このような独立型太陽光発電機器は導入が容易で工期も短い. また, 近年の価格下落も著しい. ソーラーランタンの価格は 2009 年の USD 45 から USD 10, TV とラジオがセットになった SHS の価格は 2009 年から 2017 年で USD 1,000 下落し, 約 USD 350 となっている (ESMAP, 2017).

ミニグリッド¹⁾ (Figure 3(b)) は, 世帯単位の独立型太陽光発電機器と大規模な基幹送電網との間に位置するものであり, 世帯単位の太陽光発電機器よりも比較的大型の需要に対応可能として, 世界的に注目を集めている (Schnitzer et al., 2014; BNEF, 2017a). 1 から数か村の需要に対応する小規模な発電所と家々を配電線で結び, 電力を供給する. 小規模ビジネスの産業需要にも供給可能となる規模であ



Figure 2 Solar lantern

At Microfinance Delta International office in Yangon, March 2018.

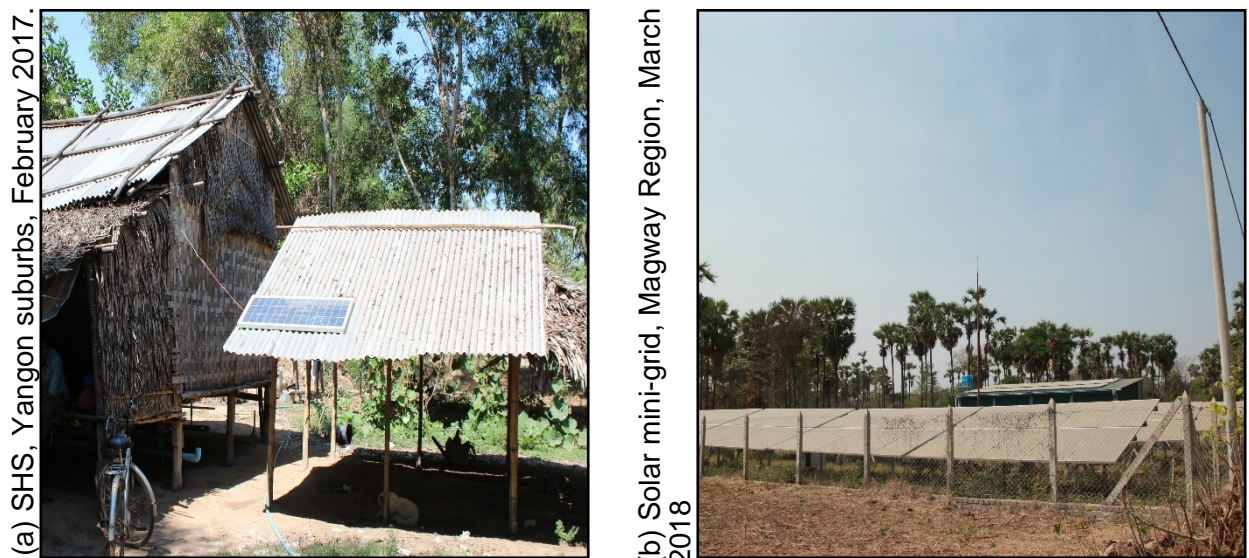


Figure 3 SHS and solar mini-grid

¹⁾ ミニグリッド, マイクログリッドと文献により用語は様々あるが, 本稿ではミニグリッドを統一して用いる.

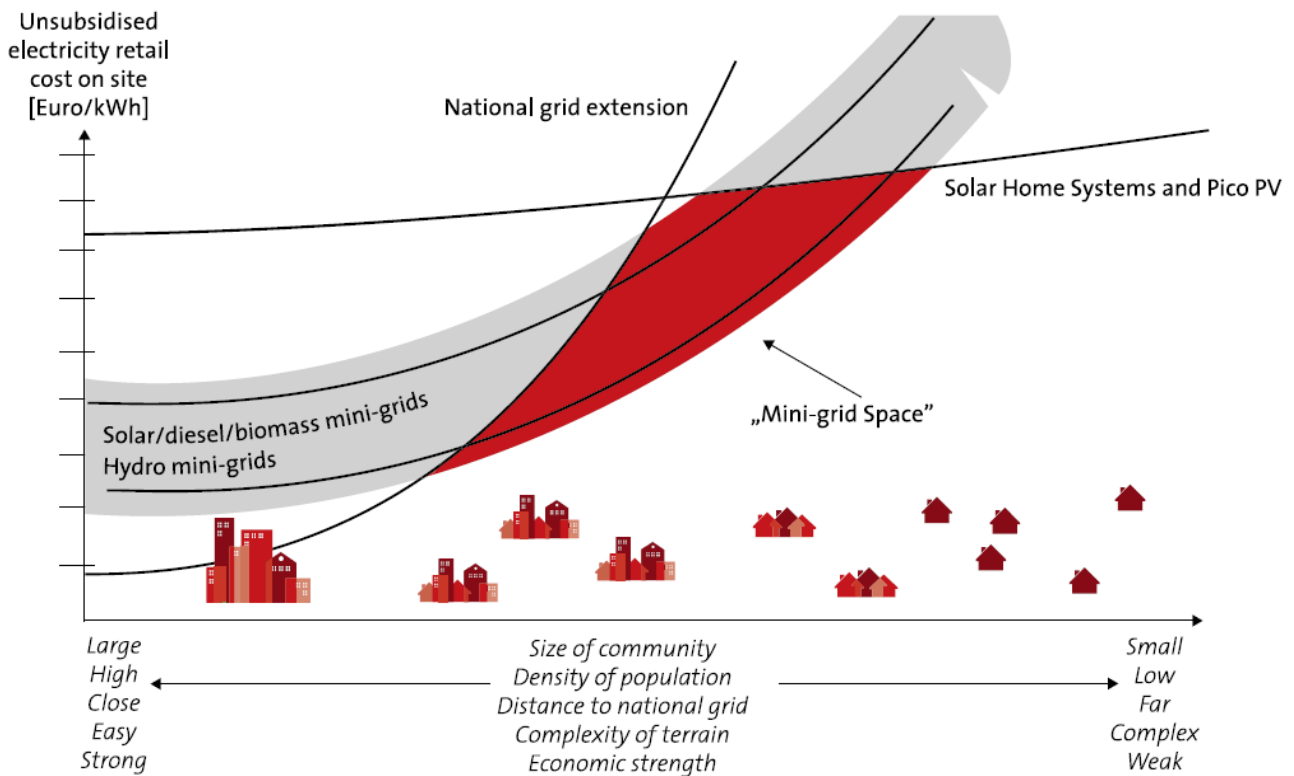


Figure 4 Illustrating the “mini-grid space”

(Franz et al., 2014)

ることが多い。配電線を敷設する必要があるため、ある程度家々が近接している場合に適している。Figure 4 はミニグリッド、SHS、基幹送電網延伸の各電力システムによる電力コストと人口密度・送電網からの距離・地形・コミュニティの経済力の関係を模式的に表している (Franz, Peterschmidt, Rohrer, & Kondev, 2014)。基幹送電網の延伸は人口密度が高いところでは電力コストが低いですが、人口密度の低下に伴い、配電コストが増大し、電力コストが高くなる。SHS 等の独立型太陽光発電機器は、世帯単位であるため、電力コストは比較的变化が少なく、人口密度が低い地域においては、輸送コストが高くなるため、わずかに上昇する。ミニグリッドは、人口密度が高いほうが配電コストは低くなり、電力コストは低いですが、発電コストは大規模発電所より高くなるため、都市部では基幹送電網延伸が適している。地方部になると、基幹送電網からの距離や人口密度により、基幹送電網延伸の配電コストが増大し、ミニグリッドのほうが電力コストが安くなってくる。一方、人口密度が大変低く、家々がまばらであれば、発電コストは高いが、配電コストが不要な SHS のほうが電力コストは安くなる。また、コミュニティに経済力があり、小規模ビジネスによる産業需要が期待できれば、ミニグリッドのほうが SHS よりも電力コストが安くなる。

こういった分散型電源は、基幹送電網の延伸と比較すると、導入が容易で工事期間も短く初期投資額も少ない。SDGs Target 7.1” by 2030 ensure universal access to affordable, reliable, and modern energy services” (SDSN, n.d.)で設定されている 2030 年まで時間が限られていることを考えると、エネルギーアクセスの改善には基幹送電網の延伸だけでなく、分散型電源の活用が必要不可欠である。International Renewable Energy Agency (2017) はアジアの途上国において、すべての人が電力へアクセスするための追加的な電源は、基幹送電網 37%に対して、独立型のミニグリッド 44%, SHS 19%となるとしている (IRENA, 2017b)。

エネルギーアクセスの研究においては、その未電化人口の多さゆえサブサハラアフリカやインドが注目されている。しかし、あまり注目されていない国々が困難なく電力へのユニバーサルアクセスを達成しているというわけではない。ミャンマーもそういった国のうちの一つであり、アジアの中では北朝鮮に次いで低い電化率となっている (World Bank, n.d.)。世界で獲得されているエネルギーアクセス研究の知見を、ミャンマーの状況に取り入れ、分析を加速させていくことが有効であると考え。

ミャンマーでは、2030 年までに電化率 100%という目標 (Electricity Supply Enterprise, 2019) を掲げ、政府発表による電化率は2016年の34% (Myanmar Energy Monitor, 2019) から2019年の50%超 (Thant, 2019) まで伸びている。ただ、この電化率は World Bank (n.d.) による 66.3% (2018) という数字と乖離が見られる。その理由は公表されていないが、Ministry of Planning and Finance Myanmar & World Bank (2017) の報告書から推測すると、ミャンマー政府は Figure 5 に示された source of electricity のうち、public grid 32.5%のみを電化率に算入し、World Bank は public grid, communal or private grid, solar home system の合計を電化率としているようである。その算出方法からみて政府は基幹送電網をより重要視していると推測できる。

しかし、供給能力不足により、都市部で停電が頻発している現状を考えると (del Barrio Alvarez & Sugiyama, 2020)、全国の基幹送電網に接続されていない残りの約半数の世帯を 2030 年までに全て接続することが最良の方法とは考えられない。基幹送電網の延伸は供給能力増強と合わせて慎重に進め

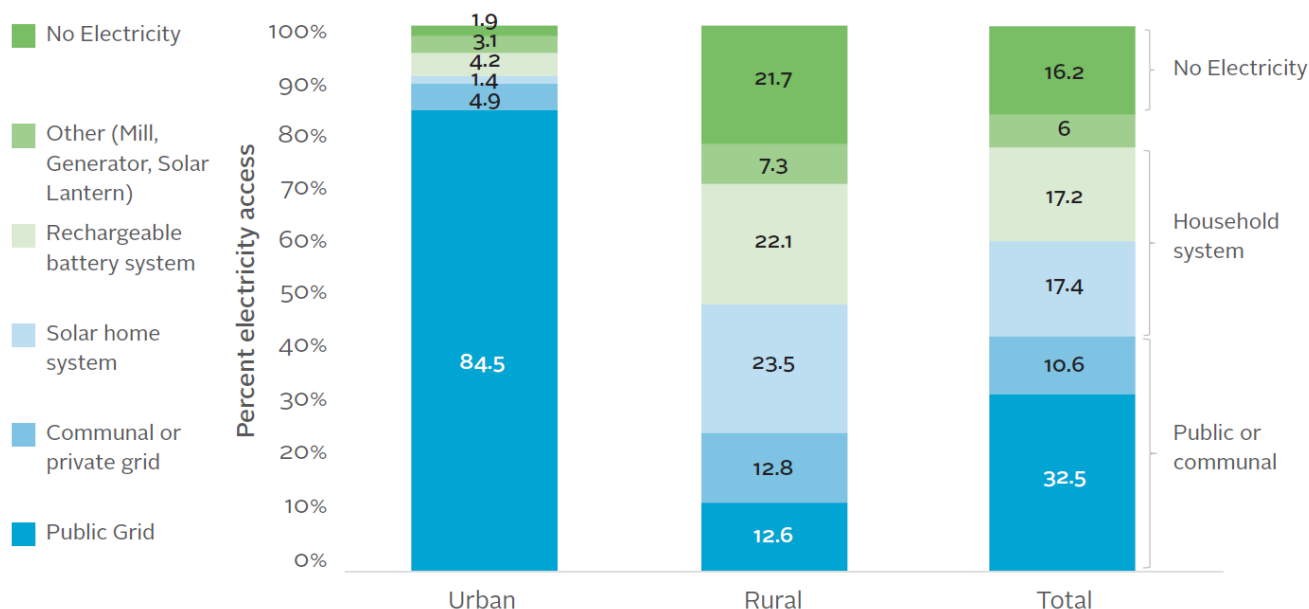


Figure 5 Source of electricity

(Ministry of Planning and Finance Myanmar & World Bank, 2017)

ていく必要があり、年 15-17%で増加すると予想されている電力需要も (Export.gov, 2019) 考慮する必要がある。

ミャンマーは豊富な再生可能エネルギー資源に恵まれており、現在は水力発電が最も大きな役割を果たしている。4つの主要河川、Ayeyawady, Chindwin, Thanlwin, Sittaung が流れ、そのポテンシャルはアジア全体の水力資源の 7.7%がミャンマーにあるほどであり (Export.gov, 2019)、大規模水力発電システムで 100GW、中小規模水力発電で 230 MW もある (ADB, 2016)。現在のミャンマーの電源構成も水力に頼ったものとなっており、発電電力量のうち、水力発電は 56%を占め、残り 42%がガス火力、唯一の石炭火力発電所が 2.3%となっている (Du Pont, 2019)。ただし、この水力発電への依存が、乾季に停電が頻発する一因である (del Barrio Alvarez & Sugiyama, 2020)。乾季に発電能力が低下し、キャパシティーファクターが低くなるため、Figure 6 が示すように、設置容量がピーク需要を凌駕しているにも関わらず停電が頻発するという状況となる (Du Pont, 2019)。そのため発電能力の増強は急務である。

電力エネルギー省 (Ministry of Electricity and Energy, MOEE) は新規水力発電ダムを開発を計画しているが、中国主導の Myitsone ダムが前 Thein Sein 政権下で中断が決定されたように、大規模ダム開発

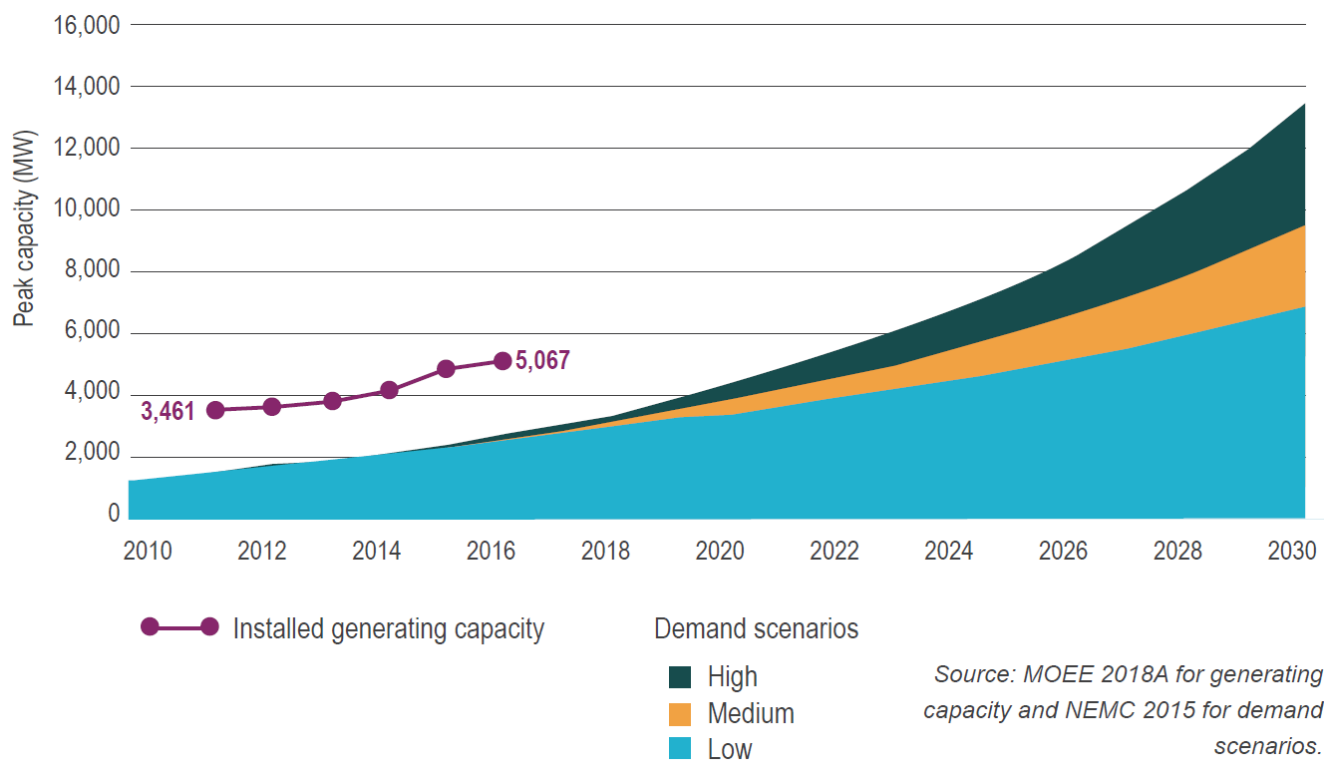


Figure 6 Demand forecast through 2030 and actual generating capacity

(Du Pont, 2019)

は反対運動の高まりによってより困難となってきた (International Finance Corporation, 2018). 特に少数民族地域、紛争被害地域においては、プロジェクトの透明性、ステイクホルダーの関与と適切なコンサルテーションがより求められるが、政府の限られた能力と資源で今後対応が改善されるかは疑問である (International Finance Corporation, 2018). 既存のダム 26 のうち 12, 計画されている 50 のうち 42 が紛争被害を受けてきた少数民族居住地域に位置しており (Burke, Williams, Barron, Jolliffe, & Carr, 2017), 計画通りにダム開発を進めるためには多大な努力が必要となると考えられる. MOEE は 4 つの大規模ガス火力発電所の計画も発表しているが、その実現可能性も疑問視されている (Du Pont, 2019). 建設が容易な大規模発電所はなく、発電能力増強が計画通りに進むかは留意する必要がある.

また、水力以外の再生可能エネルギー資源は、十分な活用が検討されているとは言えない. 太陽光発電の潜在的な容量は 27GW もあると評価されているにもかかわらず (ADB, 2015), 国際協力機構 (Japan International Cooperation Agency, JICA) の支援を受けて 2015 年に案として作成され (JICA, NEWJEC Inc., & The Kansai Electric Power, 2015), 2019 年にユニバーサルアクセス実現のシナリオとして選定された (Pyithu Hluttaw, 2019), National Electricity Master Plan の Power Resource Balance シナリオ

では、大規模水力を除く再生可能エネルギーのシェアは2030年に設置容量の9%と外生的に設定されているのみである。ミャンマーはパリ協定にも批准しており (UNFCCC, 2020), その国が決定する貢献 (Nationally Determined Contributions, NDC) の中で、「持続可能な開発ニーズに沿った緩和行動を実施する」と明言している (The Republic of the Union of Myanmar, 2015). 恵まれた再生可能エネルギー資源を大規模発電はもとより、オフグリッド電源としても活用すべきである。

供給能力不足に加え、基幹送電網延伸の投資効率についても考慮する必要がある。現在、都市部では85%が基幹送電網に接続しているが、人口の7割を占める地方部 (Department of Population Ministry of Immigration and Population, 2015c) においては、その割合は25%にとどまっている (Central Statistical Organization, UNDP, & World Bank, 2018). 人口密度の高い都市部やその近郊においては、電化のための基幹送電網の延伸にかかる世帯当たりの設備投資額は比較的低い。また地方部においても当初は人口密度が高い部分から電化が進むため、費用は比較的低く抑えられる。しかし、電化率が高まるにつれて追加的に必要な送配電線の長さが増大するため、その費用は上昇する。山岳・高原地帯の Shan 州 (Figure 7) や Chin 州と中央乾燥地帯の Magway 地域、デルタ地帯の Ayeyawady²⁾地域における、基幹送電網の普及率と世帯当たりの初期投資額を Figure 8 に示す。Shan 州と Chin 州では普及率が80%を超えると、世帯当たりのコストは USD1,200 以上になると試算されている (Sustainable Engineering Lab, 2014). 各州/地域全体の人口密度をみると、それぞれ Chin 州 13.3 people/km² (Department of Population Ministry of Immigration and Population, 2015a), Shan 州 37.4 people/km² (Department of Population Ministry of Immigration and Population, 2015b), Magway 地域 87.4 people/km² (Department of Population Ministry of Immigration and Population, 2015b), Ayeyawady 地域 176.5 people/km² (Department of Population Ministry of Immigration and Population, 2015a) となっており、人口密度がコスト増大の大きな要因となっていると考えられる。また別の報道によると、配電費用の内訳は、一つの村を基幹送電網に接続する際の中電圧ケーブルのコストが USD 20,000/mile³⁾, 変圧器が USD 10,000 以上、各世帯を変圧器まで接続する費用が USD 150–800 とされている (Langre, 2018). 一方、分散型電源の費用は、世界的にはソーラーラン

²⁾ Ayeyawady 州については英語での表記も出版物により違いがあるが、本稿では”The 2014 Myanmar Population and Housing Census: Ayeyawady Region”(Department of Population Ministry of Immigration and Population, 2015a)の表記に統一する。

³⁾ 1 mile = 1609.344 meter(e-Gov, 2019)



Figure 7 States and regions of Myanmar
(ANU College of Asia & the Pacific, 2012)

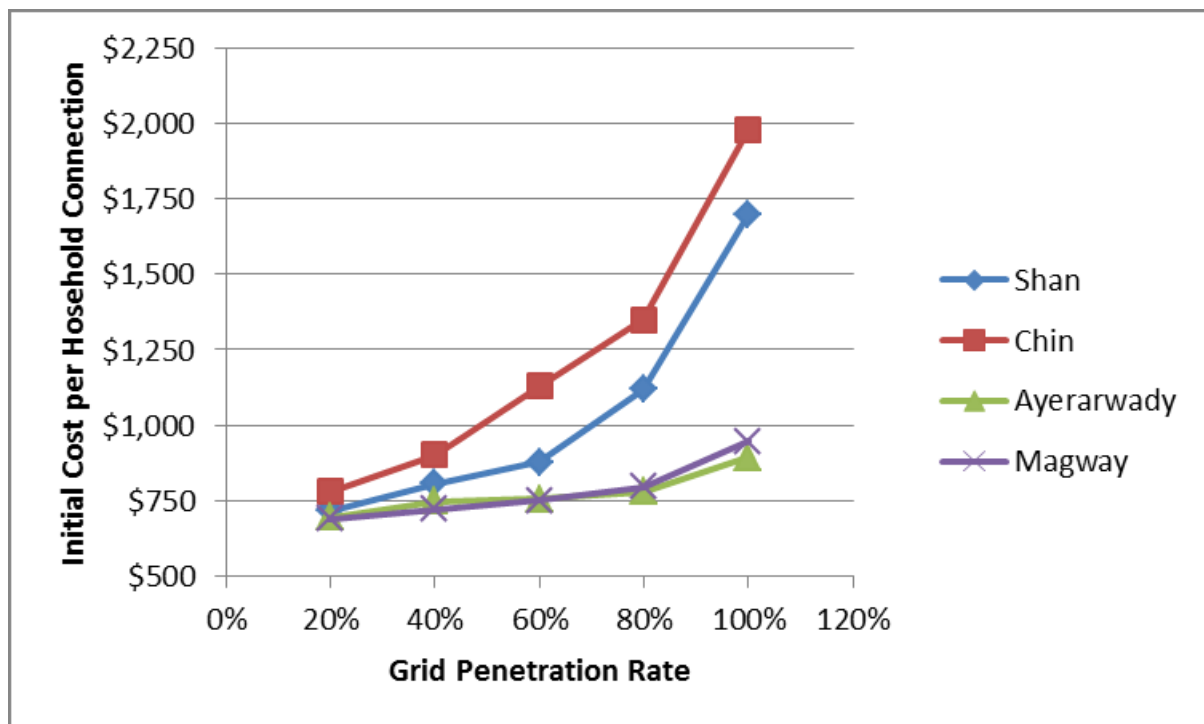


Figure 8 Initial costs per household connection with increasing penetration rate for four states / regions

(Sustainable Engineering Lab, 2014)

タンが USD 10, 小さい TV, ラジオ, 二つの LED 電球を備えた SHS の USD 350 という程度である (ESMAP, 2017). また, ミニグリッドは世帯需要が 2-12 kWh/month かつ送電網からの距離が 4 km 以上であれば, 基幹送電網より電化の費用が安いと試算されている (ESMAP, 2017). 限られた期間と予算を考えると, 当初から基幹送電網で全ての世帯をカバーするよりも, 分散型電源を活用するほうが効率的であると言える.

電力へのアクセスを改善する際には, 地域の状況に応じて, 適したシステムを選択することが重要である. 本稿では, ミャンマーの地方部において, どういったシステムが適しているか経済的, 社会的観点から分析し, 分散型電源の電化手段としての有効性を示した.

まず 2 章ではミャンマーの紛争被害地域において, 適切な生活水準を実現するためのニーズについて注目し, SHS 等独立型太陽光発電機器の有効性について考察した. ミャンマーは独立以降 70 年にもわたる紛争を国内に抱え, いまだ和平は成し遂げられていない. 少数民族武装勢力 (Ethnic Armed Organization, EAO) の数は 20 にものぼり, その半数と Nationwide Ceasefire Agreement (NCA) が結ばれて以降も, 紛争被害地域の多くは依然として不安定である (Jolliffe, 2014). このような地域を含めて

持続可能な開発を行っていくためには、地域のニーズに沿って考える必要がある。同時に、こういった地域での新規プロジェクト導入の際は、地域の状況を悪化させないよう慎重に取り組まれるべきである。本稿ではステイクホルダーインタビューの結果について、Decent living standard (DLS) (Rao & Min, 2018) の枠組を用いて質的データ分析を行い、地域の発展に重要と考えられる分野を明らかにした。結果より、地域において、教育や保健医療といった分野と並び、情報コミュニケーション分野が重要視されており、その物的要件である携帯電話の必要性が高まっていることが分かった。それに伴い、携帯電話を充電するための電力に対するニーズも高まってきているといえる。また、電力供給の手段についても、前述の通り、地域の緊張に配慮して検討されなければならない。大規模発電所と基幹送電網によるオングリッドの電力システム ミニグリッド、SHS 等のオフグリッドの分散型電源について、インタビューデータより、その懸念点と有効性について分析し、議論をまとめた。

第3章では、ミニグリッドの電源について太陽光発電と旧来のディーゼル発電の経済性比較を行った。ミャンマーでは、既存のミニグリッドの電源としてディーゼル発電機が多く使われているが、気候変動への影響を考えると、再生可能エネルギーの普及が望まれる。近年、世界的に太陽光発電機器の価格下落は急速に進み、ミャンマーも豊富な太陽光資源を持つ。未電化地域での太陽光発電の活用にはバックアップ電源が不可欠となるが、バックアップ電源まで含めた経済性評価はこれまで十分に行われていなかった。本稿では、ミニグリッドの開発事業者へのインタビュー及び質問票調査、フィールドワークによりミャンマーの太陽光発電機器とバッテリーの価格データを集め、それを基に太陽光発電を電源とするミニグリッドの均等化発電原価 (Levelized Cost of Electricity, LCOE) を計算し、ディーゼル電源のミニグリッドの LCOE と比較した。その結果、地方部において、太陽光発電を電源とするミニグリッドは既存のディーゼル電源ミニグリッドに対してコスト競争力があることが分かった。

しかし、太陽光電源のミニグリッドは急速に普及しているとは言えない。そのため、第4章では、再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの普及を妨げる障壁を分析した。まず、広範な文献調査及びステイクホルダーへのインタビューを元に、ミニグリッド普及に対する障壁の分類を作成した。そして、より効果的な障壁克服のため、各障壁要因の優先順位付けを行うこととした。Analytic Hierarchy Process (AHP)を用いてステイクホルダーへの質問票調査を実施し、カテゴリごとの障壁要

因の優先順位を計算した。回答者間で意見が割れた場合は、意見が平均化され、意味をなさなくなることを防ぐために、K-means 法を用いてクラスタリングし、クラスタごとの意見を分析した。

第 5 章では各章の分析をまとめ、結論を述べる。

2. 紛争被害地域における分散型太陽光電源の可能性

2.1. まえがき

ミャンマーは 70 年にも及ぶ民族紛争の歴史を抱えており、いまだ解決されていない。ミャンマーの紛争の種は第二次大戦前のイギリス植民地時代にまでさかのぼる。紛争は歴史的背景と近隣諸国の思惑とが絡み合い、より複雑になって長期化している。さらに、水力発電資源やチーク、翡翠などの豊富な天然資源の少数民族居住地域への偏在は、紛争をさらに助長する結果となってきた。2018 年までに全体の約半数にあたる 10 の少数民族武装勢力 (Ethnic Armed Organization, EAO) とミャンマー国軍の間で Nationwide Ceasefire Agreement (NCA) が結ばれて以降も戦闘の数は減少しておらず (Bynum, 2019), いまだ状況は大変不安定である。

”誰一人取り残さない”と持続可能な開発目標にも誓われている通り (外務省, n.d.), 紛争の影響を受けた少数民族地域を発展から取り残さないことは重要である。ただ、大規模な開発プロジェクトはこうした地域において、平和に貢献もするが、紛争悪化もさせうることはかねてから指摘されてきた (Burke et al., 2017)。

ミャンマー政府は大規模開発による経済発展が平和につながるとし、大規模プロジェクトによる経済開発を進めようとしている (Christophersen & Stave, 2018)。Figure 9 は近年戦闘地域の中心となっている Rakhine 州における日本とミャンマーの共同開催による投資フェアの様様である。しかし、経済成長と平和の双方を同時に達成することは大変難しく、経済開発による紛争への影響はよくてプラスマイナスゼロ、潜在的には負の影響があると指摘されている (Miklian, 2019)。

では具体的にこういった分野のプロジェクトが、紛争を悪化させることなく地域の発展に資するのだろうか。本章では、主にミャンマーの南東に位置する Kayin 州 (Figure 10) に注目して調査を行った。Kayin 州は、地域の有力な EAO である Karen National Union (KNU) が NCA に 2015 年に署名している。その後、近年は政府の支配地域である州都 Hpa-an に事前の許可なしで外国人が滞在することまでできるようになっている。しかし地方部の紛争被害地域の住民の生活基盤は依然として極めて脆弱



Figure 9 Rakhine State Investment Fair 2019

The Rakhine State Investment Fair 2019 was jointly organized by Rakhine State Government, Myanmar Investment Commission, JICA, Japan External Trade Organization (JETRO). (Invest Myanmar 2019, 2019)



Figure 10 Map of Kayin (Karen) State

(Radio Free Asia, 2012)

であり、先行研究では保健、教育、生計、食料などで広範なニーズがあるとされている (Jolliffe, 2014). このような背景より、Kayin 州が本章の研究上の問いに取り組むためのケーススタディとして適していると考えられる。本章ではまず、分析の枠組として Decent Living Standard (DLS) (Rao & Min, 2018) を用い、地域の発展に重要と考えられる分野、既存のプロジェクトの好例や失敗例、問題点等について、ステイクホルダーへのインタビューを通じて明らかにした。その結果、保健医療や教育といった分野と並び、情報コミュニケーション手段として携帯電話へのニーズが大変強いことが分かった。携帯電話の利用にはテレコムインフラのみならず、電気も必要である。

ミャンマーではいまだ 13.5%の世帯が電力へのアクセスが全くなく⁴⁾、なんらかの電気へのアクセスはあるが、携帯電話充電等はできない層まで含めると 30%にのぼる (Koo, Yoo, Keller, Rysankova, & Portale, 2019). こうした世帯に対しては太陽光発電機器による容量の限られた電力供給であっても有効と考えられる。

これまでのミャンマーのエネルギー分野におけるオフグリッドの分散型電源についての分析は技術面、コスト面を中心とした経済的評価が多く、社会的な分析、特に紛争への影響の観点は不足していた。または大規模ダム開発による社会的分析はあったが、分散型電源から大規模電源まで含めて議論したものはなかった。そこで本章では、分析の前半でも利用した DLS のスケールに加えて、エネルギー正義 (Jenkins, Mccauley, Heffron, Stephan, & Rehner, 2016) の枠組も補完的に用い、紛争被害地域の電化に関しての利点、問題点を分析した。

本章では、まず、ミャンマーの和平プロセス、また電化の現状に関する文献調査の結果をまとめる。続いて、DLS とエネルギー正義の 2 つの分析の枠組について説明する。次にインタビュー調査、データのコーディングの方法論について説明する。そして得られたインタビューデータを分析し、紛争被害地域のニーズを DLS の各側面及びスケールに分類して示す。結果より、DLS 側面の中では、情報アクセスのニーズが大変強く、紛争を悪化させる懸念も小さいことが分かった。しかし各世帯の情報アクセスといった観点からの支援は進んでいない。情報アクセス改善のためには電化が不可欠である。

⁴⁾ 乾電池を利用している世帯は電気へのアクセスがない世帯に分類されている (Koo et al., 2019).

