

マイクログリッドにおける オープンソースの活用

イノベーションを推進し、エネルギーレジリエンスのための市場障壁を克服する5つの方法

2023年7月

Jessica Groopman
with Jeff Lindstrom
Intentional Futures

序文
Chris Xie and Yue Chen
Futurewei

In partnership with

 OLF ENERGY

 intentional futures

Sponsored by

 FUTUREWEI
Technologies

オープンソース マイクログリッド業界の課題と機会

OSSはマイクログリッドを
**民主化し、標準化し、よ
り良く統合する**可能性を持
っていますが、オープンソースの
マイクログリッド市場はまだ初
期段階にあります。



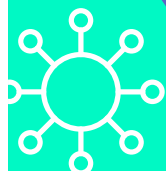
オープンソースモデルは参入
への経済的障壁を下げ、ベス
トプラクティス、設計、ツール
を共有することで**マイク
ログリッドへのアクセス
を向上させます。**



オープンソースはマイ
クログリッドの設計と
市場投入までの時間
を短縮し、モジュール性、
効率性、オープンデータ共有
を向上させます。



標準に関するコンセンサスを推進し
透明性のあるコラボレーションを促進
することで、**オープンソースは
マイクログリッドの相互運
用性と標準化を向上させる
ことができます。**



ソフトウェア、サポート サービス、ト
レーニング、カスタマイズ、モジュ
ール性など、**オープンソース
ビジネスモデル**のさまざまな
コンポーネントが、マイクログリッド
のイノベーションと最適化を可
能にします。

オープンソースは、オープンソース
対応のビジネスモデル、セキュリテ
ィ、人材パイプライン、コスト削減を
通じて、**エネルギーレジリエ
ンスに向けた市場イノベ
ーションを大規模に可能
にします。**



時代遅れで、細分化され、集中化
されたグリッドインフラに有利なエ
ネルギー規制を改革するためには
**協力的で一貫性のある政
策決定**が必要です。



業界の既存企業からの抵抗は、**オー
プンソースプログラムへの
参加と、セキュリティ上の懸
念に対処するための教育**によ
って対処されるべきでしょう。



データ共有、教育、目
標の調整は、マイクログ
リッドの採用において経済
的な障害と不確実性に直
面している既存のエネルギ
ー企業を支援します。



電力会社から政府、コミュニティに至
るまで、多様なステークホルダーのグ
ループは、**マイクログリッドの
ランドスケープを共同で構
築するための中央ハブ**を必要
としています。



データの標準化、アプリケ
ーションのモジュール性、
コストメリットの実証、市
場の調整は、マイクログリッドの
相互運用性の向上を支援します。



**教育、コミュニティへのア
クセス、スキル開発**に重点を
置くことで、技術的な採用に対する
抵抗や技術格差を減らすことがで
きます。

目次

序文	4
はじめに	5
マイクログリッドとオープンソースの定義	6
マイクログリッド市場の現状	7
マイクログリッド市場の牽引力	7
マイクログリッド市場障壁	14
マイクログリッド開発のためのオープンソース	18
今日のオープンソース マイクログリッドの展望	18
マイクログリッドにおけるオープンソースの価値提案の評価	21
価値提案1: オープンソースがマイクログリッド導入へのアクセシビリティを向上	22
価値提案2: オープンソースがマイクログリッド設計を加速	24
価値提案3: オープンソースはマイクログリッドの相互運用性と標準化を改善できます	26
価値提案4: マイクログリッドのビジネス モデルを可能にするオープンソース	29
オープンソース マイクログリッド導入の課題とギャップ	36
マイクログリッド エコシステムのために推奨される今後の道筋	38
どのようにオープンソースのマイクログリッドに貢献できるのか?	38
役割と推奨方法	38
結論	41
探索すべきさらなる研究課題	41
調査方法	42
付録: インタビュー参加者のリスト	42
著者について	43
謝辞	43
巻末資料	44

序文

2022年の夏は、欧州、米国、アジアの3大陸で最も厳しい熱波にリンクされ、地球温暖化の紛れもない傾向を示しました。次の冬は、このような極端な気候に慣れていない北カリフォルニアに、同様に前例のない雨と雪の大洪水をもたらしました。これらの極端な気候条件は、既存の電力インフラに限界を超えた負担をかけ、電力使用量の制限を必要とし、停電を引き起こすことさえありました。Gallupの2022年の研究によると、現在の気候予測を考慮すると、高温の日は2030年までに寿命評価を推定17%大幅に減少させると予測されています。

しかし、気候危機は、我々にエネルギーシステムを再考する機会を与えてくれています。気候変動の影響を緩和するだけでなく、極端な気象条件によって引き起こされる電力負荷の変動にインフラが効果的に対処できるようにするためには、より環境に優しく、より回復力があり、自立したエネルギーシステムへの転換が急務です。

この調査レポートでは、マイクログリッド市場の包括的な分析を行い、特定のギャップと課題を明らかにします。しかし、政府の資金、政策支援、オープンソースベースのマイクログリッドなどの持続可能なエネルギーソリューションへのインセンティブが増加するにつれて、革新的なアプローチの機が熟しています。

オープンソースのマイクログリッドには大きな潜在的なメリットがありますが、独自の課題と機会もあります。これらの問題に対処する明確で戦略的な道筋は、真のエネルギーの持続可能性、自由、安全保障の達成

に向けた道筋を我々に示すものです。今こそ、目の前の機会を捉え、気候変動に強く、クリーンで信頼できるエネルギーを動力源とする未来に向けて取り組む時です。

Intentional FuturesのJessica Groopman氏とJeff Lindstrom氏のこの調査レポートに対する精力的で多大な仕事に感謝します。また、Linux Foundation ResearchのHilary Carter氏にも心から感謝します。彼は、私たちのビジョンを共有し、最初から最後までシナジーを発揮してくれました。また、このレポートに貢献してくれた多くの分野の専門家と協力者に感謝します。この調査レポートが、エネルギーの自由を追求する上で価値を提供することを願っています。

Yue Chen, Head of Technology Strategy, *Futurewei*
Chris Xie, Head of Open Source Strategy, *Futurewei*

はじめに

近年の経済、環境、社会の混乱が相まって、エネルギーの回復力に対する需要が高まっています。マイクログリッドは、従来の電力網と接続して独立して運用する小規模な地域エネルギー システムであり、多目的で強力なソリューションとして浮上しています。マイクログリッドの規模を拡大するには、いくつかの要因が役立ちます。この分析では、オープンソースエコシステムの役割を探ります。

Guidehouse Insights によると、世界のマイクログリッド市場は、商業、産業、軍事、組織、およびリモート実装の採用に支えられて、年平均成長率 (CAGR) 17.6% で成長しています。¹ 脱炭素化、農村電化、および国家安全保障を取り巻く広範な投資トレンドに加えて、デジタル、ワイヤレス、およびクラウド技術への依存の高まりと、関連するネットワーク サイバーセキュリティの脅威が、マイクログリッドのアップグレードと新規導入の需要を牽引しています。とはいうものの、サプライチェーンの混乱、既存企業からの抵抗、相互運用性の課題、および断片化された基準と規制が、近年の市場の加速を妨げています。

”オープンソース マイクログリッド” 市場は現在始まったばかりですが、オープンソースは、これらの障壁を克服することで、マイクログリッドのイノベーションをより迅速に加速させる大きな可能性を秘めています。この調査では、マイクログリッド市場の課題と推進要因の現状を分析するとともに、オープンソース マイクログリッドの状況と他の業界におけるオープンイノベーションの例を分析します。オープンソース エコシステムがマイクログリッド市場の採用を促進する 5 つの方法を特定します。

1. **マイクログリッドへのアクセスを拡大**し、新興市場におけるエネルギー アクセスと、すべての人のためのマイクログリッド資源と教育の両方を民主化します。
2. **マイクログリッドの設計と市場投入までの時間を短縮**します。モジュール性、効率性、オープンなデータ共有を実現することによって。
3. **相互運用性を向上**させたり標準の採用を向上させたりします。エコシステムのコラボレーション、コンセンサス、透明性、スタック間の互換性を促進することによって。
4. **マイクログリッド ビジネス モデルを実現**。ソフトウェア、サポートとコンサルティング サービス、トレーニングと認定、カスタマイズと統合、コラボレーション パートナーシップ、高度なモジュール性を通じて。
5. **エネルギー レジリエンスに向けた市場イノベーションを大規模に実現**。オープンソース対応のビジネス モデル、セキュリティ、コスト削減を通じて。

このレポートは、主要な利害関係者が関与するための実用的な洞察と推奨事項を提供します。短期的には、オープンソースは発展途上国のエネルギー アクセスを促進するのに役立ちます。時間の経過とともに、オープンソースは、電力会社や金融業者から業界、政策立案者、開発者、コミュニティに至るまで、利害関係者の幅広いエコシステムにわたって、マイクログリッド市場全体に利益をもたらします。気候変動によって、分散型の再生可能エネルギー資源を可能な限り迅速に拡大する必要がある時代において、オープンソースのツールとプログラムは、競争条件を公平にするのに役立ちます。

マイクログリッドとオープンソースの定義

マイクログリッドは、明確に定義された電氣的境界内で相互接続された負荷と分散されたエネルギー資源のグループであり、より大きなグリッドに関して単一の制御可能なエンティティとして機能します。マイクログリッドは、グリッドに接続したり、グリッドから切断したりして、グリッド接続モードまたはアイランドモードのいずれかで動作できるようにすることができます。マイクログリッドは、エネルギーの回復力を向上させるためのいくつかの隣接する技術設計の1つであり、仮想発電所 (VPPs) や分散型エネルギー資源管理システム (DERMS) などの他の技術と重複する可能性があります。

オープンソースとは、オープンライセンスの下でソースコードが利用可能なソフトウェアを指します。ソフトウェアを無料で使用できるだけでなく、必要な技術スキルを持つユーザーがソースコードを検査し、修正し、独自のバージョンのコードを実行して、バグの修正や新機能の開発などを支援することができます。一部の大規模なオープンソースソフトウェアプロジェクトには、数千人のボランティアコントリビューターがいます。The open definitionは、ソフトウェアがオープンソースと見なされるための条件を定めた以前の open source definition に大きく基づいています。²

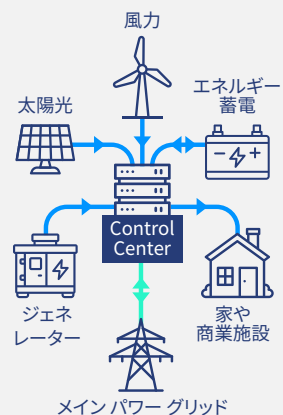


図1

マイクログリッドの活用

マイクログリッドは、より大きなグリッドに接続したり、“アイランド”として機能したりすることができる自己完結型のエネルギーシステムです。

蓄電 余剰電力を貯蔵することができるバッテリーまたはバッテリーシステム。太陽光発電などの間欠的な DER を使用する場合に重要です。

ロード 家など、マイクログリッドによって生成された電力を消費するもの。

コントローラー マイクログリッドの DER とストレージの複雑な結合を、より大きなグリッドと処理する責任があります。

イメージソース：WISCONSIN STATE JOURNAL RESEARCH

ナノグリッド

ナノグリッドは、一般的に”単独運転機能”を備えた地域エネルギー自給自足システムの一つであり、マイクログリッドと同様に、3つの明確な差別化特性を備えています。

1. サイズが小さいナノグリッドの展開は、マイクログリッドよりも（一般的に）高速で、容易で、モジュール性が高いです。
2. 顧客や個々の建物に特化したナノグリッドは、直流構成にも傾倒しており、ユーザーに対してより多くのカスタマイズ機会を提供することができます。
3. 他のナノグリッド、マイクログリッド、および電力会社グリッドとの互換性と接続は、VPPsの作成に貢献できる集約されたリソースを触媒します。

分散型エネルギー資源

分散型エネルギー資源 (DER) は、小型のモジュール式エネルギー生成、貯蔵、および需要応答技術であり、必要に応じて電気容量、エネルギー、または負荷の削減を提供します。通常、10メガワット (MW) 未満の電力を生産する DER システムは、通常、特定のニーズを満たすサイズにすることができ、オンサイトに設置されます。DER システムは、地域の電力網に接続されている場合もあれば、スタンドアロンアプリケーションで分離されている場合もあります。DER 技術には、風力タービン、太陽光発電 (PV)、燃料電池、マイクロタービン、レシプロエンジン、バッテリー、フライホイール、HVAC システム、温水ヒーター、電気自動車などがあり

ます。

分散型エネルギー資源管理システム

顧客、グリッドまたはマーケットアプリケーションにわたって、グリッド接続およびメーター背後の DER をリアルタイムで監視、制御およびディスパッチするためのソフトウェアベースのソリューションです。これらの資産は、電力会社、サードパーティまたは顧客所有であり、電力会社によって直接または間接的に制御されます。配電レベルでのアクティブな電力最適化の必要性に基づいて、DERMS は特定の電力会社の配電フィーダの電圧サグおよびサージに対処できます。

仮想発電所

ソフトウェアとスマートグリッドに依存して、集約および最適化プラットフォームを介して DER をリモートで自動的にディスパッチし、最適化するシステムです。多くの場合、小売市場と卸売市場をリンクします。市場シグナルと価格設定によって駆動される VPP は、システム全体の周波数変動に対処できます。

マイクログリッド市場の現状

マイクログリッド市場の牽引力

マイクログリッドは増加傾向にあります。Guidehouse Insightsによると、世界市場は2022年に116億ドルを超え、2030年までに500億ドル以上に達すると推定されており、CAGRは17.6%です。³ マイクログリッドは何十年も前から存在していますが、今日の市場は、従来のディーゼル発電ネットワークではなく、さまざまな再生可能エネルギー源で電力を供給するようになっています。マイクログリッド市場は、容量と用途、および地域全体で拡大しています。⁴

しかし、より広範なエネルギー源を利用することが唯一の触媒ではなく、最近の関心と投資は、いくつかの収束する傾向のおかげで加速しています。

図2
地域別のクリーン エネルギー マイクログリッド容量

ワールド マーケット: 2022-2031 (Guidehouse)

ソース: GUIDEHOUSE INSIGHTS

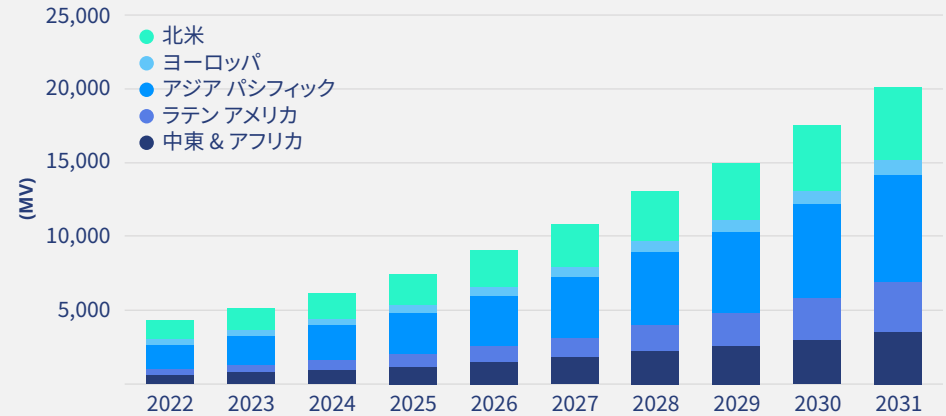


図3
主要マイクログリッド市場



- リモート 44%
- 電力会社 供給 14%
- 商工業 26%
- コミュニティ 6%
- 直流 0%
- 機関/大学 6%
- 軍事 4%

技術別マイクログリッド容量の選択



- バイオマス 4%
- ディーゼル発電 12%
- エネルギー蓄電 19%
- 燃料電池 4%
- 水力発電 3%
- マイクロタービン 6%
- 天然ガス発電 9%
- ソーラーPV 39%

