

修士論文

広域無線 LAN メッシュネットワークの
通信機器の再生可能エネルギーを
用いた電源構成の最適化



平成 25 年 2 月 6 日

指導教員 相田 仁 教授

東京大学大学院 工学系研究科

電気系工学専攻

37-116462 田中 貴大

内容梗概

地震等の災害において、携帯電話の基地局が機能しなくなり、生命にかかわる情報を提供すべきネットワークのインフラが全く役に立たなくなるという問題が、実際に発生した。

本研究では、耐災害性を持つ通信ネットワークを目指し、災害発生時にネットワークが停止する要因として最も多い電源の問題と次に多い通信路断の問題に着目し、網目等の形状に分散配置した通信機器ごとの電源を太陽光と風力による再生可能エネルギーとすることで解決を試みた。普段においても、再生可能エネルギーで独立駆動することで商用電源による電力の節約になる他、通常の無線 LAN 機器として有線網でネットワークに接続することによりスマートフォンの普及により増加するトラフィックの処理や、山間部における通信路の確保によるデジタルデバイドの解消などにも役立つ。

その電源構成の最適化として、実測した発電データと入手した気象データを基に、通信機器の独立駆動に必要な再生可能エネルギーの発電機とその変動を吸収する蓄電池の設置コストを最小とする構成を求め、消費電力量より数倍大きい発電量を得ることのできる太陽光パネルを用いる構成がコスト最小となることを明らかにした。また、風力発電と太陽光発電による出力の相関はほとんどないため、小型の風力発電機を太陽光パネルと併用して使うことで、コストが下がる可能性があることを示した。

また、メッシュネットワークの通信機器と携帯電話基地局を再生可能エネルギーで独立駆動する場合において、ネットワーク全体の構成にかかるコストの比較を行い、同程度のコストで構築可能であることを示した。

加えて、再生可能エネルギーから得られた余剰電力を売電する場合、より大きい太陽光パネルを持つ構成とすることによるコストの増分は売電価格より小さく、大きな太陽光パネルを持つ構成により設備投資コストが回収できる可能性があることを示した。

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに.....	2
1.2 本論文の構成.....	3
第2章 研究の背景	5
2.1 東日本大震災をはじめとする自然災害による通信設備の被害状況.....	6
2.2 再生可能エネルギー.....	10
2.3 メッシュネットワーク.....	11
2.3.1 メッシュネットワークの構成要素.....	12
2.3.2 メッシュネットワークの特徴.....	13
2.3.3 標準化とアーキテクチャ.....	13
2.3.4 災害時にメッシュネットワークを用いる研究例.....	15
2.3.4.1 山古志ねっと.....	15
2.3.4.2 SKYMESH.....	16
2.4 スマートフォンの普及により増大するトラフィックの対策.....	17
第3章 電源構成の最適化	19
3.1 データ解析および電源構成の最適化に用いる手法.....	20
3.1.1 想定する電源構成.....	20
3.1.2 解析に用いたデータ.....	20
3.1.2.1 測定によって得られたデータ.....	20
3.1.2.2 解析に用いた外部データ.....	22
3.1.3 気象データから電力への変換.....	23
3.1.4 コストの推定.....	24
3.2 通信負荷に対して必要な発電機と蓄電池容量の検討.....	26
3.2.1 太陽光発電を用いる場合.....	26
3.2.2 風力発電を用いる場合.....	35
3.2.3 太陽光と風力を併用した発電を用いる場合.....	40
3.2.4 考察とまとめ.....	41

3.3 携帯電話基地局とメッシュノードのコスト比較.....	42
3.4 売電する場合の構成の考察.....	43
第4章 結論	46
4.1 まとめ.....	47
4.2 今後の課題.....	47
参考文献	50
発表文献	52