後半では、世帯の電化を実現する各電力システムについての利点、問題点について、エネルギー正義の枠組を用いてインタビューデータを分析した結果を示す。最後に、本章の結論を述べる。

2.2. ミャンマーにおける紛争

ミャンマーでは人口の約 2/3 をビルマ族、残りを少数民族が占め、政府が公式に認める民族グループが 135 という多様性を誇る (Central Intelligence Agency, 2019)⁵⁾。ミャンマーの行政区は、7つの州と7つの地域、および自治区で構成されている。7つの地域の人口の多くはビルマ族が占めている。7つの州は、Chin, Kachin, Kayin, Kayah, Mon, Rakhine, Shan と、それぞれの州で多くを占める民族の名前が付けられている。ただし、民族の分布はモザイク状になっており、州・地域の境界線と一致するわけでも、各州・地域が単一民族で構成されているわけでもない。例えば、Bago 地域には、Karen⁶⁾ (Kayin) 族が一定数居住しており、担当大臣 (Minister of Ethnic Affairs, Karen) が地域政府におかれている (Batcheler, 2018)。また、2014 年に実施された Census では民族について調査はなされたものの、データは公開されておらず (Tun, 2017; Aung, 2018)、民族ごとの詳細な人口は不明である。加えて、2014 年に行われた Census は人口自体について推定値を含んでいる。総人口は 51,419,420 人と発表されているが、そのうち調査されたのが 50,213,067 人、推定値が 1,206,353 人であり (Myanmar Ministry of Immigration and Population Department of Population, 2014)、100 万人以上が推定となっている。推定値の内訳は Rakhine 州の 109 万人 (州の人口約 34%)、残りは Kachin 州と Kayin 州となっており (Burke et al., 2017)、いずれも少数民族が多数を占める州である。EAO の支配地域は black area、政府の支配地域は white area、mix-control area は brown (gray) area としばしば呼称されている (Jolliffe, 2014)。EAO の行政区分は政府の区分とは異なるため、black area の村は政府の地図にはのっていないこともあり (Saferworld & Karen Peace Support Network, 2019)、ミャンマーにおける正確なデータの取得をより困難にしている。こういったミャンマーの民族多様性は国内の紛争にも大きな影響を及ぼしてきた。

EAO の数は、増減はありながらも約 20 にも上る (Myanmar Peace Monitor, 2016)。その支配地域も入

⁵⁾ ロヒンギャは、政府が認めた 135 の民族リストには含まれていない。ロヒンギャについての議論は広範かつ複雑であるため、本稿では取り扱わない。

⁶⁾ ビルマ語、カレン語による表記の違いではあるが、民族の表記については Karen を用いるほうが多いようである。

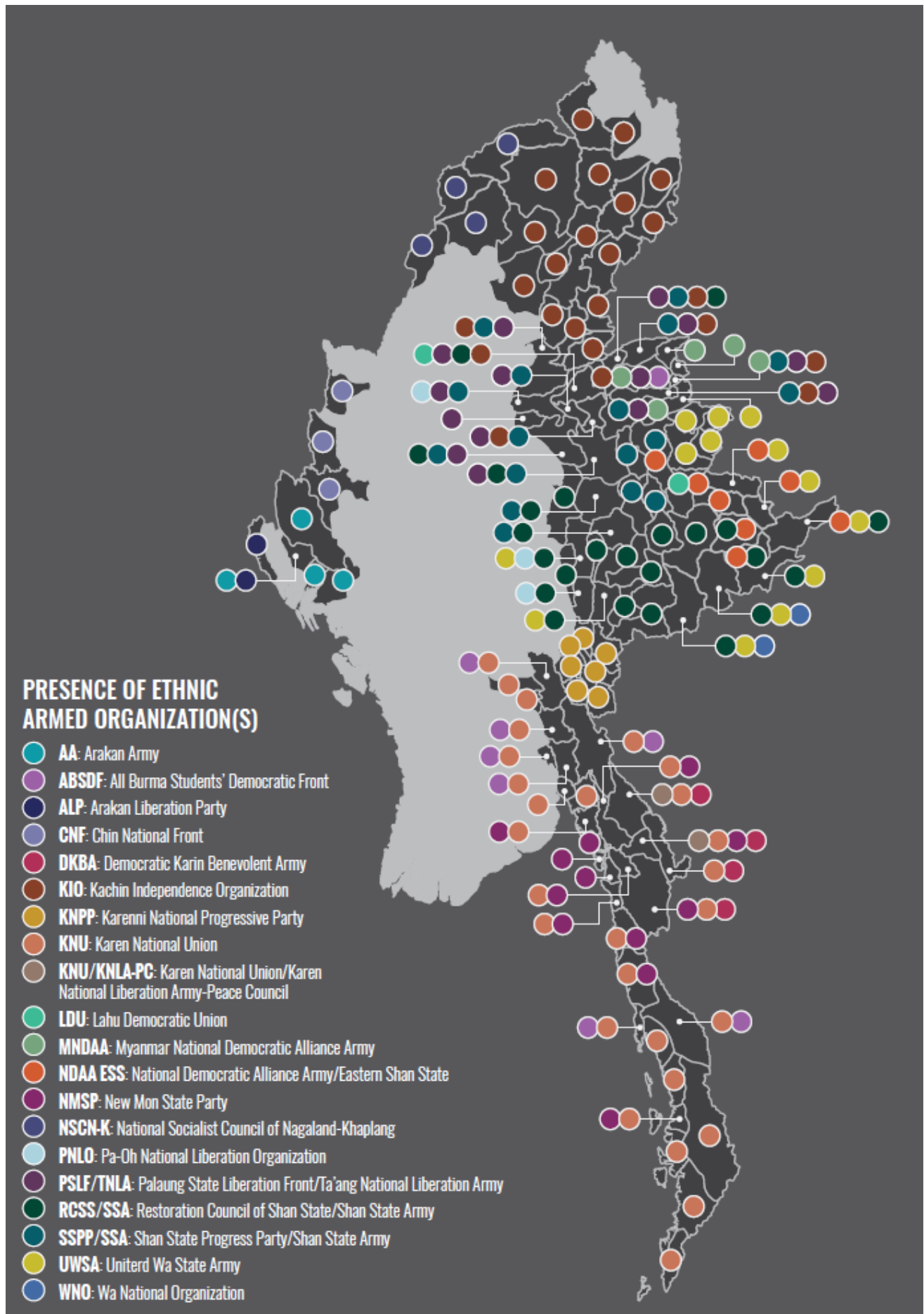


Figure 11 Ethnic Armed Organizations and their controlled area
(Burke et al., 2017)

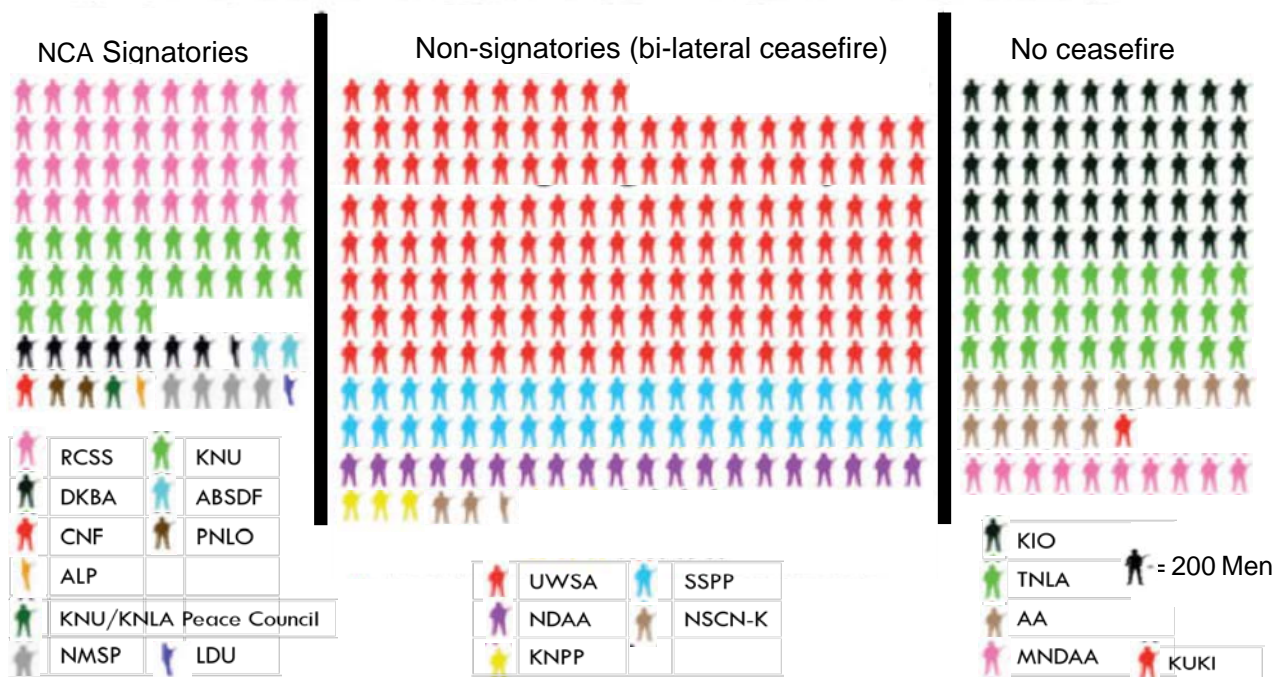


Figure 12 NCA and EAOs: participation status

Updated by the author based on (Burma News International, 2017; Myanmar Peace Monitor, 2016)

り組んでいる (Figure 11). 民族、宗教のみで EAO が分かれるわけではないが、民族が一つの構成要因であることは間違いない。Figure 12 に示すように、その規模や組織の水準、出自、政府との距離まで様々である (Burma News International, 2017; Myanmar Peace Monitor, 2016). 有力な EAO は、教育、保健などの部門を組織し、支配地域に教育や保健といった社会サービスを直接提供、もしくはローカルな Civil Society Organizations (CSOs) と協力して提供してきた (Christophersen & Stave, 2018).

2015 年 10 月に 8, 2018 年 2 月に 2, 合計 10 の EAO が NCA に署名した (Myanmar President Office, 2018). しかし Figure 12 に示すように、NCA に署名した EAO には規模が小さいものが多い。署名した EAO の中でも最も有力な KNU が主に支配する地域が本章で注目するミャンマー南東部に位置する Kayin 州である。ミャンマー南東部は 2006 年頃には戦闘の中心となり多くの国内避難民 (Internally Displaced Persons, IDPs) が発生していたが (Burke et al., 2017), その後戦闘地域の中心は 2010 年代後半に北部へ、そして近年西部へと移動してきた (ACLED, 2020). しかしいまだ Kayin 州においても散発的な戦闘はあり (Downing, 2016; Karen Human Rights Group, THWEE Community Development Network, & Karen Environmental and Social Action Network, 2016), 残念ながら NCA 署名後であっても、現状 Kayin 州を紛争終結地域と考えることは難しい (Saferworld & Karen Peace Support Network, 2019). 住民から

は、NCA 署名以降、賄賂を払うことなしに移動が可能となった等、好意的な意見もあるが、紛争被害地域の住民は依然として極めて脆弱で不安定な状況におかれており、保健、教育、生計、食料などでいまだ広範なニーズがある (Jolliffe, 2014).

国際的な指標をみると、ミャンマーは国全体では Human Development Index (HDI) が 0.584 と評価されており、世界では 145 位、ASEAN の中ではカンボジアに次いで低い (United Nations Development Programme, 2019). ただ、ミャンマーにおいて都市部と地方部の格差は大きく、地方部においてはより貧困が深刻である。貧困世帯は都市部においては 11%だが、地方部においては 30%にもなる (Central Statistical Organization Myanmar, UNDP, & World Bank, 2019).

紛争の影響を受けた地域は平均して、より開発が遅れている。ミャンマー国内では全体の約 1/3, 330 もの township が紛争の影響を受けてきた (Burke et al., 2017). Township Development Index (TDI)によると、紛争被害地域は平均して影響を受けていない地域よりも値が低い (Burke et al., 2017). ただし、紛争被害地域の全てが影響を受けていない地域よりも発展していないわけではない。有力な EAO は支配地域においては公共サービスの提供も行っており (Jolliffe, 2014), Kachin 州の EAO が提供する教育システムは高度で、TDI で最も発展しているとされた township は EAO の影響が強い地域であった (Burke et al., 2017). 地域ごとの実情に応じた支援が必要である。

加えて、支援プロジェクトの導入においては、地域の状況を悪化させないことが大変重要である。Burke et al. (2017)は、その重要性を説き、地元の人々の生活水準を向上させる地道な介入が、特に有用であり、小規模なコミュニティ主導型のプロジェクトのほうが、物議を醸すことが少ないと結論付けている。人々の生活を向上させるためのさまざまな分野の中で、より重要視されており、かつ紛争を悪化させづらい分野を検討することは、迅速で効果的な支援につながるものと期待される。

2.3. 分析の枠組

2.3.1. Decent Living Standard (DLS)

著者らは DLS を分析の際の理論的枠組として用いた。DLS は、基本的な人間の幸福を達成するための、普遍かつ本質的な物質的要件を定めたものである (Rao & Min, 2018). DLS は HDI (United Nations

Development Programme, 2019)や Multidimensional Poverty Index (Alkire & Santos, 2014)に代表されるさまざまな開発指標の流れと一致しており、伝統的な貧困の側面である栄養、健康、教育以上の生活水準条件を定義しようとしている。これらの指標が人間の幸福を達成するための要件の特定というよりも、その結果の測定に注力しているのに対し、DLS はそれらの達成のための物質的要件を示している。SDG 11 "sustainable cities and communities" (United Nations, n.d.)と DLS の safe shelter のように、一部 SDGs と関連がある項目もある (Rao & Min, 2018). DLS は各側面 (dimension) について、世帯、集合的なコミュニティ、社会の 3 つのスケールに分類している (Rao & Min, 2018; Rao, 2017) (Table 1). また、DLS は貧困撲滅のために必要となるエネルギー量の算出に用いられており、インド、ブラジル、南アフリカにおける、DLS を満たすための最低限のエネルギー量の推定もなされている (Rao, Min, & Mastrucci, 2019).

紛争被害地域のニーズや発展について議論するためには、インタビューで挙げられうるさまざまな項目を包含する DLS が適している。また、DLS は必要最低限の物的要件にしばられているため、発展途上国の状況により合致している。

Table 1 DLS material requirements

| DLS dimensions | Household | Community | Society |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Nutrition | Food Cold storage | | |
| Safe shelter | Durable housing | | |
| Space | Minimum floor space | | |
| Thermal comfort | Fan | | Electricity infrastructure |
| Lighting | Light | | |
| Hygiene | Toilets Drinking water Sanitation | | Water and sanitation infrastructure |
| Air quality | Clean cooking stove/fuels | | |
| Clothing | Clothing materials | Washing machine | |
| Health care | | Health care facilities | Minimum health expenditure per capita |
| Education | | Primary and secondary schooling | Education expenditure |
| Information/ Communication | Phone Access to media (TV/radio) | | ICT infrastructure |
| Mobility | Vehicle | Motorized transport | Road infrastructure Public transport infrastructure |

Note: Edited by the author based on references (Rao et al., 2019; Mccollum et al., 2018; Rao, 2017).

2.3.2. Energy justice (エネルギー正義)

ミャンマーの紛争被害地域について議論する上で、倫理的な観点は避けては通れない。しかし、前述の通り、DLS は物的要件に焦点を当てて設定されている。そこで本章では、特にエネルギーにおける不公平を考察するため、エネルギー正義を補完的に用いた。

エネルギー正義は、エネルギー分野における不公平を研究するために広く使われている枠組である (Jenkins et al., 2016; Sovacool & Dworkin, 2015; 奥島, 2017)。その中核は、分配的正義 (distributional justice)、認識としての正義 (justice as a recognition)、手続的正義 (procedural justice) の3つである。分配的正義は、受益と負担が公正に分配されているかどうかという視点に焦点を当てている。これは、例えば、資源や公害の分配である。認識としての正義は、意思決定プロセスの中で誰が黙殺されているかという点に焦点を当てる。手続的正義は、意思決定がどのように行われるか、意思決定に誰が参加するか、適切な情報や補償がコミュニティに提供されているかどうかに注目する。

大規模水力発電ダムはエネルギー正義の課題として適している。カンボジア、マレーシア、ガーナ、ナイジェリアの大規模ダム建設をめぐる意思決定プロセスや (Siciliano, Urban, Tan-Mullins, & Mohan, 2018)、ダム建設により生じた国内避難民 (IDP) についての手続的正義の侵害の観点からの分析 (Siciliano, Bene, Scheidel, Liu, & Urban, 2019) 等、いくつかの先行研究がある。ミャンマーは豊富な水力資源に恵まれ (ADB, 2016)、その発電量の 56% を水力発電に頼っている (Du Pont, 2019)。ミャンマーのダムに関しては、エネルギー正義の枠組ではないものの、ミャンマー、ラオス、カンボジアに立地する中国主導のダムを社会的正義の観点から分析したもの (Kirchherr, Matthews, Charles, & Walton, 2017)、ミャンマーを含む the global South のダムについて environmental justice の観点から分析したものが、ダム建設により "exacerbate tensions" とされている (Siciliano et al., 2019)。ミャンマーにおいて、既存のダム 26 のうち 12、計画中のダムに至っては 50 のうち 42 が少数民族地域に位置しているが、ダム付近の住民には電気が供給されることは近年までなかった (Burke et al., 2017)。そのため、紛争の歴史においては、ダムは少数民族地域からビルマ族が多く住む都市部への資源の搾取の象徴、大規模開発の悪しき前例となってしまった (Burke et al., 2017)。そのほか、ミャンマーにおけるエネルギ

一正義については、配分的正義の一側面であるエネルギー貧困に関する Sovacool (2013)のレビューが詳しく、課題として、貧困、優先課題への取組不足、資金不足、政策の断片化を挙げている。しかし、ミャンマーのエネルギー貧困の分析において少数民族問題を考慮した研究はほとんどなかったため、当該レビューでも、この点にはほとんど触れられていない。

紛争被害地域の電力となると、ダム開発の問題が前面にでてきてしまうが、エネルギー正義の枠組を用いて問題点を整理し、その他の電力システムの可能性について検討することが必要である。

2.4. 手法

2.4.1. インタビュー調査

著者らは、まず、地元の住民のニーズが強く、かつ紛争を悪化させることのない分野を明らかにするため、インタビュー調査を行った。地域の発展のために重要と考えられる分野、また既存の援助プロジェクトの好例や悪例、問題点について、幅広く和平プロセスに関わるステイクホルダーの意見を集めた。Kayin 州の村落の住民へのインタビュー調査は政府の許可が必要となり、実施が困難であるため、Karen (Kayin)族への支援団体への調査を中心に行った。また、現在紛争を抱えていない少数民族からの意見も参考とするため、Shan 州、Kayah 州で少数民族の住民へインタビューを行った⁷⁾。

その結果、地方部においても情報コミュニケーション及び、その手段として携帯電話の重要性が大変強いことが分かった。しかし、携帯電話を利用するためには電力が必要不可欠であるが、地方部では十分にアクセスできない。そのため、続いて紛争被害地域の電化を進める上での、各供給手段の利点や問題点を、インタビューデータより分析した。

インタビューは、和平プロセスや地方電化に関連するステイクホルダーに対して、2018 年 9 月から 2019 年 3 月の期間に、ミャンマーの最大都市 Yangon、首都 Nay Pyi Taw、Kayin 州、Kayah 州、Shan 州、東京、また Skype を通じて、実施した (Figure 13)。主として半構造化インタビューを行ったが、和平

⁷⁾Shan 州においても複数の EAO が NCA に参加しておらず、Kayah 州においても Karenni National Progressive Party (KNPP)が NCA に参加していないが、インタビューは現在非戦闘地域となっている街の住民や過去にも政府と敵対していない民族の住民に行った。

プロセスに関連する質問を含むというインタビュー内容の繊細な性質上、インタビュー対象者から同意が得られなかった場合、または非構造化インタビューのほうが適切と考えられた場合にはそちらを用いた。Table 2 にインタビューの回数と人数を示す。データ分析には半構造化インタビューデータのみを用いた。インタビューデータには、インタビュー対象者の属性に応じて、ミャンマー政府関係者 (GM-), 非政府組織 (NGO) 所属のミャンマー国籍保有者 (NGM-), NGO 所属の外国人 (NGF-), 国際機関 (IO-), 研究者 (AC-)といったコードを付与した(Table 3)。

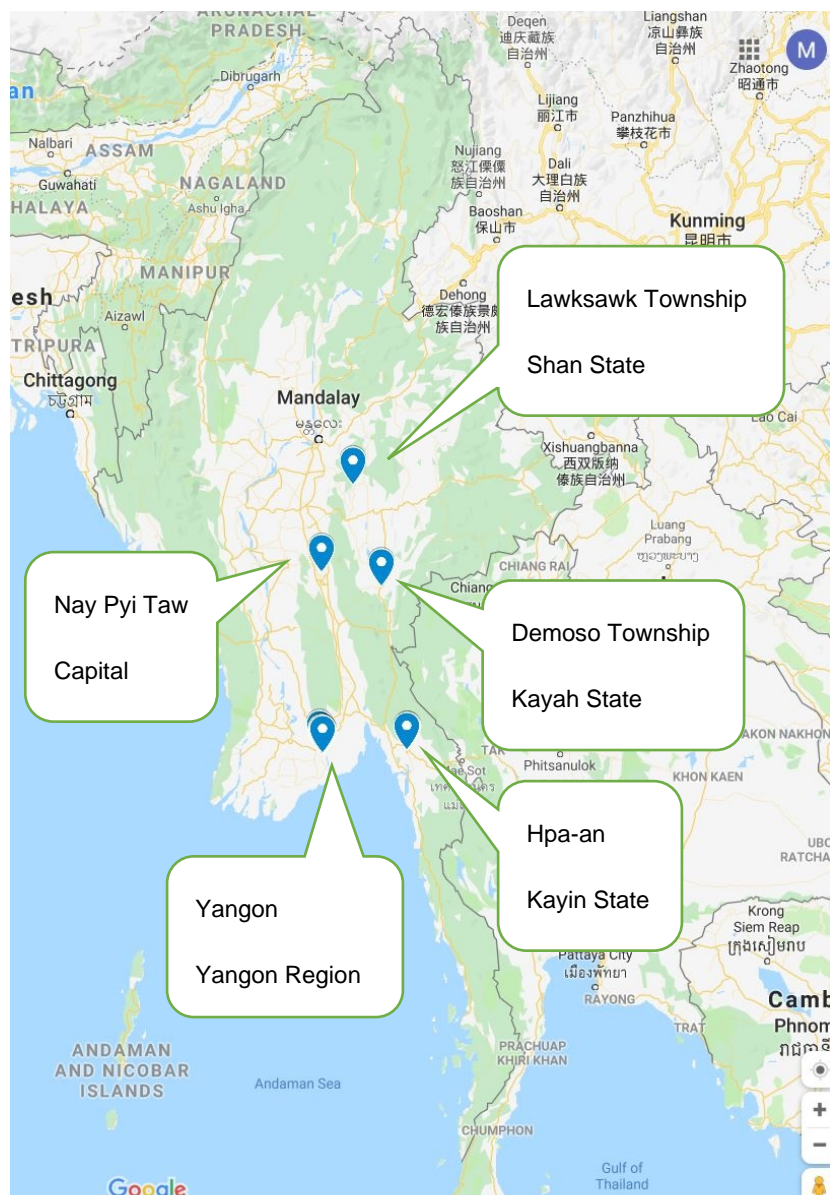


Figure 13 Locations of interviews
(Google, n.d.)

Table 2 Interview details

| | Number of interviews | | Number of people met |
|------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------|
| | Semi-structured interview | Open interview | |
| Myanmar government officials | 1 | 1 | 3 |
| Foreign government officials | | 2 | 3 |
| NGO (Myanmar nationals) | 10 | 1 | 11 |
| NGO (Foreign nationals) | 3 | 9 | 18 |
| International organization | 1 | | 1 |
| Researcher | 2 | | 2 |
| Village committee member | | 1 | 6 |
| Total | 17 | 13 | 43 |

Note: only semi-structure interviews were thematically coded.

Table 3 Interview ID of semi-structured interviews

| | Interview ID |
|------------------------------|--------------|
| Myanmar government officials | GM-1 |
| NGO (Myanmar nationals) | NGM-1~10 |
| NGO (Foreign nationals) | NGF-1~3 |
| International organization | IO-1 |
| Researcher | AC-1,2 |

2.4.2. コーディング手順

著者らは、インタビューの逐語録を反復的に読み、コーディングのフレームワークを構築した。Table 4 にコードの内容を示す。

最初に、紛争被害地域の発展に重要と考えられる分野を明らかにするため、インタビューの逐語録の内容を、DLS の各側面、スケールを元に分類し、インタビュー対象者がその部分についてどのように述べているかによってもコード化した。各側面について、重要である、必要とされている、役に立つ、村人に喜ばれている、なくて困っている、といった文脈で語られていれば ”positive and necessary”，問題点を挙げていれば ”negative”，聞いたことがある、プロジェクトがある、といった態度を含まない語りは ”other” とした。まず、文献調査を元に演繹的にコードを設定し、次に、逐語録を読み、帰納的にコードを追加するという反復的な作業を行った。回答者の態度のコードを数える際、”positive and necessary”，”negative” は二者択一ではなく、同じ回答者が、その側面について両方述べていればどちらにも含んでいる。ただし、”other” については、”positive and necessary” にも ”negative” にも同一イン

タビュー内に該当する語りが無い場合のみ数えた。

電化手段については、電力システムの種類によって society/community/household スケールに分け、まず語りの内容によって positive and necessary/negative/other をコーディングした。Negative なコメントについては、内容が多岐にわたっていたため、エネルギー正義の枠組等を用いてさらにコーディングした。

半構造化インタビューで得られたスクリプトデータについてソフトウェア R の RQDA パッケージを用いてコーディングを行い、定性的な分析を行った。

Table 4 Coding framework

| | | |
|--|----------------|---|
| Needs in conflict affected area identified for its development | DLS dimensions | Education Health care Information and communication Mobility Nutrition Safe shelter Hygiene and water Lighting Thermal comfort Air quality |
| | DLS scale | Household/Community/Society |
| | Viewpoint | Positive and necessary/Negative/Other |
| Source of electricity | Energy justice | Distributional justice/Procedural justice |
| | Scale | Household: off-grid solar products (solar lanterns, SHSs) Community: mini-grids Society: national grid, large scale power plants |
| | Viewpoint | Positive/Negative/Other |

2.5. 結果

2.5.1. 紛争被害地域における DLS 各側面に対するニーズ

Figure 14 に DLS 各側面 (dimension) について述べたインタビュー対象者の比率を示す。インタビュー対象者全員がその側面についてふれていれば、100%となり、値が大きいほど、より多くのインタビュー対象者に述べられたということである。教育、情報コミュニケーション、保健医療、移動性の各側面の割合が高く、注目度が高いことが分かった。

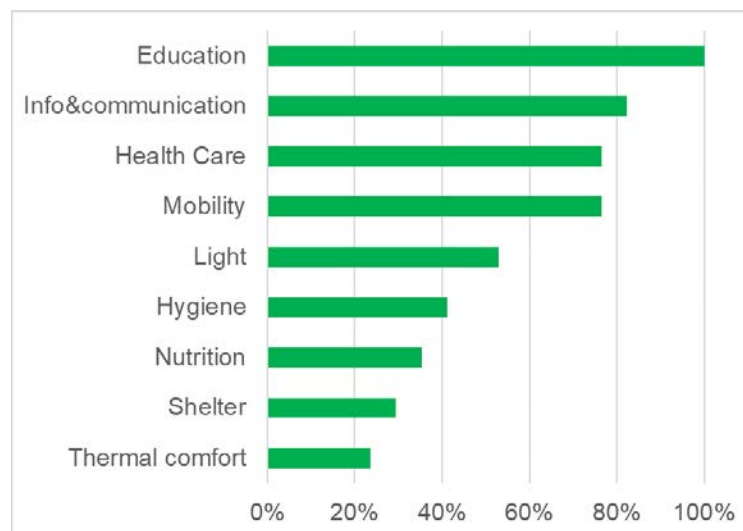
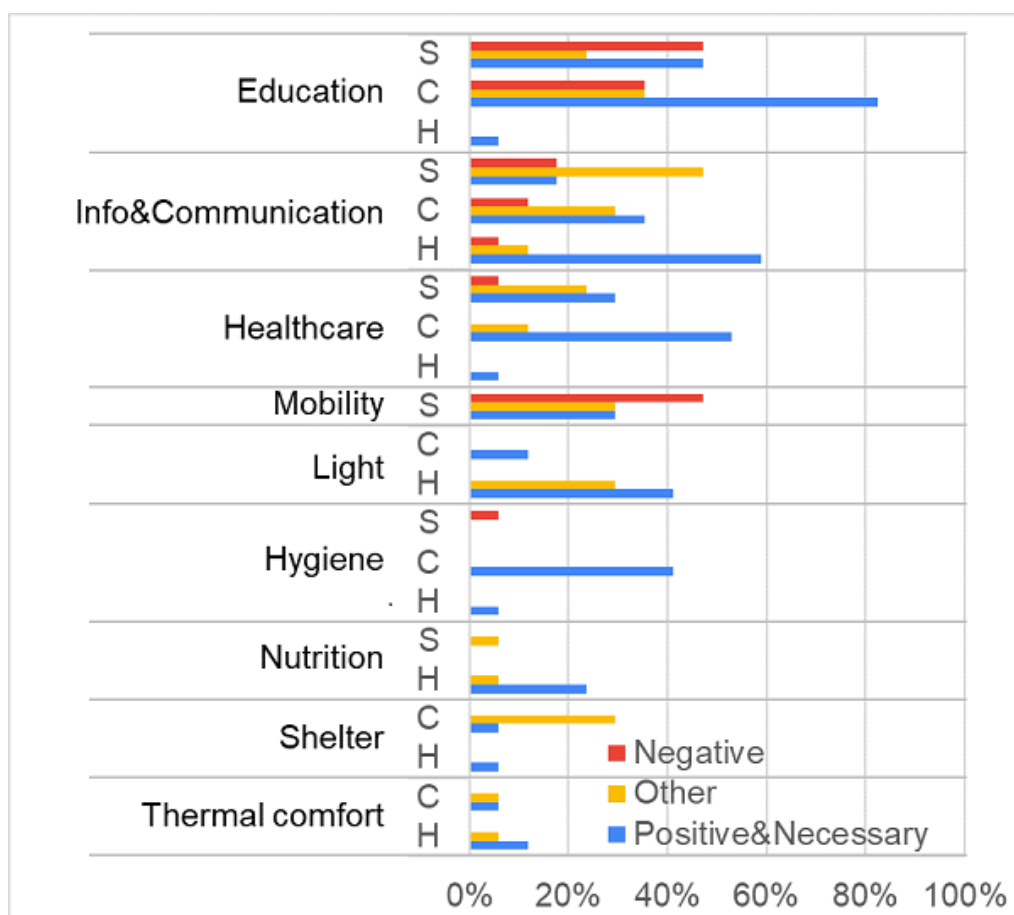


Figure 14 The attention of each dimension

次にスケールごとに分類した各側面についての各回答者の見解を Figure 15 に示す. Table 5 には各コードに関する代表的なコメントを示す.



Note: S: Society scale, C: Community scale, H: Household

Figure 15 Viewpoints on each dimension at each scale

教育は紛争被害地域の発展に重要として多くあげられていた (AC-1, NGM-1, NGF-2 等) . しかし, “Education can sometimes become more political” (IO-1) と指摘されるように, 解決すべき論点が多い. Society スケールにおけるカリキュラムや制度面である. 母国語の少数民族言語を用いた初等教育は 2015 年に法的に認められたものの (Hirschi, 2019), 高等教育においてどのレベルまで母語教育を認めるかという論点は残っている. また, 民族により, すでに政府と異なる民族独自の教育システムを確立しているところもあり, 2 つの異なるシステムの間での接続について調整はついていない. 問題はまだまだ山積している (NGF-1). 民族間で自国の歴史認識が異なることを考えれば, 歴史教育のカリキュラム設計も困難なことは明らかであり (IO-1), 政府のシステムが少数民族側の現実を反映したものになるまでは長い時間がかかる (AC-1) と考えられる. 実際, 農業国であるミャンマーだが, 農業大学は全土に一つ, 首都付近にしかない. 少数民族地域にあるのはカレッジまでであり (AC-2), 少数民族地域の振興を考えたものになっていない.

ただ, community スケールでの教育を考えると, 争点は比較的少ない. 中央政府から派遣されてくる教員がビルマ族であっても, 地域では尊敬を集めている (AC-2). また, 実際の機器や装置を目にすることの重要性が指摘されていた (NGM-1, NGM-8, NGF-2). 例えば, 太陽光発電システムやディーゼル発電機, 職業訓練校の敷地にあるエンジン等が目に入ることで, 人々, 特に若者が興味を持ち, その職業訓練に参加するといった効果である. こういった人々の学習意欲を教育機会へのアクセスにつなげることができれば, 技術者の育成につながり, 地域の技術者不足の解消も期待できる (NGM-8, NGF-2).