ソース:
GUIDEHOUSE
INSIGHTS

表1 マイクログリッド 市場の 牽引力



2. ステークホルダーの関心の高まり

投資家コミュニティからの脱炭素化へのプレッシャーの高まりは、政府や軍隊から企業、都市、消費者など、さまざまな関係者にわたって、エネルギーの回復力、主権、リスク軽減の強化に対する需要の高まりに対応しています。マイクログリッドは、柔軟でスケーラブルなソリューションです。



1. 耐障害性、環境、および社会的な要求

極端な気象現象、グリッドインフラの老朽化、停電のリスクは、エネルギーの信頼性を向上させるためのマイクログリッドへの関心と採用を促進しており、市場の成長は、広範な気候緩和と適応への投資、および民間部門と公共部門にわたる”ネットゼロ”戦略によってさらに加速しています。



3. 新しい規制 & 政策インセンティブ

電気自動車や建設など、マイクログリッドやそれに隣接する領域に有利な、新しく多様な気候関連の法案が制定されつつあります。細分化されてはいるものの、先進国と開発途上国の両方で、公共部門と民間部門の好ましい政策が世界中で見られます。



4. 経済的インセンティブ & 新しいビジネスモデル

燃料コストの上昇と再生可能エネルギーコストの低下が収束し、マイクログリッドの採用が促進される一方で、技術の進歩により、革新的なベンダーや大規模な電力会社がデジタル化と分散型エネルギーを結び付け、エネルギーインフラやサービスを収益化する新たな方法を生み出すことが可能になっています。

耐障害性、環境、および社会的な要求：マイクログリッドは、不確実な時代の中で信頼できるエネルギー源です。

信頼できるエネルギーへのアクセスが脅威にさらされている理由はたくさんあります。グリッドインフラの老朽化、エネルギー需要の増大、サイバーセキュリティの脅威の増大、政治的不確実性、極端な気象現象（気候変動に関連している可能性が最も高い）の頻度の増加に直面して、マイクログリッドは、従来の高度に集中化されたグリッドに代わる実行可能な選択肢となっています。昨年だけでも、米国は22件の極端な気象および気候関連の災害事象に直面しており、損失はそれぞれ10億ドルを超え、累積価格は約1,000億ドルに達しました。⁵

”極端な高温、洪水、火災、風、嵐の脅威が増大する中で、グリッドが信頼性と回復力を持つためには、地域が分散型クリーンエネルギーへの投資を最大限に活用できるようにする、地域制御を備えた分散型システムが必要です。集中型発電から長距離にわたって電力を移動させることに依存する従来のシステムでは、今日我々が経験している気候変動に対処するには十分ではありません。”

- MARISSA HUMMON, CHIEF TECHNOLOGY OFFICER, UTILIDATA

これらの課題は、もはや特定の地理的地域に孤立しているわけではありません。世界中の人々（および政府）は、より大きなエネルギー主権と信頼性を求めています。文化的には、地域経済やモバイル ネットワークに触発されたピアツーピア インフラに重点を置くなど、エネルギー主権に対する欲求が高まっています。制度レベルでは、回復力への懸念が国家安全保障上の最大の脅威の1つです。実際、米国、中国、インド、オーストラリアなどのいくつかの政府は、すでに気候と国家安全保障への投資にマイクログリッドを含めています。⁶

このようなレジリエンスへの要求は、気候変動の緩和戦略と適応戦略の両方を支える、より広範な環境、社会投資のトレンドの一部です。既存のマイクログリッドの多くは、最も汚染された化石燃料であるディーゼルに依存してきましたが、今日のマイクログリッドは、太陽光、風力、水素、バイオ発電などの再生可能エネルギー源をますます高レベルで利用しています。再生可能エネルギーへの移行は、排出量を削減し、先進工業国の脱炭素戦略を推進するために不可欠です。

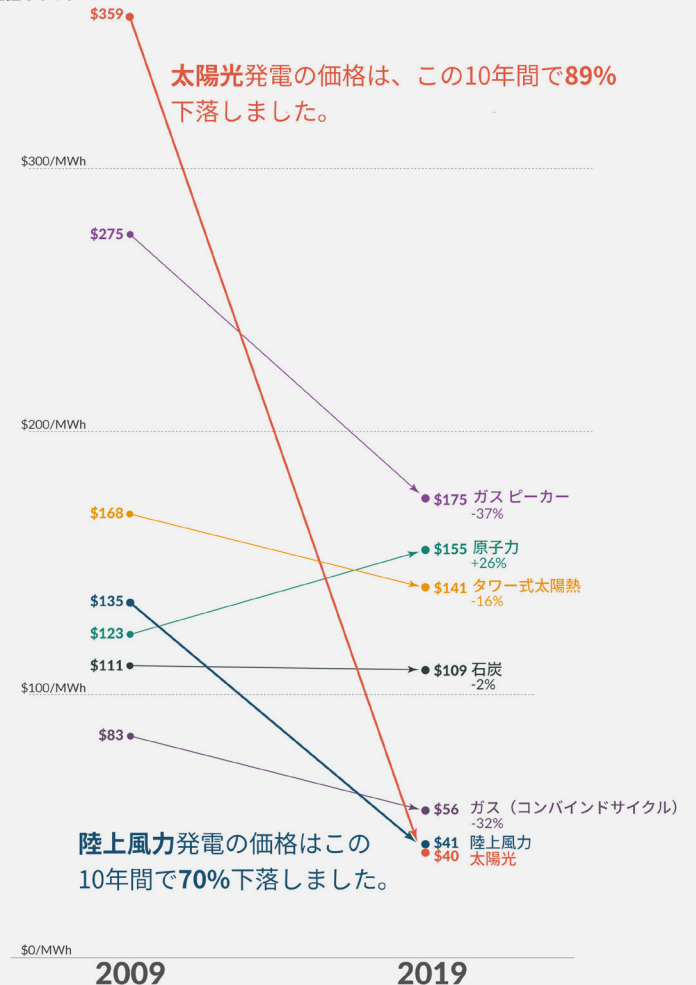
マイクログリッドは、化石燃料から再生可能エネルギーや農村地域の電化への道筋を提供するとともに、より多くの人々を信頼できるエネルギーやインターネット インフラに接続することで貧困を削減し、経済的不平等を埋めるための重要なツールと考えられています。⁷ ケニアのSidonge村にマイクログリッドが設置されてから5年後、住民は女子の就学率が180%上昇したと報告しました。⁸

図4 新しい発電所からの電力価格

新しい発電所からの電力価格

電力価格は「エネルギーの平準化コスト」(LCOE) で表されます。LCOEは、発電所自体の建設コストと、発電所の存続期間にわたる燃料と運転のための継続的なコストを把握します。

Our World
in Data



経済的インセンティブと新しいビジネスモデル：マイクログリッドはコストを削減し、新たな収入源を生み出すことができます。 エネルギーコストの劇的な変化は、マイクログリッド エネルギー源への再生可能エネルギーのより大きなシェアを可能にし、マイクログリッド展開の経済性を改善することによって、マイクログリッド市場に直接利益をもたらしてきました。2009年には、太陽光発電所の建設コストは、化石燃料を燃焼させる新しい発電所の建設コストよりも223%高かったです。⁹ 過去10年間で、太陽光と風力の採用の増加は、再生可能エネルギーによって発電される電力のコストを約90%削減し、計算を効果的に逆転させました：再生可能エネルギーは現在、石炭よりも安価です。ますます多くの設備が導入されるにつれて、再生可能エネルギー資源のコストは減少し続けるでしょう。近年、燃料コストの上昇、炭素価格イニシアティブの増加、税制や規制上のインセンティブの増加により、再生可能エネルギーの競争力はさらに高まっています。¹⁰

過去数十年にわたる実験と技術の進歩も、マイクログリッドの新たなビジネスケースを解き放っています。これにより、より大きな電力会社がゲームに参入しています：最近の調査によると、電力会社、メーカー、ネットワーク オペレータのうち、マイクログリッド セクターで完全に活動していると主張したのはわずか13%でしたが、約28%が”積極的に関与している”、さらに39%が”機会としてマイクログリッドを探求する初期段階”にあることがわかりました。¹¹ 新興のビジネスモデルは広範囲に及び、大規模なグリッド オペレータの投資収益率 (ROI) への期待を考えると、より広範なマイクログリッドの採用に不可欠です。私たちの調査では、マイクログリッドの収益化を推進する以下のビジネスモデルの傾向が明らかになりました。

- 1. デジタル制御の進歩により、ENERGY-AS-A-SERVICE (EAAS) モデルが可能になりました。** このモデルでは、ソフトウェア、リモートセンシング、分析、およびその他のテクノロジーにより、プロバイダーは、遠隔監視と最適化を備えた”従量制”のクラウドベースのエネルギー サービス モデルを提供できます。EaaSは現在、米国では、組織、商業、および産業のマイクログリッド アプリケーションにも使用されています。これらのモデルでは、公共 / 民間のエンティティがマイクログリッドを設計、構築、所有、運用、および維持しますが、顧客はほとんどまたはまったくリスクを負わず、先行投資を行う必要はありません。
- 2. 大規模な電力会社は地域社会と提携し、インフラとエネルギー管理は2つの独立した事業となります。** 地域社会は地域の(より環境に優しい) インフラと効率性と信頼性の向上から利益を得る一方で、送電網運営者は負荷とインフラを管理して柔軟性と安定性を確保するとともに、配電網における再生可能エネルギーの割合を増加させます。
- 3. 遡及的設置、企業が差別化された製品 / サービスを提供して、既存の設備からマイクログリッドを形成したり、新しい再生可能エネルギーを統合して既存の化石バックアップ電力システムを更新したりします。**
- 4. システムの統合と管理。** ベンダーやその他のサードパーティが、完全なマイクログリッドまたはモジュラー型マイクログリッドの構成と実装を支援したり、サービスとメンテナンスの料金を請求したりします。
- 5. プロシューマーとピアツーピアのモデルでは、地域のエネルギー ノード (住宅、車両、商業) がマイクログリッドを通じてより持続可能な電力を発電し、余剰エネルギーをコミュニティの他のメンバーや電力会社に販売して、すべての人のコストを削減することができます。**

初期段階ではありますが、これらのモデルはマイクログリッドの採用に新たな追い風を生み出しています。一方、標準的な価格設定メカニズムからブロックチェーンのトークン化、規制に至るまで、いくつかの隣接領域の傾向は、マイクログリッドの経済的インセンティブにさらに影響を及ぼす可能性があります。

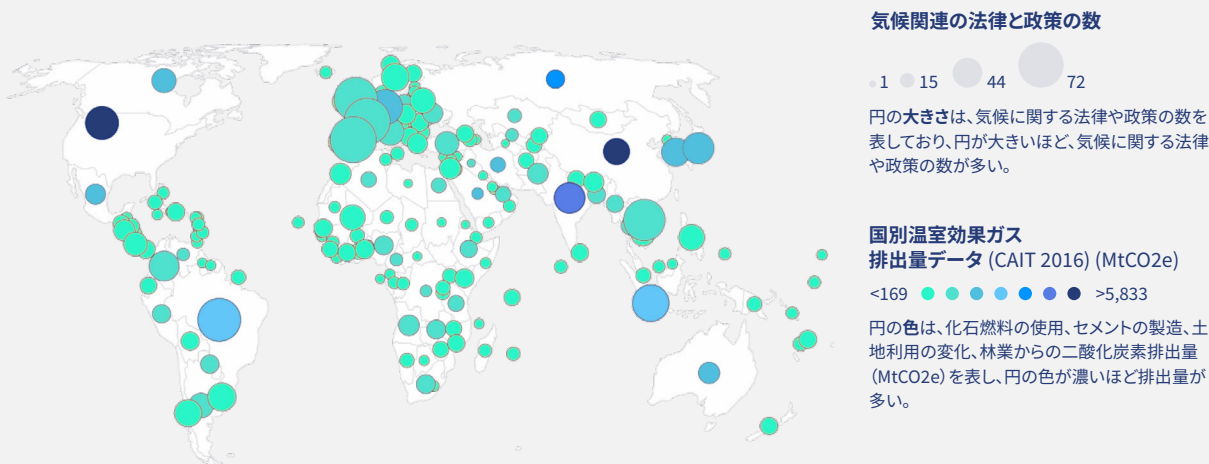
新たな規制と政策インセンティブ：マイクログリッドと DER は、新たな法律に登場しています。世界中で、炭素削減、電化、エネルギー回復力など、マイクログリッドの方が好ましい気候政策の数が増加しています。主要国は重要な法的先例を通過しつつあります。¹³

米国では、最近のインフレ抑制法にて、生産、投資税額控除を含む約 3700 億ドルがエネルギー転換に充てられ、投資コストの削減と DER の利用を奨励しています。Federal Energy Regulatory Commission Order 2222 などの他の政策は、資産ベースのデマンドレスポンス（すなわち、オンサイト エネルギー源のグリッドへの参加）を可能にすることによって、集約された DER が卸売市場において従来の発電所や他のグリッド資源と同じ立場で競争することを支援しています。マイクログリッドを促進する様々な政策が州レベルでも存在しています：Smart Electric Power Alliance と EnerKnol によると、18 の異なる州の議員が 2015 年から 2020 年の間に 112 の法案を提案または制定しています。¹⁴

大手電力会社と地域社会のパートナーシップが新たなビジネスモデルを構築 E.ON（欧州最大のエネルギー供給業者の 1 つ）、RWTH Aachen University、スウェーデンのシムリスの町は、民間部門、地方政府、関与する市民の間の協力がいかにすべての人に価値を生み出すことができるかを示しています。このプロジェクトは、利害関係者と協力して地域のマイクログリッドをテストし、実施することで、地域のソーラー パネル、風力タービン、バッテリー エネルギー貯蔵、スマートエネルギー管理、コネクテッド ユーザーを接続し、電力消費と二酸化炭素排出量を大幅に削減しました。このシステムに組み込まれたピア ツー ピアのエネルギー交換と自動化は、グリッドのバランスと最適化に役立ちました。”プロシューマー”は、近隣住民と共有し、グリッドに戻った資源に対して報酬を受けました。このコラボレーションは、”配電グリッドの制約を緩和するための地域の柔軟性の利用を調査する”ことを目的とした EU の Interflex Project の一部でした。¹²

図5 世界の気候変動関連法

CLIMATE-LAWS.ORG から提供され、CREATIVE COMMONS CC BY-NC ライセンスの下で利用可能



”車両の電化から、EV、太陽光、風力、貯蔵の税額控除範囲の拡大まで、インフレ抑制法は”マイクログリッド”について10回以上言及しています!”

