OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Base Transceiver Station Archetype-Based Modeling of Energy Demand and Analysis of Renewable Energy Integration for Telecommunication Networks
Author(s)	Dinata, Mochamad Mardi Marta
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105460
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (MOCHAMAD MARDI MARTA DINATA)	
Title	Base Transceiver Station Archetype-Based Modeling of Energy Demand and Analysis of Renewable Energy Integration for Telecommunication Networks (基地局アーキタイプに基づく情報通信網エネルギー需要モデリングと再生可能エネルギー統合分析)

Abstract of Thesis

The growing demand for digital services and video streaming has increased wireless broadband traffic, leading operators to upgrade their Base Transceiver Stations (BTSs) cellular networks infrastructure. Energy optimization is essential for maintaining efficiency amidst this growth and rising energy costs have heightened interest in green solutions. The integration of Hybrid Renewable Energy Systems (HRES) into is a promising strategy for advancing the clean energy transition and sustainability while boosting efficiency. Telecom operators face challenges due to limited tools for comprehensive demand and supply studies in green power generation. There is a lack of macro-level frameworks to assess energy demand in cellular networks as a tool for energy monitoring, that utilizes bottom-up information from BTS site representations and stock composition variations. Moreover, current research on the supply side is limited to small-scale BTS site samples, overlooking spatial constraints and macro-level feasibility. This absence of a scalable HRES integration framework creates uncertainty for telecom operators, hinders effective implementation. This dissertation addresses these gaps by developing a macro-level energy demand assessment framework that uses bottom-up BTS site information to reflect real operational conditions better. Established building-sector assessment methods are adapted to define BTS site archetypes by system configuration, deployment type, and spatial characteristics. Then, the analytical framework is enhanced by incorporating municipal-level BTS site stock compositions that capture socioeconomic variations and archetype-based BTS site–level energy demand estimates. On the supply side, a modeling framework was developed to construct HRES archetypes using data from a synthetic stock model, accounting site characteristics, renewable potential, and spatial constraints. A techno-economic analysis identified HRES archetypes that outperform existing BTS site electrification systems based on their spatial distribution and renewable energy resources. The dissertation is comprised of six chapters whose summary is explained as follows:

Chapter 1 outlines global clean energy transition targets and highlights the telecom sector's role in supporting them, including ongoing efforts to integrate hybrid renewable energy systems into cellular networks.

Chapter 2 establishes the initial stage for macro-level energy-demand evaluation in cellular networks, comprising four steps: segmentation, characterization, quantification, and aggregation. Physical and technical characteristics capturing local BTS site features are used to develop archetypes and 24-hour power-factor profiles. These archetypes provide reference models for data-limited regions with similar site characteristics.

Chapter 3 presents an enhanced energy-demand modeling framework for cellular networks that quantifies energy demand at the BTS site stock level. It captures the composition and spatial variation of BTS site types, as well as the socio-economic factors of the region. This framework improves understanding of BTS site stock composition and energy demand characteristics, providing valuable insights for HRES implementation.

Chapter 4 presents a scalable framework for implementing HRES within cellular telecommunications networks while ensuring economic feasibility. Calculating the energy generation potential of HRES and its evaluation in meeting the demands of the cellular network are demonstrated. For the telecom industry, this study serves as a reference for integrating HRES into its networks.

Chapter 5 provides an integrated discussion to highlight the findings, methodological contribution and applicability of the proposed frameworks.

Chapter 6 provides the conclusion of this dissertation related to formulated research objectives.

Ultimately, the HRES integration aims to enhance the overall revenue of telecom operators by improving the energy efficiency and reducing energy costs, while participating in efforts to meet the Indonesian government's energy transition target.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（ MOCHAMAD MARDI MARTA DINATA ）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　准教授　山口　容平 副 査　教授　下田　吉之 副 査　教授　嶋寺　光	