情報コミュニケーション, 特に household スケールの携帯電話についてその重要性はますます高まっている (NGM1, NGF2, AC2 等). 昨今では TV よりも携帯電話のニーズのほうが強く, 視聴時間も長い (NGF-2). 携帯電話の所有率は 2017 年に都市部で 93.4%, 地方部でも 76.6%とかなり高くなっている (Central Statistical Organization et al., 2018). 貧困層においても 64.3%が世帯当たり最低一つの携帯電話を所有しており (Central Statistical Organization Myanmar et al., 2019), Kayin 州全体では 83%の世帯が所有している (Central Statistical Organization et al., 2018). 紛争被害地域ではサービスエリアに含まれていない村もあるが (NGM-5), ミャンマーの携帯通信各社も競ってサービスエリアを拡大しており, 約

70%とされる人口カバー率 (GSMA Intelligence, 2019) は今後も伸びていくと考えられる。携帯電話の都市部と地方部の所有率の差はサービスエリアの差ではなく、購買力の差という分析もあり (Central Statistical Organization et al., 2018), 地方部の貧困層においても携帯電話のニーズは大変強いと考えられる。しかし携帯電話の利用にはテレコムインフラストラクチャーと共に電力が必要不可欠である。基幹送電網へのアクセスを 22%しかもたない地方部においては、61%の地方部の世帯がオフグリッド電源を利用しており (Koo et al., 2019), オフグリッド電源がより重要となっている。

最も基本的な電力利用として挙げられるのは照明であり、インタビューでも household スケール, community スケールの照明に一定の必要性が指摘されている。Kayin 州では照明の光源を、ケロシン、ろうそくからとっている世帯が 20%にものぼり、この値は全国の地方部の平均の 9.3%よりずいぶん高い。またろうそくに限ると、その 16%という比率は全ての州/地域の中で最大であり、地方部平均の 7%と比較しても大変高い値となっている (Central Statistical Organization et al., 2018)。実際にろうそくを照明に用いていてやけどをした経験談も聞かれたが、そういった危険性もある (Table 5)。

ろうそく、ケロシンといった光源では携帯電話を充電することはできないため、たとえ携帯電話を所有してはいても、日常的に利用することは難しい。Kayin 州において、7 日以内に携帯電話を利用した割合が都市部は 77%であるのに地方部は 56%にとどまっているのは (Central Statistical Organization et al., 2018), カバーエリアか否かに加えて、充電できるか否かも影響していると考えられる。情報へのアクセスの改善には電化支援も必要と考える所以である。

保健医療分野は紛争被害地域の発展に必要なかつ重要として多く挙げられていた (GM-1, NGF-1, AC-1 等)。しかも实际的であり、政治的になりにくく、紛争を悪化させる要因がないので, negative にとらえる語りが少ない。連邦政府の Ministry of Health と Shan 州の EAO の保健部門との協業によるワクチン接種プログラム (United Nations, 2016) は、紛争被害地域における協業の数少ない成功例であり、取組の参考になると考えられる (NGF-1, IO-1)。

インタビュー結果では、村からクリニックへの距離や雨季のクリニックへのアクセス困難等が指摘されていた (NGM-1, NGM-2)。先行研究の調査結果によると、国全体でみれば、地方部においても人

口の 88%がなんらかの公的な医療施設（医師がおらずベッドもなく最低限の医療サービスのみ提供可能な施設を含む）の近傍に住んでいるが、Kayin 州は、Chin, Shan, Rakhine 州と並んで、医療施設へのアクセスが悪いとされていた（Central Statistical Organization (CSO), UNDP, & WB, 2020). ただ、別の Kayin 州内を対象とした調査によると住民の 92%が保健医療サービスを KNU, ミャンマー政府のいずれかから受けているという結果もあった（Saferworld & Karen Peace Support Network, 2019). 調査により違いはあるが、著者らの調査結果は Central Statistical Organization (CSO) et al. (2020) の調査結果と一致しており、結果は妥当と考えられる。また、支援状況を見ると、ミャンマーにおける支援プロジェクトのうち、16%が保健医療分野であり、全体で 2 番目の規模である（Burke et al., 2017). 保健医療分野についてはニーズと注目度は一致しており、効果的にプロジェクト導入が進めば状況は改善されることが考えられる。

移動性の物的要件として、DLS では道路及び公共交通機関があげられているが（Rao & Min, 2018), ミャンマーの地方部においては、鉄道などの公共交通機関は未発達のため、地方部での現実的な手段は道路となる。学校、医療施設へのアクセスはもちろん、経済活動を行う上で道路は必要不可欠であり、人の移動が地域の発展に重要であることは間違いない。雨季/乾季があるミャンマーでは、乾季には車両が利用可能な道路であっても、雨季にはバイクのみ通行可能であったり、また冠水して全く利用できなくなり、村が孤立してしまう場合もある（NGM-3). 道路整備は最低限の生活を送る上でも重要である。しかし残念ながら、道路建設は過去の事例からも少数民族武装勢力の警戒が大変強い部分である。2015 年のタイとミャンマーを結ぶアジアハイウェイの延伸は当該地域の EAO と国軍との戦闘に発展し、1000 人もの国内避難民をうんだ（Downing, 2016; Karen Human Rights Group et al., 2016; South et al., 2018). 2018 年にも EAO が反対していた国軍の道路の改修プロジェクトにより戦闘が起こっている（South et al., 2018). 道路建設による紛争悪化を懸念する声は多く、negative の割合が高まる結果となった。

支援プロジェクトの成功例として挙げられていたのは、井戸の整備である。雨季、乾季があるミャンマーでは、水の確保は大変重要で実際的な問題であり、争点が少ないため、negative とする割合は低い。著者らがフィールド調査で訪れた村では、村内の井戸からの水を給水管によって各戸へ送ってい

たため、地方部における井戸は community スケールとした。井戸については国連開発計画のプログラム (United Nations Development Programme, n.d.) 等ですいぶん整備は進んでおり (NGF-2, AC-2), 現在の喫緊の課題として水不足を指摘する声はなかった。この結果は, 2015 年以来水へのアクセスは改善したとする他の調査結果 (Central Statistical Organization et al., 2018) ととも一致している。

インタビューデータの分析により, DLS の側面の中で, 注目度が高いのは教育, 情報コミュニケーション, 保健医療, 移動性であると分かった。その中で, 保健医療, 教育はその必要性が認識され, 順調に進んでいるとは言い難いものの, 取組はなされている。移動性についてはその必要性を挙げる声がある一方, 道路建設による紛争悪化を懸念する割合が高い。紛争を悪化させることなく建設を行うためには多大な努力が必要であることを認識すべきである。情報アクセスにおいて最も重要な携帯電話は 2013 年の市場自由化 (Central Statistical Organization et al., 2018) 以来, 爆発的に普及しており, その重要性は増しているものの, 援助の必要性は認識されていない。確かに, 通信インフラの整備は市場原理に従って進んでいるが, 携帯電話の利用には通信インフラのみならず, 電力が必要不可欠である。特に 16%にのぼる照明にろうそくを利用している層 (Central Statistical Organization et al., 2018) に対しては, 情報への普遍的なアクセスの観点からも電化支援の重要性が再認識されるべきである。

Table 5 Example of comments about DLS dimension

| Code | Comments | Source |
|--|---|---------------|
| Light/Household/ Positive and necessary | When I was in Grade 11, I used candles for exam for practicing rewarding and my hands burned | NGM-3 |
| Education/Community/ Positive and necessary Mobility/ Society and community/ Positive and necessary | 一緒にの学校に通うとか、一緒に働くとか、そういう機会がないと、余計に民族間の思い込みみたいな。あいつらはこんなやつだみたいなのが、どんどん過剰になるんですね。やっぱり行き来はすごく大事だなと思いますね。 | NGF-2 |
| Education/Community/ Positive and necessary | "Education," we're only thinking studying a subject. No, I'm not saying that. Educate whatever necessary to the people. Yes, that is education. I'm not saying, going to school — not that one, no. Education to understand those projects and all that – the vision or the objective. | NGM-1 |
| Education/Community/ Positive and necessary | when we go for work at sites, some people there really interested like about solar systems. So, they tell us like, "So how could you do that?" They're very interested because it's new to them. Especially young people, the youth, they like to know what is very new to them but they have never seen. | NGM-4 |
| Information and communication/ Household/ Positive and necessary | What I mean is this is technology. (snip) give awareness or what is the campaign? We don't need that. If you look many corner of the town, there's a lot of hand phone shop and also other small sub shop who repair it. If you look where wholesale market. I'm not talking about the small shops. I'm very surprised. A lot of accessory shops, wholesale, for the cover. This business is growing in line with that policy change. (snip) We have no figures but really a lot of people getting job. | NGM-10 |

2.5.2. 電化手段の比較

電化の手段としては、オングリッドの基幹送電網延伸、ミニグリッド、SHS 等のオフグリッド分散型電源が考えられるが、紛争被害地域においては、特に紛争悪化を避けるという観点が重要になる。インタビューデータの分析においては、電化手段を、前段の分析と同様、スケールごとに、ソーラーランタン、SHS は household、ミニグリッドは community、大規模発電所及び基幹送電網については society スケールに分類してコーディングを行った。各コードについて回答者が述べた割合を Figure 16 に示す。この結果も、値が大きいほど、より多くのインタビュー対象者に述べられたということであり、インタビュー対象者全員がそのコードについてふれていれば、100%である。household、community スケールは society スケールに比較して、紛争悪化に影響する可能性がないとして肯定的にとらえる語りが多かった (AC-1, NGF-1, IO)。society スケールに関しては、使用可能容量の大きさや利用料金の安さが利点として挙げられていた (NGM-3, NGF-2)。

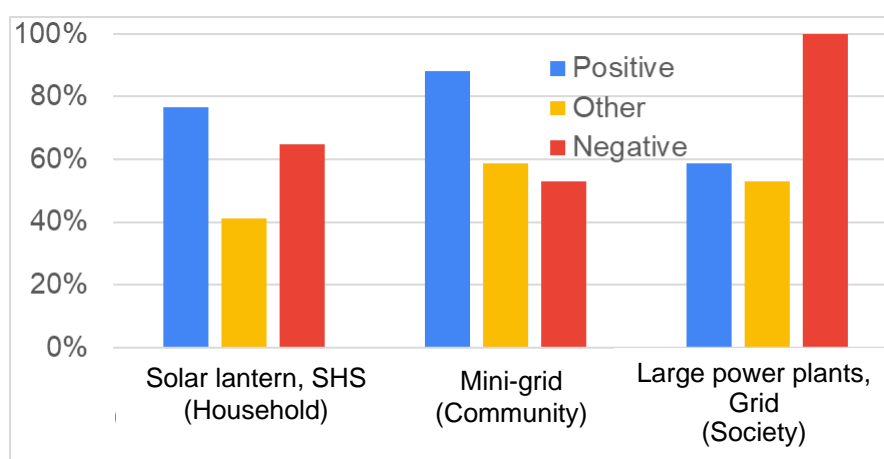


Figure 16 Viewpoints of each power source

2.5.2.1. オングリッドにおける Energy injustice

次に各電源の問題点の細かい内容を Figure 17 に示す。Society スケールの基幹送電網および大規模発電所については、発展のために産業利用可能な大規模電力網は必要であるとされる一方 (NGM-2, NGM-3, NGM-7)、問題点が多く挙げられた。

否定的な意見としては分配的正義の問題が多く指摘されていた。過去、水力発電ダムが強制労働や強制移住の原因となったため、現在も大規模発電所に対する警戒感強い (NGF-2)。Kayah 州 Baluchaung 第二発電所 (Figure 18) 周辺は紛争地域内に位置したため、発電所と送電網を守るために

地雷が敷設され、その地雷により、村人は自身や家畜の被害にあった。しかも被害に対する補償がないばかりか、地雷損害に対する補償を逆に求められるほどであった（詳細 Table 6）。退去や移住に対する補償も十分ではなかった (NGM-8)。さらに発電所が建設されたとしても近隣の住民が送電網に接続されるとは限らない (NGM-8)。接続されるとしてもいつになるかは不明であり、前述の Baluchaung 第二発電所が日本の戦後補償で建設され、運転開始したのは 1960 年であるが (Japan International Cooperation Agency, Nippon Koei Co.Ltd, & Tokyo Electric Power Company, 2012), 近隣の住民が送電網に接続されたのは 2012 年であった (NGM-8)。

発電所のみならず、送電網自体も分配的不正義を引き起こしている。都市部の住民が新規に電力網へ接続する際は接続料のみでよいが、農村部の住民は配電線のコストも負担しなければならず、補助金を得られるかどうかは地方政府のオフィスと協議しなければならない。また、村人が負担した配電線が他の村の接続のために利用され、そこから延伸した場合も、村人にはなんの払い戻しもない (NGM-10)。また、送電網延伸まで地方部の住民は何年もの間待たなければならない (NGM-8)。ミャンマーでは送電網延伸は MOEE の所管であるが、基幹送電網に接続しないオフグリッドの電化は家畜農業灌漑省地方開発局 (Department of Rural Development, Ministry of Agriculture Livestock and Irrigation, DRD) の所管である (World Bank, 2018)。DRD が進めるオフグリッド電化の補助事業は今後 10 年以内に基幹送電網が延伸しない地域を対象としている。よって、基幹送電網の延伸計画がある地域の住民は最大 10 年待たなければならず、かつその計画の実現性や定時性も疑問視されている (NGM-8)。

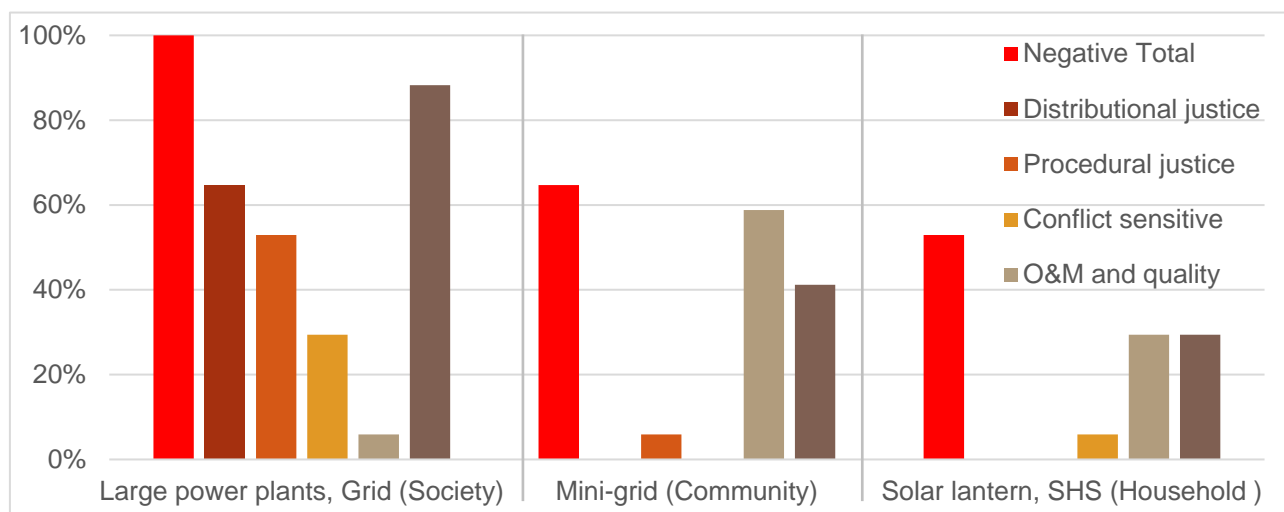


Figure 17 Breakdown of the negative viewpoints

先行研究 (Siciliano et al., 2019) においても指摘されてきた手続き的正義の問題はいまだ多く指摘されていた (GM-1, NGM-8 等). 大規模水力発電所だけでなく、石炭火力発電所も含め、地域コミュニティに発電所の容量や燃料等の計画の情報提供はなされず、コンサルテーションもない. 特に技術的な専門家からの情報共有とローカルの人々の関与の重要性が指摘されていた (NGM-1). その他の society スケールに関する懸念点としては、大規模ダムによる水資源等環境面の影響、従来の安全設計を超えるほどの近年の気候変動によるダムの決壊への不安、基幹送電網の老朽化等があげられていた (NGM-10).

ミャンマーにおけるエネルギー不正義は紛争が直接影響するもの、間接的な影響にとどまるもの等さまざまである. しかし、紛争被害地域のダム候補地においては、停戦条約を結び、休戦地域となることで、ダムの建設が容易となり、建設が進むのではないかという直接的な懸念もある (South et al., 2018). このように、大規模発電所についての不信感は根強い. 基幹送電網の延伸についても、工事の実施には地域ごとに各 EAO との事前の詳細な調整が必要となる. また、配電コストの負担の手当てなしでは接続できない世帯が数多く生じると考えられる. ビルマ族の居住地域以上に解決すべき問題点は多い.

2.5.2.2. 分散型電源の利点と問題点

Community/household スケールの分散型電源は大規模発電所及び基幹送電網という society スケールの電源と比較して、紛争悪化につながるような問題点は少なく、肯定的な見方が多かった. 保健センター、クリニックや、授業時間が長くなる高等学校への照明の設置ニーズも強い (NGM-1, NGM-3). ただ、課題として挙げられていたのは維持管理と品質の問題である.

Household スケールの SHS では、品質の問題が多く指摘されていた (NGF-1, NGF-2, NGM-8). 粗悪品が外国より多く流入してきており、製品寿命が 1-2 年と期待より大変短い (NGF-1) ため、品質基準の設定が求められていた.

また、community スケールのミニグリッドでは、太陽光発電システム、ディーゼル発電機の区別なく、維持管理の不備、村人へのテクニカルトランスレーションの欠如を問題視する声があった (NGF-2,

NGF-3). 発電システムの設置が支援プロジェクトとして行われ、その後のフォローアップはなく、村人が修理できない、また簡単な維持管理の指南すらないため、発電性能が発揮されていない等である。SHS 等 household スケールにおいても太陽光パネルが日陰となる場所に設置されていた、土埃をかぶったまま放置されていた等の事例が挙げられていた (NGF-3)。

しかし、Figure 16 に見られるように、分散型電源は community/household スケールのいずれにしても positive なコメントのほうが negative なコメントより多く、好意的な評価を得ていた。紛争被害地域における電化は、分散型電源のほうが地域の緊張を高める懸念が少なく、導入が容易と考えられる。さらに、過去の焼き討ちや強制移住等により、家々がまばらな配置であることの多い紛争被害地域においては、SHS といった household スケールの電化手段のほうが、ミニグリッドよりも設置に適していると言える。

Table 6 Example of comments about power sources

| Code | Comments | Source |
|---|---|---------------|
| Society/Negative/ Distributional justice | And then, for the national grid security, the government put in the past, land mines under the grid, 12 feet around the grid, and the grid construction is not parallel to the road only. It also goes around the farmland of the villagers. So, during the farming season, planting season, the villagers could not ascertain the landmines because the signboards were only written in Burmese, that don't come near here, there is a landmine. They put a signboard, but the villagers don't read Burmese, because they are Kayah, so they don't know how to read Burmese. So, once there is a landmine accident, they were being sued by the government for destroying the state property, saying that this landmine is state property and they have to pay back the cost of the landmines. | NGM-8 |
| Society/Negative/ Procedural justice | But the problem is how to communicate. It's not about the energy as an issue. It's about communication on energy issues. | GM-1 |
| Household and Community/ Positive | They need electricity. They need light at nighttime. They want to watch their TV. They want to run their small motor for their use. That's significant. But they can't afford. They are doing at the measure of their capacity. | NGM-10 |
| Society/Negative/ Distributional justice Community/ Positive | I think this small, this mini grid is still useful because for commercial power we still have to wait too many years to like distribute to the villages. They have to wait. | NGM-3 |
| Household/ Negative/O&M | When we went to the field it was like, the solar home systems were given, but they were not well maintained. I don't know if people were given the basic knowledge that you have to clean your panels. We went to the homes and sometimes the solar panel is placed in such a way that it doesn't get full sunlight also. | NGF-3 |
| Society/Negative/ Conflict sensitive | the example that comes quickest to mind is the Hatgyi Dam project. They can cause more fighting because as there is development and what is seen as sort of a valuable object, a valuable resource –different armed groups may try to control it either in order to extract financial benefit from it or to extract leverage against others. It doesn't just result in fighting between armed groups. It also results in further displacement of people being caught in the crossfire but it also oftentimes resulting mining, laying down of landmines in these areas, which makes them permanently problematic. Unless of course, they end up under water because there's a dam. | NGM-5 |
| Household and community/ Positive | I mean if it's in a relatively small-scale those are probably the sort of projects which could be implemented in areas under the authority of EAOs. If it's in a relatively small-scale, I think maybe more likelihood of these being successfully piloted perhaps as projects which could be done jointly between governments and ethnic armed organizations so that there would be a trust building element there. | AC-1 |

2.6. 結論

70 年もの長きにわたり紛争に苦しんできた少数民族が居住する紛争被害地域において、教育や保健医療といった、従来から重視されてきた DLS 各側面と並んで重要とされ、かつ紛争を悪化させる懸念が少ないとされたのは、情報へのアクセスと、それを可能にする物的要件の携帯電話であった。紛争被害地域において、状況はいまだ不安定であり、大規模な工事に対する地元の EAO の警戒感は大変強い。支援プロジェクトを行う際も、地域の緊張を高めないよう細心の注意を払う必要がある。そのような中、支援項目になかなか入ることのない情報アクセスであるが、有料の充電サービスがビジネスとして成立するほど、携帯電話の充電には需要があり、電力アクセスの改善には大きな意義があると言える。そのように強いニーズがある携帯電話の充電であるが、電力需要としてはごく小規模であり、SHS など独立型太陽光発電機器で供給することが可能である。外国からの製品流入により、価格低下が進み、ミャンマー地方部で利用されていることも増えてきたソーラーランタンや SHS であるが、紛争被害地域の Kayin 州地方部においては未だろうそくを照明に利用している世帯も 16%と各州・地域の地方部で最も多い (Central Statistical Organization et al., 2018)。こうした層への電力アクセス支援は急務と考えられる。

結果に示されたように、過去の大規模ダムによる強制労働や強制移住といったエネルギー不正義の問題は人々の記憶に残っており、society スケールの大規模発電所については抵抗感が強い。地元への情報共有や適切なコンサルテーションといった手続き的正義の問題も、改善がみられない。ダムや石炭発電所といった大規模発電所が身近に建設されるのであれば、基幹送電網に接続されること自体に対する村人の抵抗感は少ないのではないかという意見もあるが、基幹送電網の延伸は一定の規模の工事となるため、EAO 影響が及ぶ地域への導入は地域の緊張を高めることにつながる。また、道路と対で挙げられることが多く、実際に道路沿いに送電網が通っているのを目にするが、道路建設は EAO の警戒感が最も強いところであり、道路建設が前提となると基幹送電網延伸はより困難となると考えられる。

対して、分散型電源による電化は大規模な工事は不要で導入が容易であり、紛争を助長する懸念も

少ないため、こちらにより力を入れていくべきと考えられる。分散型電源としては SHS 等の独立型太陽光発電機器と、ミニグリッドがあり、ミニグリッドのほうがより大きな需要に供給可能と言ったメリットはあるが、家々の配置等を考慮して選択する必要がある。紛争被害地域の村は、過去の国軍による焼き討ちや、強制移住 (JICA & 八千代エンジニアリング株式会社, 2013) などのため、被害のない地域の村と比較してより一軒一軒が離れ、木に隠れるような立地となっている (South, Perhult, & Carstensen, 2010)。こうした地域においては、配線が不要となるソーラーランタンや SHS のほうが適している。こうした独立型太陽光発電機器の難点は、照明や携帯電話充電といった基本的な電力需要しか満たすことができないことである。しかし、携帯電話とそれがもたらす情報アクセスへの強いニーズを考えれば、未電化の状態から最低レベルの電力へのアクセスを得ることは、過去、そのレベルでは白熱電球の利用しかかなわなかった時代と比較すると、その効用が著しく増加しており、DLS 向上への大きな貢献であると言える。



**Figure 18 Baluchaung No. 2
Hydropower Plant and a soldier at
the checkpoint to enter the plant
(March 2019)**

3. ミャンマーにおける太陽光発電を電源とするミニグリッドの経済性評価

3.1. まえがき

他の発展途上国と同様に、ディーゼル発電機はミャンマーのミニグリッドにおいて主要な電源となってきた。ミニグリッドの電源にディーゼル発電機を使用しているのは 13,000 村、小水力発電を利用しているのは 2,400 村、バイオマスを利用しているのは 1,200 村、太陽光は 150 村と報告されている (Greacen, 2017)。ディーゼル発電機を電源とした場合の電力コストのほとんどは燃料費となるが、燃料価格は国際価格の変動を受けて変動が大きく、地方部においては輸送費用のため都市部より高額となる。未電化の地域は道路網も未整備であることが多く、輸送費用のさらなる上昇要因となる。ディーゼル発電はその初期投資額の少なさゆえに安価であると言われているが、地方部においても果たしてそうであろうか。

近年、コスト低下が著しい太陽光発電はその導入量が世界的に増大している (IRENA, 2017b)。ミャンマーでも、様々な国際援助機関が再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの振興プロジェクトを行っている。ミャンマー政府内では、基幹送電網による電化は MOEE の所管であるが、基幹送電網に接続しない地方電化は DRD の担当である。World Bank は、ミャンマー政府を支援して National Electrification Project (NEP) を策定し、その中で、“60/20/20”と呼ばれるオフグリッドの電化プロジェクトを行っている (Department of Rural Development, 2017)。DRD が地方部に導入されるミニグリッドの初期費用の 60%を補助し、村人が 20%、開発主体であり、発電事業者となる民間企業が 20%負担するというものである。まず、DRD の提案募集に民間企業が事業提案を応募し、設計、開発計画、料金設定を含めた運用や、最終的な村への移行計画までを含めて審査をする。村では Village electrification committee (VEC) が主体となって取り組む。ミャンマーではこのように村で委員会を組織して物事に取り組むことが多く、水資源や農業、建設等の委員会の事例がある (高橋, 2012)。VEC は電力関連の議題を扱い、村で既存のディーゼルミニグリッドがあればその燃料購入、運用管理、料金設定及び徴収を行ってきた。貧しい世帯の料金免除等も VEC の職権に基づき決定している。60/20/20 プロジェクトでは最終的にミニグリッドを村の管理に移管するため、村で維持管理ができるように VEC への能力

開発も行う。2016 年の初年度においては 40 のうち 8 提案が選定された。選定案の太陽光発電の設置容量は約 10 kW から 110 kW であった。提案には各戸へ設置する LED 照明や村内の街灯も含まれている。

Asian Development Bank (ADB) も 2016 年度に基幹送電網に 接続可能な 12 の太陽光電源のミニグリッドに資金供給を行い、その LCOE は 0.20–0.26 USD/kWh と計算されている。ただし、バッテリー交換費用は含まれていない (ADB, 2018; ADB, 2017)。プロジェクト期間を考慮すると、他の電源と比較する際には LCOE にバッテリー交換費用を含めるべきである。

日本国際協力システム (Japan International Cooperation System, JICS) は Shan 州と Chin 州に無償資金援助 994 百万円で太陽光または小水力を電源とするミニグリッドを導入した。設置容量は小水力発電では 0.1 kW から 10 kW、太陽光発電では 1.2 kW から 20 kW の規模となっている (JICS, 2015)。

他の発展途上国と共通する課題ではあるが、ミャンマーにおいても整った網羅的なデータを取得することは国際援助機関が関わるプロジェクト以外では困難である。組織が異なれば用語の定義が変わる等、データが存在していても比較が難しいといった点がインタビューの際も指摘されていた。そのため、本稿ではフィールド調査、インタビュー調査、質問票調査で自ら取得した価格データを利用することとした。

3.2. 内外の先行研究

まず、ミャンマーの電力関連、途上国の分散型ミニグリッド関連について広く文献調査を行った。ミニグリッドは地方電化の有力な手段として急速に広がってきている。ミニグリッドは、家庭用の照明、携帯電話充電、TV や DVD プレイヤーなどの家庭用需要のみならず、小規模ビジネスの産業需要までカバーすることができる (Schnitzer et al., 2014)。病院や学校などの社会福祉施設にも電力を供給する場合が多い。近年では、電力エネルギー関連企業のみならず、異業種の参入も報じられている (BNEF, 2017a)。ASEAN 諸国においても、その投資機会は大きいと指摘されている (Phoumin & Kimura, 2016)。

しかしながら、ミャンマーにおいて地方部への電力供給は依然として旧来からの基幹送電網の延伸が中心に考えられており、ミニグリッド、特に再生可能エネルギー電源のものに関する試算は少ない。Sustainable Engineering Lab (2014) はミャンマーの電化に必要な投資額を推定したが、電化の手段として想定しているのは基幹送電網の延伸とディーゼル電源のミニグリッド、SHS に限られている。

ミャンマーもパリ協定を批准しており、その NDC の中で、エネルギー分野の目標として、「少なくとも 30%を再生可能エネルギー電源とする地方電化」としている (The Republic of the Union of Myanmar, 2015)。幸いミャンマーは豊富な再生可能エネルギー資源に恵まれている。特に太陽光と水力資源は豊富であり、その潜在容量は太陽光が最大 40 TWh/year, 小規模水力が 230 MW, 大規模水力が 100 GW と試算されている (ADB, 2016)。太陽光のキャパシティファクターは、適地である中央乾燥地域の首都 Nay Pyi Taw において月別 13–22%, 年平均 18%, その他の国内の代表的な気候の 7 地点においても年平均 17–22%と恵まれた値を示している (World Bank & ESMAP, 2017)。

こういった再生可能エネルギー資源は大規模電源のみならず、小規模電源にも活用すべきである (del Barrio Alvarez & Sugiyama, 2018)。けれども、ミャンマーにおける再生可能エネルギーに関する文献は限られている。ACE (2016) は、インドネシア、ラオス、マレーシア、タイ、ベトナムとミャンマーにおける太陽光、バイオマス、水力の LCOE について報告しているが、ミャンマーのデータは 64 件中 2 件の水力プロジェクトのみとなっている。

ミャンマーのミニグリッドについてはいくつかの先行研究がある。Sasaki, Seino, Hashimoto, & Sakata (2015) は HOMER Energy を用いて、(1)太陽光とバイオマスの組み合わせ、(2)小水力、(3)ディーゼル発電機をミニグリッドの電源とした場合のミャンマーの地方電化にかかる費用を計算した。HOMER Energy は元々 National Renewable Energy Laboratory (NREL) で開発されたミニグリッドの設計最適化ソフトウェアである (HOMER Energy, 2014)。Win, Jin, & Yoon (2017) はディーゼル発電機と、太陽光発電、バッテリー、ディーゼル発電機のハイブリッドシステムを HOMER Energy を用いて比較した。Kim & Jung (2018) はディーゼル発電機、太陽光、鉛蓄電池、リチウムイオンバッテリー (LIB) のさまざまな組み合わせを HOMER Energy で比較した。ただ、これらの先行研究は、ミャンマーの再生可能エネルギー

ギー電源のミニグリッドとディーゼル電源ミニグリッドのその時点における比較にとどまり、太陽光発電及び LIB の将来的な費用低下について考慮しているものはなかった。太陽光発電の費用は引き続き下落すると予想されており (BNEF, 2017b), 将来的に最も安価な電源の一つになると考えられるため、すぐに陳腐化する計算時の価格のみではなく将来の下落後の価格についても分析することが必要である。

太陽光電源のミニグリッドによる電化について議論する際、蓄電は不可避である。他の多くの途上国と同様、ミャンマーの太陽光電源のミニグリッドは鉛蓄電池を蓄電に利用している。しかし、鉛蓄電池と比較すると、LIB は、容量上限までの放電、より長いサイクル寿命、より高いラウンドトリップ効率、という優れた特性を持つ (IRENA, 2017a)。太陽光電源ミニグリッドにおけるバッテリーの利用は充放電が平均一日一回と頻回になるため、特性上 LIB のほうが適している。しかし、その高価格が導入の障壁となっていた。ただ LIB も太陽光発電システムと同様、急速に価格が下落すると予想されており、将来価格は 2020 年にバッテリーパックで 124.24 USD/kWh (Kittner, Lill, & Kammen, 2017) や 135 USD/kWh (O. Schmidt, Hawkes, Gambhir, & Staffell, 2017), 2035 年に初期導入費用で 120–380 USD/kWh (IRENA, 2016) となると推定されている。著者らのミャンマーの発電事業者へのインタビューにおいても、複数の事業者が今回のプロジェクトでは鉛蓄電池を採用したが、次号案件では LIB の導入を検討するとしていた。こういった背景より、ミニグリッドの電源比較を行う際にも、ディーゼル発電機と、現在主流の太陽光発電及び鉛蓄電池の組み合わせの比較だけでなく、将来的な価格下落を考慮した LIB の組み合わせとも比較すべきである。途上国電化におけるミニグリッドの状況はミャンマー以外の国の事例も共通する部分があるため、広く文献調査を行った。その中で、特に本章では Blum, Sryantoro Wakeling, & Schmidt (2013) のインドネシアのミニグリッドを対象とした先行研究を参考にした。

3.3. 方法論及びデータ

3.3.1. コストデータ

著者らは 2017 年 2 月, 3 月, 10 月にミャンマーの Yangon 及び Nay Pyi Taw で行ったインタビュー調査及び質問票調査を基にコストと需要の推定を行った。2017 年 2 月には Yangon の Yangon Technological

University で太陽光機器取扱事業者にインタビュー調査を行った。その他の期間においては、Yangon, Nay Pyi Taw の各機関のオフィスで、ミニグリッド開発事業者、政府関係者、援助機関関係者等を対象とし、全期間で合計 23 機関に対してインタビューを行った。コストデータに関する質問票調査は Yangon の Mitasu Consultants Group と行い、9 社送付し 5 社より回答が得られた。ただし、2017 年時点では、ミャンマーでの太陽光ミニグリッドは、JICS による補助プロジェクトを請け負った 1 社、ADB の補助プロジェクトを請け負った 2 社、World Bank の 60/20/20 プロジェクト第 1 期を受注した 7 社しか実績が公表されていなかったため、対象が限られていた。フィールド調査では 2018 年 3 月には Mandalay Yoma 社が設置、売電を行っている Magway 地域、Pakokku District, Myaing Township, Bhone Gyi Kan Village Track, Sei Taw Village の太陽光発電ミニグリッドを訪れた。ミニグリッドの詳細は章末の Figure 26 に示す。調査で得られたデータは匿名化し、コストに関するデータは平均化して用いた。Table 7 に示す太陽光と蓄電池の計算条件のうち、現状のコストデータ (current cost) が調査結果を元にしたもの、文献を用いた将来の価格下落を織り込んだ (future cost) の 2 種類である。ディーゼルの計算条件を Table 8、その他の計算条件を Table 9 に示す。

Table 7 Assumptions for solar PVs and batteries

| | Current cost¹ | Future cost (2020) |
|-------------------------------|--|--|
| PVs | | |
| CAPEX ² | 2,705 USD/kW ³ (Module 701 + inverter 539 + Rack 281 + Engineering 1,184) | 1,600 USD/kW (Module 500+inverter 150+BoS 300+other direct/indirect cost 650) (Woodhouse et al., 2016) |
| O&M ⁴ cost | 1% of CAPEX (ACE, 2016) including inverter replacement | 10 USD/kW without inverter replacement ⁵ ; |
| Lifetime | 25 years | 25 years |
| Batteries | Lead-acid batteries (current price) | LIBs (forecasted price) |
| Efficiency | 90% (charging) (HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG, 2016) | 95% (round trip) (IRENA, 2017a) |
| CAPEX | 266 USD/kWh ⁶ | 124 USD/kWh (Kittner et al., 2017) |
| O&M cost | 0 USD/kW (Lazard, 2017) | 0.01% of CAPEX (Lazard, 2017) |
| Max. depth of discharge (DoD) | 80% (HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG, 2016) | 100% (BNEF, 2017b) |
| Cycle life | 1,431(equivalent full cycles of DoD 60%)(HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG, 2016) | 4,000 (equivalent full cycles) (IRENA, 2017a) |
| Expected life | 10 years ⁷ | 20 years ⁸ |

Notes: ¹Numbers without references are based on the author's survey data. ²Capital expenditure.