- JANA GERBER, NORTH AMERICA MICROGRID PRESIDENT, SCHNEIDER ELECTRIC

利害関係者間の関心の高まり:

マイクログリッドはより広範な市場機会を可能にしています。

都市から企業、コミュニティ、消費者に至るまで、マイクログリッドの需要は拡大しています。電化は電力需要の領域を拡大します。電化された自動車、バス、トラック、列車、スクーター、建物、EV 充電ステーション、その他無数の形態のインフラは、信頼できる電力を必要とするだけでなく、より大きなグリッドにエネルギーを還元することもできます。そのため、世界中の自治体は、将来の重要なインフラを構築するためのスマートシティ イニシアティブの一環として、マイクログリッドを評価しています。

都市以外では、特に大規模なオフィスやキャンパス、停電で多額の損失を被る可能性

”グリッドの脆弱性が明らかになるにつれて、企業は電力がないことのコスト（およびオンサイトまたはローカルに何かを持つことのメリット）を認識しています。例えば、多くの食料品店では、3時間以上停電した場合、すべてを廃棄する義務があります。これはかなり短い時間です。”

- CAMERON BROOKS, EXECUTIVE DIRECTOR, THINK MICROGRID

のあるデータセンターを持つ企業は、マイクログリッドの長期的なコスト削減とエネルギーセキュリティの恩恵を受けることができます。マイクログリッドは、企業がバックアップディーゼル発電機などの化石燃料資源への依存を減らすのにも役立ちます。新しい建物と配電技術が産業側からマーケットを牽引し、大規模な製造サイトがマイクログリッドとして機能することを可能にしています。上記で取り上げた回復力の利点に加えて、すでに脱炭素化への強い圧力にさらされている産業は、EV フリート充電インフラのサポートからグリッドサービスの提供まで、マイクログリッドが効率性とリターンをさらに高め

る可能性をますます認識しています。農家、学校、小売業者、病院、自動車、テクノロジー企業もこれに追随しています。¹⁵

米国の超党派インフラ法の一環として、105億ドルのグリッドレジリエンスとイノベーションパートナーシッププログラムが創設されました。これは電力セクターのインフラの信頼性を確保するのに役立つ変革的プロジェクトの展開を加速するためです。この資金は、グリッドの柔軟性を高め、異常気象や気候変動の増大する脅威に対する電力システムのレジリエンスを向上させるための実施オプションとして、マイクログリッドの採用に利益をもたらす可能性が高いです。

マイクログリッドはまた、より小規模で超ローカルな傾向にあり、これは小規模企業だけでなく、コミュニティや世帯にとっても有益です。Bloomberg NEF の調査によると、マイクログリッドの平均規模は 2018 年以前は 7.7-7.9 MW でしたが、現在は約 1.7-1.9 MW です。¹⁶ この変化と、より多くのエネルギーの自主性、環境問題、地域主権を求める人々の政治的・文化的需要の高まりを組み合わせると、マイクログリッドは、世帯や小さなコミュニティが再生可能エネルギーと貯蔵の両方を利用し販売する”プロシューマー”モデルにおいて重要な役割を果たす可能性があります。オランダの報告書によると、マイクログリッド技術は、複数の世帯間で地域レベルでエネルギーを分散的に共有することによって、地域の”テクノ経済”を 90% 自給自足できるようになります。¹⁷

”マイクログリッドは、新興市場のエネルギー アクセスとエネルギー移行の両方のプラットフォームになりつつあります。彼らは、何百もの国がグリッドを化石燃料から切り離し、高い信頼性と主権を持って電力を得るのを支援しています。”

- MANOJ SINHA, CHIEF EXECUTIVE OFFICER, HUSK POWER

マイクログリッド市場障壁

この市場を牽引する多くの追い風にもかかわらず、マイクログリッドはまた、広範な採用を妨げる重大な課題に直面しています。我々の研究は、マイクログリッド市場の成長を妨げる以下の障壁を明らかにしました。

1. **既存企業は、マイクログリッドの広範な展開に抵抗し続けています。**レガシーな電力構造は、多くの場合、変更には抵抗し、大規模な実装に時間がかかります。マイクログリッドの分野は、既存の電力会社や一部の業界および政府の利害関係者からの障壁に直面しています。

米国のような古いインフラを持つ”先進国”の中には、文化的障壁を突破してイノベーションを起こしたり、確立されたビジネスモデルから軸足を移したりするのが遅い（あるいはインセンティブがほとんどない）国もあります。電力会社が新しいグリッドモデルや、特にオープンソースで構築された高度なソフトウェア機能に消極的であることは、サイバーセキュリティやリスクの高まりを背景にしていることが多いです。ただし、ダイナミクスは地域によって異なります。脱炭素化を採用していることで知られる欧州では、マイクログリッドよりも大規模な再生可能エネルギーインフラ（例えば、風力）や国家間の取引（VPP 経由）に重点が置かれています。一部の大規模電力会社、特にオーストラリアではマイクログリッドを採用していますが、完全な変革はおろか、

従来のインフラや VPP との統合に投資しているところはほとんどありません。

ベンダーを取り巻く集中的な調達ルールや、ベンダーが地域やユースケースのコンテキストで展開しなければならない共通の”購入者基準”など、需要側の障害を指摘する人もいます。実績のあるブランド

や実装に対するこの需要は、オープンソースのマイクログリッド展開にとってさらに大きな課題となる可能性があります。

一部の国では、石油・ガス部門に既得権益があるため、政府がマイクログリッドを受け入れるのが遅れています。石炭産業による再生可能エネルギーへの抵抗と同様に、世界の一部の地域では、ディーゼルを基盤とする経済やサプライチェーンの参加者は、再生可能エネルギー資源に焦点を当てたマイクログリッドへの移行にほとんど金銭的利益を見出していません。他の国では、政府の腐敗が進展を妨げています。例えば、インタビューを受けたマイクログリッドベンダーは、特定の国の政府職員が個人的利益が受け入れられるまでプロジェクトの承認を拒否した例を挙げています。

2. **標準の断片化と相互運用性の低さは、マイクログリッド市場のイノベーションを阻害しています。**他の多くの技術市場と同様に、共通の標準と、採用者がさまざまなメーカーのコンポーネントに簡単に接続し、それらの間で情報を交換できることは、効率的な展開と民主化されたアクセスのための重要な媒介です。マイクログリッドは、いくつかの分野で断片化に悩まされています。

- コンポーネント ハードウェアとシステム アーキテクチャ（例えば、バッテリー、デジタル リレー）、およびコンポーネント技術（例えば、スイッチギア、ソーラー インバータ）の両方に標準がないため、モジュール性と市販の”ビルディング ブロック”が抑制されます
- ”ミドルウェア”コントロール層（ソフトウェア、API、電力フローの技術的規定など）に標準がありません。それがあれば多様な構成から抽象化し、新しいアプリやマーケットプレイスなどの形で商業化を可能にするのに役立ちます。
- 地域/流通/卸売市場間でのより容易な交換を可能にするための需要/供給管理のための標準的なメカニズム（例えば、価格）が欠如しています。

これらの問題は、大規模な電力会社（およびその独自の管理体制）とのマイクログリッド間の相互運用性を低下させ、エネルギー回復力の機会と新しいビジネスモデルの革新を損ないます。

マイクログリッドの展開場所、ユースケース、時間、デバイス、電源などに関わる膨大な範囲の変数一同時に、なぜ構成（特にソフトウェア）が高度にカスタマイズされる傾向にあるのかを説明し、さらなる標準化の根本的な必要性を示します。

”相互接続性が鍵です。データ、通信、デバイスのための共通プロトコルなど、物事がより速く組み合わせされると、マイクログリッド業界全体が加速されます。自動車業界を例にとると、世界中から何百もの部品が車に組み込まれています。車として走り出すためには、すべてが組み合わせられなければならない、シームレスで顧客からは見えません。”

- STEPHEN PHILLIPS, CHIEF EXECUTIVE OFFICER, OPTIMAL POWER SOLUTION

”インターネットが機能するのは、人々が遵守する一連の中核的な技術標準があるからです。なぜなら、それがインターネットを機能させるからです。これはマイクログリッドにはまだ存在しません。今日では、ほとんどすべてのマイクログリッドがカスタム設計され、手作りされており、商品製品というより中世の工芸品のようなものです。ソーラー パネルからプラグ、バッテリーに至るまで、電気技術は、プラグ アンド プレイ操作のためのモジュール式のものを持つという点で、依然として劣っています。”

- BRUCE NORDMAN, RESEARCHER, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABS

3. **既存の政策や規制制度はまだ適応しておらず、マイクログリッドのビジネス モデルの革新を妨げています。**いくつかの政策（上で説明しました）が最近、マイクログリッドをより支持するものとして浮上してきましたが、既存のエネルギー政策のほとんどは、マイクログリッドを支持するガイダンスやインセンティブを欠いています。エネルギー規制のより広範な状態は、依然として集中化されたグリッド インフラに非常に有利であり、マイクログリッドの展開を推進するには不十分です。

課題は、既存の規制制度を変更して、地域のエネルギー レジリエンスに向けて電力会社にインセンティブを与えることにあります。例えば、米国では、規制された電力会社は、効率性、公平性、イノベーションなどの市場メカニズムを通じてではなく、インフラへの投資とエネルギー利用者への料金請求を通じて収入を得ています。したがって、現在のポリシーによれば、電力会社は通常、顧客がマイクログリッドを設置しても何も得られません。実際、多くの場合、営業収益を減少させます。もう1つの関連する課題は、マイクログリッドを導入するための地方自治体からの許可取得の摩擦や遅れを含む許可にあります。

一部の地域では、既存の政策を変更することよりも、電力会社のビジネス モデルの継続性のための新しい政策を定義することが課題となっています。例えば、規制当局は、” プロシューマー” マイクログリッドが、インフラ維持のために確実に補償されるように、グリッド事業者と収益をどのように交換するかを考慮しなければなりません。

”既存の規制の文言を解決するだけでなく、より構造的なものにすることです。例えば、流通システムを維持するための資金は、エネルギー消費に比例した料金をエネルギー利用者に請求することから得られます。歴史的に、この資金はグリッドの使用と維持を補償することを意図していますが、新しいモデルの収益と稼働時間を確保するための規制の役割は何ですか？”

- FERDINANDA PONCI, PROFESSOR, INSTITUTE FOR AUTOMATION OF COMPLEX POWER SYSTEM, RHINE-WESTPHALIA TECHNICAL UNIVERSITY OF AACHEN

これらの課題をさらに複雑にしているのは、政策立案者がマイクログリッドを一般的に理解していないこと、法改正のペースが遅いこと、そして現職者が提案やロードマップ以上のものにコミットしたり協力したりすることに消極的であることです。¹⁸

”政府も電力会社もマイクログリッドを止めることはできませんが、進展を遅らせ、議論を制限し、政策を形成することは確かにできます。”

- CAMERON BROOKS, EXECUTIVE DIRECTOR, THINK MICROGRID

4. **マイクログリッドの学習曲線は、依然として利害関係者間での採用の障壁となっています。**マイクログリッドの展開を理解するために必要な幅広いアプリケーション、技術、専門用語、専門知識は、市場の成熟に大きな障害をもたらします。政策立案者や自治体の指導者は、あるタイプのマイクログリッド（軍事アプリケーション）を他のタイプ（近隣など）やその明確な価値命題と混同する可能性があります。グリッド運営者やベンダーは、マイクログリッドの設計と管理に必要なスキルと専門知識を備えた人材を見つけることは言うまでもなく、さまざまなユースケースに合わせた高度なカスタマイズと断片的なソリューションに苦勞しています。顧客や市民は、マイクログリッドのメリットや要件、あるいはソーラー パネルや既存のグリッドとの違いを知らないことが多いです。最後に、私たちは皆、新しいテクノロジーとその約束や危険をナビゲートするために必要な学習を受けています。

”マイクログリッドを理解するのに苦勞している人もいます。マイクログリッドという言葉でさえ、一部の人には専門的すぎます。地域で持続可能で再生可能な発電所と呼ぶ方が、利用者の共感を得られることが多いと思います。”

- VIPUL GORE, PRESIDENT & CHIEF EXECUTIVE OFFICER, GRIDSCAPE SOLUTIONS

5. **インフレやサプライチェーンの混乱などのマクロ経済動向も、マイクログリッド市場に打撃を与えています。**上記の課題よりも最近ではありますが、価格の上昇、エネルギー コスト、サプライチェーンのボトルネックの悪化が、世界中のマイクログリッドの構築の課題となっています。マイクログリッドのインフラには半導体、バッテリー、ソーラー パネルなどの主要なコンポーネントが含まれているため、サプライチェーンの遅れは設計までのリード タイムの延長、競争圧力の高まり、そして最終的には設置数の減少につながります。

読者は、特定の傾向がマイクログリッドの採用に対する推進要因と障壁を表していることに注目するかもしれません。多くの新興技術と同様に、異なる地域が市場の成長を異なる方法で推進しています。ロシアとウクライナの戦争は、欧州をロシアの石油から脱却させ、再生可能エネルギーへとより迅速に多様化させようとする要求をさらに強めています。しかし、欧州が大規模な再生可能エネルギー イニシアティブに重点を置いていることは、マイクログリッドをほとんど見過ごすことにつながっています。欧州では、マイクログリッドをアフリカや東南アジアのようなリモート アプリケーションと同一視することが多いです。マイクログリッドのユースケースの変動性と利害関係者間の関心はオーストラリアと北米で拡大していますが、日本の初期のマイクログリッド採用は VPP へと移行しつつあります。

中国やドイツなどの一部の国では、発展途上国の電化インフラ（およびインターネット）に補助金を支給しており、これが導入者のコスト モデルを押し下げています。大規模で集中化されたグリッドを拡張するのとは対照的に、マイクログリッドはより費用対効果の高い方法で農村地域に電力を供給することができ、エネルギーとインターネットへの手頃な価格で、ますます再生可能で自給自足のアクセスを通じて、低所得住民の経済発展に利益をもたらします。インドの既存のグリッドにもかかわらず、多くの NGO は、頻繁な停電を減らし、アクセスを拡大するために、そこのエネルギー アクセスに投資しています。

電化の普及が遅れているにもかかわらず、米国では政策の追い風が吹いています。インドのような国々は、関連する規定が制定される何年も前からマイクログリッドを持っていましたが、ナイジェリアを含む他の国々は同様の政策をより急速に採用しました。彼らが言うように、未来は分断されています。

”気候危機のこの時代に、私たちは可能だった多くの成長を見ていません。それは資本を展開することの問題です。ロシアとウクライナの紛争の中で、天然ガスの支払いのために約1500億ドルの補助金が展開されました。もし私たちがその1500億ドルをマイクログリッドに投資したらと想像してみてください。私たちは何十年ものエネルギー供給を得ているでしょう!”

- MANOJ, CHIEF EXECUTIVE OFFICER, HUSK POWER

マイクログリッド開発のためのオープンソース

オープン性、コラボレーション、透明性、およびコミュニティ指向の開発の原則に基づいて、オープンソース テクノロジー エコシステムは、アクセシビリティ、相互運用性、およびイノベーションを推進してきた長い歴史を持っています。オープンソース エコシステムは、マイクログリッドのイノベーションを急速に加速させる大きな可能性を示しています。広範なマイクログリッド アプリケーションとその分散およびローカライズされた性質により、デプロイメントは独特で、多くの場合高度にカスタマイズされています。この複雑さと複数のシステムが互いに通信する必要性は、相互運用性と標準に対する大きなニーズを引き起こしています。

オープンソース マイクログリッドの現在の状況と、その中核的な価値提案とギャップを評価するために、電力会社、大小のベンダー、マイクログリッド設計者、および世界各地で活動する研究および政策の専門家という市場を横断する領域から、17人のマイクログリッド リーダーにインタビューしました。また、マイクログリッド分野全体のオープンソース活動を分析し、他の業界を調査して、オープンソース マイクログリッドの採用を加速するための経路と推奨事項を特定しました。

”多くの理由からマイクログリッドの採用を加速する
必要がありますが、すでに起こっているすべての需要
と供給のトレンドを加速するためには、オープンソー
スはすべてを次のレベルに引き上げるための欠けて
いる要素を補うものになる可能性があります。”

- PETER ASMUS, ADJUNCT FACULTY, SENIOR ADVISOR, MICROGRID STRATEGY
& THOUGHT LEADERSHIP, ALASKA CENTER FOR ENERGY AND POWER

今日のオープンソース マイクログリッドの展望

マイクログリッド市場は国際的に成長していますが、“オープンソース マイクログリッド”市場はまだ初期段階にあります。業界のほとんどはオープンソース製品を認識しておらず、今日のマイクログリッドのサプライヤーや採用者へのオープンソース技術の浸透は一般的に低いです。私たちは、世界中の20以上のオープンソース マイクログリッド プロジェクトと、マイクログリッド開発者が現在アクセスして使用できる4つの標準を特定しました。次のページのフレームワークは、6つのカテゴリにわたるオープンソース マイクログリッド活動のサンプル ランドスケープ ビューを提供しています。