論文審査の結果の要旨

携帯電話等モバイルデバイスの通信基地局のエネルギー消費は、情報通信業のエネルギー消費において大きな比率を占めており、基地局運用に伴うエネルギー費用および二酸化炭素排出量の削減は情報通信業における重要な課題として認識されている。特にアジアの発展途上国では、デジタルサービスの広がりによる通信量の増加、エネルギー価格の高騰などの状況下で、長期的に脱炭素化を実現する方策の検討が必要である。一方、そのような検討を行うためのツールやモデルの開発は十分に行われていない。既往研究では、①基地局のエネルギー計測や再生可能エネルギー導入について実態把握や技術導入評価を行う研究、②計測や技術仕様等から作られる基地局エネルギーモデルを用いて特定技術の効率性・経済性等の分析を行う研究、③通信量とエネルギー消費の関係を外挿して基地局ストック全体のエネルギー需要を推計する研究などが行われてきた。これらは、基地局ストック全体でのエネルギー需要の定量化が困難である（①および②）、あるいは、再生可能エネルギー導入などの技術的対策の検討が困難である（①および③）という課題があった。このような背景から、本研究は再生可能エネルギーを含め技術的な対策の検討が可能であり、かつ、ストック全体で対策導入効果を定量化可能なモデルの構築手法を開発することを目的とした。さらに、インドネシアの通信基地局ストックに適用し、その評価を行っている。本研究で得られた主な知見は以下の３つである。

（１）基地局ストックのエネルギー需要モデリング技術の確立

本論文は住宅・建築物ストックのエネルギー需要のモデリングに用いられる手法を援用し、1) 基地局ストックの類型化、2) Archetype と呼ばれる類型別代表モデルの構築、3) Archetype を用いたエネルギー需要の推計、4) 推計されたエネルギー需要に基づくストック全体のエネルギー需要の定量化という、4 つのステップにより構成されるエネルギー需要モデリング技術を開発した。これにより、基地局種別の多様性、ストック構成を模擬し、基地局レベルの技術的特性、対策導入効果を考慮したうえでストック全体のエネルギー需要を一時間タイムステップで定量化できるようになった。さらに、標本が得られた地域のデータに基づいて人口密度等の都市社会経済指標と基地局種別ストック構成の関係を表す統計モデルを開発して対象全空間に適用することで、ストック構成の空間的な差異を考慮した推計が可能となった。本内容はインドネシア全域へ適用し、検証されている。

（２）Hybrid Renewable Energy System (HRES) の考慮

基地局において再生可能エネルギーを組み込んだシステムは Hybrid Renewable Energy System (HRES) と呼ばれている。（１）で確立した Archetype を太陽光発電、風力発電、水力発電など再生可能エネルギー導入を考慮可能なものに拡張し、ストック全体における HRES 導入効果を評価できるようにした。具体的には、①ストック類型化過程、②

Archetype 構築過程において、再生可能エネルギーの導入にかかわる形状的特性を考慮可能とした。加えて、再生可能エネルギー利用可能性の空間的な差異を考慮するため、基地局の位置を推定するモデリング技術を開発した。具体的には、基地局位置情報の標本に基づいてカーネル密度関数による設置確率密度の空間分布を定量化し、基地局の立地をランダムに付与する模擬ストックを空間明示的に表現し、立地の再生可能エネルギーポテンシャルを考慮して HRES の導入効果を定量化できるようにした。これにより、再生可能エネルギーを含め技術的な対策の検討が可能で、かつ、ストック全体での効果の定量化が可能な推計モデルが構築できるようになった。本内容はインドネシアバリ島への適用により検証されている。

（3）インドネシアにおけるエネルギー需要の推計及び HRES の評価

本論文では、開発したモデリング技術をインドネシアの基地局ストックに適用し、これまで十分に理解されていなかった基地局ストックのエネルギー需要、HRES 導入ポテンシャルについて有用な知見を得た。インドネシアの基地局ストックの電力需要はインドネシアの電力需要の 1.96%（平均 613 MW）に相当すると推計された。その大部分は広域をカバーする Macro 基地局によるものであるが、人口密度が高い地域においてはより小さな空間をカバーする基地局の比率が高くなるなど、空間分布が存在することが明らかとなった。HRES は多くのストックにおいて単純回収年数 10 年未満での導入が可能であり、正味現在価値を高めることに貢献する。バリ島においては 57%の需要を再生可能エネルギーで賄うポテンシャルが存在する。これらの知見は、情報通信事業者が HRES の導入を検討する基礎資料として有用であると考えられる。

このように、本論文は情報通信網の基地局ストックのエネルギー需要および再生可能エネルギー導入ポテンシャルを推計するためのモデリング技術を確立し、その有効性をケーススタディにより示した。この成果は、基地局ストックの二酸化炭素排出量削減の検討を容易にするものと考えられる。

以上のように、本論文は環境エネルギー工学分野の発展に寄与する研究成果を提示しており、特に東南アジアを中心とする国々の情報通信業のカーボンニュートラル対策を進めていくうえで貴重な知見を与えるものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。