³ kilowatt. ⁴ Operation and maintenance. ⁵ Inverter life time: 30 years (Woodhouse et al., 2016). ⁶ kilowatt hour.

^{7,8} In HOMER, "lifetime throughput [kWh]" is the input variable and expected life is calculated based on it.

Table 8 Assumptions for diesel generators

| | Value | Source |
|-------------|---|-----------------------|
| CAPEX | 331 USD/kW | Survey by the authors |
| O&M cost | 0.01 USD/kW per operating hour ³²⁾ | |
| Replacement | None. Lifetime: 20 years ³¹⁾ | |

Table 9 General assumptions for calculations

| | Value | Source |
|----------------------|--------------------|---------------------|
| Place of a mini-grid | Naypyitaw, Myanmar | Our assumption |
| Discount rate | 10% | (ACE, 2016) |
| Project term | 20 years | Our assumption |
| Loss of distribution | 4% | (Blum et al., 2013) |
| Time step | Hourly | Our assumption |

ディーゼル燃料価格は輸送コストのために地域により大きく価格が異なる。インタビューによると、Yangon で燃料価格が約 750 ミャンマーチャット (MMK)⁸⁾/L (約 0.49 USD/L) であった時期に、南東部の Tanintharyi 地域の島しょ部では価格が 2,000 MMK/L (約 1.3 USD/L) とのことであった。都市部からの距離を考慮すると、この島しょ部の価格が地方部における燃料価格の上限と考え得るだろう。都市部での価格は国際価格とほぼ一致していたため、燃料価格は予想国際価格 (U.S. Energy Information Administration, n.d.) に準拠するケース (FP×1)、国際価格の 2 倍 (FP×2)、2.7 倍⁹⁾の (FP×2.7) の 3 ケースについて計算することとした。それぞれが地方部の燃料価格の (1) 下限, (2) 中間, (3) 上限を想定している。

3.3.2. 需要の想定

需要については、インタビュー結果を基にした需要小 (Load A: 20.5kWh/day)、将来的に需要が伸びる場合の需要大 (Load B: 192kWh/day) の二つのシナリオを想定した。

未電化地域では電力消費のデータが得られないことから、事業者が行った事業地域の各世帯の所有電化製品の調査結果を基に、想定の使用時間と所有する電化製品の消費電力から需要を想定した。ミニグリッドが電化する村は一つとし、その世帯数は 100 とした。これは著者らの調査結果の平均 103 を参考に単純化した数字を設定した。需要シナリオを Figure 19 に示す。

⁸⁾ ミャンマーチャット 1 USD = 1,526 MMK (2019 年 9 月)(XE.com, 2019)

⁹⁾ 2,000/750 = 2.7

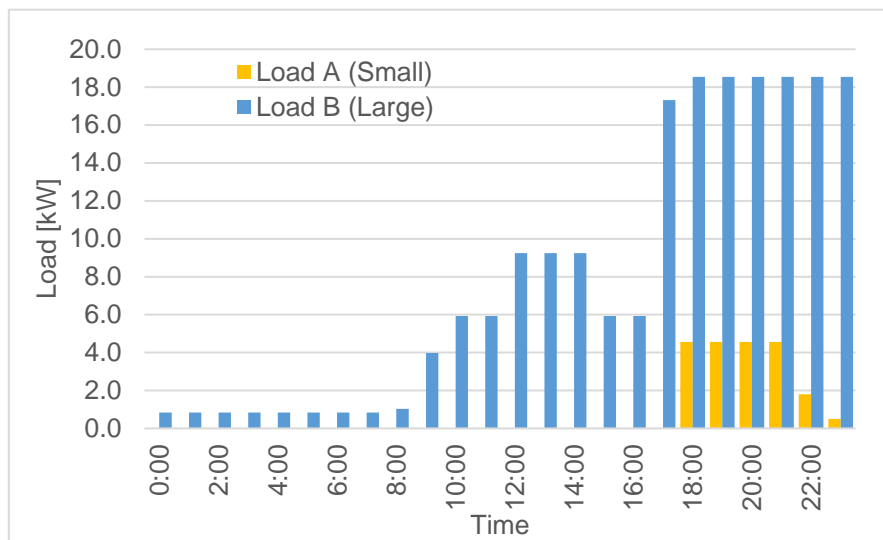


Figure 19 Load scenario

Table 10 Load assumptions for scenario A

| Electrical appliance | Power consumption | Quantity per HH | Hours of use |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| Lamp inside (3W × 2, 7W × 1) | 13 W | 1 set | 18:00–23:00 |
| Lamp outside (streetlight) | 5 W | 1 | 18:00–24:00 |
| TV | 147 W* | 0.75 (3 HHs/4 HHs) | 1 hour at night |
| Total daily electricity consumption | | | 20.5 kWh/day |

HH: household, W: watt. Source: the author's assumption.

Table 11 Load assumptions for scenario B

| Electrical appliance | Power consumption | Quantity per household | Hours of use |
|-------------------------------------|----------------------|---|--|
| Lamp inside | 5 W | 5 | 18:00–23:00 |
| Lamp outside (streetlight) | 5 W | 1 | 18:00–24:00 |
| TV | 147 W ^a | 1 | 1 hour at night |
| Rice cooker | 584 W ^a | 0.5 | 0.5 at night ^a |
| Refrigerator | 84 W ^a | 0.1 | 24 |
| Fan | 58 W ^a | 0.6 | 2.86 in the daytime ^a |
| Iron | 1,000 W ^a | 0.5 | 0.27 in the daytime ^a |
| Water pump | 146 W ^a | 0.15 ^c | 0.88 in the daytime ^a |
| Computer | 130 W ^a | 0.03 ^c | 4.34 in the daytime ^a |
| Printer | 30 W | 0.01 ^c | 2 in the daytime ^b |
| Grinder | 120 W ^b | 0.03 (3 carpenters per village ^c) | 9:00–17:00 |
| Drilling machine | 350 W ^b | | 9:00–17:00 |
| Circular saw | 1500 W ^b | | 9:00–17:00 |
| Planer | 450 W ^b | | 9:00–17:00 |
| Sewing machine | 120 W ^b | | 9:00–17:00 |
| Total daily electricity consumption | | | 227 kWh/day (daytime: 96, night-time: 131) |

kWh: kilowatt hour, W: watt. Sources: ^a (Aye, 2015) ^b (Blum et al., 2013) ^c Survey by the author.

将来的な需要の伸びを考慮した需要大シナリオ (Load B) では夜間の家庭の電力消費の将来の伸びだけでなく、日中の商業利用の発生も想定した。事業者の調査結果より、世帯が現在所有する電化製品だけでなく、将来購入を考えている電化製品を家庭消費に含め、調査地域で行われている小規模ビジネスで利用されている電化製品が日中に商業利用されるとした。商業利用の機器の消費電力は既往文献を参考にした (Blum et al., 2013; Aye, 2015)。詳細な想定条件を Table 10, Table 11 に示す。

3.3.3. 気象条件

計算に用いる気象条件としては、中央乾燥地域を想定し、首都 Nay Pyi Taw (19° 45' 48" N, 96° 4' 42" E) (Countrycoordinate, 2020) のデータを用いた。全天日射量は NASA prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) (NASA, n.d.) の monthly average for global horizontal radiation over 22-year period (Jan 1983-Dec 2005), 気温データは monthly average air temperature over 30-year period (Jan 1984-Dec 2013)を用いた。Figure 20 に示す。

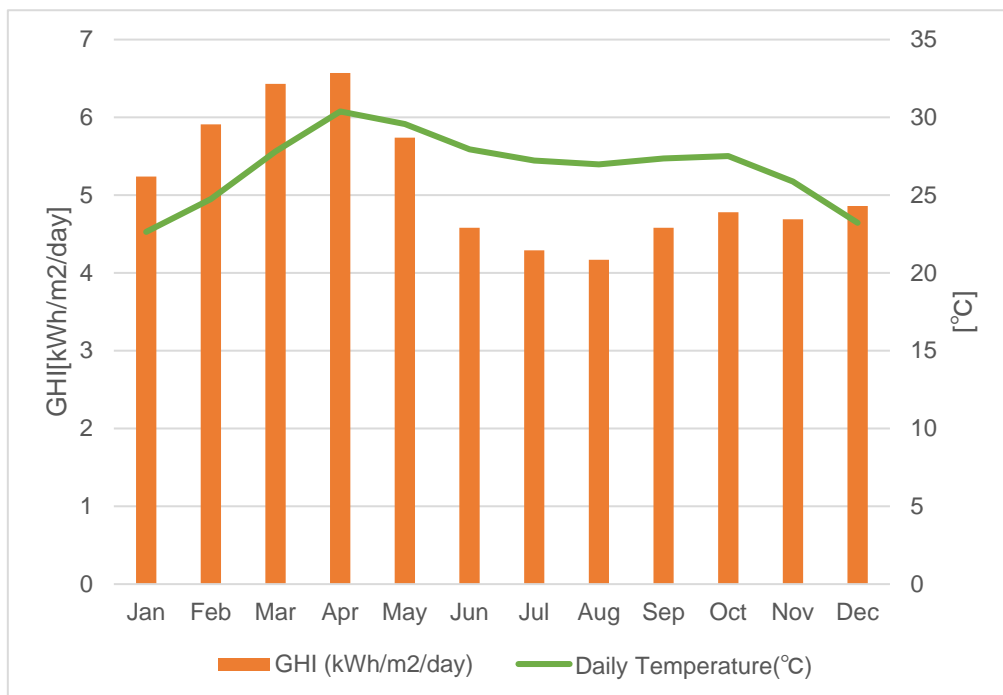


Figure 20 GHI and temperature of Nay Pyi Taw

3.3.4. 電源容量の最適化計算

本章では異なる電源について LCOE を比較した。LCOE の計算式は多くの文献で示されている (IEA & NEA, 2015)。

電源容量の最適化計算には、HOMER Energy を用いた。HOMER Energy は LCOE の計算の分母であるプロジェクト期間中の電力量には消費電力量を用いる (Lambert, Gilman, & Lilienthal, 2006)。HOMER Energy は LCOE の分子となるプロジェクト期間中の総費用の割引現在価値が最小となるよう容量を最適化する (Mathur, Haase, & Jimenez, 2017)。

蓄電池の交換年を決定する製品寿命は、equivalent full cycle の値で示されることが多い (IRENA, 2017a)。LIB のように放電深度による寿命の減衰がない場合は、equivalent full cycle 4,000 と示された電池は常に放電深度 50% で運用した場合、8,000 サイクル利用可能となる。HOMER Energy においては、常に一定の放電深度の利用ではなく、日毎の日射量データと需要シナリオによる充電量の変化から、日毎の放電深度を計算、それにより定まる交換年と設置容量から交換費用を計算する。そして、需要を満たし、交換費用、初期投資額、維持管理費用の現在価値が最小となる各機器の容量を全数検索により求めている (Lambert et al., 2006)。

本章では、電源 3 種類 (I) 太陽光発電と蓄電池のみ、(II) ディーゼルと太陽光発電と蓄電池のハイブリッドシステム、(III) ディーゼルのみ、燃料価格高中低 3 ケース ($FP \times 1$, $FP \times 2$, $FP \times 2.7$)、需要大小 2 シナリオ (Load A, Load B) について計算を行った。また、(I) 太陽光発電と蓄電池のみの構成については、LIB を導入した将来価格ケースも計算した。

3.4. 結果

最適化計算の結果の主な電源容量を Table 12 にまとめる。ディーゼルと太陽光発電と蓄電池を組み合わせたハイブリッドシステム (II) については、対応する需要シナリオと燃料価格において LCOE 最小となる電源容量を示している。需要小 (Load A)、燃料価格低/中 ($FP \times 1$, $FP \times 2$) の場合は太陽光と蓄電池を導入せずディーゼル発電機のみを電源とするのが最も安いという結果になったため、表中は空欄としている。(I) PV とバッテリーのみのシステム構成においては、年間の容量不足の許容値を 5% と設定して計算した結果である。これは年間の満たされなかった需要量を年間需要量で割った値である。設定値については、0/5%/10%/20% でそれぞれ LCOE を計算し、縦軸に LCOE、横軸に許容値をとった Figure 21 について、傾きが 5% をこえると緩やかになり、許容値をより大きくとっても、LCOE

削減の効果が薄れることから 5%とした。また、現実的にも 10%となると年間 36 日分もの停電を認めることとなり、顧客側も受け入れがたいと考えられる。許容値 5%の際のバッテリーの年間の日毎の充電率の推移 (State of Charge) を Figure 22 に示す。

Table 12 Scenario types and their capacities

| Power source | | Load scenario | |
|--|-----------------------------------|--|---|
| | | A: Night only | B: Day & Night |
| (I) PV + Battery | Current: Lead-acid (LA) batteries | PV 6.9kW, Battery 51kWh | PV 58.8kW, Battery 398kWh |
| | Future: LIBs | PV 6.4kW, Battery 34kWh | PV 57.2kW, Battery 261kWh |
| (II) PV+ Lead-acid battery +Diesel | FP × 1 | | (RE ¹ 27) PV 12.6kW, Battery 34kWh Diesel 20kW |
| | FP × 2 | | (RE 79) PV 39.2kW, Battery 228kWh Diesel 20kW |
| | FP × 2.7 | (RE 83) PV 5kW, Battery 36kWh Diesel 4.8kW | (RE 84) PV 43.3kW, Battery 240kWh Diesel 20kW |
| (III) Diesel | FP × 1/2/2.7 | Diesel 4.8kW | Diesel 20kW |

Note: ¹percentage of the energy delivered to the load from renewables (RE).

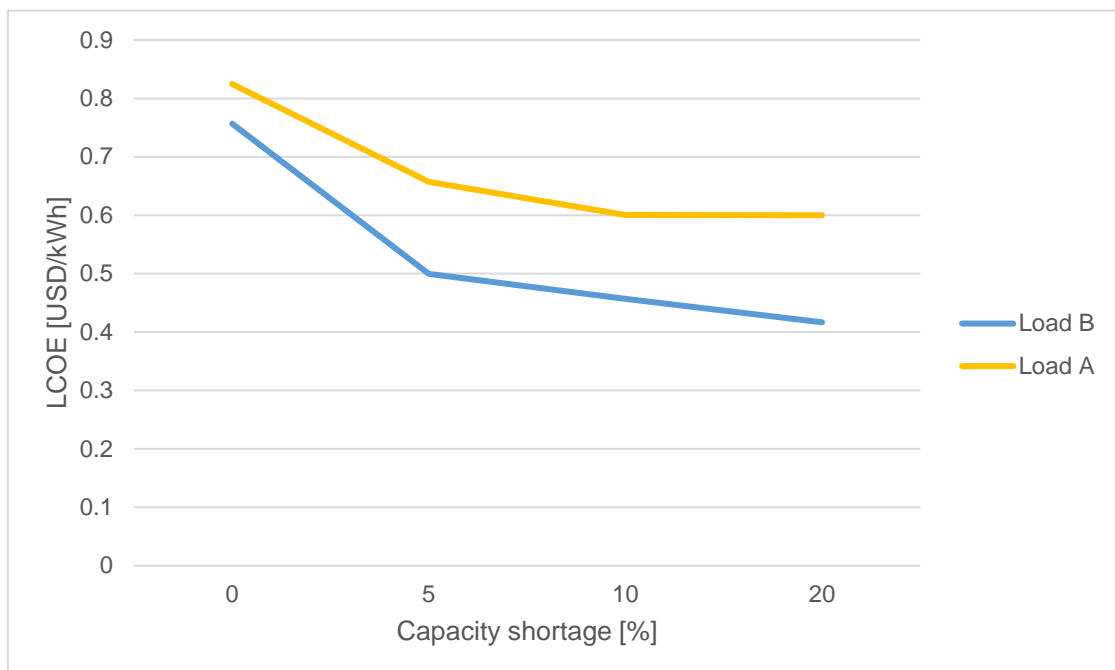


Figure 21 Capacity shortage vs LCOE

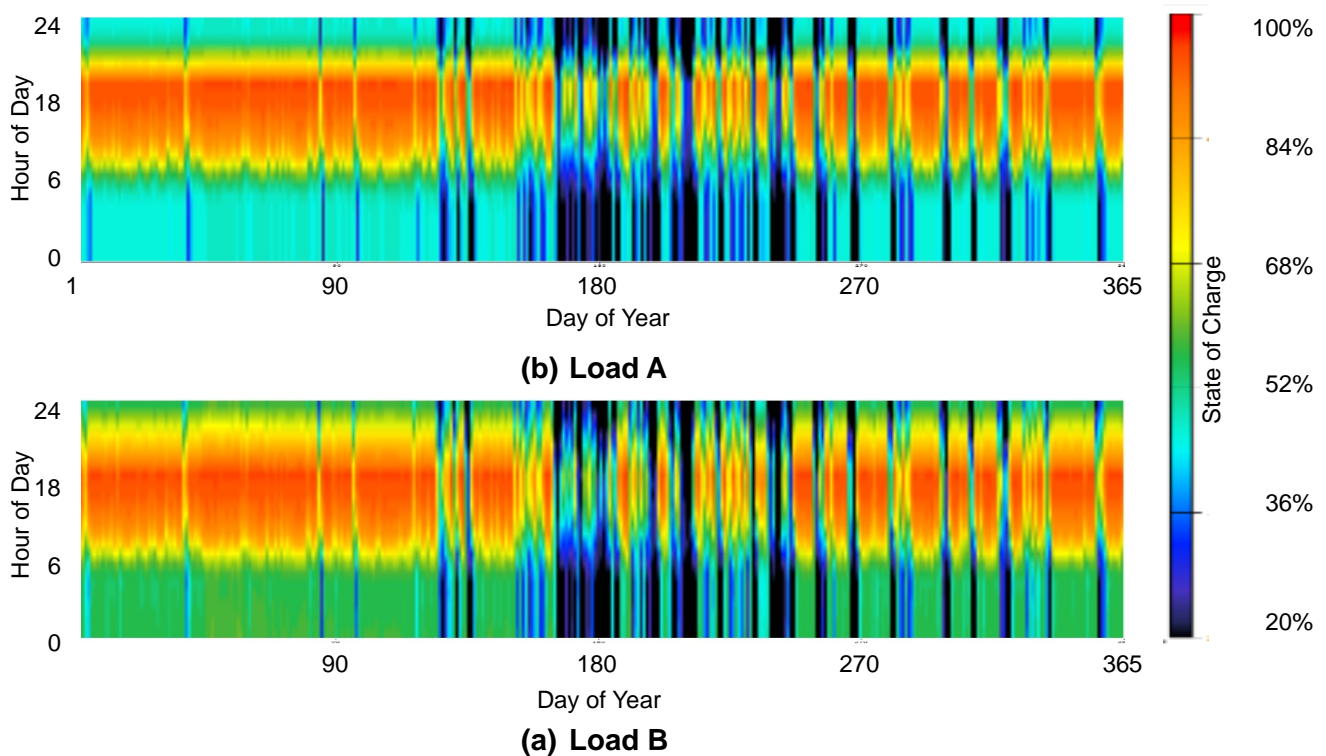


Figure 22 State of charge of lead-acid battery with capacity shortage 5%

需要シナリオ別の LCOE の計算結果を Figure 23 (需要小, Load A), Figure 24 (需要大, Load B)に示す. Figure 23 に示される需要小 (Load A) の場合, 現在の主流であるディーゼル発電機電源のミニグリッドの LCOE は燃料価格が低い (FP × 1) の場合の (6) 0.25 USD/kWh, 燃料価格が中程度 (FP × 2) の(9) 0.47 USD/kWh, 高価格 (12) 0.62 USD/kWh と, 燃料価格によって比例に近く推移をしている.

対して, 太陽光発電と鉛蓄電池のみ (2) の LCOE は 0.66 USD/kWh であった. 需要小 (Load A) シナリオでは, 燃料価格が中程度及び低い場合, ディーゼル発電機のみを電源とする (6) (9) が最も安く, 太陽光発電と蓄電池を導入するに従って LCOE は上がってしまう (3)–(5), (7)–(8). しかし, 燃料価格が高い場合, ディーゼル電源の LCOE (12) は 0.62 USD/kWh と高いため, 83%太陽光発電の電力を蓄電して利用する (11) が同等の LCOE という結果になった.

将来さらに価格下落が進み, LIB が安価になれば, 需要小 (Load A) シナリオにおいても LCOE は (1) 0.28 USD/kWh まで下がると計算され, 燃料価格が安い地域においても, 太陽光発電の競争力が増すと考えられる.

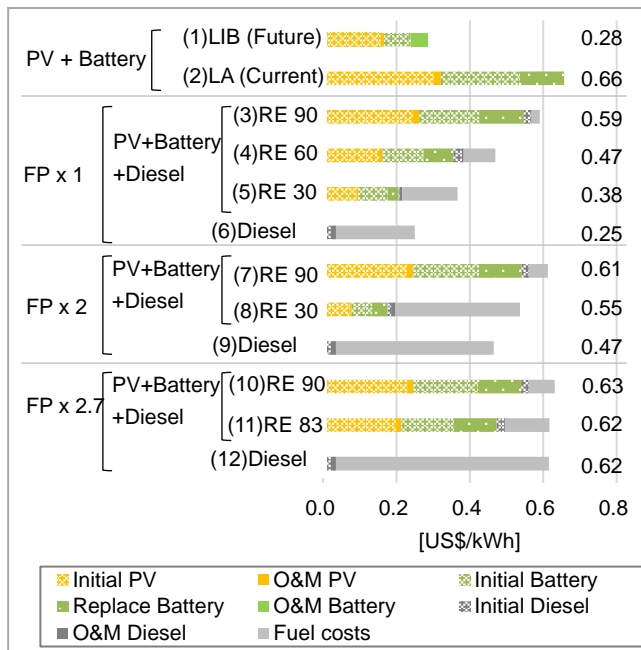


Figure 23 LCOE: Load scenario A (night only)

(沼田, 杉山, 茂木, Anbumozhi, & Wunna Swe, 2020)

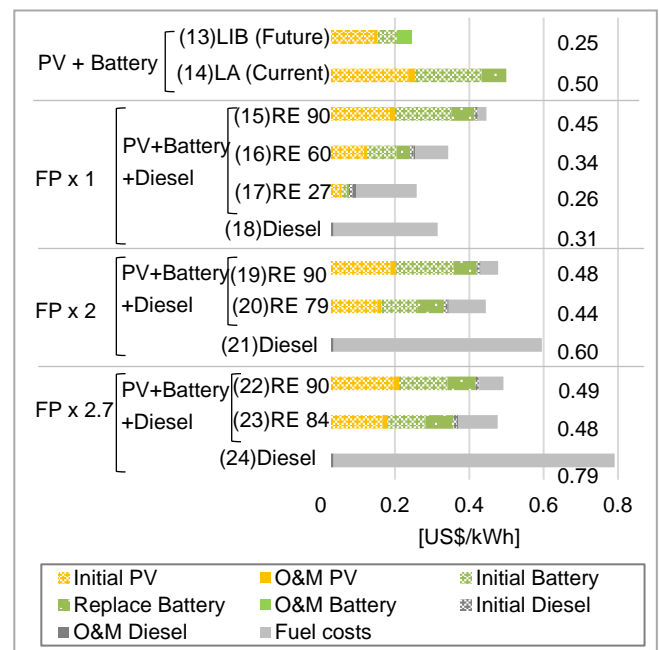


Figure 24 LCOE: Load scenario B

(night and day)

(沼田ほか, 2020)

日中の商業利用も想定した需要大 (Load B) シナリオの計算結果 (Figure 24) をみると、将来シナリオである (13) を除くと、燃料価格が安い場合に 27%再生可能エネルギーを導入する場合 (17) が 0.26 USD/kWh と全ケースの中で最も LCOE が安くなり、太陽光を導入したほうが費用対効果は高いという結果になった。燃料価格が中程度及び高い場合は、太陽光発電を導入したほうがディーゼル電源のみの場合より LCOE は低くなり、それぞれ 79%利用した場合 (20) が、0.44 USD/kWh, 84%導入した場合 (23) が 0.48 USD/kWh とハイブリッドシステムの電源構成の中で、最も LCOE が低くなった。

Figure 23 と Figure 24 を比較すると、太陽光発電を導入する場合、どのような割合であっても需要が大きいほうが LCOE は低下している。一方、ディーゼル電源のみの場合、需要大 (Load B) (18), (21), (24) のほうが、需要小 (Load A) の (6), (9), (12) よりも LCOE が高くなっている。これは、需要大 (Load B) シナリオにおいては、ピーク需要の増大に伴って設置発電容量も大きくなり、そのために低需要の時間帯に発電ロスが生じてしまうが、需要小 (Load A) シナリオにおいては、需要が発生する時間がそもそも短いため低需要の時間も短く、需要が発生しない時間は発電機を停止させておくため、ロスが少なくなるからと考えられる。また、計算した LCOE の値は先行研究の値の範囲 (Kim & Jung, 2018; Skat, 2017) と一致していた。

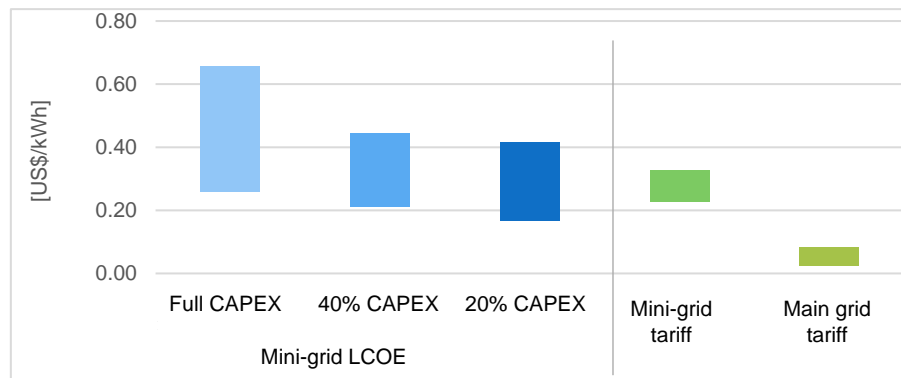


Figure 25 Comparison of tariffs and LCOE values

(沼田ほか, 2020)

Figure 25 に著者らの LCOE の計算結果, 基幹送電網の家庭向け電力料金, インタビュー調査で得られたディーゼルと太陽光発電と蓄電池のハイブリッドミニグリッドの電力料金を示す。ミニグリッドの電力料金は 350–500 MMK/kWh ($\approx 0.23\text{--}0.33$ USD/kWh) であった。ここで示しているミニグリッドの電力料金は 60/20/20 プロジェクトで政府が初期費用の 60%を補助, 村人と事業者が 20%ずつ負担したミニグリッドのものである。比較するために, LCOE の計算結果について, 初期費用を全額算入, 初期費用の 40%のみ算入 (60%の補助が得られた場合に等しい), 20%のみ算入の 3 つを示す。事業者にとっての LCOE は初期費用 20%の値となる。ミニグリッドの電力料金は初期費用 20%の LCOE の値の範囲内となっており, 事業者のコストを回収可能な電力料金が設定されていることが推察できる。

3.5. 考察と結論

以下, 本章の結論をまとめる。現状, 補助金なしでビジネスとして成り立つ水準にまでミニグリッドの電力量料金を引き上げることは, 消費者側の支払い能力からも困難と考えられる。しかし, 将来的に, 機器, 特に LIB の価格下落が予測通り進めば, 太陽光電源のミニグリッドは補助金がなくともビジネスとして成り立つ水準に達すると考えられる。

一方, ミャンマーにおいて基幹送電網の家庭向け電力量料金は大幅に補助されている。2019 年 6 月に値上げが発表され, 家庭向けは 35–125 MMK/kWh ($\approx 0.023\text{--}0.082$ USD/kWh) と改訂された (Mathur et al., 2017)。しかし, ミニグリッドの電力価格との差は依然として大きい。都市部の送電網に接続された比較的裕福な層が安い電力料金を享受しているのに対し, 地方部の貧困層がより高い電力料金及びより高いディーゼル燃料費用を負担しなければならず, 格差を助長していると言える。従って, ミニ

グリッドの初期費用に対する補助金は、マーケットをゆがめている等の批判はあるが、公平性の観点から考えて理にかなっていると考えられる。

ミャンマーにおいて、電力アクセスを改善し、2030 年までに電化率 100%という高い目標を達成するためには基幹送電網の延伸のみならず、分散型電源による電化も進めていくべきである。また、電化と同時に温室効果ガス排出量も増加させないためには、再生可能エネルギーの活用が不可欠であり、ミャンマーはその豊富な水力資源及び日射資源を地方電化にも活用すべきである。小水力発電は、理想的な設置条件の元では LCOE 0.058 USD/kWh¹⁰⁾と大変安価になり得ることが (Sasaki et al., 2015) により示されている。ただし、実際の設置においては、河川の雨季/乾季の流量、灌漑用水としての利用量、電源設置場所となる水源と居住地との距離、維持管理費用に影響する水源へのアクセス等のより詳細な条件を考慮することが必要である。ミャンマー政府は ADB の支援の元、Sagaing, Mandalay, Magway 地域について”potential hydro sites” (ADB, n.d.) を公開しているが、これが全土に整備されればサイト選定が容易となり、小水力発電の開発も進みやすくなるだろう。適地においては小水力発電を活用し、それ以外の地域においては、より資源が遍在している太陽光を活用していくことが望ましい。