オープンソース マイクログリッドの展望

標準				教育
OpenFMB Duke Energy, Siemens, & others	Sunspec Modbus Sunspec	IEEE 2030.5 IEEE	Open ADR Berkeley Lab, Ford, NEEA, PGFA, Southern California Edison	Micro-Grid Academy Alliance for Rural Electrification
モデリング&シミュレーションツール				
GridLAB-D Pacific Northwest National Laboratory	OpenDSS Electric Power Research Institute	Open Modelica Microgrid Gym Paderborn University	tkRule-Based Optimized Service Restoration E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University	James E Rogers Energy Access Project Duke University
VILLAS Framework E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University	Pymgrid: PYthon MicroGRID Total Energies	Open Microgrids System Simulator GridApps-D	Open Power System Data Neon Energy	
ソフトウェア&プラットフォーム				財団
CoSiF IEEE	OpenPayGo EnAccess, Solaris	Hyphae LF Energy	Open Source Microgrid (OSM) University of Texas	EnAccess
Open Energy Microgrid Controller National Renewable Energy Laboratory	Open Energy Playground RISE Interactive	Grid eXchange Fabric (GXF) LF Energy		Linux Foundation
コンポーネント&ハードウェア				
Open Microgrid University of California Berkeley	Autonomous Power Interchange System Sony Computer Science Lab	Microgrid-in-a-Box Idaho National Laboratory		

* この展望は、オープンソースのマイクログリッド プロジェクトとそれをサポートするエンティティのサンプルを提供するものであり、包括的なリストではないことに注意してください。GITHUB での共同作成を支援し、LF ENERGY の [INTERACTIVE LANDSCAPE](#) を参照するようコミュニティに呼びかけています。

- **オープンソース マイクログリッド教育と訓練：** マイクログリッドの技術と開発について学ぶためのオープンソースの教育リソースとトレーニング プログラムがいくつか用意されています。
- **オープンソース マイクログリッド標準：** マイクログリッドには、OpenADR標準やOpenFMB標準など、いくつかのオープンソース標準があります。これらの標準は、異なるマイクログリッド システムおよびコンポーネント間の相互運用性を可能にし、それらがシームレスに通信し、連携できることを保証します。
- **オープンソース マイクログリッド モデリングおよびシミュレーションツール：** GridLAB-DやOpenDSSなど、マイクログリッド システムのモデリングとシミュレーションに利用できるオープンソース ツールがいくつかあります。これらのツールにより、設計者や開発者はマイクログリッド システムのパフォーマンスを評価し、設計と運用を最適化することができます。
- **オープンソース マイクログリッド ソフトウェアとプラットフォーム：** マイクログリッドの開発と管理に利用できるオープンソース プラットフォームがいくつかあります。これらのプラットフォームは、エネルギー貯蔵システム、再生可能エネルギー源、負荷管理システムなど、さまざまなマイクログリッド コンポーネントを統合するためのフレームワークを提供します。
- **オープンソース マイクログリッド コンポーネント/ハードウェア：** インバータ、コントローラー、センサーなど、マイクログリッド システムで使用できるオープンソース コンポーネントがいくつかあります。これらのコンポーネントを使用して、さまざまなコミュニティや環境の特定のニーズを満たすカスタマイズされたマイクログリッド システムを構築できます。

全体として、オープンソースのマイクログリッド技術の展望は多様であり、急速に成長しています。持続可能で信頼性の高いエネルギー ソリューションへの需要が高まり続ける中で、この分野での継続的なイノベーションと発展が期待できます。



事例：

HYPHAE：オープンソースのマイクログリッド コントローラー プロジェクト
 Hyphae Project は、Sony と LF Energy のパートナーシップの下で開発されました。これは、大規模なエネルギー プロバイダが接続し、そこから学ぶことができるオープンソースのマイクログリッドを開発したいという願望に動機づけられています。Hyphae は、地域で生産された再生可能エネルギーを直流 (DC) グリッドを介して自動的に分配し、交流 (AC) グリッドと相互接続する自動コントローラー ソフトウェアです。

Hyphae は、DC マイクログリッドを AC マイクログリッドに変換するソリューションを開発することで、エネルギーの可用性、安定性、独立性を高めることを目指しています。業界専門家の Antonello Monti 氏は次のように述べています。

”DC マイクログリッドは、より効率的であるため、業界の未来です。ほとんどのマイクログリッドは現在も AC ですが、AC に変換できる DC の概念実証があれば、より多くの AC 採用と、スケーラビリティを推進するより広範な相互運用性が得られます。”

現在、Hyphae は RWTH Aachen University のバス ターミナルをサポートしているほか、ドイツ全土のいくつかの企業や大学をサポートしています。将来的には、既存のエネルギー インフラに統合されたマイクロサービスとして Hyphae を提供することで、マイクログリッドを使用してエネルギー生産者と消費者の間のつながりを容易にしようとしています。

Hyphae は、Hyphae Technical Steering Committee によって部分的に管理されており、システムが真に相互運用可能であることを保証するために、ハードウェア プロバイダとのパートナーシップを歓迎しています。

マイクログリッドにおけるオープンソースの価値提案の評価

オープンソースがマイクログリッドにもたらす機会と価値の提案は、このレポートで前述したいくつかの市場障壁に対処しています。インタビューを受けた人たちに、マイクログリッドに対するオープンソースの主なメリットと、克服すべき障壁やギャップを特定するよう依頼しました。また、マイクログリッドの”テクノロジー スタック”のどこに機会があるのかを分析しました。私たちの分析では、右側の表 2 に概説されているように、オープンソースが複数のレイヤーにわたって広範な業界コラボレーション、標準化、イノベーションをサポートするための価値の提案が存在することがわかりました。

表2

マイクログリッド スタック全体でのオープンソースの機会

	アクセス性の 拡大 マイクログリッド 導入への	迅速な設計 共有と 構成可能性	相互運用性を 向上 標準の採用も	市場革新 広範囲のエネルギー レジリエンス
バリュー レイヤー	エネルギー アクセス / 経済発展	効率 モジュール性	コンセンサス スタック間の互換性	市場投入時間 コスト削減& ビジネス モデル
	民主化された資源と 教育へのアクセス	オープン データ	透明性 適応性	セキュリティの向上 人材パイプライン
コラボレーション レイヤー	利害関係者間の調整と連携: 教育・設計とフレームワークの共有・ベストプラクティスの共有・ステークホルダー コンソーシアム政策 設計・共同プロジェクトと開発			
マイクログリッド テクノロジー レイヤー	標準: プロトコル、技術標準、エネルギー フローのメカニズムなど、マイクログリッド システムでデータを 送信したりノードを接続したりするための一連の規則または手順			
	サンプル プロトコル: デマンド レスポンス プロトコル、データ通信、電力会社との通信、価格設定管理			
マイクログリッド テクノロジー レイヤー	データ モデリングとシミュレーション: マイクログリッド システム全体および周辺を流れるデータで、 ソフトウェアや機械学習プログラムのトレーニング、マイクログリッド システムのモデル化とシミュレー ションに使用			
	サンプル データ: 消費データ、負荷データ、気象データ、価格データ、電源データ			
	ソフトウェアとプラットフォーム: エネルギー管理システム、制御システム、API、アルゴリズムなど、マ イクログリッド構成の約 20% を構成			
マイクログリッド テクノロジー レイヤー	使用例: 気象予測、エネルギー予測、需要管理、システム バランシング、負荷制御、DER 集約、シミュ レーション モデル、最適化の提案			
	コンポーネントとハードウェア: マイクログリッド構成の約 75% がハードウェアで構成			
	ウィジェット: スイッチギア、コントローラー、リレー、インバータ、リモート ターミナル ユニット、スマー トメーター、障害記録装置、その他の IoT デバイス			
	電源: ソーラー パネル、バッテリー、発電機、蓄電池			

価値提案1: オープンソースがマイクログリッド導入へのアクセシビリティを向上

参加への経済的障壁が低ければ低いほど、より多くの人々が利益を得ることができます。今日のオープンソース ソフトウェアとプロプライエタリ ソフトウェアの際立った特徴は、より多様なユーザー コミュニティがオープンソース ソフトウェアを採用することが多いことです。製品へのアクセスが容易であればあるほど、ユーザー、開発者、デザイナー、プロシューマー、産業ユーザーの多様性が高まり、そのインプットはより広範なニーズとユースケースを反映する傾向があります。

”OSはデジタル化のすべてを加速させます。大小にかかわらず、それは障壁を打破し、構築、適用、収益化の新しい方法を民主化する方法です”

- ANTONELLO MONTI, PROFESSOR & INSTITUTE DIRECTOR,
RHINE-WESTPHALIA TECHNICAL UNIVERSITY OF AACHEN

途上国市場におけるエネルギーへのアクセスと経済発展

途上国市場は、オープンソースのマイクログリッド技術とビルディング ブロックの主要な受益者です。中南米、東・西アフリカ、東南アジアの一部では、世界人口の約 14% が電力を利用できないままであり、¹⁹ マイクログリッドは極端な気象現象に対してより回復力があり、外国の輸出業者の影響を受けない信頼性の高い電力へのアクセスを示しています。

”多くの地域では、200万ドルのコントローラーを買う余裕がありません”

- VIVEK BHANDARI, CTO, POWERLEDGER

”多くの場合、貧しいコミュニティを支援するためのシステムには多額の資金がありません。オープンソースによって、プラットフォームのコミュニティ バージョンを利用できるようになり、投資が大幅に削減されます。ベンダーの役割は、カスタム デプロイ、クラウド運用、メンテナンスなどのサービスに移行しています。”

- MICHAEL GOLDBACH, CEO, NEW SUN ROAD

オープンソースのマイクログリッドは、途上国市場での展開速度の観点からアクセスを加速することもできます。私たちが話をしたリーダーたちは、従来のベンダーやより発展した市場は、クリアランス、許可、またはその他の官僚主義の間で行動するのが非常に遅いことが多く、オープンソースのマイクログリッド ビルディング ブロックは、小規模なベンダーや新興市場がより迅速に移行するのを助けることができると指摘しました。さらに、マイクログリッドは、新興市場が化石燃料から移行しながら経済発展を推進するためのスケーラブルな手段でもあります。

”従来の大手企業は、数百万ドル規模のマイクログリッド プロジェクトを探しているのだから、地元の1万ドル規模のプロジェクトに敵対することはありません。オープンソースを使えば、誰もがこの技術について学ぶことができます。これは競争ではありません。”

- VIVEK BHANDARI, CTO, POWERLEDGER

マイクログリッドの資源、教育、利益へのアクセス

ベストプラクティス、設計、ツール、価値モデルのオープンソース共有を通じたアクセスの民主化は、複数の利害関係者間の理解と専門知識を加速させることができます。すべての新しい破壊的な技術システムと同様に、マイクログリッドはエネルギーの既存企業からの抵抗と疑念に直面しており、一般にほとんどの人に広く理解されていません。マイクログリッドの知識曲線は、利害関係者、公益事業、プロシューマー、開発者、政策立案者、ビジネス採用者などにわたって存在します。彼らの多くは理解するのに苦労しています：

- コスト効率、投資リターン、セキュリティ、レジリエンスなどのマイクログリッドの価値提案
- ハードウェア コンポーネント、ソフトウェア、ネットワークの違い（例えば、ソーラー パネルを所有しているか、マイクログリッドに接続されているか）
- 多数の異なる種類のマイクログリッド間の違い（断片的な解決策とカスタマイズ、必要なスキル）
- 政策の限界、新たな開発のタイミング、変化のメカニズム



ENACCESS がオープンソース DER プロジェクトをより利用しやすくする

EnAccess は、2017 年に設立されたオランダを拠点とするエネルギーアクセス財団で、エネルギー システム ビルダーとエネルギー ユーザーを直接支援することにより、世界のエネルギー アクセスを支援、管理、促進することを使命としています。EnAccess は、主に再生可能なミニグリッド エネルギー管理ソリューションに焦点を当て、ハードウェアとソフトウェアの”ビルディング ブロック” プロジェクトに資金を提供し、高リスクで高報酬の研究に助成金を提供し、無料ですぐに実装できるオープンソース ハードウェア、ソフトウェア、ビジネス モデルのライブラリをホストしています。彼らは、以下のようなオープンソース プロジェクトを可能な限り多く統合するために活動しています。

- [Micropowermanager](#)
- [Prospect.energy](#)
- [OpenPaygoMetrics](#)

EnAccess は、スマート メーターやバッテリー管理システムなど、相互運用可能なさまざまな DER コンポーネントを構築するために、FirstElectric などの企業や Access to Energy Institute などの NPO と提携しています。独自のコンポーネントと支配的なレガシー プレーヤーの海の中で、EnAccess は、DER イノベーター、開発者、ユーザーからの関与が、具体的でアクセス可能なオープンソース DER ツールに現れるアクティブなエコシステムの珍しい例です。²⁰

価値提案2：オープンソースがマイクログリッド設計を加速

私たちがインタビューした専門家の中で、マイクログリッドのオープンソースの利点として最も一般的に挙げられているのは、理解、設計、実装のスピードであり、最終的にはすべての人にとってより良い結果が得られることです。マイクログリッドの導入は、高度なカスタマイズと低いコラボレーションのために、遅延とコストの不確実性に悩まされています。標準が共有されていない場合、開発者は、膨大な数の機器、プロトコル、アルゴリズム、エネルギーとデータストレージ、および接続タイプをナビゲートして、各顧客のアプリケーションに適したソリューションを決定する必要があります。

効率化とコスト面でのメリットの促進

オープンソース ツールとベストプラクティスを共有することで、開発者は、実装ごとに車輪を再発明するのではなく、互いの上に構築することで、マイクログリッドの設計をより迅速に進めることができます。設計を加速することは、開発者と消費者のコストと効率に連鎖的な利益をもたらします。

”もしオープンソースが開発者にマイクログリッドを開発するためのより簡単な方法を提供すれば、それは設計段階で費やされる時間を減らし、より多くのプロジェクトのためのより大きな能力をもたらし、したがってビルダーにとってプロジェクトごとにより多くのお金をもたらすこととなります。例えば、開発者が、電力会社からマイクログリッドに接続するための標準を提供するコンバータをコードに組み込むためのオープンソース プロトコルを持っていれば、遅延やコストの一因となるプロジェクトの混合や適合を回避するのに役立ちます。時間の短縮と実装の容易さは、全体的なコストを削減することもできるので、エンドユーザーにもメリットがあります。”

- JORGE ELIZONDO, PRESIDENT, HEILA TECHNOLOGIES

モジュラー設計の促進

”ビルディング ブロック” は、多様な / カスタム構成の複雑さを抽象化するのに役立ちます。高度なカスタマイズに対処し、導入時間とコストを削減するために、世界中の何百もの企業がマイクログリッドをモジュラー製品に変換する作業を行っています。このアプローチには、コモディティ化されたコンポーネントや、相互に接続可能なバンドル製品が含まれます。このようなアプローチには、次のようなものがあります。

- 構成済みの主要なハードウェア コンポーネント
- ソフトウェア (多くの場合はクラウド) を使用して操作をカスタマイズする機能
- 導入手順を合理化して、インストール中のオンサイト エンジニアリングの必要性を低減

Guidehouseによると、モジュール化された市場シェアは2029年までに22.9%に成長し、プロジェクト数で展開されるマイクログリッドの大部分を占めると推定されています。²¹ オープンソースは、マイクログリッドのモジュール化のトレンドをさらに加速させ、モジュール化されるものの範囲とアクセス性を拡大し、モジュール開発の設計時間を短縮し、ベストプラクティスの共有とコラボレーションを可能にし、現在の主にハードウェア/コンポーネントベースから将来のソフトウェアまたはアプリケーションへとモジュール化を拡張することができます。

オープンソース データの加速

システム データや、動作するものと動作しないものに関するデータを共有することで、マイクログリッドの設計と採用を加速させることもできます。私たちがインタビューした専門家は、より多くのオープン データの価値を指摘しました：

- プロジェクトの実行可能性とベストプラクティスの開発
- ハイブリッド システム (異なる電源を切り替えるシステム) の最適化
- システム パフォーマンスの経済的および財務的メリットの可視性の導出

- プロジェクトをサポートしたいプランナー、開発者、銀行、その他の人々のサポート
- 管轄区域を越えてマイクログリッド データを提示し、アクセスするための標準的な方法の保持