本章では、従来ミニグリッドの主要な電源となっていたディーゼル発電機と、太陽光と蓄電池によるミニグリッドの LCOE を比較した。未電化地域は、燃料価格が高価な地域と重なるため、現在すでに太陽光発電と鉛蓄電池を電源とするミニグリッドは価格競争力があることが分かった。さらに、既設のディーゼル代替または追加設備として再生可能エネルギー電源を導入すれば、すでに一定規模の電力需要も見込め、より低コストで供給でき、いち早くビジネスを軌道に乗せることが可能になると考えられる。インタビューにおいても、Tanintharyi 地域の漁村に、既設のディーゼルミニグリッドの代替として設置された太陽光と鉛蓄電池とディーゼル発電機のハイブリッドシステムのミニグリッドが、数少ないミニグリッド補助プロジェクトの中の成功例となっていた。漁業用の照明や冷蔵庫、養

¹⁰⁾ Sasaki et al., (2015)の計算結果のうち、著者らの計算条件に近い 100 世帯、需要 400kWh/世帯のケースの、Amount of annual power generation 102.7MWh, Capital cost 53,600 USD, O&M cost 214 USD/year よりプロジェクト期間 20 年として著者らが計算した。

殖のための酸素ポンプ等、商業需要が当初より存在したことが大きいと考えられる。ミニグリッドビジネスを円滑に運用していくためには、既設のディーゼルミニグリッドの代替として導入していくというのは有効な手立てであると言える。

一方、未電化の地域に導入する場合、当初は家庭向けの需要のみとなるため、商業需要を伸ばす取組も合わせて行っていくことが重要である。小規模ビジネス創出支援策の紹介等も有効であろう。ただ、ミニグリッドの発電事業者が必ずしも起業支援が得意であるとも限らないため、政府機関等の支援が望まれる。

本章では、ディーゼルと太陽光発電ミニグリッドの電源の比較に主眼を置いたため、配電コストは考慮していない。調査で得られた配電コストも中央値 174 USD/HH、平均 607 USD/HH とかなり幅が大きく、用いる電柱やケーブルのグレードが様々であることが予想された。本章で議論した中央乾燥地域における太陽光発電では、さえぎるものも少なく、発電所と村の間の配電にも困難は少ないと考えられる。ただし、小水力発電では、発電機と村との距離や高低差が大きく、徒歩 30 分程度かかることもあり、より詳細な比較には配電コストを考慮する必要があると考えられる。



ミニグリッド全景



建屋内の鉛バッテリー



しっかりした配電線とコンクリート柱



村で唯一の電力の"productitve use"である井戸



雨季があるため基礎が高い



各世帯の水道

Figure 26 Mini-grid in Magway Region

4. 再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの普及に対する障壁分析

4.1. まえがき

3章で示されたように、バッテリーをバックアップとする太陽光電源のミニグリッドは既存のディーゼル電源ミニグリッドと比較して、地方部においてはコスト競争力があることが分かった。また、国際援助機関による太陽光発電を中心とする再生可能エネルギー促進のための補助金付きのミニグリッドプロジェクトもミャンマーで多数導入されている (ADB, 2018; World Bank, 2018; JICS, 2015)。それにもかかわらず、ミニグリッドが急速に普及してきているとは言えない。それでは、再生可能エネルギー電源のミニグリッドの普及を妨げているものはなんだろうか。本章では、国際機関や民間企業、NGO や研究者といったステイクホルダーとディスカッション、合わせて広範な文献調査を行い、普及を妨げる障壁要因の類型化を行った。そして、優先的に取り組むべき障壁を特定するため、階層分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) を用いて各要因の優先順位付けを行った。

AHP は意思決定に広く用いられており、エネルギー関連の研究テーマにも広く利用されている。例えば、イランやヨルダンにおける分散型電源の優先順位付け (Zangeneh, Jadid, & Rahimi-Kian, 2009; Kablan, 1997)、中国農村部におけるエネルギー開発 (Xiaohua & Zhenmin, 2002)、風力発電の適地選定 (Aras, Erdoğan, & Koç, 2004)、韓国における長期的なエネルギー資源開発計画の研究 (Lee, Yoon, & Kim, 2007) などである。特に障壁分析に AHP を適用している先行研究もあり、例えば、スリランカの小規模電源 (Wijayatunga, Siriwardena, Fernando, Shrestha, & Attalage, 2006)、インドとネパールにおける再生可能エネルギーへの適応 (Luthra, Kumar, Garg, & Haleem, 2015; Ghimire & Kim, 2018)、タイ農村部における調理用ストーブとバイオガス (Limmechokchai & Chawana, 2007)、インドの中小企業におけるエネルギー効率 (Nagesha & Balachandra, 2006)、中国の中小企業によるクリーナープロダクション (Shi, Peng, Liu, & Zhong, 2008) に対する障壁分析が挙げられる。AHP でグループでの意思決定を行う際に用いるコンセンサス指標は比較的新しい概念であるが (Goepel, 2013; BPMSG, n.d.), 発展途上国における太陽光及び風力エネルギー開発のための海外直接投資の決定要因の議論に用いられている (Keeley & Matsumoto, 2018)。本章でも、コンセンサス指標を用いてより詳細な分析を行った。

4.2. 方法論

4.2.1. 障壁分析の枠組

ミャンマーにおける再生可能エネルギーを利用したミニグリッドの普及に対する障壁を分析するために、(1) 文献レビュー、(2) フィールド調査、(3) ステイクホルダーとの対話という3つのアプローチを用いて障壁の特定を行った (Painuly, 2001). この障壁分析の手法は、エネルギー分野においても広く適用されている (Comello, Reichelstein, Sahoo, & Schmidt, 2017; Sen & Ganguly, 2017; Gabriel, 2016; Nasirov, Silva, & Agostini, 2015).

まず第一に、開発途上国における再生可能エネルギーとミニグリッドの利用に対する障壁について、分類を含めた広範な文献レビューを行った。第二に、ミャンマーの地方電化に関係するステイクホルダーとの議論を通じて、ミャンマーの個別の事情を勘案し障壁の類型を再構築した。その際、2017 年の Mandalay 地域、2018 年の Magway 地域に立地する太陽光電源ミニグリッドとディーゼル電源ミニグリッドへのフィールド調査からの洞察も考慮している。障壁分析を行ってまとめた要因について、AHP を用いて優先順位付けを行った。

4.2.2. 階層分析法 Analytic Hierarchy Process (AHP)

エネルギー分野には様々な多基準意思決定手法が適用できる (Bhattacharyya & Palit (Eds), 2014) が、広く利用されており分かりやすいことから、本章では AHP を選択した。AHP は、1970 年代に Saaty によって開発され、その後普及した意思決定手法である (R. W. Saaty, 1987; T. L. Saaty, 1990; T. L. Saaty, 2003). AHP では、問題を階層的に構造化し、各要因の重要度を順位付けするために、各要因の一対比較を行う。大まかな手順は下記となる (T. L. Saaty, 1994)。

1. 問題を階層によりモデル化する。
2. 回答者は一対比較を行い、各要因の重要度を判定する。各要因のペアについて Table 13 に示す尺度を用い、2 要因間の重要度を採点する。
3. 一対比較の結果の行列の固有値を計算し、各要因の重要度を決定する。
4. 回答者の採点の整合性を、整合性比 (consistency ratio, C.R) を用いて確認する。

5. C.R.が基準値（本章では<0.2）より小さい回答のみ分析に用いる.

Table 13 Fundamental scale

| | |
|---|------------------------|
| 1 | Equal importance |
| 3 | Moderate importance |
| 5 | Strong importance |
| 7 | Very strong importance |
| 9 | Extreme importance |

(T. L. Saaty, 2013)

整合性の判定について本章では行列の固有値を用いる方法を取った (T. L. Saaty, 2013). 回答者の要因の一対比較により得られた, 対角成分を持つ正方行列について整合性の判定を行う. 本章では 4 つの要因の比較としたため, 4×4 の正方行列となる. 整合性は, 行列の次数に対応するランダム指標 (Random index, R.I.) (Table 14) の値 ($n = 4$ の行列の場合は 0.89) と, 式 (1) により計算される整合性指標 (consistency index, C.I.) より, 式 (2) のように計算される.

Table 14 Random index (R.I.)

| Matrix Order | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R.I. | 0 | 0 | 0.52 | 0.89 | 1.11 | 1.25 | 1.35 | 1.40 | 1.45 | 1.49 |

(T. L. Saaty, 2013)

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

ただし, λ_{max} は一対比較行列の最大固有値, n は要因の数である.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (2)$$

本章では, C.R. の基準値は 0.2 とし, C.R. < 0.2 となった結果のみ分析に用いた. C.R. の基準値は 0.2 より大きくてはならないとされている (T. L. Saaty & Kearns, 1985). C.R. の基準値を 0.1 とする先行研究もあるが (Aras et al., 2004; Soma, 2003), 現実の世界では整合性が高い回答を集めることは大変難しく, 多くの先行研究では 0.2 を基準値としている (Keeley & Matsumoto, 2018; Cox, Alwang, & Johnson, 2000; Thao, Kurisu, & Hanaki, 2014; Madan B. Regmi & Hanaoka, 2012).

4.2.2.1. 意見の一致に関する指標

判断がグループで行われた場合、その幾何平均がグループの判断となる (Aczel & Saaty, 1983; T. L. Saaty & Kearns, 1985). しかし、通常ステイクホルダーの間で意見を一致させるのは簡単ではない。判断は修正可能であるが (T. L. Saaty & Kearns, 1985)、現実においてステイクホルダーに何度も彼らの判断を修正するように要請することは困難である。そのため、グループの判断におけるコンセンサスのレベルを示すコンセンサス指標 (consensus indicator) がシャノンのエントロピー (H) (Shannon, 1948) を元に開発された (Goepel, 2013). コンセンサス指標 (S) は式 (3) により導出される。

$$S = \frac{\frac{\exp(H_\alpha)}{\exp(H_\gamma)} - \frac{\exp(H_{\alpha \min})}{\exp(H_{\gamma \max})}}{1 - \frac{\exp(H_{\alpha \min})}{\exp(H_{\gamma \max})}} \quad (3)$$

ただし、 H_α は、要因の数 n 、ステイクホルダー K 人のときの各自のシャノンエントロピーの平均、 H_γ はステイクホルダーの重要度 p_{ij} の総和である (Jost, 2007). H_α, H_γ は以下のように導出される。

$$H_\alpha = -\frac{1}{K} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K p_{ij} \ln p_{ij} \quad (4)$$

$$H_\gamma = \sum_{i=1}^n \left\{ -\left(\frac{1}{K} p_{i1} + \frac{1}{K} p_{i2} + \cdots + \frac{1}{K} p_{iK} \right) \times \ln \left(\frac{1}{K} p_{i1} + \frac{1}{K} p_{i2} + \cdots + \frac{1}{K} p_{iK} \right) \right\} \quad (5)$$

本章では各ステイクホルダーの重みは等価としたため、その重みは $1/K$ となる。

H_α の最小値は以下のように導出される (Goepel, 2013; BPMSG, n.d.).

$$\begin{aligned} H_{\alpha \min} &= -\frac{M}{n+M-1} \ln \frac{M}{n+M-1} - \frac{n-1}{n+M-1} \ln \frac{1}{n+M-1} \\ &= -\frac{M}{n+M-1} \ln M - \ln \frac{1}{n+M-1} \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 M は Table 13 に示す尺度の最大値、すなわち 9 である。

また、 H_γ 最大値は以下となる (BPMSG, n.d.).

$$H_{\gamma \max} = \ln(n) \quad (7)$$

したがって、式 (3)は以下となる (BPMSG, n.d.).

$$S = \frac{\frac{\exp(H_{\alpha})}{\exp(H_{\gamma})} - \frac{\exp(H_{\alpha \min})}{n}}{1 - \frac{\exp(H_{\alpha \min})}{n}} \quad (8)$$

コンセンサス指標 S はステイクホルダー間に全く意見の一致が見られない状態の 0%から完全な一致をみる 100%までの間の値をとる.

AHP は回答者が専門家であれば小さいサンプルサイズであっても適用可能である (Keeley & Matsumoto, 2018). そのため、大きなサンプルサイズが可能となるオンライン調査のような手法が不可能な発展途上国のミャンマーにおいては AHP が適していると考えられる. また, AHP に用いられるサンプルサイズは先行研究によって差が大きく, 著者のみによる回答数 4 (Karatayev, Hall, Kalyuzhnova, & Clarke, 2016) から, 13 (Qureshi & Harrison, 2003), 19 (Keeley & Matsumoto, 2018), 70 (Singh & Nachtnebel, 2016) までであった. また必要サイズのシミュレーション結果は最小値 19 (Melillo & Pecchia, 2016) と報告されていた.

本章では、ミャンマーにおける再生可能エネルギー電源ミニグリッド普及の障壁分析を行い、そこでまとめられた要因の重要度を AHP を用いて分析した. まず、障壁を 5 つのカテゴリに分類し、カテゴリごとに重要と考えられる 4 つの要因を選んだ. 回答者は 5 つの障壁カテゴリごとに 6 組の一对比較、合計 30 回の一对比較を行った. 要因やカテゴリの数は、回答者の負担を勘案して設定した. 調査票は 2018 年 9 月から 2019 年 2 月の間に配布した. 調査票は、印刷物または電子ファイルの形式で回答者に対面または電子メールで配布した. 調査票の詳細は Appendix 2 に示す. Table 15 に回答者の詳細を示す. 回答者となる、エネルギー関連のステイクホルダーは様々な職種から選ばれ、約 50 名に配布したうち、42 名の回答が得られた.

Table 15 Details of the questionnaire survey

| No. of Respondents (Individuals) | Sent | Answered |
|----------------------------------|------|----------|
| NGO (international + local) | 8 | 8 |
| Government | 8 | 7 |
| Private Company | 25 | 15 |
| Media | 2 | 2 |
| Academia | 6 | 6 |
| International Organization | 4 | 4 |
| Total | 53 | 42 |

4.2.3. K-Means 法によるクラスタリング

回答者の回答の傾向について、どの程度意見が一致しているかに注目することでより詳細な分析が可能となる。コンセンサス指標がそのグループで低い値を示している場合、グループとしての回答として平均をとると、回答者の評価が平均化されてしまい、傾向が読み取りづらくなってしまう。そのため、結果をクラスタリングし、回答傾向が近い小集団に分けることで、ステイクホルダーの回答傾向が分析できる (Goepel, 2013)。本章では、クラスタリングを行う際に、非階層的クラスタリングアルゴリズムである K-means クラスタリング法を用いた (VanderPlas, 2016)。K-means 法では、観測値はクラスタ内の平均値が最も近いクラスタに分けられる。クラスタの数は外生的に与え、下記のような手順でクラスタリングを行う。

1. 各観測値を、事前に設定された数の各クラスタにランダムに割り当てる
2. 各クラスタの算術平均である中心を計算する
3. 各観測値とクラスタの中心の距離（差分）の二乗を計算する
4. 各観測値を最も距離が近い中心を持つクラスタに割り当て直す
5. 各クラスタへの観測値の割り当てが変わらなくなるまで計算を繰り返す

クラスタ数の設定にはエルボー法とシルエット分析を用いた。エルボー法では、クラスタ数ごとの誤差の二乗和を計算し、折れ線グラフを描画する (Raschka, 2017)。肘状に曲がったところのクラスタ数が、それ以上クラスタ数を増やしても効果がないという目安となる。これは、クラスタ数が増加し細分化されても、誤差の二乗和の減少がそれ以上あまりなくなることを示している。ただし、実際には、エルボー法で描画したグラフがはっきりと肘のように曲がっていることはほとんどない。

シルエット分析では、1つのクラスタ内の各観測値と隣接するクラスタとの間の距離を-1 から 1 の

範囲で示す (Scikit-learn, n.d.). ある観測値の係数が 1 に近い場合, その点は隣接するクラスタから離れていることを示し, 係数が 0 に近い場合は, その観測値がクラスタ間の境界に近いことを示している. 負の係数は, その観測値が属するクラスタが適切でない可能性があることを示す. クラスタ数を変えてシルエット分析を比較し, 適切なクラスタ数を判断する. 本章では, ステイクホルダー間のコンセンサス指標が小さい場合に, K-means 法を用いてクラスタリングを行った.

4.3. 障壁の類型

本章では AHP を用いて一対比較を行うため, 障壁のカテゴリごとに, 比較的重要度が高いと考えられる 4 つの要因をステイクホルダーへの事前のインタビューを元に選定した. 各要因を下記に説明する. 要因の中で, 技術的な障壁の「技術ギャップ」, 社会・文化的障壁の「国際機関による悪影響」, 「教育格差」, 「民族や言語の違い」はステイクホルダーとのインタビューを通して選定した本稿独自の項目である.

4.3.1. 技術的な障壁

T1: 技術ギャップ

小規模水力やバイオマスを電源とするミニグリッドは, ミャンマーの軍事政権下の鎖国時に自然発生的に発生, 発展してきた (Vaghela, 2017). 水力発電のタービンといった機器は土着技術で開発されており, そのため, 設計基準等, 現在国際基準となっている技術と異なる部分がある. ただし, 固有の技術の全てを否定するのではなく, その経済性や維持管理のしやすさ等については評価すべきである.

T2: 維持管理 (Operation and maintenance, O&M) (Comello et al., 2017; Gershenson et al., 2015; Alstone, Gershenson, & Kammen, 2015)

適切な O&M は, 耐久性や信頼性の維持に必要不可欠である. しかし, オフグリッドの村は今まで電化されていなかったために, 電気技術者がおらず, 地方部において技術者不足は深刻である. ミニグリッド事業者は O&M のために電気技術者の教育訓練から始めなければならない. ただし, 地元の労働者を訓練することで, 地元雇用機会を創出し, 農業以外の産業を興すことができる.

T3: 間欠性 (Luthra et al., 2015; Comello et al., 2017; T. S. Schmidt, Blum, & Wakeling, 2013)

再生可能エネルギー電源の多くは大なり小なり間欠的である。太陽光電源の発電量は昼夜及び季節で変化し、水力発電は季節変動がある。ミャンマーのバイオマス発電で主な燃料となるもみ殻は収穫期か否かで燃料の入手しやすさが変動する。蓄電池やディーゼル発電機等、なんらかのバックアップが必要である。

T4: 基幹送電網との互換性の欠如 (Comello et al., 2017)

ミャンマーではミニグリッドに関連する法制度は未整備である。そのため、ミニグリッドは基幹送電網との接続を考慮せず設計建設維持可能である。しかし、これは、もし基幹送電網がミニグリッドのビジネスエリアに想定外に延伸してきた場合、ミニグリッドが使われなくなり、投資回収が不可能になるというリスクを負うことになる。

4.3.2. 法規制上の障壁

R1: 法制度の欠如 (Luthra et al., 2015; Painuly, 2001; Nasirov et al., 2015; Greacen, 2017)

ミニグリッドに関する規制の枠組はまだない。規制は議論され、起草されているが、まだ公表されていない (Du Pont, 2019)。事業者は大きなリスクを負わされている。

R2: 組織の能力 (Luthra et al., 2015; Comello et al., 2017; Nasirov et al., 2015; Ahlborg & Hammar, 2014; Bhattacharyya, 2013; Kyaw, 2017)

ミャンマーの行政は縦割りとなっており、各省庁間の連携は十分とは言えない。エネルギー分野は、2016年の省庁再編後、MOEEの主管となった。しかし、各サブセクターの管轄は細分化されており、オフグリッド地域の電化はDRD、石油、地熱、電力に関してはMOEE、石炭は天然資源・環境保全省、民生用原子力は教育省、エネルギー効率と省エネルギーは工業省、再生可能エネルギーの研究と能力開発は教育省となっている。この複雑な構造は合理化すべきであると以前より指摘されている (del Barrio Alvarez & Sugiyama, 2018) が、改善されていない。官僚は所属組織内の業務に忙殺され、省庁をまたぐ取組はなかなか進まない。

R3: 技術基準・規格の欠如 (Painuly, 2001; Comello et al., 2017; T. S. Schmidt et al., 2013; UNCDF/UNDP, 2012)

技術基準や規格が欠如した状態ではミニグリッドの品質を一定に保つのは困難である。また、バイオマス発電で発生するタールや太陽光発電と組み合わせられる鉛蓄電池の廃棄によって発生する鉛といった産業廃棄物に関する規制も未整備であるが、整備は進んでいない。

R4: 基幹送電網延伸の脅威 (Comello et al., 2017; Bhattacharyya, 2013; Kobayakawa & Kandpal, 2014; Hasan, 2018; Tenenbaum, Greacen, Siyambalapitiya, & Knuckles, 2014)

再生可能エネルギー電源ミニグリッドの補助対象となっている地域は、国の基幹送電網の延伸計画に基づいて決定されており、10 年以内に到達しない地域が補助対象となっているが、計画の確実性は疑問視されており、計画よりも先に基幹送電網がビジネスエリアに到達する可能性があると考えられている。また、基幹送電網の到達後のミニグリッド事業者の取り扱いは整備されておらず、小規模発電事業者となりビジネスを継続できるのか、計画外の延伸による損害に対して補償が受けられるかといった問題点が解決していないため、事業者がリスクを負っている。

4.3.3. 経済的な障壁

E1: 市場規模 (Luthra et al., 2015; Painuly, 2001; Bhattacharyya, 2013; Palit & Chaurey, 2011)

再生可能エネルギー、特に太陽光と風力からの発電は世界的に急速に伸びており、再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの導入も広がってきている。しかしながら、ミャンマーの再生可能エネルギー電源の市場はいまだ発展途上であり、市場規模が大きいとは言えない。

E2: 低需要 (Painuly, 2001; Ahlborg & Hammar, 2014; Bhattacharyya, 2013; Palit & Chaurey, 2011)

基幹送電網と異なり、ミニグリッドでは、発電費用を賄うためにビジネスエリア内での十分な需要が必要であり、需要の創出がより重要である。ビジネスモデルとして、顧客となる携帯電話の通信塔付近にミニグリッドを設置し、近隣の村に電力を供給するアンカー顧客のモデルは好例であるものの、オフグリッドの村の近くに必ずしもテレコムタワーが存在するとは限らない。ミャンマーの地方部においては農業が主産業であるため、農業機械（耕うん機、脱穀機、コンバインなど）が電化されれば一定規模の需要が創出される可能性もある (Swe Mon Aung, 2018)。

E3: コスト収益ギャップ (Comello et al., 2017; T. S. Schmidt et al., 2013; Ahlborg & Hammar, 2014; Bhattacharyya, 2013; Hasan, 2018; Tenenbaum, Greacen, & Vaghel, 2017)

事業者は事業コストをカバーし、十分な収益を得られる料金構造を設計する必要がある。料金を設計するには多くの要因を考慮する必要がある (Tenenbaum et al., 2014), 例えば, 電力量 [kWh] 基準にするのか電力 [kW] 基準にするのか, 前払いにするのか後払いにするのか, または照明の数等の所有電化製品にするのかといった点である。さらに, 産業, 家庭といった顧客の分類, 貧困世帯への支払い免除といった検討項目もある。

加えて, 顧客の支払い能力を考慮した料金設定にする必要がある。オフグリッド地域の農村部では貧しい世帯が多く, 料金が低いと感じられてしまうと顧客確保にも支障をきたすこととなる。また, ミニグリッドの法制度が未整備で, 料金に法的根拠がないため, 事業者は常に料金引き下げ圧力にさらされることとなる。また, 地方部の村落では農業が主な産業であるため, 顧客の収入は収穫期に偏っている。事業者は, 料金設計を行う上で, 季節性を踏まえた村の産業構造や住民の所得を考慮する必要がある。

このように, 事業コストと顧客の支払い可能な料金との間のバランスを取ることは, ミャンマーのミニグリッドビジネスにおいてはまだまだ難しく, 政府からの補助がなければビジネスは困難である。

E4: 料金徴収 (Bhattacharyya, 2013; Hasan, 2018; Franz, Peterschmidt, Rohrer, & Kondev, 2014; Blum et al., 2013)

この障壁は, 前述の料金構造の障壁にも関連するが, 事業者は料金の徴収率を高める必要がある。徴収率を高める技術革新の一例として, プリペイド方式の一つである PAYG (Pay-as-you-go) がある。携帯電話を用いて, 顧客が料金を支払うと即座に事業者はロックを解除し, 顧客が電気を利用可能となる。PAYG は, 事業者の料金徴収のコストを削減すると同時に, ただ乗りを防ぐことができる。フィールド調査で訪れたミャンマーのミニグリッドでも, 週に数日開く事業者のオフィスでプリペイドカードにチャージし, カードを家のメータに差し込んで電気を利用するプリペイドシステムを用いていた。

4.3.4. 社会・文化的障壁

S1: 国際機関による悪影響

ミャンマーの既存の地元のミニグリッドは、社会福祉的な目的が強く、多くが非営利であった。あるステイクホルダーは、これらの既存のミニグリッドは政府から完全に独立して発展してきたものであり、民間によって運営されているため、政府の統計には反映されていないと指摘している。また、これらのミニグリッドは地域コミュニティを基盤としており、多くの場合、村の一家庭が運転員として働いていた。国際的な資本主義社会から離れて発展してきたため、その目標利益率は非常に低く、時にはほぼゼロというところもあった。しかし、国際機関による再生可能エネルギー電源、特に太陽光電源ミニグリッドの補助事業が普及したことで、顧客は、補助金を受けたミニグリッドの高い利潤を聞き、既存のミニグリッドについても高い収益を得ているのではないかと懐疑的になり、事業者と顧客との関係が悪化したとの指摘もある。

また、手厚い補助は機器の市場価格をゆがめることになるため、注意して制度設計がなされる必要がある。

S2: 民族や言語の違い

ミャンマーには 135 の民族がおり (Central Intelligence Agency, 2019)、公用語であるビルマ語を話さない民族もいる。主に中央部に多数派のビルマ族が居住しており、少数民族の居住地域は主に周辺の丘陵部となっているが、オフグリッドの地域は少数民族の居住地域と重なる部分が多い。言語や文化、連邦政府への信頼感の違い等はプロジェクトの難易度を高めている。

S3: 教育格差

あるステイクホルダーは、教育格差のために、ミャンマーの地元の事業者が国際機関による資本コストの低い融資を受けられないでいると指摘していた。太陽光発電事業者は、ミニグリッド事業に新規参入しており、高等教育を受けた人材を有していたり、外資系であることも多い。そのため、英文での文書作成にも堪能で、国際基準の融資審査に対応が可能である。しかし、既存のミニグリッド事業者は、小規模な家族経営が多く、初等教育までしか受けていないことも多い。事業者は英語が話せず、提案書を作成するための Microsoft Excel などの IT (Information Technology) ツールにも不慣れであ

ることもしばしばであり、融資への応募に困難を感じている。

S4: 低品質への理解 (Comello et al., 2017; Bhattacharyya & Palit (Eds), 2014; Franz et al., 2014)

事前に入念な実行可能性調査をしたとしても、初期段階から切れ目のない電力供給を実現することは困難である。ただし、基幹送電網でも停電は頻発しており、24 時間 365 日の安定した電力供給を実現できているわけではない。

4.3.5. 金融上の障壁

F1: 融資へのアクセス困難, F2: 高い資本コスト (Luthra et al., 2015; Painuly, 2001; Nasirov et al., 2015; Gershenson et al., 2015; T. S. Schmidt et al., 2013; Greacen, 2017; Ahlborg & Hammar, 2014; UNCDF/UNDP, 2012; Palit & Chaurey, 2011)

ミャンマーでは、エネルギーセクタだけでなく、金融セクタも発展途上である。金融機関は、融資の経験が少なく、その提供も限られている。プロジェクトファイナンスへの融資経験は浅く、プロジェクト評価の知識も不足している。そのため、ミニグリッド開発業者が民間の金融機関から融資を受けることは難しい。また、たとえ融資を受けることができて、期間が 1 年などの短期かつ金利が高いなど、あまりいい条件ではない。金利は、2017 年の時点で、銀行融資金利の法定上限が年率 13% であった (Gilmore & Robinson, 2017)。ミニグリッドプロジェクトは比較的小規模であるため、大規模プロジェクトに比べ、資金調達コストはより上昇する。

F3: 顧客の資金不足 (Painuly, 2001; Comello et al., 2017; Gershenson et al., 2015)

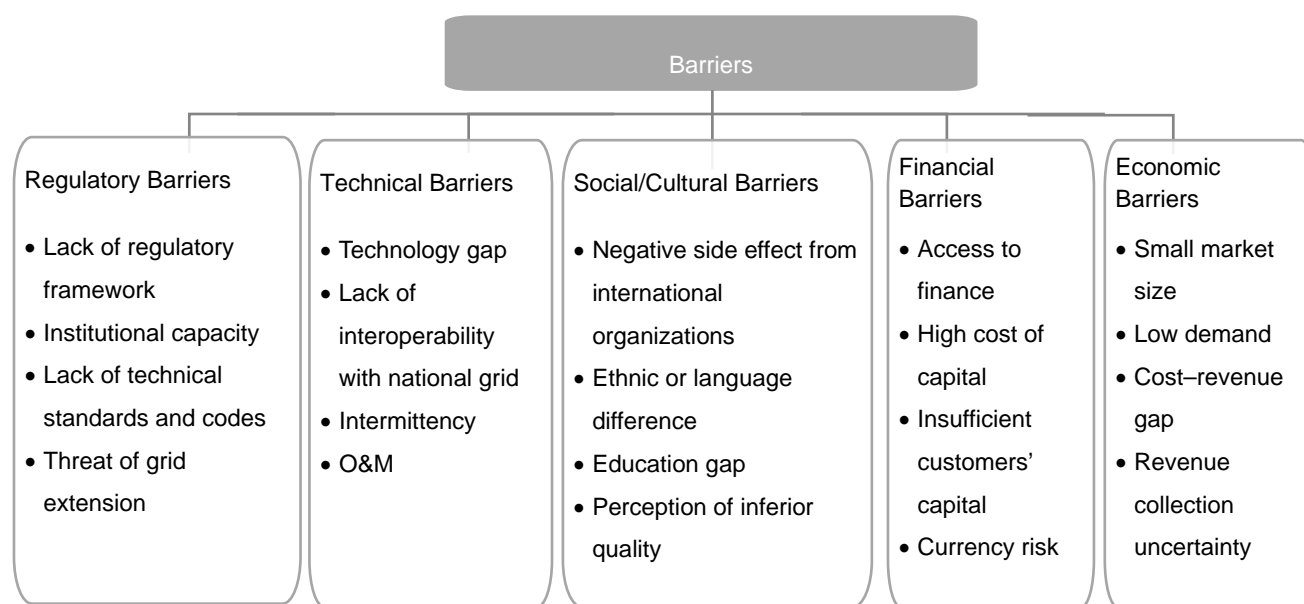
顧客側も資金不足で貧しく、電化製品の設置が伸びないという問題もある。個人の資金調達手段として近年伸びているのがマイクロファイナンスである。ミャンマーではマイクロファイナンスを通じた融資額は増加傾向にあり、2016 年には同国の総融資額の 3% を占めている (Ono, 2017)。ミャンマーのマイクロファイナンスの金利の法的上限は月 3.5%、平均金利は月 2.5%、融資額の上限は USD 4,000 である (Dave Grace and Associates, 2016)。この年利 30% という金利は、高く見えるが、非正規の金貸し業者の平均金利月 10% を大幅に下回っている。また、ミャンマーでは、利息は一般的に単利で計算される (高橋, 2000)。ただし、マイクロファイナンスはごく小規模な事業者を対象としており、ミニグリッドの事業規模には適さない。

F4: 為替リスク (Gershenson et al., 2015; BloombergNEF, 2018)

事業者が米ドルなど外貨建てで資金調達を行っている場合、事業者は収入を現地通貨で得るため、為替リスクにさらされる。例えばミャンマーの通貨であるチャットは、2013 年 4 月 27 日から 2018 年 4 月 26 日までの 5 年間で、当初の 885 MMK/USD (2013 年 4 月 27 日)と比較すると最高値は 1,381 MMK/USD (2016 年 12 月 22 日) と、56%も変動している (XE.com, 2018)。援助機関を含む外国の金融機関は通常米ドル建てとなっており、融資の受け手が為替リスクを負うことになる。

4.4. 結果

Figure 27 に階層化した障壁を示す。回答者は同カテゴリ下の各要因を比較するよう求められた。各カテゴリの中で、経済的、技術的、法規制上の障壁要因については比較的高い意見の一致がみられたが、社会文化的、および金融上の障壁要因についてはあまり意見が一致しなかった。そのため、これらの結果についてはクラスタリングし、さらなる分析を行った。

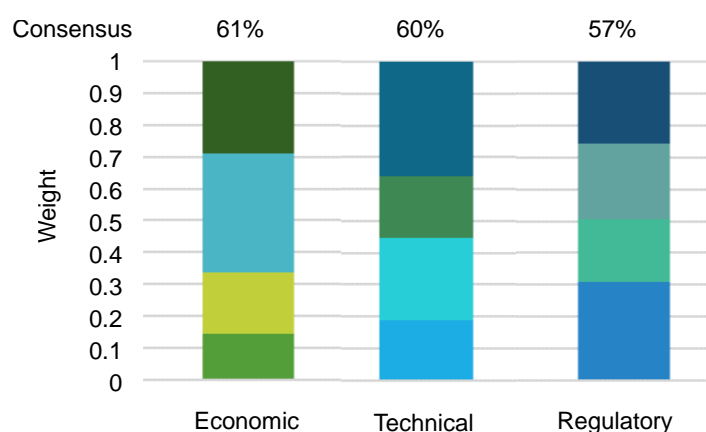


Note: O&M: Operation and maintenance.

Figure 27 Hierarchized barriers

4.4.1. 比較的高い意見の一致が見られた障壁

Figure 28 に、比較的高い意見の一致がみられた障壁の要因の優先順位付けの結果を示す。経済的、技術的、法制度上の 3 カテゴリである。















| Economic barriers | | Technical barriers | | Regulatory barriers | |
|---|------------------------|---|--|---|-----------------------------------|
|  | (E4) Fee collection |  | (T4) O&M |  | (R4) Threat of grid extension |
|  | (E3) Cost-revenue gap |  | (T3) Intermittency |  | (R3) Institutional capacity |
|  | (E2) Low demand |  | (T2) Lack of interoperability with national grid |  | (R2) Lack of technical standards |
|  | (E1) Small market size |  | (T1) Technology gap |  | (R1) Lack of regulatory framework |

Figure 28 Weights of factors of economic, technical and regulatory barriers

経済的な障壁については、有効回答率が 55%、コンセンサス指標が 61%となった。各要因の重要度は、「コスト収益ギャップ」が 0.37、「料金徴収」が 0.29 となり、0.19 の「低需要」と 0.14 の「市場規模」と比較すると高い値を示した。

技術的な障壁では、有効回答率が 52%、コンセンサス指標が 60%となった。「O&M」が最も重要視されており、重要度 0.36 と、他の要因、「基幹送電網との互換性の欠如」の 0.26、「間欠性」の 0.20、「技術ギャップ」の 0.19 と比較すると高い値を示した。

法規制上の障壁では、有効回答率が 64%、コンセンサス指標は 57%であった。「法制度の欠如」が重要度 0.31 と最も重要視されており、続いて「基幹送電網延伸の脅威」が 0.26、「組織の能力」が 0.24、「技術基準・規格の欠如」が 0.20 となった。ステイクホルダーは比較的各要因の重要度を同等に評価していた。

4.4.2. 意見が分かれた障壁

社会・文化的、金融上の障壁では有効回答率が 60%、45%となった。また、コンセンサス指標がそれ

ぞれ 46%, 44%と比較的低い値を示した。そのため、この 2 つのカテゴリの結果は K-means 法によるクラスタリングをし、各クラスタの結果を分析した。結果を Figure 29 に示す。クラスタの数はエルボー法とシルエット分析の結果及び各クラスタに含まれる回答数のバランスを考慮し、3 と設定した。クラスタリングの結果、コンセンサス指標は著しく上昇したため、各クラスタの結果の平均を取ることが合理的と考えられる。

社会・文化的障壁において、クラスタ 1 には 11 の有効回答が含まれ、コンセンサス指標は 86% となった。「低品質への理解」が最も重要という結果になった。対して、クラスタ 2 はコンセンサス指標 91% で有効回答 8 つを含み、「教育ギャップ」を最も重要視していた。クラスタ 3 は有効回答 6 つを含み、「民族や言語の違い」が最重要としていたが、他のクラスタと比較すると最重要とされた要因とその他の要因との重要度の差が小さかった。このように、各クラスタ間の意見は大きく割れていた。

金融上の障壁については、各クラスタの有効回答数は 7, 6, 6 とほぼ均等に分かれ、多数派の意見は生じなかった。クラスタ 1 はコンセンサス指標 75% となり、「為替リスク」を最重要としていた。クラスタ 2 はコンセンサス指標 83% で「融資へのアクセス困難」を最も重要としていた。クラスタ 3 はコンセンサス指標 70% で「顧客の資金不足」を最も重要視していた。クラスタ間で最重要とする要因は大きく異なり、また各要因の優先順位も傾向が異なっていた。各クラスタが含む有効回答数とコンセ

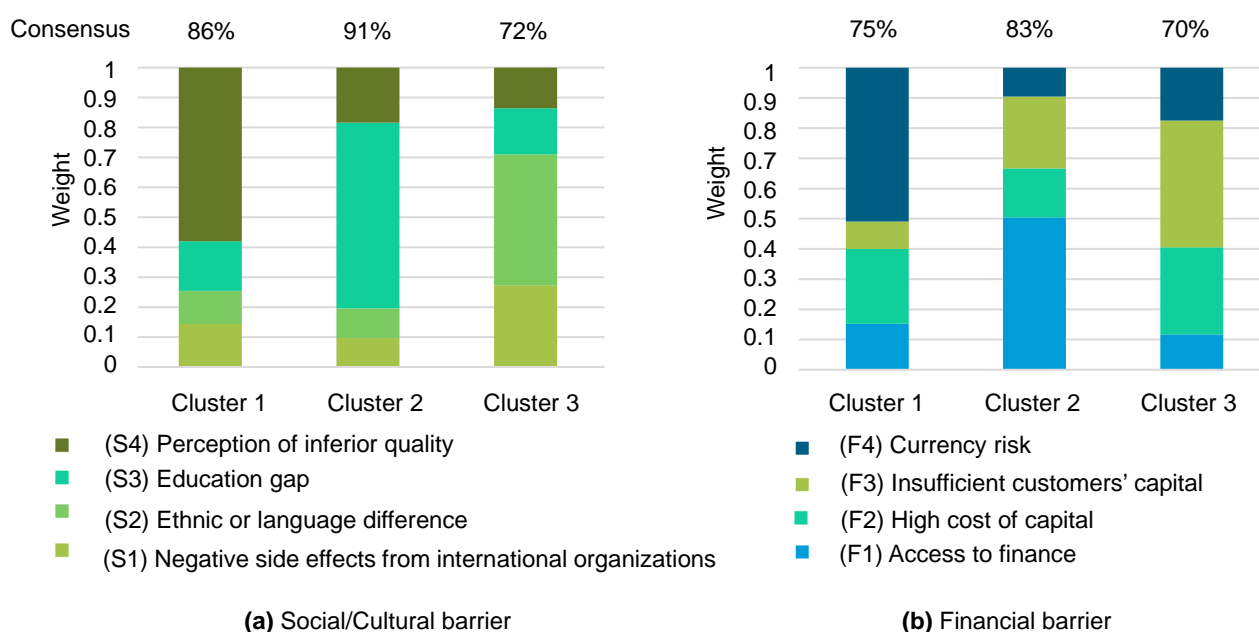


Figure 29 Averaged weights of clustered results

ンサス指標のレベルは同程度であったため、金融上の障壁については主要な要因を 1 つに絞ることは不適切であると考えられる。

4.5. 議論と結論

障壁について、回答者間で比較的高い意見の一致が見られるカテゴリは 3 つ、意見が分かれたカテゴリは 2 つという結果であった。先行研究にみられるような、インドにおけるミニグリッド発展の最大の障壁は基幹送電網延伸の脅威 (Comello et al., 2017)、自然エネルギー導入の最大の障壁は、インドでは政治的コミットメントの欠如 (Luthra et al., 2015)、ネパールでは政情不安 (Ghimire & Kim, 2018)、といった明確な結果は得られなかった。この結果から、ミャンマーにおける再生可能エネルギーによるミニグリッドの普及には様々な障壁があり、最大の障壁についてはいまだ意見の一致がみられる段階ではないことが示された。さらに、回答者の職業が private company か否かによる優先順位付けの結果への影響について、t 検定を用いて確認したが、private company 勤務者とそれ以外の回答者で評価に差が出たのは、「S4: 低品質への理解」のみであった。これは、「S4: 低品質への理解」を最重要視するクラスタ 1 がほぼ private company 勤務者で占められていた結果とも一致していた。しかし、それ以外の要因については、差は見られなかった。この結果からも、障壁について、意見の一致がみられる段階でないことが示唆される。しかしながら、比較的意见の一致がみられたカテゴリの中で重要度が高かった障壁要因は、障壁克服の足掛かりとなるものであり、今回の結果は取組の一助となると考えられる。

回答者であったミャンマーのミニグリッドに関連するステイクホルダーは、経済的障壁の中で、「低需要」、「市場規模」について、「コスト収益ギャップ」及び「料金徴収」よりも低い評価をつけており、ミャンマーの再生可能エネルギー市場の成長や村落の電力需要の増大について楽観的であることが分かった。「コスト収益ギャップ」が重要視されていたが、この問題は料金設定の問題であるとも考え得る。太陽光発電は特に資本集約的であり、そのビジネスモデルは初期投資を月々の電力料金で回収していくというものである。顧客の支払い能力は限られており、投資回収のために高い料金設定となると、顧客は電力の利用を控えてしまう。顧客の支払い能力と投資回収の間で料金設定のバ

ランスを取る必要がある。顧客が設定された料金をどう考えるかは何を参照価格とするかに大きく左右される。ミャンマーは基幹送電網の家庭向け電力料金は補助金によって低く抑えられている。2019年に政府は家庭向け電力料金を 35–50 MMK/kWh (2.4–3.4 US cents/kWh) (Mathur et al., 2017; XE.com, 2020) から 35–125 MMK/kWh (2.4–8.6 US cents/kWh) へ値上げしたが (Htwe, Htet, & Chau, 2019), いまだ大変安い水準である。これはミニグリッドビジネスにも悪影響を与えることとなる。本章での調査結果によると、政府から初期投資額の 60%の補助を受けているミニグリッドにおいてもその電力料金は 350–500 MMK/kWh (24–34 US cents/kWh) という水準である。顧客が基幹送電網の電力料金と比較するとミニグリッドの電力料金は高いと感じてしまう。一方、再生可能エネルギー電源のミニグリッドが導入される前からディーゼル発電機を利用して電力を利用していた村にとっては、太陽光電源ミニグリッドのほうが料金が安いと感じられていた。ミャンマーでは一般的に輸送コストが上乗せされる地方部においてディーゼル燃料が都市部よりも高い。また、スイッチ一つで電気を利用できる利便性も利点として顧客から挙げられていた。このような村では太陽光電源ミニグリッドの電力料金を村人は進んで支払う。この事例は参考価格がいかに重要であり顧客の行動に影響するかを示している。

技術的な障壁については、「O&M」が重要とされていた。ミャンマーのミニグリッドは、国の送電網が整備されていない地域に立地するため、農村部が多く、電気技術者もほとんどいない。この要因が最も重要とされたのは、ミニグリッド事業者がそのビジネスの初期段階から O&M の問題に直面し、すでに困難を感じているためと考えられる。この点を解決するため、多くのミニグリッド事業者は村人の能力開発を行い、運用及び簡単な保守の教育訓練をして、維持管理要員として雇用している。これは、村の雇用創出にもつながっており、農村部に農業以外の産業を生み出している。インタビュー調査の中で、農村での雇用機会が少ないために生産年齢人口の多くが都市部や外国に出稼ぎにしていることが指摘されており、地方部の産業創出が課題として挙げられていた。電気技術者の不足は障壁ではあるが、解決に取り組むことで雇用機会を創出しており、障壁の克服が地方部の発展につながる好例である。

法規制上の障壁の中では「法制度の欠如」が重要視され、解決すべき課題として認識されている。この点については、GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)をはじめとする国際機関

がミニグリッドに関する法令整備をする DRD を支援してきた (Du Pont, 2019). この法令の原案には、基幹送電網が域内に到達した際のミニグリッドの取り扱いが含まれており、発効すれば優先順位 2 番目となっている「基幹送電網延伸の脅威」が軽減されると考えられる。しかしながら、法令案は MOEE へ回されたあと、手続きは進んでおらず、省庁間の連携強化が望まれる事態となっている。

社会・文化的な障壁については、回答者の意見が割れていたが、上位の障壁要因については克服するための対策を取るべきである。「低品質への理解」については、再生可能エネルギーの特性を住民に事前に十分説明することが重要と考えられる。太陽光発電や小水力発電などの再生可能エネルギーを利用したミニグリッドの出力は、天候の影響を受けるため、品質を担保するにはバックアップ電源を設置する必要がある。季節変動によらず、十分な発送電を行うためには、十分なバックアップを確保する必要があるが、過剰な設備はコスト増につながる。過剰な設備投資を抑制し、顧客満足も確保するためには、カスタマーリレーションに力を入れるべきである。

さらに、「教育格差」も克服可能な障壁要因である。ミャンマーの既存のミニグリッド事業者は、新規参入してきた事業者よりも、補助事業やソフトローンへのアクセスがより困難であることが指摘されていた。新規参入の太陽光発電ミニグリッド事業者が英語に堪能で、コンピュータや Microsoft Office などの IT ツールを活用可能である。既存のミニグリッド事業者の教育歴のデータはないが、多くは農村部に拠点を置いており、農村部における高等学校就学率は 2017 年時点で 39% である (Central Statistical Organization et al., 2018)。そのため、既存の事業者の多くは補助事業で要求されるエクセルベースの事業計画のような必要書類を作成することも困難である。これは資金力に劣る既存のミニグリッド事業者をより不利にしている。こういった事業者は自身でコンサルタントに書類作成を代行依頼する資金余力もない。政府は補助事業を導入する際に、そういった事業者への支援活動も含めて制度設計を行うべきである。

金融上の障壁は、意見がわれたカテゴリであった。その理由の一つは、ミャンマーの金融セクタの未成熟さにあると考えられる。ミャンマーの商業銀行はプロジェクトファイナンスに不慣れであり、プロジェクトの担保価値の評価は困難である。開発事業者が取ることができる手段はコーポレートフ

ファイナンスのみとなる。この状況は資本集約的な再生可能エネルギー電源ミニグリッド事業への参入をより困難にしている。ミャンマーの金融機関への能力開発プログラムも国際機関により支援されており (Hofmann, 2017), これらのプログラムが結実することがのぞまれる。

本研究には下記のような限界がある。AHP では、まず最下層の階層内の要因間で優先順位付けを行い、その後、最重要とされた要因同士を比較することで全ての要因の中で最も重要な要因を特定することができる。しかし、今回はオンライン調査が不可能であったため、最下層の要因の優先順位を入力後即時に算出し、結果を元に最重要視する要因をカテゴリをまたいで比較してもらうことができず、全要因の重要度まで算出することはできなかった。より大きなサンプルサイズで即時性のある調査を行うことが今後の課題である。さらに、AHP には既知の限界がある。回答に整合性がない場合でも、回答者に評価を何度もやり直してもらうことはステイクホルダーを回答者とする場合、現実的には困難である (Keeley & Matsumoto, 2018)。また、得られた結果は平均化することになるが、そうすると少数派の意見が結果に反映されなくなってしまう。これを避けるためには、コンセンサス指標を活用し、クラスタリングを行うことで、少数派の意見を分離して分析することが有用である。ミャンマーでは、再生可能エネルギーを電源とするミニグリッドの普及には、大きな障壁が複数存在するが、各障壁要因の重要度を評価し、優先順位が高いと考えられているものから対策を検討していくことは、障壁の克服に役立つと考えられる。

本章ではミャンマーにおける障壁に焦点を当て分析したが、他の国々と共通する課題も多い。他国で行われ効果的であった取組はミャンマーでも実施することができ、またその逆も可能である。各国間の障壁の比較研究により、効果的な取組を整理することは効果的な障壁の克服に有効であると考えられる。さらに、ミャンマーは、軍事政権下の鎖国時代に、コミュニティ主導のミニグリッドが自立的に発展してきた数少ない国の一つである。コミュニティ主導の非営利目的のミニグリッドモデルからは、再生可能エネルギー普及のための補助期間がすぎたあともミニグリッド事業を持続可能なものにするためのヒントが導き出すことが可能と考えられる。

5. 結論

本稿ではミャンマー地方部において、その地域の実情に応じて、導入に適した分散型電源を示し、その有効性や導入における問題点を示した。地域の緊張を悪化させないことが最も重要となる紛争被害地域においては SHS などの独立型太陽光発電機器、少数民族紛争の影響がなく、ある程度家々が密集している地域においては、小規模ビジネスの産業需要にまで対応できるミニグリッドの導入が有効である。

分散型電源として最も小規模なものはソーラーランタンや SHS などの独立型太陽光発電機器である。供給できる容量には限りがあるものの、設置の容易さというメリットは大きい。特に、70 年もの長きにわたり紛争に苦しんできた少数民族が居住する紛争被害地域においては、状況はいまだ不安定であり、大規模な工事に対する警戒感強い。支援プロジェクトを行う際も、地域の緊張を高めないように細心の注意を払う必要がある。そのような地域において、教育や保健医療といった従来から重視されてきた DLS 各側面 (Rao & Min, 2018) と並んで重要と考えられ、かつ紛争を悪化させる懸念が少ないと考えられていたのは情報へのアクセスと、それを可能にする物的要件の携帯電話であった。世帯所有率は既に TV を超えている携帯電話であるが (Central Statistical Organization et al., 2018)、本稿のインタビューでは視聴時間も TV を凌駕してきている。先進国途上国の別なく、世界的な傾向と一致しているといえる。さらに、地方部で、携帯電話のカバーエリアに含まれていない地域であっても、若者を中心として携帯電話に対する欲求は大変強い。若者は食事を減らしてでも携帯電話の購入資金を貯めているという話もあった。地方部においては有料の充電サービスがビジネスとして成立するほど、携帯電話の充電も需要があり、電力へのアクセスには大きなニーズがあると考えられる。そのように重要度の増す携帯電話であるが、電力需要としてはごく小規模であり、SHS など独立型太陽光発電機器で供給することが可能である。外国からの製品流入により、価格低下が進み、ミャンマー地方部で利用されていることも増えてきた太陽光発電機器ではあるが、紛争被害地域の Kayin 州地方部においては未だろうそくを照明に利用している世帯も 16% と多い (Central Statistical Organization et al., 2018)。電力へのアクセス支援は急務と考えられる。

しかしながら、少数民族地域における電力と言ってまず想起されるのは、歴史的にエネルギー正義/不正義 (Jenkins et al., 2016) に関する多くの問題を引き起こしてきた大規模発電所、特に大規模ダムである。過去の強制労働や強制移住といったエネルギー不正義の問題は人々の記憶に残っており、抵抗感が強い。地元への情報共有や適切なコンサルテーションといった手続き的正義の問題も、いまだ解決されないままである。ダム等の大規模発電所が身近に建設されるのであれば、基幹送電網に接続されること自体に対する村人の抵抗感は少ないのではないかという意見もあるが、供給能力不足による都市部での乾季の停電の頻発 (Lynn & Kean, 2019) もあり、発電所の増設なしに基幹送電網を全国へ延伸することは困難と考えられる。

また、基幹送電網を少数民族地域のすみずみまで張り巡らすということは、少数民族武装勢力 (EAO) の支配地域にも建設することとなる。アウンサンスーチー国家顧問が ” Transportation, electricity are keys to jobs, development” (State Counsellor Office The Republic of the Union of Myanmar, 2017) と、電力と道路を合わせて打ち出しており、実際に道路沿いに送電網が通っているのを目にするが、道路建設については過去の経緯より EAO の警戒感が最も強いところであり、道路建設と対になっての送電網の建設が軋轢を生じさせるであろうことは想像に難くない。基幹送電網単体の工事であっても、それなりの規模を伴うため、EAO 側の許可を得るには時間がかかると考えられる。一般的にも、地方部においては送電網の延伸費用も村で負担しなくてはならず、都市部の接続料のみの負担に比べて、大変重荷となっている。延伸申請、補助金額の折衝等、村が行う調整にも数年かかる。このようにビルマ族の地域、少数民族地域を問わない分配的不正義も多く指摘されているが、解決への取組は聞こえてこない。基幹送電網を、地域の状況を悪化させることなく導入するためには多くの問題を解決する必要がある、ビルマ族の地域への延伸以上に期間がかかると考えられる。

対して、分散型電源による電化は大規模な工事は不要で導入が容易であり、紛争を助長する懸念も少ない。分散型電源としては SHS 等の独立型太陽光発電機器と、ミニグリッドがあるが、家々の配置等、実際の村の状況を考慮して選択すべきである。紛争被害地域の村は、過去の国軍による焼き討ちや、強制移住 (JICA & 八千代エンジニアリング株式会社, 2013) などのため、被害のない地域の村と比較してより一軒一軒が離れ、木に隠れるような立地となっている (South et al., 2010)。こうした地域

においては、配線が不要となる独立型太陽光発電機器のほうが適していると考えられる。中央乾燥地域のミニグリッドにおいて配電コストは中央値 174 USD/HH となっており、家々の距離を考慮すると、紛争被害地域では配電コストがより高くなると予想される。ソーラーランタンであれば USD 10, TV まで付属する SHS でも USD 350 ほどの価格であることを考えると、予算に応じた独立型太陽光発電機器を選択して迅速に電力へのアクセスを改善するほうが有効であろう。独立型太陽光発電機器の難点は、照明や携帯電話充電といった基本的な電力需要しか満たすことができないことであるが、これは DLS 向上への大きな貢献であると言える。現代社会において、いや増す情報の重要性を考えると、未電化から最低レベルの電化へエネルギーラダーを一段上がることは、過去、そのレベルでは白熱電球の利用しかかなわなかった時代と比較すると、その効用は著しく増加し、一段の意味が飛躍的に大きくなっていると言える。

地方部において、紛争被害等の特別な事情がなく、適地であれば、独立型太陽光発電機器よりも大きな需要に対応可能であり、その供給コストもより低いミニグリッドの導入が有効である。ミャンマーでは再生可能エネルギー資源として、水力と太陽光が豊富であり、ミニグリッドの電源として活用しない手はない。一方、ミャンマーにはディーゼルを電源とするミニグリッドは 13,000 村もあるものの、太陽光発電を電源とするものは桁違いに数が少なく (Greacen, 2017)、理由として多く挙げられるのはバックアップ電源も含めた太陽光発電のコストである。しかし、ミャンマーにおいて、太陽光発電とディーゼルのミニグリッドのコストについて、近い将来起こることが確実な鉛蓄電池から LIB への移行という技術革新と予想されている価格下落まで含めて議論したものはなかった。本稿では、太陽光発電とバッテリーを組み合わせたミニグリッドと、ディーゼル電源のミニグリッドの LCOE を比較し、さらに太陽光発電とバッテリーの組み合わせについては、現行の鉛蓄電池のみでなく、LIB を用いた将来価格シナリオについても計算し、今後の太陽光発電の機器価格下落後の LCOE の見通しも示した。

結果より、交通アクセスの悪い地方部においては、太陽光発電と鉛蓄電池を組み合わせたミニグリッドが、旧来のディーゼル電源ミニグリッドにコスト競争力を持つことが示された。ただ、太陽光電源ミニグリッドの費用効率を改善するためには、日中の需要の創出が重要である。家庭向けの需要の

みだと需要のピークが夕方から夜となってしまう、供給コストの高いバッテリー等のバックアップ電源からのみ供給することとなってしまう。日射量の豊富さから、中央乾燥地域で多く太陽光電源のミニグリッドの導入は進んでいるが、照明や家電製品といった家庭向け需要以上の産業用需要の創出には時間がかかり、インタビュー調査においても初期の収益確保に苦戦する事業者が大半であった。調査時点では、ミニグリッド導入から間もなく、導入後のデータを取得することは困難であったため、高橋 (2018) による中央乾燥地域における基幹送電網接続による電化のケースを参考にすると、接続後、家電の設置は急速に進み、ごく小規模なビジネスは生まれていた。1994 年の Tindaungyi 村 (Mandalay 地域, Kyaukse District, Kyaukse Township, Tindaun Village tract) の電化では、156 世帯中、電力メータを設置し送電網に接続できた 18 世帯のうち、TV 5 世帯、ビデオプレーヤー1 世帯、冷蔵庫を 2 世帯が導入していた。ビデオプレーヤーを所有する村人は、他の村人にビデオを見せて収入を得、冷蔵庫を所有する村人は、アイスクャンディーを作って学校帰りの子供たちへ販売することで収入を得ていた。ただこのようなごく小規模のビジネスだと、大きな日中の需要とまではならない。対して、2017 年、南東地域島しょ部 Tanintharyi 地域 Kenti Island に導入されたバッテリーとディーゼル発電機をバックアップとする太陽光電源ミニグリッドは、ディーゼル発電機の置き換えとして導入され、初期より収益確保に成功し、次年度には設備を増強していた。元々漁業や養殖業の産業需要が既にあった村に設置したため、需要算定に不確定要素が少なく、成功事例となったと考えられる。日射条件だけでなく、立地する村の産業構造がミニグリッドビジネスにとって重要な成功の要因であると言える。ミニグリッドビジネスを円滑に進めるためには、既設のディーゼル電源ミニグリッドの代替として導入していくというのは一つの有効な方策と考えられる。

ただ、電力へのアクセスを改善するという大目標に立ち返ると、ディーゼル電源のミニグリッドを有する村は、ミャンマー政府の定義からは外れているものの、厳密には未電化村ではない。未電化村の電力アクセス改善においては、当初の収益が見込みにくいため、補助事業が有効である。ミャンマーでは現在、再生可能エネルギー電源のミニグリッドへの支援事業が行われている。普及促進のため、初期投資額の 60% という非常に手厚い補助がなされているが、World Bank からのローンで原資が賄われていることを考えると、そう遠くない時点で補助金額の見直しが必要となることは想像に難く

ない。補助プロジェクトの多くを占める太陽光発電が、地方部でコスト競争力を持つという結果は、今後の支援策の議論における重要な示唆が得られたと言える。また、近い将来 LIB が一般的に採用されるようになることに異論はないだろう。価格が多く予想通り下落すれば、バックアップを必要とするオフグリッド地域における太陽光発電の競争力はますます高まる。太陽光発電の価格が多く予想を上回る速さで下落したことを考えれば、決して楽観的にすぎることはない。実際、フォローアップのインタビューを行った際には、複数の事業者が LIB の導入も検討したと答えていた。今後、LIB がミャンマーの市場で普及すれば、未電化村においても、太陽光発電ミニグリッド普及のための補助金は不要となると考えられる。

また、既設のディーゼル電源ミニグリッドの代替導入によって成功した Tanintharyi 地域の事例から得られた重要な示唆として、料金に対するアンカリングがある。ミャンマーにおいて基幹送電網の家庭向け電気料金は大幅に補助されており、大変安価である。最低料金は、基幹送電網の平均供給コスト 108 MMK/kWh (≈ 0.071 USD/kWh) の 3 分の 1 にも満たない (Lynn & Kean, 2019)。2019 年に家庭向け電気料金は 35–50 MMK/kWh (2.4–3.4 US cents/kWh) (XE.com, 2020) から 35–125 MMK/kWh (≈ 2.4 –8.6 US cents /kWh) と値上げされたが、利用量による段階的料金のため、コストカバーに十分か否かはっきりした見通しは示されていないほどである。値上げ後もミニグリッドの電気料金 350–500 MMK/kWh (24–34 US cents/kWh) との価格差は大きく、インタビューにおいてもミニグリッドの電気料金を高いとする意見が聞かれた。しかし、Tanintharyi 地域のディーゼル代替としての導入事例では、顧客が参考価格とするのは、基幹送電網の電力料金ではなく、既存のディーゼル電源ミニグリッドの料金であった。Tanintharyi 地域では調査時点で燃料価格がヤンゴンの 2.7 倍であったように、輸送コストが含まれた燃料コストは高額であり、それと比較してのミニグリッド電力料金は顧客に割高と受け取られることはなかった。価格設定の際には、顧客側の参考価格も考慮する必要があるが、基幹送電網の電力料金の水準にまで下げることは不可能だろう。

基幹送電網の電力料金に見られるような、エネルギー補助金は、政治的に大変解消が困難な問題であり、世界的に見ても成功事例は少ない (経済産業省, 2016)。さらに、ミャンマー政府は新型コロナウイルス感染拡大による経済への影響から、家庭向けに 2020 年 12 月まで毎月 150kWh 分の電力料金

を無料とする政策を打ち出しており (Htwe, 2020), 補助額は拡大傾向にある。2020 年 11 月の総選挙後の政府が都市と地方の格差是正のために補助金削減に取り組むことが望ましいが、今回の選挙でも与党である NLD (National League for Democracy) が勝利すると予想されているものの、前回 2015 年の総選挙ほどの地滑り的な大勝を収めることはないというのが大方の予想であり (Parameswaran, 2020), 高い支持率を背景とする補助金削減という手立ては望みにくい。これ以上の電力料金値上げを想定することは現実的ではないと考えられる。そういった背景からも、都市部の基幹送電網を利用している住民と、地方部の住民の間の格差を縮小するために、特に初期投資額の大きい再生可能エネルギー電源ミニグリッドへの初期投資金額を計算の基礎とする補助金は、有効であると言える。

これまで述べてきたように、ディーゼル燃料が高い地方部において、太陽光発電を電源とするミニグリッドは既存のディーゼル電源ミニグリッドに対してコスト競争力があり、補助も手厚いにもかかわらず、その普及は急速に進んでいるとは言えない。経済的側面以外にも、その普及を妨げる障壁が存在していると考えられる。本稿では、普及を妨げる障壁の要因を類型化した上で、ステイクホルダーへ AHP を用いた質問票調査を行い、各要因の重要度を算出した。すると、経済的、技術的、法規制上の障壁の重要度については比較的高い意見の一致がみられたが、社会文化的、および金融上の障壁要因については意見が割れるという結果となった。他国における先行研究にみられる、基幹送電網延伸の脅威が再生可能エネルギー電源のミニグリッド普及の最大の障壁である (Comello et al., 2017) といったような、明確な要因の特定には至らなかった。ミャンマーにおいてははまだ障壁の各要因の多くが解決の見込みなく残っており、最大の障壁について意見の一致がみられる段階ではないと考えられる。しかしながら、結果は障壁要因のいずれもが重要という、ミャンマーにおけるミニグリッド普及の困難を示すものではあるものの、各障壁要因の重要度の算出は、対策に取り組む上での一助となり得るものであり、有意義と考えられる。

代表的な障壁の要因について考察する。技術的な障壁で重要と考えられていたのは維持管理の問題であった。特に援助プロジェクトとして供与される場合、設置後、管理者不在となり、多少の不具合でそのまま使われないまま、放置されることにつながっているという指摘が様々な調査を通して数多く聞かれた。現在導入されている補助プロジェクトのように、民間の事業者が建設・運営を行い、一定

の契約期間終了後に村の電化委員会 (VEC) へ所有権を移転する BOT (Build Operate Transfer) 方式も一案である。ただし、持続可能性の点からも所有権についてはより詳細な議論が望まれる。現在の VEC はボランティアによって運営されているが、所有権を移転する前に、例えば VEC をボランティアではなく法人格にするといったような責任の所在の明確化が必要となるだろう。長期的な視点での設計が期待される。

民間の事業者の運営期間においても、維持管理のための技術者不足は課題の一つではあるが、事業者は村人へ教育訓練を行うことで人材を育成しており、村の雇用機会を創出するという有益な効果が生まれている。

また、法整備が進んでいないミニグリッドではあるが、発電容量 30MW 以下の基幹送電網に接続しない発電所については現行の電力法上、州/地域政府で許認可が可能であり (Pyidaungsu Hluttaw, 2014)、現在整備が進んでいるミニグリッドの関連法制度も現行の電力法下でまとめられることとなっている。地方政府によるミニグリッドの導入が進めば、連邦政府から地方への分権の好例となり得る (Du Pont, 2019)。しかし、現状では、オフグリッド電化は DRD 主体で進んでいることもあり、地方政府による取組はいまだ少ない。今後は、地方電化に、地方分権といった視点も取り入れ、地方政府のキャパシティビルディングも合わせて進めていくことが望まれる。さらに少数民族地域においては、州政府と EAO が協力して電力アクセスの改善を進めていくことで、地方分権の拡大、地域の協業も可能であると考えられる。

本稿ではミャンマー地方部におけるエネルギーアクセス改善に、ミニグリッドや SHS などのオフグリッドの再生可能エネルギー分散型電源が果たすことのできる役割について示した。エネルギーアクセス改善が課題となっている他の国々と共通する課題も多い。他国で行われ効果的であった取組はミャンマーでも実施することができ、またその逆も可能である。各国間の障壁の比較研究により、効果的な取組を整理することは効果的な障壁の克服に有効であると考えられる。さらに、ミャンマーは、軍事政権下の鎖国時代に、コミュニティ主導のミニグリッドが自立的に発展してきた数少ない国の一つである。コミュニティ主導の非営利目的のミニグリッドモデルからは、再生可能エネルギー普及の

ための補助期間がすぎたあとも、ミニグリッド事業を持続可能なものにするためのヒントが得られると考えられる。

6. 参考文献

- ACE. (2016). *Levelised Cost of Electricity of Selected Renewable Technologies in the ASEAN Member States*. Jakarta. Retrieved from <http://cloud.aseanenergy.org/s/1AK7OzwGCHn5iAM>
- ACLED. (2020). Dueling Ceasefires: Myanmar's Conflict Landscape in 2019. Retrieved June 19, 2020, from <https://acleddata.com/2020/02/12/dueling-ceasefires-myanmars-conflict-landscape-in-2019/>
- Acumen Fund. (2012). Acumen Blog. Retrieved June 21, 2016, from <http://acumen.org/blog/plug-and-play-energy-access-at-the-bop/>
- Aczel, J., & Saaty, T. L. (1983). Procedures for Synthesizing Ratio Judgements. *Journal of Mathematical Psychology*, 27(1), 93–102. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(83\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0022-2496(83)90028-7)
- ADB. (n.d.). Myanmar Off-grid Analytics. Retrieved February 19, 2018, from <http://adb-myanmar.integration.org/>
- ADB. (2015). *Renewable Energy Developments and potential in the Greater Mekong Subregion*. Manila, Philippines. Retrieved from <http://www.adb.org/Documents/Brochures/GMS-Biofuel/GMS-Biofuel-Brochure.pdf>
- ADB. (2016). *Myanmar: Energy Sector Assessment, Strategy, and Road Map*. Manila, Philippines. Retrieved from <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/218286/mya-energy-sector-assessment.pdf>
- ADB. (2017). *Asian Development Bank TA 8657-MYA : Off-grid Renewable Energy Demonstration Project*. Manila, Philippines.
- ADB. (2018). *Developing Renewable Energy Mini-Grids in Myanmar*. Manila, Philippines. Retrieved from <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/391606/developing-renewable-mini-grids-myanmar-guidebook.pdf>
- Ahlborg, H., & Hammar, L. (2014). Drivers and barriers to rural electrification in Tanzania and Mozambique - Grid-extension, off-grid, and renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 61, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.09.057>
- Alkire, S., & Santos, M. E. (2014). Measuring Acute Poverty in the Developing World: Robustness and Scope of the Multidimensional Poverty Index. *World Development*, 59, 251–274. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.01.026>
- Alstone, P., Gershenson, D., & Kammen, D. M. (2015). Decentralized energy systems for clean electricity

access. *Nature: Climate Change*, 5(April), 305–314. <https://doi.org/10.1038/nclimate2512>

ANU College of Asia & the Pacific. (2012). Myanmar states/regions. Retrieved July 21, 2020, from <https://asiapacific.anu.edu.au/mapsonline/base-maps/myanmar-statesregions>

Aras, H., Erdoğan, Ş., & Koç, E. (2004). Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process. *Renewable Energy*, 29(8), 1383–1392. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.12.020>

Aung, S. Y. (2018). Still No Date for Release of Census Findings on Ethnic Populations. Retrieved December 19, 2018, from <https://www.irrawaddy.com/news/burma/still-no-date-release-census-findings-ethnic-populations.html>

Aye, M. P. (2015). *Deliverable Report for MECON Project Task 1.2 Baseline energy consumption of MECON household in Myanmar*. Retrieved from [http://www.meconproject.com/wp-content/uploads/report/\[Task 1.2-Energy baseline\] Myanmar country report.pdf](http://www.meconproject.com/wp-content/uploads/report/[Task 1.2-Energy baseline] Myanmar country report.pdf)

Batcheler, R. (2018). *State and Region Governments in Myanmar*. Yangon. Retrieved from https://asiafoundation.org/wp-content/uploads/2018/10/State-and-Region-Governments-in-Myanmar_New-Edition-2018_Eng.pdf

Bhattacharyya, S. C. (2013). To regulate or not to regulate off-grid electricity access in developing countries. *Energy Policy*, 63, 494–503. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.028>

Bhattacharyya, S. C., & Palit (Eds), D. (2014). *Mini-Grids for Rural Electrification of Developing Countries: Technical Aspects of Mini-Grids for Rural Electrification*. (S. C. Bhattacharyya & D. Palit, Eds.), Springer Link, *State-of-the art knowledge on mini-grid systems, demand creation, financing, regulation and smart system design*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04816-1>

BloombergNEF. (2018). *Emerging Markets Outlook 2018. Energy transition in the world's fastest growing economies*. Retrieved from <http://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2018-report-en.pdf>

Blum, N. U., Sryantoro Wakeling, R., & Schmidt, T. S. (2013). Rural electrification through village grids - Assessing the cost competitiveness of isolated renewable energy technologies in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 482–496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.049>

BNEF. (2017a). *2Q 2017 Frontier Power Market Outlook Micro-grids on the horizon*.