マイクログリッドのパフォーマンス データを投資家が利用できるようにすることで、マイクログリッドの効率性の向上、耐障害性の向上、および全体的な財務上のメリット（従来のインフラストラクチャまたはインフラストラクチャなしと比較した場合）をより迅速に理解できるようになります。

”マイクログリッドの開発は、単なる技術エンジニアリングの取り組みではなく、金融エンジニアリングの問題です。投資コミュニティがデータをオープンソースで利用できるようにすることは、資金調達の決定、調整、行動可能性を容易にする優れた方法です。”

- STEPHEN PHILLIPS, CEO, OPTIMAL POWER SOLUTIONS

マイクログリッドを評価する政策立案者は、オープンデータと資源共有からも利益を得ることができます。

”規制が実施されれば、安定性がもたらされるため、資金が流入します。これは米国と同様にインドにも当てはまります。ある地域で政策が実施されれば、他の地域がそれを参考にして政策の先例を作ることを見てきました。”

- MANOJ SINHA, CEO, UTILIDATA



GRIDLAB-Dは、マイクログリッドのモデリングと解析を行うためのオープンソースのシミュレーションツールです。

Pacific Northwest National LaboratoryとU.S. DOE Office of Electricityの資金提供を受けて開発されたGridLAB-Dは、スマートグリッド技術のメリットと影響を推定するために、電力フロー計算を配電自動化モデル、新進気鋭のエネルギー使用、電化製品の需要、マーケットモデルと組み合わせています。²² GridLAB-Dは、開発者が設計と実装の決定をより迅速に評価するのに役立つ、いくつかのオープンソースマイクログリッドシミュレーションツールの1つです。

LF ENERGYは、開発者が設計と展開を加速するのを支援するいくつかのオープンソースエネルギープロジェクトを支援しています。

前述したHyphaeに加えて、ハードウェア監視を可能にし、高いセキュリティ、スケーラビリティ、可用性を提供するいくつかの”すぐに使える”機能と、ベンダーロックインのない汎用設計を提供するオープンソースソフトウェアプラットフォームであるGrid eXchange Fabricをサポートしています。²³

価値提案3：オープンソースはマイクログリッドの相互運用性と標準化を改善できます

マイクログリッドの分野では、共通のシステム アーキテクチャが非常に必要とされています。標準が分断化されていること、異なるメーカーのデバイス間に相互運用性がないこと、データ、API、需給メカニズムを統合または交換できないことが、マイクログリッドの採用とイノベーションを妨げています。これは、効率的かつ信頼性の高い方法で連携するリモート デバイスにさらなる課題をもたらすだけでなく、”プラグアンドプレイ”、付加価値機能、新しいビジネス モデル、および電力会社による採用（マイクログリッドと交換して十分に活用されていない資産をより有効に活用したり、アプリケーション間の相互運用性を開発したりするなど）にさらなる障壁をもたらします。

一般的なプラグやコンセントが、メーカーが電気配線の上で革新することを可能にしたり、Hypertext Transfer Protocol Secure の採用が、管轄区域に関係なくインターネットを介した安全な通信を可能にするのと同様に、普遍的な標準は、ネットワークの採用とネットワーク効果のための重要なイネーブラーです。

オープンソースは標準に関するコンセンサスを促進し、相互運用性を可能にします

異なるマイクログリッド システムやコンポーネント間でシームレスに通信し、連携できるようにします。Schneider Electric のような大企業でさえ、マイクログリッドのサイジングを標準化して、カスタマイズされたエンジニアリング コストを削減しようとしています。複数の関係者がオープンソース プロトコルを中心に協力して、テスト、改善、共有採用への合意を行うことができます。LF Energy を通じて実現された2つの例は、Carbon Data Specification と EVrest です。これらは、二酸化炭素排出量を追跡し、EV 分野の複数の標準を抽象化するためのデータ要件の標準化に焦点を当てたオープンソースのデータとソフトウェアです。²⁴



OPENFMB：マイクログリッドに分散エネルギー資源を統合するための電力会社主導のオープンソース標準

Duke Energy は、Open Field Message Bus (OpenFMB) として知られるフィールド デバイス相互運用性フレームワークの開発と商業化を主導するために、25 の電力会社、ベンダー、研究所、および政府機関にまたがる連合を結成しました。

OpenFMB は、マイクログリッドに分散されたエネルギー資源を統合するためのリファレンス アーキテクチャとフレームワークです。これにより、ノード メーター、リレー、インバータ、キャップ バンク コントローラーなどが、共通のセマンティクスを介して通信する分散リソースを管理し、制御とレポートのためにデータをローカルにフェデレーションすることができます。また、レガシー機器を新しい機能や寿命の延長のために改造することもできます。

この標準は、American National Standards Institute(ANSI) によって認定された主要なエネルギー産業標準開発機関である North American Energy Standards Board によって 2016 年に批准されました。すべての人がこの標準を使用できますが、ユーザー グループに参加するにはメンバーシップが必要です。OpenFMB エコシステムのオープンソース技術成果物（ユースケース、データ モデル、デモなど）のサポートと管理を支援する OpenFMB ワーキンググループがいくつかあり、さまざまなパブリック リポジトリで利用でき、OpenFMB の認識、教育、実装、テスト、認証を促進するのに役立ちます。現在、Duke とユーザー グループのいくつかの組織は、マイクログリッドのユースケースをテストし、メンバー間で学んだことを共有しています。²⁵

オープンソースは、マイクログリッド スタック全体の互換性を促進することができます。 オープンソース マイクログリッド プロジェクトの状況は比較的初期段階にあります。ソフトウェア プラットフォーム、コンポーネントとハードウェア、シミュレータなどにわたってプロジェクトが出現しています。これは、マイクログリッド技術と分散型エネルギーネットワークの複数の部分にわたって、より大きなコンセンサス、共有された取り込み、標準化、および相互運用性の可能性を示しています。オープン インターフェイスとオープンソース リファレンス実装は、社内またはベンダーが構築したソリューション間の相互運用性を可能にするため、すべてのソリューションがエコシステムの優れたオプションを活用できます。マイクログリッドの相互運用性が向上すれば、利用者はモジュール式で合理化された効率的な方法でマイクログリッドを調整できるようになります。

技術の成熟度は、オープンソースが遅かれ早かれ相互運用性をサポートできる場所を決定する1つの要因です。太陽光発電パネルやリレーなど、マイクログリッド構成のより成熟した要素は何十年も前から存在しています。したがって、それらのコモディティ化と比較的低いベンダーの抵抗は、そのような技術のオープンソース化を促進する可能性があります。

Gridscape Solutions の CEO である Vipul Gore 氏は、通信業界からマイクログリッド業界にやってきて、似たような逸話を共有しています。

”通信ネットワーク業界の初期にはネットカードがあり、すべてのカードのドライバを見つけるのは非常に困難でした。今ではオープンソースになっています。インターネット上で利用できるようになるには、何千ものデバイスが必要でした。エネルギー ネットワークが進化するにつれて、太陽光発電システム、バッテリー、変圧器、スイッチ ギアなど、よりコモディティ化されたマイクログリッドの特定の要素は、より一般的になり、これらの要素を操作する制御ソフトウェアは、今後数年でより容易にオープンソースになる可能性があります。”

その一方で、インテリジェントなソフトウェア システムやエネルギー最適化のための分析、ビッグ データと AI の一般的な新しい利用など、より新しいマイクログリッド技術は、制御スキーム間の差別化要因と見なされているため、短期的にはオープンソース化に対する抵抗に直面する可能性が高いです。

コードの透明性はハードウェアとソフトウェアの互換性を向上させるのに役立ちます。 オープンソース プロジェクトでは、コードの精査と検証を強化できるため、セキュリティと信頼性のメリットに加えて、開発者は互換性のための設計をより簡単かつ柔軟に行うことができ、異なるハードウェアとソフトウェアが相互に通信できるようになります。

”マイクログリッドのソフトウェアとハードウェアをオープンソース化したいのであれば、業界標準のソリューションと組み合わせて、互換性を持たせる必要があります。”

- VIVEK BHANDARI, CTO, POWERLEDGER

特定のソフトウェアをオープンソース化しても、主要な標準やハードウェアとの互換性が維持されない場合、機能がさらに低下したり、すでに複雑な設計構成プロセスに断片化や複雑さが加わる可能性があります。

”開発者がRTUハードウェアにカスタム プログラムを書くことを可能にする例があります。私たちは、このハードウェアへの入力または出力として使用できるマイクログリッド用のオープンソース アルゴリズムを想像することができます。”

- VIVEK BHANDARI, CTO, POWERLEDGER

モジュール化は相互運用性を可能にするのに役立ちます。 前述のように、オープンソースはマイクログリッドのモジュール化に向けた現在のトレンドを加速させるのに役立ちます。

”オープンソースでマイクログリッド設計を加速させる鍵は、他の人たちが利用可能なオープンソースの上に構築したいと思ったときに、機能をさらに強化できることです。”

- VIVEK BHANDARI, CTO, POWERLEDGER

標準と相互運用性は、この柔軟性を生み出すための重要な要素であり、マイクログリッド プロジェクトの特定のニーズを満たすために、ソリューションを容易かつ効率的にカスタマイズし、後付けし、構築することができます。

”オープンソースは相互運用性をより高いレベルに高めるのに役立つ可能性があります。本当に違いをもたらす可能性のある分野の1つは、APIのような、欠けている中間層の定義の補助です。より標準化されたコンポーネントとして機能できる中間層が必要なので、どのベンダーからでも購入できますが、システムにリンクしても違いはありません。”

- ANTONELLO MONTI, INSTITUTE DIRECTOR, RWTH AACHEN

THE INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC) は、電気技術の国際標準を発行する国際標準化機関です。また、IEC は、International Organization for Standardization (ISO) および International Telecommunication Union (ITU) と緊密に協力しています。さらに、IEEE を含むいくつかの主要な標準開発機関とも協力しています。私たちが話をしたリーダーたちは、マイクログリッドでは標準に向けた動きが起きていると指摘しました。しかし、それは地理的に依存していません。北米の多くの開発者が IEEE 標準を採用しているのに対し、ヨーロッパの開発者は IEC に注目しています。

価値提案4: マイクログリッドのビジネスモデルを可能にするオープンソース

オープンソースのマイクログリッドビジネスモデルは、他のオープンソーステクノロジービジネスモデルと同様に、マイクログリッドの設計、シミュレーション、管理、最適化のためのアクセス可能なソフトウェアツール、プラットフォーム、フレームワークの提供に重点を置くことができます。オープンソースの原則を活用することで、これらのビジネスモデルは、コラボレーション、イノベーション、および分散型エネルギー発電のためのマイクログリッドのより広範な採用を促進することを目的としています。

表3

オープンソース マイクログリッド ビジネス モデルの主要コンポーネント

オープンソースのソフトウェアやツール

これらのビジネスは、マイクログリッドの設計、シミュレーション、管理を可能にするオープンソースソフトウェアツールを開発・維持しており、ソースコードを自由に利用できるようにすることで、開発者や研究者が協力し、貢献し、特定のニーズや要件に合わせてツールを適応させることを奨励しています。

サポートおよびコンサルティング サービス

これらのビジネスは、オープンソースツールの提供に加えて、クライアントがマイクログリッドプロジェクトを設計、実装、最適化するのを支援するサポートやコンサルティングサービスを提供することがよくあります。これらのサービスは、エネルギー分野におけるオープンソースソリューションの採用を促進しながら、収益を生み出すことができます。

トレーニングと認定

オープンソースのマイクログリッドビジネスは、ソフトウェアツールの効果的な使用方法と実装方法についてユーザーを教育するためのトレーニングや認定プログラムを提供することもあります。これは、ユーザーベースの増加に役立つだけでなく、ビジネスの収益も生み出します。

カスタマイズと統合

ビジネスは、自社のオープンソースツールを特定の顧客の要件に適合させたり、他のソフトウェアプラットフォームやシステムと統合したりするためのカスタマイズおよび統合サービスを提供できます。これにより、クライアントは、オープンソースソフトウェアの柔軟性とコストの利点を活用しながら、カスタマイズされたソリューションを実現できます。

共同パートナーシップ

オープンソースマイクログリッドビジネスは、研究機関、公益事業、技術プロバイダーなどの他の組織とパートナーシップを形成して、イノベーションを推進し、マイクログリッドの実装と運用に特有の課題に対処する新しいソリューションを開発することができます。

現在、純粋にオープンソースのビジネスモデルを採用しているマイクログリッド企業を見つけることはまれですが、一部の組織では、オープンソースの要素をより広範なサービスに組み込んでいます。これらの企業は、オープンソース ツールを開発したり、オープンソース プラットフォームを活用してマイクログリッドのソリューションとサービスを強化します。次の例は、純粋にオープンソースのマイクログリッド企業ではありませんが、オープンソースの原則を製品に組み込んでいることに注目してください。

私たちがインタビューした何人かのリーダーは、**オープンソースがマイクログリッドのモジュール性を拡張してビジネスモデルを可能にする可能性**を指摘しました。これには、ハードウェアビルディングブロックと、予測モジュール、バッテリー最適化アルゴリズム、インバータ設計、リソースに制約のあるデバイス用のオペレーティングシステムなど、アルゴリズムやAPIに似た事前設定されたソフトウェア機能が含まれます。モジュールの市場が出現し、ビルダーが互いに改善し、市場全体でアプリと相互運用性を開発するインセンティブを与える可能性があります。

オープンソースソフトウェアは、プロプライエタリソフトウェアの制約なしに、マイクログリッドプロジェクトの特定のニーズを満たすように簡単にカスタマイズできることを考えると、ビルディングブロックはビジネスモデルの柔軟性を可能にすることもできます。

”オープンソース ツールキットを採用しても、サードパーティ プロバイダの必要性がなくなるわけではありません。お客様はすべてを管理できるわけではありません！”

- FERDINANDA PONCI, LF ENERGY MEMBER AND RESEARCHER,
INSTITUTE FOR AUTOMATION OF COMPLEX POWER SYSTEM, RWTH AACHEN

OPENREMOTE

OpenRemote は、エネルギー管理とマイクログリッドソリューションを提供するオープンソースの IoT プラットフォームです。このプラットフォームにより、ユーザーはマイクログリッドと分散型エネルギーシステムでのエネルギーの生成、貯蔵、消費を管理できます。OpenRemote は、プラットフォームのコミュニティバージョンを提供し、サポート、カスタマイズ、コンサルティング サービスを提供します。²⁶

OPENER (OPEN SOURCE ETHERNET/IP™ STACK)

OpENer は、マイクログリッドコントローラーとデバイスの通信を可能にする EtherNet/IP™ プロトコルのオープンソース実装です。OpENer はマイクログリッドだけに焦点を当てているわけではありませんが、そのオープンソースソリューションはマイクログリッド通信システムで利用できます。マイクログリッドを実装する企業は、このオープンソースプラットフォームを使用して、プロジェクト内でデバイス通信を可能にすることができます。²⁷

価値提案 5：オープンソースはマイクログリッド市場のイノベーションを促進

他のセクターが近年行ってきたように、エネルギーはオープンソースを採用してイノベーションを加速させることができますでしょうか？この調査では、マイクログリッド市場に適用できる他の業界のプログラムと先例を分析しました。オープンソース マイクログリッドに適用できる非エネルギー業界の例を、このセクション全体に織り込んでいます。

かつては独自技術に支配されていた通信および IT 業界は、ここ数十年、レガシー技術からより迅速に移行するためにオープンソースを採用し、モバイルから 5G ネットワーク、AI など、幅広いイノベーションにわたって基本的なプロトコルとソフトウェア レイヤーを作成してきました。今日、オープンソースは、これらのセクターのエンタープライズ イノベーション戦略の重要な部分を占めています。