BNEF. (2017b). *New Energy Outlook 2017*. New York.

BPMSG. (n.d.). AHP Consensus Indicator. Retrieved January 25, 2020, from <https://bpmsg.com/ahp->

consensus-indicator/

- Burke, A., Williams, N., Barron, P., Jolliffe, K., & Carr, T. (2017). *The Contested Areas of Myanmar: Subnational Conflict, Aid, and Development*. Retrieved from <https://asiafoundation.org/wp-content/uploads/2017/10/ContestedAreasMyanmarReport.pdf>
- Burma News International. (2017). *Deciphering Myanmar's Peace Process: A Reference Guide 2016*. Chiang Mai. Retrieved from https://www.bnionline.net/sites/bnionline.net/files/publication_docs/dm_peace_process_a_reference_guide_2016.pdf
- Bynum, E. (2019). Ceasefires and Conflict Dynamics in Myanmar. Retrieved May 14, 2019, from <https://www.acleddata.com/2019/05/13/ceasefires-and-conflict-dynamics-in-myanmar/>
- Central Intelligence Agency. (2019). The World Fact Book: East Asia/Southeast Asia::Burma. Retrieved April 22, 2019, from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/bm.html>
- Central Statistical Organization (CSO), UNDP, & WB. (2020). *Myanmar Living Conditions Survey 2017: Socio-economic Report*. Nay Pyi Taw and Yangon, Myanmar. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/151001580754918086/pdf/Myanmar-Living-Conditions-Survey-2017-Socio-Economic-Report.pdf>
- Central Statistical Organization Myanmar, UNDP, & World Bank. (2019). *Myanmar Living Conditions Survey 2017 03 Poverty Report*. Nay Pyi Taw. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/country/myanmar/publication/poverty-report-myanmar-living-conditions-survey-2017>
- Central Statistical Organization, UNDP, & World Bank. (2018). *Myanmar Living Conditions Survey 2017: Key Indicators Report*. Nay Pyi Taw and Yangon, Myanmar. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/739461530021973802/pdf/127618-WP-P162753-PUBLIC-MyanmarLivingConditionsLowRes.pdf>
- Christophersen, M., & Stave, S. E. (2018). *Advancing Sustainable Development between Conflict and Peace in Myanmar*. New York. Retrieved from <https://www.ipinst.org/wp-content/uploads/2018/04/IPI-Rpt-Myanmar.pdf>
- Comello, S. D., Reichelstein, S. J., Sahoo, A., & Schmidt, T. S. (2017). Enabling Mini-Grid Development in Rural India. *World Development*, 93, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.029>
- Countrycoordinate. (2020). GPS coordinate of Nay Pyi Taw, Myanmar. Retrieved September 8, 2020, from

<https://www.countrycoordinate.com/city-nay-pyi-taw-myanmar/>

Cox, A. M., Alwang, J., & Johnson, T. G. (2000). Local preferences for economic development outcomes: Analytical hierarchy procedure. *Growth and Change*, 31(3), 341–366. <https://doi.org/10.1111/0017-4815.00132>

Dave Grace and Associates. (2016). Myanmar Microfinance Regulatory Benchmarking Survey. Retrieved April 15, 2018, from <http://mekongbiz.org/wp-content/uploads/2017/02/ADB-MBI-MF-Benchmarking-Survey-10-Oct16-final-proof-DG-AB.pdf>

del Barrio Alvarez, D., & Sugiyama, M. (2018). *Toward a sustainable electricity policy in Myanmar: Recommendations for policy makers and development partners* (PARI Policy brief). Tokyo (Japan). Retrieved from https://pari.ifi.u-tokyo.ac.jp/eng/publications/policy180322_gepea.pdf

del Barrio Alvarez, D., & Sugiyama, M. (2020). A SWOT Analysis of Utility-Scale Solar in Myanmar. *Energies*, 13(884). Retrieved from doi:10.3390/en13040884

Department of Population Ministry of Immigration and Population. (2015a). *The 2014 Myanmar Population and Housing Census: Ayeyawady Region* (Vol. 3-N). Nay Pyi Taw, Myanmar.

Department of Population Ministry of Immigration and Population. (2015b). *The 2014 Myanmar Population and Housing Census Magway Region* (Vol. 3-H). Nay Pyi Taw, Myanmar.

Department of Population Ministry of Immigration and Population. (2015c). *The 2014 Myanmar Population and Housing Census The Union Report: Occupation and Industry Census Report Volume 2-B* (Vol. 2-B). Nay Pyi Taw. Retrieved from https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/2B_Occupation_and_Industry_EN.pdf

Department of Population Ministry of Immigration and Population. (2015a). *The 2014 Myanmar Population and Housing Census- Chin State Report* (Vol. 3-D). Nay Pyi Taw, Myanmar. Retrieved from http://www.themimu.info/sites/themimu.info/files/documents/Census_Chin_Report_Eng_2015.pdf

Department of Population Ministry of Immigration and Population. (2015b). *The 2014 Myanmar Population and Housing Census Shan State* (Vol. 3-M). Nay Pyi Taw. Retrieved from <https://myanmar.unfpa.org/en/publications/union-report-volume-3m-shan-state-report>

Department of Rural Development. (2017). CALL FOR PROPOSALS for Engineering , Procurement , Construction and Operation of Mini-Grid Projects in Rural Villages. Retrieved July 2, 2020, from <http://drdmyanmar.org/index.php?page=bmV3ZGV0YWlsJmlkPTE3Nw==#>

Dobermann, T. (2016). *Energy in Myanmar. International Growth Centre (IGC)*. Retrieved from

<https://www.theigc.org/wp-content/uploads/2016/04/Dobermann-2016-1.pdf>

Downing, J. (2016). The old road through the mountains. Retrieved May 17, 2019, from

<https://frontiermyanmar.net/en/the-old-road-through-the-mountains>

Du Pont, P. (2019). *Decentralizing power: The Role of State and Region Governments in Myanmar's Energy Sector*. Yangon. Retrieved from https://asiafoundation.org/wp-content/uploads/2019/04/Myanmar-Decentralizing-Power_report_11-April-2019.pdf

e-Gov. (2019). 計量単位令（平成四年政令第三百五十七号）別表第七（第八条関係）. Retrieved September 15, 2020, from [https://elaws.e-](https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=404CO0000000357#83)

[gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=404CO0000000357#83](https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=404CO0000000357#83)

Electricity Supply Enterprise. (2019). NEP plan. Retrieved May 17, 2019, from

<http://www.moe.gov.mm/en/ignite/page/80>

ESMAP. (2017). *State of Electricity Access Report 2017*. Washington DC. Retrieved from

<http://documents.worldbank.org/curated/en/364571494517675149/full-report>

Export.gov. (2019). Burma - Energy. Retrieved July 21, 2020, from

<https://www.export.gov/apex/article2?id=Burma-Energy>

Franz, M., Peterschmidt, N., Rohrer, M., & Kondev, B. (2014). *Mini-grid Policy Toolkit*. Eschborn. Retrieved from minigridpolicytoolkit.euei-pdf.org

Gabriel, C. A. (2016). What is challenging renewable energy entrepreneurs in developing countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.025>

Gershenson, D., Tilleard, M., Cusack, J., Cooper, D., Monk, A., & Kammen, D. (2015). Increasing Private Capital Investment into Energy Access: The Case for Mini-grid Pooling Facilities.

Ghimire, L. P., & Kim, Y. (2018). An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable Energy*, 129, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.011>

Gilmore, S., & Robinson, G. (2017). Myanmar moves to stave off credit crunch. *Nikkei Asian Review*. Retrieved from <https://asia.nikkei.com/Economy/Myanmar-moves-to-stave-off-credit-crunch2>

Goepel, K. D. (2013). Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making in Corporate Enterprises – a New AHP Excel Template with Multiple Inputs. In *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process 2013* (pp. 1–10). Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>

Google. (n.d.). Google map. Retrieved September 20, 2019, from

https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1HWgoQrU0nY4f_RwmPF695_RyYs01FkUT&usp=sharing

Greacen, C. (2017). *Role of Mini-grids for Electrification in Myanmar - SWOT Analysis and Roadmap for Scale up*. Washington, DC.

GSMA Intelligence. (2019). Intelligence Brief: Where does Myanmar stand today? Retrieved June 5, 2020, from <https://www.mobileworldlive.com/blog/intelligence-brief-where-does-myanmar-stand-today/>

Hasan, F. (2018). ARE Newsletter April 2018 : Off-grid Investments : Financing & Funding In focus. Retrieved April 26, 2018, from <https://www.ruralelec.org/newsletter/are-newsletter-april-2018-grid-investments-financing-funding#guest-editorial-1638>

Hirschi, E. (2019). Mon lead the way in mother tongue education. Retrieved May 29, 2019, from <https://frontiermyanmar.net/en/mon-lead-the-way-in-mother-tongue-education>

Hofmann, A. (2017). Banking and Financial Sector Development (BFSD) in Myanmar. Retrieved January 29, 2020, from <https://www.giz.de/en/downloads/giz2017-en-financial-sector-myanmar.pdf>

HOMER Energy. (2014). HOMER Energy. Retrieved November 1, 2019, from <https://www.homerenergy.com/>

HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG. (2016). battery specification. Retrieved November 7, 2017, from http://sun.hoppecke.com/fileadmin/_sun/download/WR_Charge_settings_EN.pdf

Htwe, C. M. (2020). Myanmar govt extends electricity subsidy until December. Retrieved September 18, 2020, from <https://www.mmmtimes.com/news/myanmar-govt-extends-electricity-subsidy-until-december.html>

Htwe, C. M., Htet, K. S., & Chau, T. (2019). Myanmar announces first power tariff hike in five years. Retrieved January 28, 2020, from <https://www.mmmtimes.com/news/myanmar-announces-first-power-tariff-hike-five-years.html>

IEA, IRENA, UNSD, WB, & WHO. (2019). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2019*. Washington DC. Retrieved from <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads>

IEA, & NEA. (2015). Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition. <https://doi.org/10.1038/oby.2001.113>

International Finance Corporation. (2018). *Strategic Environmental Assessment of the Myanmar Hydropower Sector Final Report*. International Finance Corporation. Washington DC. Retrieved from https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/2f7c35f4-e509-48b2-9fd8-b7cbc0501171/SEA_Final_Report_English_web.pdf?MOD=AJPERES

Invest Myanmar 2019. (2019). “No return on investment was ever made by staying on the sidelines”: First Rakhine Investment Fair successfully launched. Retrieved July 27, 2020, from

<https://investmyanmar2019.com/news/rakhine-state-investment-fair/>

IRENA. (2016). *Innovation Outlook: Renewable Mini-Grids*. Abu Dhabi.

IRENA. (2017a). *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*. Abu Dhabi. Retrieved from http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017_Summary.pdf?la=en&hash=2FDC44939920F8D2BA29CB762C607BC9E882D4E9

IRENA. (2017b). *REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation* (Vol. 55). Abu Dhabi.

Japan International Cooperation Agency, Nippon Koei Co.Ltd, & Tokyo Electric Power Company. (2012). *Preparatory survey report on the project for rehabilitation for Baluchaung No. 2 Hydro Power Plant in the Union of Myanmar (1) (Baluchaung No.2 Suiryoku hatsudensho hoshuu keikaku junbi chosa (1) chosa hokokusho in Japanese)*. Tokyo. Retrieved from http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12088589.pdf

Jenkins, K., Mccauley, D., Heffron, R., Stephan, H., & Rehner, R. (2016). Energy justice: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 11, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004>

JICA, NEWJEC Inc., & The Kansai Electric Power. (2015). *Data Collection Survey on Capacity Development of Power Sector Development Planning in The Republic of The Union of Myanmar*. Retrieved from http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12238754.pdf

JICA, & 八千代エンジニアリング株式会社. (2013). ミャンマー国 カレン州道路建設機材整備計画 準備調査報告書. JICA. Tokyo. Retrieved from http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12088068.pdf

JICS. (2015). 日本国際協力システム年報 2015 第1部2014年度の活動から. Tokyo. Retrieved from https://www.jics.or.jp/pdf/jics2015_2.pdf

Jolliffe, K. (2014). *Ethnic Conflict and Social Services in Myanmar's Contested Regions*. The Asia Foundation. Yangon. Retrieved from <http://asiafoundation.org/publication/ethnic-conflict-and-social-services-in-myanmars-contested-regions/>

Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88(10), 2427–2439. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32471>

Kablan, M. (1997). Prioritization of decentralized electricity options available for rural areas in Jordan. *Energy Conversion and Management*, 38(14), 1515–1521. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00106-9](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00106-9)

Karatayev, M., Hall, S., Kalyuzhnova, Y., & Clarke, M. L. (2016). Renewable energy technology uptake in Kazakhstan : Policy drivers and barriers in a transitional economy. *Renewable and Sustainable Energy*

Reviews, 66, 120–136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.057>

- Karen Human Rights Group, THWEE Community Development Network, & Karen Environmental and Social Action Network. (2016). Beautiful Words, Ugly Actions: The Asian Highway in Karen State. Retrieved May 17, 2019, from http://khrhg.org/sites/default/files/beautiful_words_ugly_actions_-_english_for_web.pdf
- Keeley, A. R., & Matsumoto, K. (2018). Relative significance of determinants of foreign direct investment in wind and solar energy in developing countries – AHP analysis. *Energy Policy*, 123(August), 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.055>
- Kim, H., & Jung, T. Y. (2018). Independent solar photovoltaic with Energy Storage Systems (ESS) for rural electrification in Myanmar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(June 2016), 1187–1194. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.037>
- Kirchherr, J., Matthews, N., Charles, K. J., & Walton, M. J. (2017). “Learning it the Hard Way”: Social safeguards norms in Chinese-led dam projects in Myanmar, Laos and Cambodia. *Energy Policy*, 102(January), 529–539. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.058>
- Kittner, N., Lill, F., & Kammen, D. M. (2017). Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition. *Nature Energy*, 2(July), 17125. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.125>
- Kobayakawa, T., & Kandpal, T. C. (2014). Photovoltaic micro-grid in a remote village in India: Survey based identification of socio-economic and other characteristics affecting connectivity with micro-grid. *Energy for Sustainable Development*, 18(1), 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.11.002>
- Koo, B., Yoo, H. K., Keller, S. O., Rysankova, D., & Portale, E. (2019). *Myanmar - Beyond Connections : Energy Access Diagnostic Report Based on the Multi-Tier Framework (English)*. Washington, D.C. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/312751568213372366/pdf/Myanmar-Beyond-Connections-Energy-Access-Diagnostic-Report-Based-on-the-Multi-Tier-Framework.pdf>
- Kyaw, M. M. (2017). Power Development Opportunities in Myanmar. *Myanmar Investment Forum 2017*. Nay Pyi Taw. Retrieved from <http://www.myanmarinvestmentforum2017.com/themes/demo/assets/download/Power Development Oppourtunities in Myanmar.pdf>
- Lambert, T., Gilman, P., & Lilienthal, P. (2006). Micropower System Modeling with Homer. <https://doi.org/10.1002/0471755621.ch15>
- Langre, G. de. (2018). The real cost of Myanmar’s electricity. Retrieved May 7, 2019, from

<https://www.mmtimes.com/news/real-cost-myanmars-electricity.html>

Lazard. (2017). *Lazard's Levelized Cost of Storage Analysis - Version 3.0*. Retrieved from

<https://www.lazard.com/media/450338/lazard-levelized-cost-of-storage-version-30.pdf>

Lee, S. K., Yoon, Y. J., & Kim, J. W. (2007). A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach. *Energy Policy*, 35(5), 2862–2868.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.09.019>

Limmeechokchai, B., & Chawana, S. (2007). Sustainable energy development strategies in the rural Thailand:

The case of the improved cooking stove and the small biogas digester. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 818–837. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.002>

Luthra, S., Kumar, S., Garg, D., & Haleem, A. (2015). Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 762–776.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.077>

Lynn, K. Y., & Kean, T. (2019). Under pressure: Can the ministry's latest power plan keep the lights on?

Retrieved June 9, 2020, from <https://frontiermyanmar.net/en/under-pressure-can-the-ministrys-latest-power-plan-keep-the-lights-on>

Madan B. Regmi, & Hanaoka, S. (2012). Application of Analytic Hierarchy Process for Location Analysis of Logistics Centers in Laos. In *91th Annual Transportation Research Board Meeting*. Washington, D.C.: Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board.

<https://doi.org/10.5897/AJBM12.294>

Mathur, S., Haase, S., & Jimenez, T. (2017). Microgrid Analysis Tools Summary. Retrieved November 11, 2019, from <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70578.pdf>

Mccollum, D. L., Zhou, W., Bertram, C., Boer, H. De, Bosetti, V., Busch, S., ... Rozenberg, J. (2018). Energy investment needs for fulfilling the Paris Development Goals. *Nature Energy*, 3(July), 589–599.

<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0179-z>

Melillo, P., & Pecchia, L. (2016). What Is the Appropriate Sample Size To Run Analytic Hierarchy Process in a Survey-Based Research? In *International Symposium of the Analytic Hierarchy Process*. London.

<https://doi.org/10.13033/isahp.y2016.130>

Miklian, J. (2019). Contextualising and theorising economic development, local business and ethnic cleansing in Myanmar. *Conflict, Security & Development*, 19(1), 55–78.

<https://doi.org/10.1080/14678802.2019.1561624>

- Ministry of Planning and Finance Myanmar, & World Bank. (2017). *An Analysis of Poverty in Myanmar: Part 02 Poverty Profile*. World Bank. Nay Pyi Taw and Washington DC. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/829581512375610375/pdf/121822-WP-PovertyPartENGFinalHighRes-PUBLIC.pdf>
- Myanmar Energy Monitor. (2019). Myanmar Energy Brief. *Frontier Myanmar Research Ltd.*, (192).
- Myanmar Ministry of Immigration and Population Department of Population. (2014). The Population and Housing Census of Myanmar 2014. Summary of the Provisional Results. Retrieved November 17, 2016, from http://unstats.un.org/unsd/demographic/sources/census/2010_PHC/Myanmar/MMR-2014-08-28-provres.pdf
- Myanmar Peace Monitor. (2016). Armed Ethnic Groups 2016. Retrieved April 25, 2019, from <http://www.mmpeacemonitor.org/#!armed-ethnic-groups/c1q70>
- Myanmar President Office. (2018). Two new signatories become members of NCA. Retrieved June 23, 2020, from <https://www.president-office.gov.mm/en/?q=issues/peace/id-8518>
- Nagesha, N., & Balachandra, P. (2006). Barriers to energy efficiency in small industry clusters: Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. *Energy*, 31(12), 1633–1647. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.07.002>
- NASA. (n.d.). POWER Data Access Viewer. Retrieved September 8, 2020, from <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Nasirov, S., Silva, C., & Agostini, C. A. (2015). Investors' Perspectives on Barriers to the Deployment of Renewable Energy Sources in Chile. *Energies*, 8(April), 3794–3814. <https://doi.org/10.3390/en8053794>
- Ono, Y. (2017). How microfinance can help Myanmar meet its major funding needs. *Nikkei Asian Review*. Retrieved from <https://asia.nikkei.com/Business/Banking-Finance/How-microfinance-can-help-Myanmar-meet-its-major-funding-needs>
- Painuly, J. P. (2001). Barriers to renewable energy penetration: A framework for analysis. *Renewable Energy*, 24(1), 73–89. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00186-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00186-5)
- Palit, D., & Chaurey, A. (2011). Off-Grid Rural Electrification Experiences from South Asia. *Green Energy and Technology*, 15, 266–276. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4673-5_4
- Parameswaran, P. (2020). Myanmar's 2020 Elections: What Does the Future Hold? Retrieved September 18, 2020, from <https://thediplomat.com/2020/05/myanmars-2020-elections-what-does-the-future-hold/>
- Phoumin, H., & Kimura, S. (2016). *Analysis of Distributed Energy Systems and Implications for*

Electrification : The Case of ASEAN Member States * (ERIA Discussion Paper Series No. ERIA-DP-2016-28). Jakarta.

Pyidaungsu Hluttaw. Electricity Law (2014). Republic of the Union of Myanmar.

Pyithu Hluttaw. (2019). The 12th Regular Session of the 2nd Pyithu Hluttaw (27.5.2019) (in Burmese).

Retrieved January 24, 2020, from https://www.youtube.com/watch?v=WQ0K10G_Tas&feature=youtu.be

Qureshi, M., & Harrison, S. (2003). Application of the analytic hierarchy process to riparian revegetation policy options. *Small-Scale Forest Economics, Management and Policy*, 2(3), 441–458.

<https://doi.org/10.1007/s11842-003-0030-6>

Radio Free Asia. (2012). Three Karen Officials Removed. Retrieved July 29, 2020, from

<https://www.rfa.org/english/news/myanmar/karen-10042012152054.html>

Rao, N. D. (2017). About Decent Living Standards. Retrieved April 24, 2020, from

<https://www.decentlivingenergy.org/dls.html>

Rao, N. D., & Min, J. (2018). Decent Living Standards : Material Prerequisites for Human Wellbeing. *Social Indicators Research*, 138(1), 225–244. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1650-0>

Rao, N. D., Min, J., & Mastrucci, A. (2019). Energy requirements for decent living in India, Brazil and South Africa. *Nature Energy*, 4(December), 1025–1032. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0497-9>

Raschka, S. (2017). Python Machine Learning - Code Examples Chapter 11 - Working with Unlabeled Data – Clustering Analysis. Retrieved May 7, 2019, from <https://github.com/rasbt/python-machine-learning-book/blob/master/code/ch11/ch11.ipynb>

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Saaty, T. L. (1990). An Exposition of the AHP in Reply to the Paper “Remarks on the Analytic Hierarchy Process.” *Management Science*, 36(3), 259–268. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.3.259>

Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 74(1), 426–447.

Saaty, T. L. (2003). Decision making with the AHP, Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145, 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8)

Saaty, T. L. (2013). The Analytic Network Process. In *Decision Making with the Analytic Network Process International Series in Operations Research & Management Science* (pp. 1–26). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7_1

- Saaty, T. L., & Kearns, K. P. (1985). *Analytical planning: The organization of system* (First). New York: Pergamon Press.
- Saferworld, & Karen Peace Support Network. (2019). *Security, justice and governance in South East Myanmar: A knowledge, attitudes and practices survey in Karen ceasefire areas*. London and Yangon. Retrieved from <https://www.saferworld.org.uk/resources/publications/1194-security-justice-and-governance-in-south-east-myanmar-a-knowledge-attitudes-and-practices-survey-in-karen-ceasefire-areas>
- Sasaki, H., Seino, M., Hashimoto, N., & Sakata, I. (2015). Off-Grid Electrification Scenarios for Rural Electrification in Myanmar. Dubrovnic, Croatia: Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES2015).
- Schmidt, O., Hawkes, A., Gambhir, A., & Staffell, I. (2017). The future cost of electrical energy storage based on experience rates:dataset. *Nature Energy*, 6(July), 17110. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.110>
- Schmidt, T. S., Blum, N. U., & Wakeling, R. S. (2013). Attracting private investments into rural electrification - A case study on renewable energy based village grids in Indonesia. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), 581–595. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.10.001>
- Schnitzer, D., Lounsbury, D. S., Carvallo, J. P., Deshmukh, R., Apt, J., & Kammen, D. M. (2014). *Microgrids for Rural Electrification*. United Nations Foundation,.
- Scikit-learn. (n.d.). Selecting the number of clusters with silhouette analysis on KMeans clustering. Retrieved December 3, 2019, from https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/cluster/plot_kmeans_silhouette_analysis.html
- SDSN. (n.d.). Indicators and a Monitoring Framework. Retrieved July 17, 2020, from <https://indicators.report/targets/7-1/>
- Sen, S., & Ganguly, S. (2017). Opportunities, barriers and issues with renewable energy development – A discussion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(May 2016), 1170–1181. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.137>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Shi, H., Peng, S. Z., Liu, Y., & Zhong, P. (2008). Barriers to the implementation of cleaner production in Chinese SMEs: government, industry and expert stakeholders' perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 16(7), 842–852. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.05.002>
- Siciliano, G., Bene, D. Del, Scheidel, A., Liu, J., & Urban, F. (2019). Environmental justice and Chinese dam-

building in the global South. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 37, 20–27.

<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.003>

Siciliano, G., Urban, F., Tan-Mullins, M., & Mohan, G. (2018). Large dams, energy justice and the divergence between international, national and local developmental needs and priorities in the global South. *Energy Research and Social Science*, 41(July 2017), 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.03.029>

Singh, R. P., & Nachtnebel, H. P. (2016). Analytical hierarchy process (AHP) application for reinforcement of

hydropower strategy in Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 43–58.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.138>

Skat. (2017). Mini-Grid Technologies. Retrieved May 11, 2017, from

https://energypedia.info/images/a/ad/Mini-grid_Technology_Comparison.pdf

Soma, K. (2003). How to involve stakeholders in fisheries management - A country case study in Trinidad and Tobago. *Marine Policy*, 27(1), 47–58. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(02\)00050-7](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(02)00050-7)

South, A., Perhult, M., & Carstensen, N. (2010). *Conflict and Survival: Self-protection in south-east Burma* (Asia Programme Paper: ASP). Retrieved from

https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Asia/0910pp_burma.pdf

South, A., Schroeder, T., Jolliffe, K., Non, M. K. C., Shine, S., Kempel, S., ... Mu, N. W. S. (2018). Between Ceasefires and Federalism: Exploring Interim Arrangements in the Myanmar Peace Process. Retrieved

February 7, 2019, from <https://covenant-consult.com/wp-content/uploads/MIARP-Report.pdf>

Sovacool, B. K. (2013). Confronting energy poverty behind the bamboo curtain: A review of challenges and solutions for Myanmar (Burma). *Energy for Sustainable Development*, 17(4), 305–314.

<https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.03.010>

Sovacool, B. K., & Dworkin, M. H. (2015). Energy justice: Conceptual insights and practical applications.

Applied Energy, 142, 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.002>

State Counsellor Office The Republic of the Union of Myanmar. (2017). DAW AUNG SAN SUU KYI:

TRANSPORTATION, ELECTRICITY ARE KEYS TO JOBS, DEVELOPMENT. Retrieved September 17, 2020, from <https://www.statecounsellor.gov.mm/en/node/839>

Sustainable Engineering Lab. (2014). *Myanmar National Electrification Plan (NEP): Least-Cost Geospatial Electrification Planning Results*.

Swe Mon Aung. (2018). *Burma - Union of Grain and Feed Annual 2018 Annual Report*. Washington DC.

Retrieved from [http://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Grain and Feed](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Grain%20and%20Feed)

Annual_Rangoon_Burma - Union of_4-28-2015.pdf

Tenenbaum, B., Greacen, C., Siyambalapitiya, T., & Knuckles, J. (2014). *From the Bottom Up*. World Bank.

<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0093-1>

Tenenbaum, B., Greacen, C., & Vaghel, D. (2017). *Mini-Grids and Arrival of the Main Grid : Lessons from Cambodia, Sri Lanka, and Indonesia*. Washington DC. <https://doi.org/doi:10.1596/29018>

Thant, H. (2019). Govt claims half of Myanmar households will have power by year-end. Retrieved April 30, 2020, from <https://www.mmtimes.com/news/govt-claims-half-myanmar-households-will-have-power-year-end.html>

Thao, P. T. M., Kurisu, K. H., & Hanaki, K. (2014). Evaluation of Rice Husk Use Scenarios Incorporating Stakeholders' Preferences Revealed through the Analytic Hierarchy Process in An Giang Province, Vietnam. *Low Carbon Economy*, 05, 95–104. <https://doi.org/10.4236/lce.2014.53010>

The Republic of the Union of Myanmar. Myanmar's Intended Nationally Determined Contribution-INDC (2015). Retrieved from [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Myanmar First/Myanmar%20s INDC.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Myanmar%20First/Myanmar%20s%20INDC.pdf)

Tun, Y. M. (2017). Ethnic data from 2014 census to be released. Retrieved December 19, 2018, from <https://www.mmtimes.com/national-news/24393-ethnic-data-from-2014-census-to-be-released.html>

U.S. Energy Information Administration. (n.d.). Real_Petroleum_Prices. Retrieved May 8, 2017, from https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2016®ion=0-0&cases=ref2016~ref_no_cpp&start=2014&end=2040&f=A&linechart=ref2016-d032416a.3-12-AEO2016~ref_no_cpp-d032316a.3-12-AEO2016~ref2016-d032416a.37-12-AEO2016&ctype=linechart&sourcekey=0

UNCDF/UNDP. (2012). *CleanStart - Microfinance Opportunities for a Clean Energy Future*.