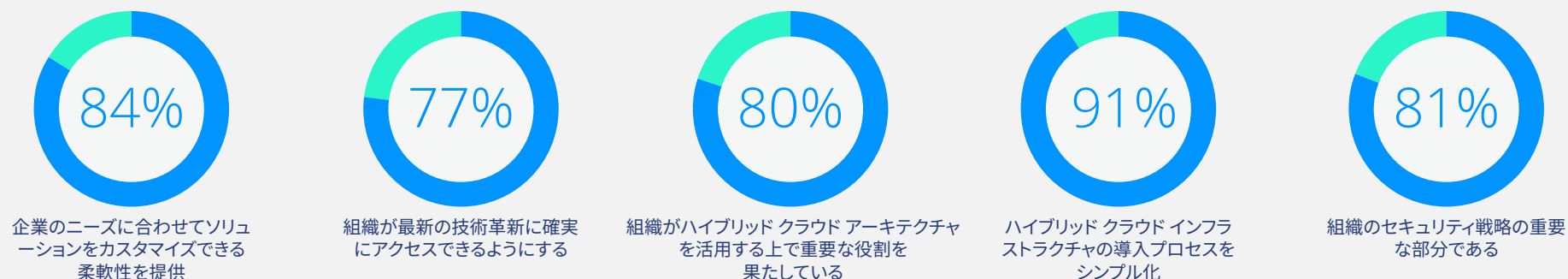
これまでのところ、エネルギー業界はITや通信業界に比べてイノベーションが比較的遅く、新しい技術に抵抗してきましたが、マイクログリッド業界にオープンソース プログラム設計を適用して、次のような改善を行うことで共通の障壁を克服する大きな可能性があります。

1. 革新のスピード / 市場投入までの時間
2. ビジネス モデルの実現可能性
3. コスト削減
4. セキュリティの向上
5. 開発者や人材のパイプライン

図6

エンタープライズ オープンソースの利点

Red Hat の 2022 年エグゼクティブ調査によると、通信および IT リーダーの 75% 以上が、エンタープライズ オープンソースはイノベーション、柔軟性、採用、およびセキュリティに有利であると考えています³⁸



1. 革新のスピードと市場投入までの時間

大規模な通信および IT 企業は、将来への移行を迅速化するために、オープンソースのテクノロジーとアプローチを採用しています。他の数十の市場構成要素間のコラボレーションは、単独で行うよりも効率が低いように見えるかもしれませんが、標準、相互運用性、または市場の実行可能性を欠いた新しい製品やサービスは、投資を台無しにし、顧客体験を低下させるリスクがあります。オープンソース グループと標準化団体のパートナーシップも、市場投入までの時間を短縮するのに役立ちました。

オープンソースはマイクログリッド ネットワーク効果をサポート可能

テクノロジー リーダーが協力してモバイル用のオープンソース オペレーティング システムを開発したように、エネルギー関係者はネットワークとプラットフォームで協力して、次世代のエネルギー アプリケーションとビジネス モデルを単独で行うよりもはるかに迅速に実現することができます。

”私たちが必要とする大きな触媒は、マイクログリッドのネットワーク効果を解明することです。オープンソースは、マイクログリッドの利害関係者がビジネス モデルを理解するのを助けることができ、より多くの人々が参加するにつれて、おそらく価格設定シナリオを通じて、他の人が参加することの価値が高まります。”

- KEN DULANE, DIRECTOR OF INDUSTRY AND INNOVATION, FREEDM SYSTEMS CENTER, NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY

通信や IT のイノベーション (IoT からスマートシティ、自動運転車から ” インダストリー 4.0” まで) が電化を通じてエネルギーと融合する中で、分散型ネットワーク経済のための新たなインフラが出現しつつあります。相互接続性が新たな市場の可能性を解き放つため、オープンなコラボレーションの必要性がさらに強調されています。

オープンソースを通じて開発された市場のブレイクスルー

Android オペレーティング システムは、現在何十億人もの人々に使用されています。イノベーションを促進するために、Google は、モバイル ハンドセット メーカー、アプリケーション開発者、モバイル ネットワーク オペレーター、チップ メーカーの 84 社のコンソーシアムである Open Handset Alliance を設立し、Linux カーネルをベースにしたオープンソースの携帯電話プラットフォームである Android Open Source Project を共同開発しました。Google が独自のモバイル デバイスを発売する代わりに、グループは、オペレーティング システム、ミドルウェア、ユーザーフレンドリーなインターフェイス、およびアプリケーションで構成される完全に統合されたモバイル ” ソフトウェア スタック” をオープンソース化しました。Android は無料のままであり、Samsung、Xiaomi、Amazon、LG などによって広く利用されており、開発コストを何百万ドルも節約しています。

2. ビジネス モデル

テクノロジーにおけるオープンソース運動は、マイクログリッド エコシステムに適用できるいくつかのビジネス モデルをもたらしました。古典的なフリーミアム プレミアム モデルは、そのようなオプションの1つであり、特定の要素（データベース、ソフトウェア コード、コア テクノロジーなど）が誰でも利用できます。ベンダーは、ソフトウェアまたはサービス レベル契約を通じてサービスを収益化します。このモデルの大きな付加価値は、オープンソースを中心に作成されたユーザーと開発者のエコシステムです。オープンソースが IT ベンダーと通信ベンダーのソフトウェア コントロールにおける競争的差別化を維持することを可能にしたように、マイクログリッドの機会も熟しています。

サービス プロバイダは、カスタム実装、クラウド運用、メンテナンス、セキュリティなどに対して料金を請求します。興味深いことに、“ビルディング ブロック” モデルは、LF Energy のようなオープンソース連合によって開発されることもあれば、独自の付加価値で収益を上げ続ける企業によって貢献されることもあります。

オープンソースのビジネス モデル

分散データベース プラットフォームの **MongoDB** は、コミュニティ サーバとデータベースとアトラスの無料ダウンロードを、限られた処理能力とストレージで提供する、フリーミアム プレミアム アプローチを提供しています。ユーザーは、有料サービスにアップグレードして、“Database-as-a-Service” マネージド サービスまたはプレミアム Enterprise Advanced にアクセスできます。Enterprise Advanced は、エンタープライズ管理機能、高度なセキュリティ機能、GUI、分析統合、認証、およびテクニカルサポートを提供します。

オープンソースを使用してユーザーや開発者をより広いエコシステムに参加させることは、TensorFlow 機械学習プラットフォーム、Material Design フレームワーク、Go プログラム言語など、いくつかの **AI 製品に対する Google のアプローチ**でもあります。3つはすべて完全にオープンソースであり、Microsoft Azure などの別のクラウド プロバイダでも実行できます。しかし、彼らは Google エコシステムに位置しており、ユーザー、人材、顧客のかなりの部分をそのエコシステムに取り込み、Google Cloud の有料サービスも使用しています。

IBM 傘下の **Red Hat** は、2021 年の売上が 170 億ドルを超え、オープンソース ソフトウェア プラットフォーム、ミドルウェア、アプリケーション、および管理製品を企業や政府機関に提供しています。同社は、ストレージ、サポート、トレーニング、およびコンサルティング サービスを通じて収益を上げています。現在、ハイブリッド クラウド アーキテクチャ、クラウド ネイティブ デプロイメント、およびマイクログリッドの組み込みを含む大規模ユーティリティに特化した管理および自動化ソフトウェアで、エンタープライズ オープンソース ソリューションを提供しています。²⁸

THE ZEPHYR REAL-TIME OPERATING SYSTEM (RTOS) は、後に Wind River Systems に買収された Eonic Systems という会社によって開発されました。2015 年、Wind River は RTOS カーネルをオープンソースでロイヤリティフリーにしましたが、クライアントに提供し続け、クラウド サービスに対して課金しました。²⁹ Zephyr の “バンドル” には、リソースに制約のある組み込みまたはマイクロ コントローラー ベースのアプリケーションを開発するために必要なすべてのコンポーネントが含まれています。

- 小さなカーネル
- 柔軟な構成およびビルド システム
- プロトコル スタックのセット
- 不揮発性ストレージ用の複数のフラッシュ ファイル システムを備えた仮想ファイル システム インターフェイス
- 管理およびデバイス ファームウェアの更新メカニズム

3. コスト削減

オープンソース ソフトウェアは一般的に無料で使用できるため、プロプライエタリなソリューションと比較して研究開発コストを大幅に削減できます。オープンソース プラットフォームへの移行は、企業が顧客向けに独自の差別化されたより柔軟なサービスを管理および調整し、ベンダーに支払われるライセンス料とメンテナンス料を削減できるようにすることで、通信会社がレガシー インフラストラクチャのベンダー ロックインと競争上の制約を軽減するのに役立ちました。オープンソースは、社内チームの代替または補完としても機能し、市場開発を推進しながら企業と顧客のコストを節約します。そのため、オープンソースは、インフラストラクチャのメンテナンス コストと投資リスクを削減することで、コスト モデルを資本支出から運用支出に移行するのに役立ちました。

オープンソースは、マイクログリッド エコシステム全体のコスト削減をサポートできます。 次の Linux Foundation Networking (LFN) の例で示すように、電力会社やオペレーター、ベンダー、インテグレーター、教育者などが、研究、開発、シミュレーション、概念実証テストなどのコストを削減できます。

LFN は、ネットワーク インフラストラクチャを進化させるためのオープンソースのビルディング ブロック、プラットフォーム、およびコラボレーションを促進するための業界連合です。このプログラムは、サービス プロバイダ、クラウド プロバイダ、企業、ベンダー、およびシステム インテグレータの 100 以上のメンバーの” 重心 ”として機能します。メンバーは、ソフトウェア開発に積極的に参加し、プロジェクト、相互運用性、デプロイメント、およびセキュリティに関するコラボレーションを行い、独自の社内コードを財団に提供し、オープンソースとしてリリースします。このプログラムは、9 つのプロジェクトを含む、成長を続けるオープンソース ネットワーキング テクノロジー スタックを管理します。

1 つのプロジェクトである **OpenDaylight** は、あらゆるサイズと規模のネットワークをカスタマイズおよび自動化するためのモジュール式オープン プラットフォームです。他のオープンソース コミュニティとともに、ソフトウェア定義ネットワークやネットワーク機能仮想化の開発など、5G の中核となる技術の開発に大きく貢献しました。

参加方法

- プロジェクトのミーティングに参加
- 開発者のイベントに参加
- 承認されたプロジェクトに参加
- プロジェクトを提案
- 文書作成
- ユースケースの提供
- 要求の分析
- テスト/プロセスを定義
- コード パッチのレビューと適用
- アップストリームとの協力関係を構築
- アップストリームにコードを提供
- OSN ユーザー グループの開始または参加
- EUAGを通じてフィードバック
- コミュニティ ラボを主催し、スタッフを配置する
- 質問への回答
- トーク/トレーニングの実施
- デモの作成
- LFNやそのプロジェクトの活性化

リーダーたちは、2018 年に LFN 財団が設立されて以来、90 億ドル以上のソフトウェア イノベーションが創出されたと推定しています。

4. セキュリティの向上

社内のセキュリティ チームは規模が限られ、能力が逼迫し、偏っている可能性があるため、オープンソースの貢献は IT 業界全体で採用され、信頼されてきました。2022 年に Red Hat が通信業界の IT リーダーを対象に行った調査では、87% がエンタープライズ オープンソースはプロプライエタリ ソフトウェアと同等かそれ以上に安全だと考えており、80% が ” オープンソースは組織の ’ セキュリティ戦略 ’ において重要な役割を果たしている ” と述べています。³⁰ コミュニティによってサポートされているオープンソース技術の性質は、世界のオープンソース開発者がコードを精査し、パッチでリスクを回避していることを意味します。これにより、セキュリティの耐障害性が大幅に向上し、大幅なコスト削減が可能になります。

” 矛盾しているのは、オープンソースは非オープンソースよりも安全であることが多いということです。” と、複雑な電力システムを研究している RWTH Aachen の Institute Director である Antonello Monti 氏は述べています。Monti 氏は LF Energy の 2 つのプロジェクトを監督しており、オープンソースの業界団体はガバナンスとセキュリティがさらに強化されていることが多いと指摘しています。オープンソース ソリューションは安全性が低いというエネルギー分野の一般的な誤解があり、私たちが話した何人かのリーダーは、それに対処する必要性を指摘しました。

” 私たちは、オープンソース上に構築された技術に対する懐疑的な見方を克服する必要があります。私たちは、今日のクラウド コンピューティングのほとんどが Linux 上に構築されているという考え方で、既存の大企業に説明しようとしています! オープンソース上で実行されているミッションクリティカルなアプリケーションの例はたくさんあります。”

- MICHAEL GOLDBACH, CEO, NEW SUN ROAD

セキュリティ上の懸念は見間違いかもしれませんが、アップタイムの考慮事項は、オープンカプロプライエタリよりも、アプリケーションに依存する可能性があります。例えば、病院や軍隊などのマイクログリッド アプリケーションは、98% のアップタイムで十分な分散グリッドやリモート コミュニティ アプリケーションと比較して、ダウンタイムや違反が発生した場合に災害となるリスクを冒すことができません。

5. 開発者と人材

より多くの人々がコード、アルゴリズム、API ライブラリ、ソフトウェア、開発キット、またはその他のコンポーネントにアクセスできるようにすることで、開発者エコシステムの基盤が構築され、そこでは研究者やビルダーがこれらのツールを調査、学習、使用、貢献し、多くの場合は改善を支援します。IBM、Microsoft、Verizon、Ericsson などの企業は、独自のイノベーションを推進し、ビルド環境内でアプリを開発し、セキュリティを向上させ、独自の長期的な人材パイプラインを提供することを理解した上で、新旧の開発者をふるいにかけています。参入障壁を下げることは、人とアプリケーション コンテキストの多様性の向上、新しい市場へのツールの拡張、デジタル ディバイドのさらなる解消など、いくつかの二次的な効果もあります。

オープンソースは、開発者の才能をマイクログリッド分野に引き込むのに役立ちます。 オープンソースへの参加は、エネルギー企業が開発者や人材のパイプラインをよりよく関与させる機会を意味します。私たちが特定したオープンソース マイクログリッド プロジェクト全体で、50% 以上が大学や研究機関から寄付されています。マイクログリッド シミュレータ、ソフトウェア、ハードウェア、標準のためのオープンソース プロジェクトは、マイクログリッドを設計するためのリソースであるだけでなく、マイクログリッドを維持するコントリビュータ コミュニティと関わるためのリソースでもあります。その他のプログラムには、Duke University の Energy Access Project が含まれます。これは、世界中のエネルギー アクセスを改善するための障壁を打破する新しい破壊的なツールやモデルの開発に関して、学生と利害関係者を参加させるための専用のオープンソース フォーラムです。

オープンソース マイクログリッド導入の課題とギャップ

オープンソースを通じたマイクログリッドへのアクセスの民主化は、それだけでは広範なマイクログリッドの展開を促進する可能性は低いです。市場が直面する多くの課題は、ギャップを埋めるために、専門的な教育、プログラム、政策、資金調達を必要とします。



規制障壁

時代遅れで断片化されたポリシー、またはポリシーが完全に欠如しています。多くのポリシーは依然として一元化されたグリッド インフラストラクチャに有利です



コラボレーションの必要性

電力会社、マイクログリッド開発者、公共セクター、政府、商業機関、コミュニティなど、エネルギー エコシステムの多様な利害関係者グループ全体



業界の既存団体の抵抗

電力会社間の変化のペースの遅さ、化石燃料ベースの経済への既得権益、セキュリティと安全に関する懸念



低い相互運用性

デバイス間では、データ、API、または需要 / 供給メカニズムを統合または交換できず、標準が断片化されているため、採用、革新が妨げられています



経済的障害

既存のエネルギー企業はビジネス モデルの影響を理解するのに苦労しており、マクロ経済の不確実性がリスク回避を増大させています



デジタルの障壁と人材のギャップ

利害関係者は、文化的抵抗、デジタル ディバイド、恐怖、マイクログリッドのエンジニアリング スキルの欠如などの理由で、変化と格闘しています

ニーズ

- 政策立案者の参加
- 認識の拡大
- 共同ポリシーの設計
- 管轄区域間の一貫性の向上

ニーズ

- オープンソース マイクログリッドの参加と学習のための中央ハブ
- オープンソース マイクログリッド リソースの包括的な展望
- マイクログリッド エコシステムの利害関係者の明確な役割と活動

ニーズ

- オープンソース プログラムへの移行
- セキュリティと安全性の問題への対処
- 抵抗を克服するための支援 (例えば、電力会社の相互接続要件)

ニーズ

- 標準が分断化されている中でのコンセンサス
- プロジェクト間および管轄区域間でデータを提示/アクセスする標準的な方法
- 関連市場との連携 (EV、施設ベースの充電)
- アプリケーション固有のモジュール性
- 費用利益の実証

ニーズ

- マイクログリッド経済のデータ共有
- 価値提案とROIに関する教育
- 脱炭素化目標との整合性

ニーズ

- マイクログリッドに関する幅広い教育
- オープンソースコミュニティへのアクセス
- 工学、物理学、生物地域の知識におけるアクセス可能なマイクログリッドの技能開発

多様なマイクログリッド アプリケーションと設計構成は、オープンソースにとっても課題となっています。遠隔地(オフグリッド) から近隣地域、固定式および移動式の軍事施設から組織のキャンパス、ビジネスおよび産業用アプリケーションに至るまで、オープンソースは、技術的および商業的な展開に関する膨大な数の考慮事項に対する特効薬ではありません。

マイクログリッド マーケットでよく言われることは、この課題を浮き彫りにしています。”マイクログリッドを1つ見たことがあるなら、すべてではなく、1つのマイクログリッドしか見たことがないのです!”と、マイクログリッドの展開にオープンソースを採用している Kohler のモジュラー プラットフォームである Heila の創設者である Jorge Elizondo 氏は言います：

”新しい標準を作ることには畏があります。多くの人はすべての問題を解決する標準を考え出したいと思っていますが、それは問題の一因になるだけです。なぜなら、他の誰もが取り組む必要のある標準がもう1つあるからです!”

誰もが標準の必要性に同意している一方で、必要とされる規模と速度でマイクログリッド標準化をサポートするオープンソースの能力に疑問を呈する人もいます。オープンソースを通じて開発されたかどうかにかかわらず、標準の最大のリスクは、単に標準の拡散と断片化を促進することです。Elisondo 氏は次のように説明しています：

”100の標準があるとします。次に、'それらすべてをカバーする新しい標準を作成しましょう'と言います。さて、今では101の標準があります!”

他の人たちはタイミングを指摘し、共通のシステム アーキテクチャが、通信、機器、またはその他のコンポーネントの標準化を中心に調整するための前提条件であると主張しています。

”本当の問題は、ユニバーサル アーキテクチャや基本システムに関するコンセンサスの欠如であり、人々はゆっくりと未来に移行したいと思っている一方で、私たちは大きな変更を迅速に行う必要があります。オープンソースはマイクログリッドに非常に役立つ可能性がありますが、これらの核心的な課題を解決するものではありません。”

- BRUCE NORDMAN, RESEARCHER, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABS

さらに、完全なアーキテクチャの青写真をオープンソース化することは、電力、安全基準、および電力会社の相互接続要件によってもたらされるリスクのために抵抗に直面しています。³¹

マイクログリッド エコシステムのため に推奨される今後の道筋

オープンソースを通じたマイクログリッドの民主化は、エネルギーの回復力と再生可能エネルギーへの移行を改善するための必須事項の中心にあります。地球規模の二酸化炭素排出量の75%は、エネルギーと輸送の電化によって緩和できると推定されています。³² この一世代に一度の変革を達成する上でオープンソースの役割を加速させるには、エネルギーエコシステムの利害関係者間の前例のない協力、共有されたコミットメント、ガバナンスが必要です。

オープンソースのリーダーシップは、“エンド ツー エンド” を念頭に置くことから始めなければならない、単一のプロトコルやコンポーネントに過剰なインデックスを付けるのではなく、プログラム戦略を通じて“プラグ アンド プレイ” や“何かを何かに変換する” というより広いビジョンを可能にする手助けをしなければなりません。³³

どのようにオープンソースのマイクログリッドに貢献できるのか？

オープンソースを通じてマイクログリッドを民主化するには、マイクログリッド市場の主要な利害関係者を特定し、共通の課題、ツール、ビルディング ブロック、価値提案に関して彼らを結びつける手助けをする必要があります。以下では、これらの構成要素が果たすことのできる重要な役割を明らかにします。

役割と推奨方法

マイクログリッド開発者

マイクログリッド開発者とは、技術ベンダー、技術導入者、建築 / 建設グループなど、マイクログリッドの設計と販売方法に焦点を当てた人々です。**隣接セクター**（太陽光、ストレージ、バッテリー、EV など）のいくつかのプロバイダーも、標準の遵守、アプリケーションの専門化、アドボカシー、採用のための重要な協力者です。マイクログリッド開発者は、次のことを支援できます：

- **open source energy project landscape** でマイクログリッドプロジェクトを参照し、貢献します。ベストプラクティスの分析とシミュレーションから設計と導入まで、マイクログリッド導入の各段階にわたり。
- **オープンソースのデータ共有に貢献し**、他の利害関係者にマイクログリッドのパフォーマンス、採用傾向、財務モデルの高い透明性を提供します。
- **オープンソースのビルディング ブロックを使用してモジュラー型マイクログリッドを設計**します。マイクログリッドの導入を加速し、カスタマイズの時間とコストを削減するために。

電力会社と企業

大規模なエネルギー供給業者と送電網運営者は、送電網技術の設計と実施、資源配分、政策と開発者の関係、そして世界的な広がり大きな影響力を持っています。投資家所有、地方自治体所有、または地方の電力協同組合といった異なる電力会社モデルも、地域のマイクログリッドの成長に影響を与える可能性のある規制と優先事項に微妙な違いを持っています。さらに、マイクログリッド ソリューションの多様な**商業、組織、および産業の採用者**は、オープンソースを使用してマイクログリッドを展開することに経済的および共通の利益を持っています。業界のリソースは次のことに役立ちます：

- **エネルギーの耐障害性の目標と資金調達**の整合 オープンソース戦略（オープンソースへの貢献に対する有償の時間配分など）および関連するインフラ、人材、アウトリーチ活動との。

- **コード、オープンソース ソフトウェア、およびマイクログリッドのビルディング ブロックを提供して、オープンソースのマイクログリッドソフトウェア、機能、およびコンポーネントを開発し、導入までの時間、相互運用性、およびより広範な業界のイノベーションを加速**
- **LF Energy programやオープン マイクログリッド アライアンスなどのオープンソース エネルギー 連合へ参加してマイクログリッド技術の革新、相互運用性、標準合意、脱炭素化の取り組みを加速し、共同パイロット、ビジネス モデル開発、ベンチャーへの参加などを行う**

オープンソース コミュニティと財団

オープンソース コミュニティ Linux Foundation や GitHub などーは、オープンソース技術を管理し、アクセシビリティを拡大し、商用、政府、開発環境でオープンソースを正当化する上で重要な役割を果たしています。他の業界と同様に、オープンソース グループはさまざまな方法でマイクログリッドのイノベーションを加速することができます：

- **オープンソース マイクログリッドに特化した連携を育成します。** LF Energyと大規模な電力会社との関係は、コラボレーション、コンセンサス、およびより分散されたオープンなエネルギー インフラストラクチャへの移行を促進するのに役立ちます。オープンソース マイクログリッド連携は、大規模な電力会社やベンダーの典型的なメンバーシップ スキームを超えて、顧客、業界団体、政府、政策立案者、市民、プロシューマー、協同組合、都市、非営利団体、多国間組織、投資家などを含むこともできます。
- **LF Energy、Networking、Edge、Automotive (および同等のもの) などの主要なプログラムに関連するオープンソース プログラムを通じて、マイクログリッド標準の調整をサポートし、影響を与えます。** 例えば、5-10のグリッド調整メカニズムに関する合意、またはあるインタビュー対象者が示唆したように”これらの5つまたは10のメカニズムを実験することさえ”³⁴、そのようなプログラムがない場合よりもはるかに迅速に市場全体の標準化を促進することができます。

- **マイクログリッドの学習へのオープンソース アクセスを促進します。** オープンソース コミュニティは、コード コントリビューション以上のものを提供する必要があります。マイクログリッド アプリケーション コンテキストの高い特異性と多様性を考慮して、知識の共有を促進するフォーラム、リポジトリ、アクティビティを作成します：過去のプロジェクトの分析、テクノロジー全体の学習、実装の決定、シミュレーションと実世界、ガバナンス、資金調達モデル、ロードマップ、利害関係者のコラボレーション、ポリシー、顧客の採用、ベストプラクティスの共有、トレーニング、カンファレンス、ハッカソン、コミュニティ サポート。

政府と公共部門

政府には、国 / 連邦、地域 / 州、地方 / 地方自治体が含まれます。また、マイクログリッドの採用者として軍や政府機関も含まれます。**規制当局、政策立案者**、およびエネルギー省や省庁などの執行機関を含む**機関**は、規制の設計、監視、およびグリッドの耐障害性と脱炭素化の権限に対する補助金の可能性に責任を負います。さらに、**公益事業委員会**は、特定のマイクログリッド プロジェクトの相互接続と承認に最も大きな影響を与える公益事業料金の事例やプログラムを担当することがよくあります。これらの公共部門の利害関係者は、次のことを支援できます：

- **オープンソース プログラムに参加して、他の利害関係者との連携、資金調達と安全性の優先事項の定義、規制の視点やデジタル公共財への貢献、公開データの集約、公共セクター全体でのプログラムアクセスの強化を行います。**
- **マイクログリッドへのより広い認識とアクセス性を促進します。** オープンソース プログラムのリソースとキャンペーンを通じて。
- **オープンソースを活用して、マイクログリッドと分散型エネルギーに有利なポリシーの更新を設計します。** これには、先例から学び、標準の整合性を推進し、ガバナンスのニーズを評価することが必要です。

”構築方法に関する現在の明確さの欠如は、マイクログリッドの利点を理解することから注意をそらすだけです。それはあまりにも圧倒的になります。OSSは、学習とコラボレーションを中心に据え、すべての人のプロセスを容易にするのに役立ちます。”

- FERDINANDA PONCI, LF ENERGY MEMBER AND RESEARCHER, INSTITUTE FOR AUTOMATION OF COMPLEX POWER SYSTEM, RWTH AACHEN

マイクログリッドのベストプラクティスは、MIT、³⁵ Pacific Gas & Electric、³⁶ the World Bank、³⁷ などによって公開されていますが、オープンソースエコシステムは、業界コラボレーションの先例と、技術ビルダー間の幅広いリーチの両方を提供しており、どちらも商業的採用の鍵となっています。

HUSK POWER SYSTEMS が途上国市場におけるマイクログリッド導入のロードマップを発表し、業界のイノベーションを促進。

Husk Power Systems は、アジアとアフリカの農村部でマイクログリッドの導入を主導し、導入と業界の進歩を先導してきました。同社は最近、[the first-ever industry roadmap for developers](#) を発表しました。このロードマップには、途上国市場におけるソーラーマイクログリッド業界の拡張性、指標、商業的実行可能性のフレームワークが概説されています。ロードマップには、開発銀行、民間部門の業界団体、学者、シンクタンク、多国籍機関など、十数社以上の利害関係者から意見が寄せられました。ロードマップは、持続可能性と規模に対する障壁を明確な業界パフォーマンス指標に変換し、成功への道筋を確立するタイムラインを備えています。最終的には、一連の共通の目標を中心にエコシステムを統合するための基盤を構築し、コスト、需要、サービス品質、導入率に焦点を当て、業界が規模を拡大し、資金調達可能になるために2030年までに必要なアクションを詳述します。

Husk の創設者であり CEO の Manoj Sinha 氏は、半導体業界出身で、障壁を克服する方法としてロードマップのヒントを得ました。

”約100年前、政府は補助金を使って国の電力網の拡大を支援しましたが、マイクログリッドではそうではありません。私たちが力を合わせてすべてを統合するまで、彼らは根本的に拡大することはありません。確かに、あなた自身の秘密のソースを明かすかもしれないロードマップを公表するのは危険な賭けですが、業界が成長するためにはそうしなければなりません。数年前、私が半導体で働いていたとき、Intelは半導体ロードマップを公表しました。これらのロードマップは他の企業を助けるだけでなく、業界全体のパイをさらに成長させるのに役立ちます。この知識共有は、このセクターを迅速に拡大するために不可欠です。”

結論

マイクログリッドは、エネルギーの耐障害性を向上させ、脱炭素化を進めるために不可欠なツールです。いくつかの要因が採用の増加を推進している一方で、マイクログリッド市場は、オープンソース エコシステムが十分に対処する準備ができていないさまざまな課題に直面しています。

- **マイクログリッド資源へのアクセスを改善**することで、エネルギーへのアクセス、専門知識、すべての利害関係者の理解に対する障壁を低くできます
- **マイクログリッドの設計を加速**し市場投入までの時間を短くすることで、オープンデータの共有、コスト効率の向上、モジュール性を通じて、経済的および政策的な障害を克服するのに役立ちます
- **相互運用性の向上**と標準の採用の向上 エコシステムのコラボレーション、コンセンサス、透明性、スタック全体の互換性を促進することによる
- **マイクログリッド ビジネス モデルの実現** ソフトウェア、サポートおよびコンサルティング サービス、トレーニングおよび認定、カスタマイズおよび統合、共同パートナーシップ、および高度なモジュール性を通じて
- **大規模なエネルギーの耐障害性に向けた市場のイノベーションを可能**にし、エネルギー部門が実績のあるオープンソース対応のビジネス モデル、セキュリティ上のメリット、ITおよび通信業界で実証されたコスト削減を採用できるよう支援します

短期的には、オープンソースは、アクセシビリティを拡張し、モジュール性を可能にし、実装コストを削減することで、途上国のエネルギー アクセスを促進するのに役立ちます。時間の経過とともに、オープンソースのツール、メソッド、およびコラボレーション プログラムは、マイクログリッドの利害関係者の広範なエコシステム全体にわたって、マイクログリッド市場全体に利益をもたらすようになります。

オープンソース マイクログリッド ツールの採用と参加はまだ始まったばかりですが、オープンソース マイクログリッドの状況を分析した結果、20 以上のプロジェクトが進行中であり、現在展開可能な 4 つの標準が

識別されました。エコシステム全体の利害関係者は、利用可能なプログラムや活動に参加し、未解決のギャップや課題に対処し、マイクログリッドの学習、開発、ガバナンスを加速するための共有リソースを共同で作成することで、すぐに関与することができます。

オープンソースのエネルギー インフラは急速に成長している分野であり、電力の生成、分配、消費の方法に革命をもたらす可能性があります。オープンソースのマイクログリッドは、最大の電力会社や政府から、遠隔地のコミュニティや個々の住民、そして地球自体に至るまで、すべての人に利益をもたらすことができます。

探索すべきさらなる研究課題

- クラウドやICTなど、他の産業分野のオープンソース ソリューションと比較して、エネルギー分野で明らかに優れたオープンソース ソリューションがないのはなぜでしょうか？
- 開発者はどのようにすれば、現在利用可能なオープンソースのマイクログリッド プロジェクトの展望を最大限に活用できるのでしょうか？
- 5G/6G用のOpenRANや自動車用のOpenEVのような、業界全体のオープンソース エネルギー イノベーション ソリューションを開発するには、何が必要でしょうか？
- 再生可能エネルギー部門が脱炭素化を達成するために必要な、潜在的なオープンソースの破壊的ソリューションは何でしょうか（例えば、マイクロ/ナノレベルでのエネルギー貯蔵、データとエネルギーの相互運用性）？
- 開発者は、Tesla Powerwallのような商用エネルギー ストレージ製品のオープンソース バージョンをどのように加速することができるのでしょうか？
- オープンソースのエコシステムは、管轄区域内および管轄区域をまたがる規制上の課題にどのように対処できるのでしょうか？
- 他の産業の既存のオープンソース プログラムは、エネルギーにおけるオープンソースの採用をどのように支援できるのでしょうか？