UNFCCC. (2020). UNFCCC Sites and platforms Myanmar. Retrieved July 20, 2020, from <https://unfccc.int/node/61122>

United Nations. (n.d.). Sustainable Development Goal 11. Retrieved June 23, 2020, from <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg11>

United Nations. (2015). Sustainable Development Goals. Retrieved May 29, 2017, from <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

United Nations. (2016). Polio Immunisation crosses conflict borders in Myanmar. Retrieved May 29, 2019, from <http://mm.one.un.org/content/unct/myanmar/en/home/news/polio-immunisation-crosses-conflict->

borders-in-myanmar-.html

- United Nations Development Programme. (n.d.). Making easy access to safe water. Retrieved June 5, 2020, from <https://www.mm.undp.org/content/myanmar/en/home/stories/watersupply.html>
- United Nations Development Programme. (2019). *Human Development Report 2019 Beyond income, beyond averages, beyond today*: New York: UNDP.
- Vaghela, D. (2017). Myanmar's Renewable Energy Mini-grids: Technology Differentiation. In *ADB Myanmar Off-grid Investment Forum* (p. 11). Nay Pyi Taw: Asian Development Bank.
- VanderPlas, J. (2016). 5. Machine Learning: In Depth: k-Means Clustering. In *Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data*. Sebastopol, California, United States: O'Reilly Media. Retrieved from <https://jakevdp.github.io/PythonDataScienceHandbook/05.11-k-means.html>
- Wijayatunga, P. D. C., Siriwardena, K., Fernando, W. J. L. S., Shrestha, R. M., & Attalage, R. A. (2006). Strategies to overcome barriers for cleaner generation technologies in small developing power systems: Sri Lanka case study. *Energy Conversion and Management*, 47(9–10), 1179–1191. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.07.003>
- Win, P. P., Jin, Y. G., & Yoon, Y. T. (2017). Evaluation of solar-diesel-battery hybrid system for off-grid rural electrification in Myanmar. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 12(6), 2138–2145. <https://doi.org/10.5370/JEET.2017.12.6.2138>
- Woodhouse, M., Jones-Albertus, R., Feldman, D., Fu, R., Horowitz, K., Chung, D., ... Kurtz, S. (2016). On the Path to SunShot: The Role of Advancements in Solar Photovoltaic Efficiency, Reliability, and Costs. <https://doi.org/NREL/TP-6A20-65872>
- World Bank. (n.d.). Access to electricity (% of population). Retrieved July 14, 2020, from https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?most_recent_value_desc=false
- World Bank. (2018). *Myanmar - National Electrification Project : environmental assessment : Environmental and social management framework (English)*. Republic of the Union of Myanmar (Vol. 1). Washington DC. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/224731468274160604/pdf/SFG1132-REVISED-V1-EA-P158303-PUBLIC-Disclosed-7-17-2018.pdf>
- World Bank, & ESMAP. (2017). *Solar Resource and Photovoltaic Potential of Myanmar*.
- XE.com. (2018). XE Currency Charts: USD to MMK. Retrieved April 26, 2018, from <https://xe.com/currencycharts/?from=USD&to=MMK&view=5Y>
- XE.com. (2019). XE Currency Converter: USD to MMK. Retrieved September 4, 2019, from

<https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=MMK>

XE.com. (2020). XE Currency Converter - Live Rates: 1 US Dollar to Burmese Kyat. Retrieved January 28, 2020, from <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=MMK>

Xiaohua, W., & Zhenmin, F. (2002). Sustainable development of rural energy and its appraising system in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(4), 395–404. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00007-2](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00007-2)

Zangeneh, A., Jadid, S., & Rahimi-Kian, A. (2009). A hierarchical decision making model for the prioritization of distributed generation technologies: A case study for Iran. *Energy Policy*, 37(12), 5752–5763. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.045>

外務省. (n.d.). JAPAN SDGs Action Platform. Retrieved May 26, 2020, from <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>

奥島真一郎. (2017). 「エネルギー貧困」・「エネルギー脆弱性」・「エネルギー正義」：日本における現状と課題. *科学*, 87(11), 1019–1027.

沼田雅子, 杉山昌広, 茂木源人, Anbumozhi, V., & Wunna Swe. (2020). ミャンマーにおけるミニグリッド電源の経済性評価. *日本エネルギー学会誌*, 99(7), 67–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.3775/jie.99.67>

経済産業省. (2016). 平成27年度海外開発計画調査等事業 進出拠点整備・海外インフラ市場獲得事業-インドネシアにおける 進出拠点開発に係る調査事業 報告書. 東京. Retrieved from https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/000946.pdf

高橋昭雄. (2000). 現代ミャンマーの農村経済—移行経済下の農民と非農民. 東京: 東洋大学出版会.

高橋昭雄. (2012). ミャンマーの国と民. 東京: 秋田書店.

高橋昭雄. (2018). 蒼生のミャンマー—農村の暮らしからみた、変貌する国. 東京: 明石書店.

Appendix

Appendix 1. Details of the Survey for LCOE Calculation

Because the survey data included confidential information from companies, it was anonymised (see the table below for survey details). The numbers acquired from the surveys were averaged and used in the levelized cost of electricity (LCOE) calculation. The interviews (survey 1) were conducted based on the Questionnaire for Supplier/Developer of Solar Home Systems (SHSs)/Solar Microgrids (Appendix 1.1) and the questionnaires (survey 2) used the form in Appendix 1.2.

Survey details

| | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Survey 1 | |
| Date | February 2–3, 2017 |
| Venue | Yangon Technological University |
| Method | Semi-structured interview |
| Interviewer | The authors |
| Number of interviewees (companies) | 7 |
| Survey 2 | |
| Date | April to July 2017 |
| Method | Questionnaire |
| Surveyor | Mitasu Consultants Group |
| Number of interviewees (companies) | 2 |
| Survey 3 | |
| Date | October 19–24, 2017 |
| Method | Open interview |
| Interviewer | The authors |
| Number of interviewees (companies) | 4 |

Appendix 1.1 Questionnaire for Survey 1

Questionnaire for Supplier/Developer of Solar Home Systems (SHSs)/Solar Minigrids

General questions (if you do not have a name card, please fill in)

1. Name of company:
2. Address:
3. E-mail:
4. Phone/mobile:

(if this information is not on the website of your company, please fill in)

5. Owner(s) of the company:
6. Number of staff:
7. Year company was established:

Your business field

8. What kind of products do you sell?

- ☐ Solar lanterns
 - ☐ Solar-powered pumps
 - ☐ Solar home systems
 - ☐ Solar minigrid/microgrid systems (capacity kW ~ kW)
 - ☐ Solar modules
 - ☐ Inverters
 - ☐ Mounting systems
 - ☐ Batteries
 - ☐ Others ()

9. What kind of services do you provide?

- ☐ Engineering (design, preparation of permit documents, project management)
- ☐ Procurement
- ☐ Construction

- ☐ Operation of minigrids
- ☐ Maintenance
- ☐ Manufacturing of ()

10. When did you start businesses related to solar lantern/solar home systems (SHSs)/minigrids?

()

11. Did you have any experience in the energy business before entering the (SHS)/minigrid business?

()

12. Does your company provide any other business products/services?

()

13. How many minigrids have you built? Or how many SHSs have you sold?

()

14. How many minigrid projects are you working on (pipeline)?

()

15. Do you sell secondhand components? Yes/No

If yes, from where do you procure them?

()

16. In which country are the products made?

i. Solar modules

()

ii. Inverters

()

iii. Mounting systems

()

iv. Batteries

()

v. Others in question 8

()

17. From whom do you buy the components?

i. Solar modules

☐ Maker

☐ Distributor

☐ Other ()

ii. Inverters

☐ Maker

☐ Distributor

☐ Other ()

iii. Mounting systems

☐ Maker

☐ Distributor

☐ Other ()

iv. Batteries

☐ Maker

☐ Distributor

☐ Other ()

v. Others in question 8

☐ Maker

☐ Distributor

☐ Other ()

18. For about how much do you sell products to your customers?

i. Solar modules

About () kyat <100/1,000 units (circle the number nearest to the units your consumers typically purchase)

About () kyat >100/1,000 units

ii. Inverters

() kW: About () kyat

If there are other inverters, which you sell?

() kW: About () kyat

iii. Mounting systems

About () kyat/kW

iv. Batteries

() W: About () kyat/unit

or About () kyat/W

v. Systems as a whole

About () kyat/kW (Including construction costs Yes/No)

vi. Others in question 8

()

19. To whom do you sell the components?

☐ End users

☐ Distributors

☐ Developers

☐ Independent power producers

☐ Others ()

20. How much do you pay for electricity at the office?

i. Do you connect to the national grid? If yes, how much is the tariff?

() kyat/month

If you know, () kyat/kWh

ii. Do you have a backup generator? If yes, what is its power source?

Diesel/Solar/Other ()

21. What do you think is the barrier to your business?

(Please answer freely, e.g., revenue collection risks, the potential for theft, and central grid extension.)

*For minigrid suppliers/developers, please continue to the next page.

For Minigrid Suppliers/Developers

Your track record information

1. Where is this minigrid? (GPS coordinates or address)

()

2. What is the installed capacity?

() kW

3. What is the power source?

1. Solar 2. Hydro 3. Diesel 4. Combination of () 5. Other

()

4. Who owns this minigrid?

☐ Community

☐ Distributor

☐ Developer

☐ Independent power producer

☐ Other ()

5. How long did it take to construct?

()

6. About how much was the investment cost?

i. Equipment () kyat

ii. Construction () kyat

iii. Other () () kyat

7. Please write the contact info for the minigrid operator, if possible.

()

8. What is the tariff for the minigrid's electricity?

() kyat/kWh or month (Please circle the appropriate option.)

9. If any, what kind of complaints do you receive from customers?

Appendix 1.2 Questionnaire for Survey 2

| | | |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Project Summary | | |
| PV capacity | | kW |
| Battery capacity | | kWh or Ah |
| Diesel capacity | | kW |
| Number of households | | |
| Cost Breakdown | | |
| Item | Quantity | Unit Price (USD) |
| Primary Components | | |
| PV modules | | |
| Inverters | | |
| PV array rack | | |
| Batteries (if any) | | |
| Diesel generator (if any) | | |
| Transportation to site | | |
| Distribution to Households | | |
| Lamps | | |
| Prepayment meters | | |
| Accessories | | |
| Internal wiring | | |
| Distribution cables | | |
| Streetlight | | |
| LED street lightbulb | | |
| Lamppost | | |
| Cables | | |
| Installation | | |
| Site preparation | | |
| Primary component installation | | |

| | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|
| Household distribution installation | | | |
| Others | | | |
| Studies and surveys | | | |
| Training | | | |
| Trials (Pretesting) | | | |
| | | | |
| Grand TOTAL | | | |

Appendix 2. AHP Questionnaire for Barrier Analysis

Appendix 2.1 Questionnaire in English

Mini-grid's Barrier

Overview

The objective of this survey is to ask you about barriers to deployment of mini-grids, which are increasingly promising options for energy access. There are already many governmental projects, but mini-grids are yet to scale.

In this survey, we employ a method called analytic hierarchy process, (AHP), which has been extensively used in the energy policy field. You'll be asked to compare two items one time, and repeat this over multiple combinations.

Barrier categories;

1. Financial Barriers,
2. Economic Barriers,
3. Social/Cultural Barriers,
4. Regulatory Barriers,
5. Technical Barriers

Example

We first walk through an example of new car purchase.

Suppose you're thinking of buying a new car, and there are two features you have to think about: design and price.

If you think price has very strong importance compared to design, you should check 7 on the "price" side.

| Example | Extreme importance | Very strong importance | Strong importance | Moderate importance | Equal importance | Moderate importance | Strong importance | Very strong importance | Extreme importance |
|---------|--------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| Buy car | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Design | | | | | | | | ✓ | Price |

On the other hand, you think design is slightly more important than price, you should check 3 on the design side:

| Example | Extreme importance | Very strong importance | Strong importance | Moderate importance | Equal importance | Moderate importance | Strong importance | Very strong importance | Extreme importance |
|---------|--------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| Buy car | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Design | | | | ✓ | | | | | Price |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Mini-grid's Barrier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Now please answer the questions on mini-grid barriers. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Financial Barriers | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| In this category, we have identified following barriers, based on the literature survey and discussions with stakeholders: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Access to finance | Difficulty in access to finance due to the immaturity of Myanmar financial sector. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| High cost of capital | Even if funds can be procured, capital costs (interest rates, loan fees) are high. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Insufficient customers' capital | customers' access to finance is also limited. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Currency risk | When funds are procured in a foreign currency, businesses take a currency risk with the revenue in Myanmar Kyat. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Please answer the following pair-wise comparisons: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Financial Barriers | <i>Extremely important</i> <i>Very strongly important</i> <i>Strongly important</i> <i>Moderately important</i> Equally important <i>Moderately important</i> <i>Strongly important</i> <i>Very strongly important</i> <i>Extremely important</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | | | | | | | | | | |
| Access to finance | | | | | | | | | | High cost of capital | | | | | | | | | |
| Access to finance | | | | | | | | | | Insufficient customers' capital | | | | | | | | | |
| Access to finance | | | | | | | | | | Currency risk | | | | | | | | | |
| High cost of capital | | | | | | | | | | Insufficient customers' capital | | | | | | | | | |
| High cost of capital | | | | | | | | | | Currency risk | | | | | | | | | |
| Insufficient customers' capital | | | | | | | | | | Currency risk | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Go to next page | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Appendix 2.2 Questionnaire in Burmese

အသေးစားလှံပစ္စည်းကိစ္စအပေါ် စာတမ်းအကြောင်းအရာ

ဤစာတမ်းကိစ္စအကြောင်းအရာသည် ရရှိသော အချက်အလက်များကို အလေးအလာပေးသည့် အသေးစားလှံပစ္စည်းကိစ္စအပေါ် စာတမ်းကို ထိရောက်စွာ အသုံးပြုနိုင်ရန် အတွက် အတားအဆီးများကို ဖော်ပြထားပါသည်။ အချို့သော အချက်အလက်များကို အသေးစားလှံပစ္စည်းကိစ္စအပေါ် စာတမ်းကို အသုံးပြုနိုင်ရန် အတွက် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ အချို့သော အချက်အလက်များကို အသေးစားလှံပစ္စည်းကိစ္စအပေါ် စာတမ်းကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

ဤစာတမ်းကိစ္စအကြောင်းအရာသည် အသေးစားလှံပစ္စည်းကိစ္စအပေါ် စာတမ်းကို အသုံးပြုနိုင်ရန် အတွက် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ (Analytic Hierarchy Process, (AHP)) ဝေဖန် အဆင့်မြှင့်တင်မှုကို အရ စီစဉ်ပါသည်။ နည်းလမ်းတစ်ခုကို အသုံးပြုပါသည်။

အကြောင်းအရာအားဖြင့်

၁။ ဝေဖန်မှုအကြောင်းအရာ အကြောင်းအရာ၊ ၂။ စီးပွားရေးအကြောင်းအရာ၊ ၃။ လူမှုရေး/ယဉ်ကျေးမှု အကြောင်းအရာ၊ ၄။ စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းအကြောင်းအရာ၊ ၅။ နည်းပညာအကြောင်းအရာ အကြောင်းအရာ

ဥပမာ

ပထမဦးစွာ ကားအသစ်စီးစီး ဝယ်ယူချင်သည့် ဥပမာပေးပါ။ စတင် လုပ်ဆောင်ပါ။ လူသိများသော အချက်အလက်များကို ကားအသစ်စီးစီး ဝယ်ယူ စဉ်းစားမိပါက၊ ဒီဇိုင်း(ပုံစံ) ဝယ်ယူ ဝယ်ယူ(တစ်ခု) ဟူသည့် အကြောင်းအရာ (၂) ခုကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားပါ။

လူသိများသော အချက်အလက်များကို ဝယ်ယူ(တစ်ခု)သည် ဒီဇိုင်း(ပုံစံ)ဝယ်ယူ ဝယ်ယူ အကြောင်းအရာများအားလုံးကို ယူဆပါက ဝယ်ယူ(တစ်ခု)ဘက်သို့ ပြောင်း (၇) ကို အမှန်အတိုင်း (✓) ဖော်ပြပါသည်။

| ဥပမာ | အမြန်/အမြဲ | အလွန်မင်းအေးအေး | အလွန်အေးအေး | အတော့အသင့် | တန့်တူ အေးအေး | အတော့အသင့် | အလွန်အေးအေး | အလွန်မင်းအေးအေး | အမြန်/အမြဲ | |
|------------------|------------|-----------------|-------------|------------|---------------|------------|-------------|-----------------|------------|-----------|
| ကား ဝယုချင်း | ၉ | ၇ | ၅ | ၃ | ၁ | ၃ | ၅ | ၇ | ၉ | |
| ဒီဇိုင်း (ပုံစံ) | | | | | | | | ✓ | | ဝေး (တစ်) |

အချားတစ်ကြိမ် လူသိမင်းအေးအေး၊ ဒီဇိုင်းသည် ဝေးနီးထက် အနည်းငယ် ပိုအေးအေး သည် ထင်မြင်ဆင်ခြင် ဒီဇိုင်းဘက်ချင်း (၃) ကို အမှန်ချစ် (✓) ချစ်ပေးရပါမည်။

| ဥပမာ | အမြန်/အမြဲ | အလွန်မင်းအေးအေး | အလွန်အေးအေး | အတော့အသင့် | တန့်တူ အေးအေး | အတော့အသင့် | အလွန်အေးအေး | အလွန်မင်းအေးအေး | အမြန်/အမြဲ | |
|------------------|------------|-----------------|-------------|------------|---------------|------------|-------------|-----------------|------------|-----------|
| ကား ဝယုချင်း | ၉ | ၇ | ၅ | ၃ | ၁ | ၃ | ၅ | ၇ | ၉ | |
| ဒီဇိုင်း (ပုံစံ) | | | | ✓ | | | | | | ဝေး (တစ်) |

အသေးစားလွ်ပစ္စုစွာအားလိဝ်း၏ အခက္ကခဲ

ယခု အသေးစားလွ်ပစ္စုစွာအားလိဝ်းမ်းဝ်းဝ်းပတ္တက္ကပီး ဝေးခြံးမ်းကိုဝ်းပပေးဝေးလိုပါသည။

ဝေးဌေးကးဆိုဉာ အခက္ကခဲမ်း

ဤကၠတြး သတ္တဝိဉာစီးပြးဝေးလုပုနးရွှ်း (ကုမလဏီမ်း)ထံမွ အုပန္တလုနးဝေးဝေးဝေးဝေး မ်း ဝေးဝ်းဝ်း စာအုပ စာဝေးဝ်း၊ စာတမုမ်းဝ်းတြး စူးစမုမ်းဝေးလုလာမးမ်းကို အေပုခခံကာ ဝေးအာက္ခါ အခက္က အခဲမ်းကို ပိုဝ်းပုခး ဝေးဟုပုပထားပါသည။

| | |
|--|--|
| ဝေးဌေးကး ရယူသံဝ်းဝ်းဝ်း | ပုမန္တဝ်းဝ်းဝ်း ဘၠာဝေးဆိုဉာအခနးကၠ၏ ဖြိ ဗမီးမးနညး ဝေးသးဝေးကးဝ်း ဝေးဌေးကးရယူသံဝ်းဝ်းဝ်းဆိုဉာ အခက္ကခဲမ်း |
| ဝေးအရင်းအးဝ်းဝ်း ကုန္တိဝ်းမ်းပုခးဝ်း | ဘၠာဝေးဝ်း ရယူဝ်းဝ်းဝ်းဝ်း အရင်းအးဝ်းဝ်း ကုနကေဝ်းဝ်းမ္မာ (အတီးနးမ်း၊ ဝေးဝေး အဝ်းအခမ်း) ပုမုဝ်းမ်းဝေးပါသည။ |
| သံဝ်းဝ်းဝ်း ဝေးအရင်းအးဝ်းဝ်း မလံဝေးလာကုပုခးဝ်း | အသံဝ်းဝ်းဝ်းဝ်းဝ်းဝ်း ဝေးဌေးကးရယူသံဝ်းဝ်းဝ်းဝ်းကိုလညး ကနုသတ္တးပါသည။ |
| ဝေးဌေးကးလဲလွယွး ပုပံနာ | ရန္တဝေးဘၠာမ်းကို ဝေးဝ်းဝ်းဝ်းဝ်းဝ်း ရယူရာတြး လုပုနးရွှ် မ်းအေပုခးဝ်း ပုမန္တကံပိ ဝေးပုဟးယူ ရသညးဝ်းဝ်း ဝေးဝ်းဝ်းဝ်းဝ်း ဘၠာအခြံးဝ်းဝ်း ပတ္တက္ကညး အခက္ကခဲမ်းကို ခကံဝေးတြးပေ ပါသည။ |

စီးပြားရေးဆိုရာ အခက္ခဲများ

ဤကဏ္ဍ၌ ကမ္ဘာ့စီးပြားရေးလုပ်ငန်းရှင် (ကုမ္ပဏီများ) ထံမှ အချိန်အကန့်အသတ်ဖြင့် မှားယွင်းစွာ စာအုပ်စာတမ်း၊ စာတမ်းများဖြင့် စုစည်းလေ့ရှိသော အချိန်ကာလ အခက်အခဲများကို ပိုမိုရှင်းလင်းစွာ ဖော်ပြပါသည်။

| | |
|--|---|
| အသေးစား စီးပွားရေး အရိယာစား | ပျံ့နှံ့မှုရှိသော ပျံ့နှံ့မှုမရှိမှုအခက်အခဲများကို ပမာဏသည့် အသေးစားအဆင့်သို့ ပျံ့နှံ့ပါသည် |
| ရလိမ့်မည် နည်းလမ်းများ | ဖုန်းအားဖြင့် ပျံ့နှံ့မှုမရှိမှုကြောင့် ပျံ့နှံ့မှုမရှိမှု အချိန်အကန့်အသတ်ဖြင့် ပျံ့နှံ့မှုမရှိမှုကြောင့် ပျံ့နှံ့မှုမရှိမှု ဖုန်းပေးပို့မှုများသည် ရှေ့ပြေးစီးပွားရေးလုပ်ငန်းအချိန်အကန့်အသတ် အရေးကြီးပါသည်။ |
| အခြေခံ ကုန်စည်ရရှိမှု ကြာဟခြင်း - အခြေခံ ကောက်ယူမှုပုံစံ | အသုံးပြုသူများအချိန်အကန့်အသတ်ဖြင့် ပေးပို့မှုမရှိမှုကြောင့် ကုန်စည်ရရှိမှု အချိန်အကန့်အသတ်ဖြင့် ပေးပို့မှုမရှိမှုကြောင့် ကုန်စည်ရရှိမှု |
| အသုံးပြုမှု စုစည်းမှုများ (ကောက်ယူမှုများ) | အသုံးပြုမှု ကောက်ယူမှုများအချိန်အကန့်အသတ်ဖြင့် လေ့ရှိသော ပါသည်။ |

| စီးပွားရေးဆိုင်ရာ အခြေခံ | နှစ် ၁ | နှစ် ၂ | နှစ် ၃ | နှစ် ၄ | နှစ် ၅ | နှစ် ၆ | နှစ် ၇ | နှစ် ၈ | နှစ် ၉ | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------------|
| အသေးစား စီးပွားရေး | | | | | | | | | | ရလဒ်အား နည်းပညာဆိုင်ရာ |
| အသေးစား စီးပွားရေး | | | | | | | | | | အခြေခံ ကုန်စည်ရရှိမှု ကြာဟမှု |
| အသေးစား စီးပွားရေး | | | | | | | | | | အသုံးပြုမှု စီးပွားရေး |
| ရလဒ်အား နည်းပညာဆိုင်ရာ | | | | | | | | | | အခြေခံ ကုန်စည်ရရှိမှု ကြာဟမှု |
| ရလဒ်အား နည်းပညာဆိုင်ရာ | | | | | | | | | | အသုံးပြုမှု စီးပွားရေး |
| အခြေခံ ကုန်စည်ရရှိမှု ကြာဟမှု | | | | | | | | | | အသုံးပြုမှု စီးပွားရေး |

| လူမှုဝေရး/ယဉ်ကျေးမှု ဆိုင်ရာ အကြောင်းအရာ | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| | ၁ | ၂ | ၃ | ၄ | ၅ | ၆ | ၇ | ၈ | |
| ဝေးဝေးတကာအဖြစ် အစည်းအဝေးဆက်ပူး ချစ်သည့်ဆက်သွယ်မှု ဆိုင်ကိန်း | | | | | | | | | လူမှု/ဘာသာ စကား ကြံလမ်း |
| ဝေးဝေးတကာအဖြစ် အစည်းအဝေးဆက်ပူး ချစ်သည့်ဆက်သွယ်မှု ဆိုင်ကိန်း | | | | | | | | | အတန်းပညာ တက္ကသိုလ်ကျောင်း ကြားပတ် |
| ဝေးဝေးတကာအဖြစ် အစည်းအဝေးဆက်ပူး ချစ်သည့်ဆက်သွယ်မှု ဆိုင်ကိန်း | | | | | | | | | အရည်အသွေး မျှတမှုမီမှုဆိုင်ရာ အပင် သေတာ ထား အမျိုး |
| လူမှု/ဘာသာစကား ကြံလမ်း | | | | | | | | | အတန်းပညာ တက္ကသိုလ်ကျောင်း ကြားပတ် |
| လူမှု/ဘာသာစကား ကြံလမ်း | | | | | | | | | အရည်အသွေး မျှတမှုမီမှုဆိုင်ရာ အပင် သေတာ ထား အမျိုး |
| အတန်းပညာ တက္ကသိုလ်ကျောင်း ကြားပတ် | | | | | | | | | အရည်အသွေး မျှတမှုမီမှုဆိုင်ရာ အပင် သေတာ ထား အမျိုး |

စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းဆိုင်ရာ အခက္ခဲများ

ဤကဏ္ဍတွင် သတ္တုဓာတ်စီးပြားရေးလုပ်ငန်းရှင်း (ကုမ္ပဏီများ) ထံမှ အျပည့်အဝဆေးစစ်ခြင်းမခံရသေးသော မီး
 ဝှံ့နှင့် စာအုပ်စာတမ်းစာတမ်းများဖြင့် စူးစမ်းလေ့လာမှုများကို အေချခံကာ အောက်ပါ အခက္ခဲများကို ပိုင်းချခွင့် ပေးထားပါသည်။

| | |
|--|--|
| စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းဆိုင်ရာ ဘေဇာဗူမိဒ် မရှိချခွင့် | အသေးစားလုံခြုံစွာအသုံးပြုသည့် လိုင်းများကို အကာအကြံပေးသည့် နည်းဥပဒေသည့် လက်ရှိဖြင့် မရှိပါ။ |
| နည်းပညာစံနှုန်းများ မရှိချခွင့် | နည်းပညာစံနှုန်းများ သို့မဟုတ် ကန့်သတ်ချက်များ မရှိချခွင့်ပေးမှုနှင့် အသေးစားလုံခြုံစွာအသုံးပြုသည့် လိုင်းများ၏ အရည်အသွေးကို ဖော်ပြရန် ခက်ခဲပါသည်။ |
| အခြေအနေအထား ဆေးစစ်မှုအခွင့်အရေး | ဝန်ကြီးဌာနများမှတစ်ဆင့် ညှိနှိုင်းဆောင်ရွက်ရသည့် အခွင့်အရေးရှိပါသည်။ နေရာချခွင့်၊ မြေအသုံးပြုခွင့်၊ ဘဏ္ဍာရီဝါသနာ လုံခြုံစွာအသုံးပြုသည့် စနစ် (Off- Grid System) သည် စိုက်ပျိုးရေး မြေသေတ္တာများနှင့် ဆည်ချောင်းများဝန်ကြီးဌာန၊ ကော်လံဘီယာ စီမံခန့်ခွဲရေးဦးစီးဌာနအနေဖြင့် ပြင်ဆင်မှုများကို ခွင့်ပြုပေးခြင်းနှင့် နေရာချခွင့်၊ မြေအသုံးပြုခွင့်၊ အလိုအလျောက် ပြင်ဆင်မှုများလဲ အသုံးပြုသည့် ပြင်ဆင်မှုလုံခြုံစွာအသုံးပြုသည့် စနစ် (On-Grid System) မှာမူ လုံခြုံစွာအသုံးပြုမှုနှင့် ဝန်ကြီးဌာန အကြံပြုချက်များကို ခံနိုင်ပါသည်။ |
| ဓာတ်အားလိုင်းတိုင်းရန် အလားအလာ | ဆက်တိုက်စွာအသုံးပြုသည့် အခွင့်အရေးဖြင့် မညီညွတ်စွာပေးမှု မပေးသလို ရှိနေသော အသေးစားလုံခြုံစွာအသုံးပြုသည့် လုပ်ငန်းအကြံပြုချက် အာမခံ မရှိပါ။ |

| စည်းမျဉ်း စည်းကမ်း ဆိုင်ရာ အကြောင်းအရာ | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း/နည်းလမ်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | ပူးပေါင်းဆောင်ရွက်ခြင်း | |
|---|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| | ၁ | ၂ | ၃ | ၄ | ၅ | ၆ | ၇ | ၈ | |
| စည်းမျဉ်းစည်းကမ်း ဆိုင်ရာ ဘေ့စလိုက် မရှိပါဘူး | | | | | | | | | နည်းပညာ စံနှုန်းများ မရှိပါဘူး |
| စည်းမျဉ်းစည်းကမ်း ဆိုင်ရာ ဘေ့စလိုက် မရှိပါဘူး | | | | | | | | | အဖြေ အစည်း၏ ဆောင်ရွက် မှုများ |
| စည်းမျဉ်းစည်းကမ်း ဆိုင်ရာ ဘေ့စလိုက် မရှိပါဘူး | | | | | | | | | စာတမ်းလိုင်း တိုင်း၌ ရန် အလားအလာ |
| နည်းပညာ စံနှုန်း စံနှုန်းများ မရှိပါဘူး | | | | | | | | | အဖြေ အစည်း၏ ဆောင်ရွက် မှုများ |
| နည်းပညာ စံနှုန်း စံနှုန်းများ မရှိပါဘူး | | | | | | | | | စာတမ်းလိုင်း တိုင်း၌ ရန် အလားအလာ |
| အဖြေ အစည်း၏ ဆောင်ရွက်မှုများ | | | | | | | | | စာတမ်းလိုင်း တိုင်း၌ ရန် အလားအလာ |

| နည်းပညာဆိုရာ အကြောင်းခံ | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | အခြေခံအားလုံး အခြေခံအားလုံး | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| | ၁ | ၂ | ၃ | ၄ | ၅ | ၆ | ၇ | ၈ | |
| နည်းပညာ ကြာဟမေး | | | | | | | | | ပဋိပက္ခ စာတမ်းလိုင်း းဝင်း ဝင်းဝင်း မရှိချောင်း |
| နည်းပညာ ကြာဟမေး | | | | | | | | | ချပတ်တောင်း ချပတ်တောင်း ချပတ်ချောင်း |
| နည်းပညာ ကြာဟမေး | | | | | | | | | လုပ်ငန်းလည်တုချောင်း းဝင်း ဝင်းဝင်း ထိန်းသိမ်းချောင်း |
| ပဋိပက္ခစာတမ်းလိုင်း းဝင်း ဝင်းဝင်း မရှိချောင်း | | | | | | | | | ချပတ်တောင်း ချပတ်တောင်း ချပတ်ချောင်း |
| ပဋိပက္ခစာတမ်းလိုင်း းဝင်း ဝင်းဝင်း မရှိချောင်း | | | | | | | | | လုပ်ငန်းလည်တုချောင်း းဝင်း ဝင်းဝင်း ထိန်းသိမ်းချောင်း |
| ချပတ်တောင်း ချပတ်တောင်း ချပတ်ချောင်း | | | | | | | | | လုပ်ငန်းလည်တုချောင်း းဝင်း ဝင်းဝင်း ထိန်းသိမ်းချောင်း |

အထွေထွေအချက်အလက်များ

နာမည (လိပ္ပာ) ကဒုဗျဟးရိပါက ပူးတြဲစောဒုဗျပါ။ မရိပါက ဝေအာက္ခိတိကို ဖျဉ္ဇေပါ။

အမည် _____

ရာထူး/ခြံ့ _____

အဖြေအရပ်းအမည် _____

အကြံ အခံကံမီး

၁။ ဖြမ်းအင်းနားကုန်းပတ်ကမ်း အောက်အဆက် ရှိပါသလား။

□ ရှိပါသည်

□ မရှိပါ

၂။ ရှိလျှင် အသုလေ့ကျကာလံ

$$(\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{O}=\text{C})_2$$

၃။ ရှိလှ်ဝ်ငါ၊ မညညဝ်မးအဝ် အမ်းအံးစးလဲ။

☐ ဒီဇယ(ရေ)ဆီ

□ തെറ്റേണ്ട

□ လှိုဏ်စု ဖြစ်ပေါ်အောင်

□ ကော်ကွီးဝေး

□ ဝေနေရာငှါပြုမည့်အခန်းအခန်း (ဆိုလာ လုံပစ္စည်း)

□ ရေအားသုံးစွဲမှုအဖွဲ့

□ ဇေယျာ

□ စပါးခြံ

□ အျခား ဇီဝေလာဏ်များ ()

□ လေးအားလို့ပူစ

□ အချား ()

၄။ လူဆန်းမင်း ပါဝင်/တာဝန် ရသည့် အခန်းကဏ္ဍ

□ 6013

☐ သုတေသနနံပါတ်

□ အဖြေ အစည်းများ (NGOs) နှင့် အသင်းအဖွဲ့များ

□ လပနံရူပ

□ ၈၈
၈၃၀၀

□ အမ်းပူပညာ။

□ အား ()

လူသကီးမင်း၏ ပါဝတ္ထုညီဆောင်ကွဲပေးမအကြက ဝေးနုးတငါသည။