調査方法

この調査は、2022年10月から2023年3月にかけて、Linux Foundation、Futurewei、Intentional Futures(iF)、およびPeter Asmusの共同作業として実施されました。iFは、一次調査インタビュー、二次調査、およびオープンソース マイクログリッド プロジェクトと活動の調査を組み合わせて実施しました。IFは、電力会社、大小のベンダー、マイクログリッド設計者、および世界各地で活動している研究および政策の専門家からなる市場を横断するマイクログリッド リーダーに17回のインタビューを実施しました。この分析には、オープンソース マイクログリッドの採用を加速するための経路と推奨事項を特定するための他の業界の評価も含まれていました。さらに、IFは、マイクログリッドの市場調査レポート、投資動向、ベンダー、およびマイクログリッド出版物全体の関連記事を評価する広範な二次調査を実施しました。

付録：インタビュー参加者のリスト

- ANTONELLO MONTI** Professor & Institute Director, Rhine-Westphalia Technical University of Aachen; Technical Advisory Committee Chair, LF Energy
- BRUCE NORDMAN** Researcher, Lawrence Berkeley National Labs
- CAMERON BROOKS** Executive Director, Think Microgrid
- CHRIS VILLARREAL** President, Plugged In Strategies
- FERDINANDA PONCI** Professor, Institute for Automation of Complex Power System Rhine-Westphalia Technical University of Aachen
- JANA GERBER** North America Microgrid President, Schneider Electric
- JORGE ELIZONDO** President, Heila Technologies
- MANOJ SINHA** Chief Executive Officer, Husk Power
- MARISSA HUMMON** Chief Technology Officer, Utilidata; Board Member, Grid Forward; Governing Board Member, LF Energy
- MICHAEL GOLDBACH** Chief Executive Officer, New Sun Road
- MICHAEL CLARK** Chief Executive Officer, Encorp
- SRDJAN LUKIC** Deputy Director, FREEDM Microgrid
- STEFAN ZELANZY** Managing Director, Access to Energy Institute
- STEPHEN PHILLIPS** Chief Executive Officer, Optimal Power Solutions
- VIPUL GORE** President & Chief Executive Officer, Gridscape Solutions
- VIVEK BHANDARI** Chief Technology Officer, Powerledger

著者について

JESSICA GROOPMAN氏は業界アナリストであり、Intentional FuturesのDigital Strategy and InnovationのDirectorです。彼女は、AI、ブロックチェーン、IoT、再生可能エネルギーなどを専門に、新興技術の人的・社会的影響に関する研究をリードしています。彼女の最近の研究は、持続可能性と気候テック、Web3、デジタル インクルージョンとDEIをカバーしています。サンフランシスコ ベイ エリアを拠点とするJessica氏は、国際的な組織と協力して、戦略的アドバイザー、デジタル トランスフォーメーション、およびいくつかの業界の研究を支援しています。彼女は定期的な基調講演者であり、メディア寄稿者であり、スタートアップにアドバイスを提供し、International IoT CouncilとIEEEのIoT Groupの寄稿メンバーを務め、Onalyticaの最も影響力のあるIoT Thought Leaders 100人に選ばれました。以前、Groopman氏はKaleido Insights、Tractica、Harbor Research、Altimeter Groupなどで研究活動をリードし、40以上のレポートを執筆し、いくつかの本に貢献しました。

JEFFRY LINDSTROM氏は、Intentional Futures の Digital Strategy and Innovation team の Senior Strategist であり、テクノロジーの応用、影響、可能性についてコンサルティングを行っています。Jeffryのマーケティングと非営利経営の経歴は、人間中心のデザインとデザイン思考の方法論と融合して、研究とストラテジー開発に対する共感的でステークホルダー中心のアプローチを形成しています。Jeffry氏はUniversity of Washington、the Pratt Institute、IDEO、Parsons New Schoolで学び、趣味はインテリア デザイン、人物写真、テニスなどです。

謝辞

著者は、Peter Asmus 氏のプロジェクトおよびリサーチ アドバイザーとしての重要な役目、Anna Hermansen 氏のレポートへのインプットと調整、Chris Xie 氏のオープンソース マイクログリッドの展望、ビジネス モデルへの影響、およびその後の研究トピックに関する重要なガイダンス、アドバイス、および広範なインプットに感謝します。さらに、FlexiDAO の Paul Breslow 氏と EnAccess の Claudio Pedretti 氏の紹介と提案された研究パスに感謝します。

このレポートは、LF Energy の創設者である Shuli Goodman 氏の思い出に捧げられています。

このレポートは、以下の文書の参考訳です。

[The Open Source Opportunity for Microgrids](#)

翻訳協力：橋本修太

巻末資料

- 1 Clean Energy Microgrids Market Forecast 2022–2031. Guidehouse Insights. Accessed February 23, 2023. <https://guidehouseinsights.com/reports/Clean-Energy-Microgrids-Market-Forecast>
- 2 Glossary | TODO project. February 18, 2023. <https://todo-project.eu/deliverables/glossary>
- 3 Clean Energy Microgrids Market Forecast 202-231. Guidehouse Insights. Accessed February 23, 2023. <https://guidehouseinsights.com/reports/Clean-Energy-Microgrids-Market-Forecast>
- 4 DER Deployments for Microgrids. Guidehouse Insights. 3rd Quarter, 2020. Accessed February 23, 2023. <https://guidehouseinsights.com/reports/der-deployments-for-microgrids>

Peter Asmus, and Roberto Rodriguez Labastida. How Utilities can be Microgrids Leaders. Guidehouse Insights, Commissioned by PXiSE Energy Solutions. 3rd Quarter 2020. Accessed February 23, 2023. <http://www.pxise.com/wp-content/uploads/2020/09/Guidehouse-Insights-White-Paper-How-Utilities-Can-Be-Microgrid-Leaders.pdf>

Peter Asmus, and Jared Leader. Microgrid Trends Shine Spotlight on Role of Utilities and Policy Makers. SepaPower.org. September 3, 2020. Accessed February 23, 2023. <https://sepapower.org/knowledge/microgrid-trends-shine-spotlight-on-role-of-utilities-and-policy-makers/>
- 5 US power outages from severe weather have doubled in 20 years. The Guardian. April 6, 2022. <https://www.theguardian.com/us-news/2022/apr/06/us-power-outages-severe-weather-doubled-in-20-years>
- 6 Many large governments are investing in microgrids as part of their climate and national security policies, including the United States, China, Australia, Germany, and India.

Microgrids Play a Major Role in Federal Energy Strategy. Constellation. Accessed February 20, 2023. March 4, 2014. <https://blogs.constellation.com/energy-management/microgrids-to-play-a-major-role-in-federal-government-energy-strategy/>

India's Microgrid Market: Ready for Take-Off: Microgrids News. March 12, 2019. <https://microgridnews.com/indias-microgrid-market-ready-for-takeoff/>

\$50 million to ramp up microgrids in regional Australia. Australian Renewable Energy Agency. September 24, 2021. <https://arena.gov.au/news/50-million-to-ramp-up-microgrids-in-regional-australia/>

Past, today, and future development of micro-grids in China. Science Direct. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 42, February 2015, Pages 145-163. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114009630>
- 7 Why microgrids are key to solving energy poverty worldwide. Fortune. January 21, 2020. <https://fortune.com/2020/01/21/microgrids-energy-poverty-africa-asia/>
- 8 Why 'mini' matters to achieve power for all. The Beam. November 11, 2020. https://the-beam.com/sustainable/why-mini-matters-to-achieve-power-for-all-2/?mc_cid=1687a5db13&mc_eid=4b03df10df
- 9 Why did renewables become so cheap so fast? Our World in Data. December 1, 2020. <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>
- 10 Carbon Pricing Dashboard | Up-to-date overview of carbon pricing initiatives. January 27, 2023. <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>
- 11 Making microgrids mainstream: challenges and opportunities. Modern Power Systems. February 4, 2023. <https://www.modernpowersystems.com/features/featuremaking-microgrids-mainstream-challenges-and-opportunities-6097156/>
- 12 Local energy system in Simris. Eurelectric. February 3, 2023. <https://www.eurelectric.org/stories/dso/local-energy-system-in-simris/>
- 13 Climate Change Laws of the World. Grantham Research Institute of Climate Change and the Environment. February 4, 2023. <https://climate-laws.org/>
- 14 Microgrid Trends Shine Spotlight on Role of Utilities and Policy Makers. Smart Electric Power Alliance. March 17, 2023. <https://sepapower.org/knowledge/microgrid-trends-shine-spotlight-on-role-of-utilities-and-policy-makers/>
- 15 From the Military to Retail Businesses: How Use of Microgrids is Growing. Microgrid Knowledge. October 16, 2019. <https://www.microgridknowledge.com/resources/reports/article/11429354/from-the-military-to-retail-businesses-how-use-of-microgrids-is-growing>
- 16 State of the Global Mini-Grids Market Report 2020. Mini Grids Partnership. January 28, 2023. <https://minigrids.org/market-report-2020/>
- 17 Smart Integrated Decentralized Energy (SIDE) Systems. Metabolic. February 3, 2023. <https://www.metabolic.nl/publication/new-strategies-for-smart-integrated-decentralised-energy-systems/>

- 18 All interviewees were asked about common barriers to microgrids market growth. Listed in the text above are categories of their answers related to policy/regulatory challenges developers and adopters face. Interviews conducted between October 2022 and March 2023.
- 19 SDG7 Access to Energy: Today 770 million people live without access to electricity. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity> April 2022.
- 20 EnAccess. Accessed January 16, 2023. <https://enaccess.org/>
- 21 Plug-and-Play Modular Microgrids Gain Momentum. Microgrid Knowledge. December 30, 2019. <https://www.microgridknowledge.com/google-news-feed/article/11429211/plug-and-play-modular-microgrids-gain-market-momentum>
- 22 GridLAB-D. Wikipedia. Accessed March 20, 2023. <https://en.wikipedia.org/wiki/GridLAB-D>
- GridLAB-D. GitHub. Accessed March 16, 2023. <https://github.com/gridlab-d/gridlab-d>
- 23 Grid eXchange Fabric (GFX). Linux Foundation. Accessed March 22, 2023. <https://www.lfenergy.org/projects/gxf/>
- 24 Projects: Linux Foundation Energy. Accessed March 16, 2023. <https://www.lfenergy.org/projects/>
- 25 Duke Energy Coalition: Leading Advancements in Interoperability. Duke Energy. Accessed March 15, 2023. <https://www.duke-energy.com/our-company/about-us/smart-grid/coalition>
- 26 OpenRemote. Accessed April 1, 2023. <https://www.openremote.io/>
- 27 OpENER: Open source EtherNet IP Stack. Accessed April 1, 2023. <https://github.com/EIPStackGroup/OpENER>
- 28 Transforming utilities with open source technology. Red Hat. March 18, 2021. <https://www.redhat.com/en/resources/transforming-utilities-open-digital-leadership-in-energy-sector-whitepaper>
- 29 Zephyr (operating system). Wikipedia. February 2, 2023. [https://en.wikipedia.org/wiki/Zephyr_\(operating_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Zephyr_(operating_system))
- 30 The State of Enterprise Open Source: Telecommunications & IT. Red Hat. 2022. <https://www.redhat.com/en/resources/state-of-enterprise-open-source-telco-infographic>
- 31 Peter Asmus (Adjunct Faculty, Senior Advisor, Microgrid Strategy & Thought Leadership, Alaska Center for Energy and Power) Interview with the author, March 20, 2023.
- 32 International Emissions. Center for Climate and Energy Solutions. Accessed March 17, 2023. <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
- 33 Bruce Nordman (Researcher, Lawrence Berkeley National Labs), Jorge Elizondo (President of Heila Technologies), Jana Gerber (North America Microgrid President, Schneider Electric) Interviews with the author on November 1, 2023, November 16, 2023, and November 29, 2023, respectively.
- 34 Bruce Nordman (Researcher, Lawrence Berkeley National Labs) Interview with the author, November 1, 2022.
- 35 The Microgrid: Small Scale, Flexible Reliable Source of Energy. Massachusetts Institute of Technology. January 31, 2012. <https://energy.mit.edu/news/the-microgrid/>
- 36 Community Microgrids Technical Best Practices. Pacific Gas & Electric and Schatz Research Center. December 12, 2020. https://www.pge.com/pge_global/common/pdfs/residential/in-your-community/community-microgrid/pge-community-microgrid-technical-best-practices-guide.pdf
- 37 Mini Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers. World Bank. June 25, 2019. <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/mini-grids-for-half-a-billion-people>
- World Bank Group. 2019. Investing in Mini Grids Now, Integrating with the Main Grid Later: A Menu of Good Policy and Regulatory Option. Live Wire; No. 2019/97. © World Bank, Washington, DC. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/732841558714625815/pdf/Investing-in-Mini-Grids-Now-Integrating-with-the-Main-Grid-Later-A-Menu-of-Good-Policy-and-Regulatory-Option.pdf> License: [CC BY 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).
- 38 The State of Enterprise Open Source: Telecommunications. Red Hat. February 25, 2023. <https://www.redhat.com/en/resources/state-of-enterprise-open-source-telco-infographic>



2021年に設立されたLinux Foundation Researchは、オープンソース コラボレーションの規模の拡大を調査し、新たなテクノロジー トренд、ベストプラクティス、オープンソースプロジェクトの世界的な影響に関する洞察を提供しています。プロジェクトのデータベースやネットワークを活用し、定量的・定性的な方法論のベストプラクティスに取り組むことで、Linux Foundation Researchは、世界中の組織のために、オープンソースの洞察を得るための最適なライブラリーを構築しています。



Copyright © 2023 [The Linux Foundation](#)

このレポートは [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International Public License](#) の下でライセンスされています。

この著作物を参照する場合は、以下のように引用してください: Jessica Groopman and Jeff Lindstrom, "The Open Source Opportunity for Microgrids: Five Ways to Drive Innovation and Overcome Market Barriers for Energy Resilience," foreword by Yue Chen and Chris Xie, The Linux Foundation, June 2023.



この種のものとしては初めてのイニシアティブである LF Energy は、オープンなフレームワーク、リファレンスアーキテクチャ、および補完的なプロジェクトのサポートエコシステムを通じて、気候変動を解決するための 21 世紀の行動計画を提供しています。戦略的メンバーには、Alliander、Google、Microsoft、RTE、Shell のほか、エネルギー業界、テクノロジー、学界、政府の 50 以上の一般および準メンバーが含まれています。詳細については、<https://www.lfenergy.org> を参照してください。

iF intentional futures

Intentional Futures は、シアトルを拠点とする戦略および設計コンサルタント会社で、世界中のクライアントにサービスを提供しています。私たちのクライアントは、世界がより良くなることができるかと信じている、変革を主張するエージェントです。私たちの統合された実践は、デジタル戦略とイノベーション、教育、社会的影響、組織設計、文化認識と統合の 5 つの専門分野で構成されています。私たちは共に、共感、創意工夫、効果的なコラボレーションのための世界の能力を向上させることによって、最も影響力のあるコンサルタントになるよう努力しています。



Futurewei は、世界中の先進的な企業と継続的かつ緊密なコラボレーションを維持しています。オープンイノベーションモデルを採用し、新しいビジネス機会を創出するためにテクノロジーコミュニティとアイデアや知識を共有することに努めることで、研究開発におけるオープン性を追求します。

- 私たちのビジョンは、完全に接続されたインテリジェントな世界に向けて未来を形作ることです。
- 私たちのミッションは、オープンソース、標準化、エコシステム内のコラボレーションを通じて、インテリジェントでデジタルな社会に利益をもたらすイノベーションを開発することです。

私たちの専門家は、過去 20 年間にわたって標準化プログラムに積極的に参加してきました。この活動を通じて、次世代のワイヤレス技術やネットワークの開発、ICT システムのオープンアプリケーションプラットフォームによるオープンエコシステムの構築に参加しています。

www.futurewei.com