目次

2.1 通信設備の被災回線数.....	6
2.2 固定電話の不通回線数の推移.....	7
2.3 携帯電話基地局の停波基地局数の推移.....	7
2.4 通信設備の被害状況とその要因.....	8
2.5 通信設備の被害要因の割合.....	8
2.6 台風12号等による被害.....	9
2.7 大ゾーン基地局.....	10
2.8 Tribrid 基地局.....	11
2.9 Tribrid 基地局によるエネルギー削減.....	11
2.10 メッシュネットワークの他ネットワークとの構成の比較.....	13
2.11 メッシュネットワークのアーキテクチャ.....	14
2.12 山古志ねっとの概要.....	16
2.13 SKYMESH 基地局の概要.....	17
2.14 携帯電話によるトラフィック推移の予想.....	18
3.1 測定設備の構成.....	22
3.2 日射量と電力の関係.....	23
3.3 風速と電力の関係.....	24
3.4 太陽光発電機のコスト近似直線.....	25
3.5 風力発電機のコスト近似直線.....	25
3.6 蓄電池のコスト近似直線.....	26
3.7 東京における太陽光による発電量の日変動.....	27
3.8 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量.....	28
3.9 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量(対数表示).....	28
3.10 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト.....	29
3.11 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト(対数表示).....	29
3.12 稚内における太陽光による発電量の日変動.....	30
3.13 稚内における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量.....	31

3.14 稚内における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト.....	31
3.15 宮古島における太陽光による発電量の日変動.....	32
3.16 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量.....	32
3.17 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量(対数表示).....	33
3.18 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト.....	33
3.19 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト(対数表示).....	34
3.20 東京における風力による発電量の日変動.....	35
3.21 東京における風力発電機の定格に対して必要なバッテリー容量.....	36
3.22 東京における風力発電機の定格に対して必要なコスト.....	36
3.23 稚内における太陽光による発電量の日変動.....	37
3.24 稚内における風力発電機の定格に対して必要なバッテリー容量.....	37
3.25 稚内における風力発電機の定格に対して必要なコスト.....	38
3.26 宮古島における風力による発電量の日変動.....	38
3.27 宮古島における風力発電機の定格に対して必要なバッテリー容量.....	39
3.28 宮古島における風力発電機の定格に対して必要なコスト.....	39
3.29 太陽光と風力の併用割合とコストの関係.....	41
3.30 東京における太陽光による発電量を売電する場合のコスト推移.....	44

表目次

3.1 各地(東京、稚内、宮古島)の1時間の平均発電量.....	23
3.2 太陽光による電力と風力による電力の相関.....	40
3.3 気象データのまとめ.....	41
3.4 携帯電話基地局とメッシュノードのコスト比較.....	43
3.5 平成24年度の固定価格買い取り制度の価格.....	44

第1章

序論

1.1 はじめに

近年、世界中で毎年何度もの自然災害が発生し、その度、地震や台風をはじめとする災害による通信路の断絶、停電による通信設備の電源の喪失等により、災害時に必要な情報が十分にやり取りされないという、インフラとしてのネットワークの脆弱性が問題となっている。未曾有の災害となった平成 23 年東北地方太平洋沖地震では、携帯電話による通信が全く役に立たなかったという声も聞かれた¹⁾。このような問題に対し、数々な対策が提案されているが、依然十分ではない。

この災害時におけるインフラの確保の問題を解決する 1 つの手段として挙げられるのが、メッシュネットワークで、自動的にネットワークを構成し、また、一部のノードに障害が発生しても代替経路を作り、情報をリレーすることにより通信を維持できるという特性により、災害時における通信路確保に寄与できるものと考えられる。

一方、急速に普及が進むスマートフォンによる通信量の増加により、既存の携帯電話の無線通信網はその通信量の増加に耐えられなくなってきており、無線 LAN 等を用いることによって帯域の大きい有線通信網へトラフィックを流すことで解決しようという手法がとられている。また、全世帯に高速ブロードバンド環境を提供することを目標としている光の道構想においても、特に人口が集中している地域以外では、コストとの兼ね合いによってネットワークから各家庭までの最後の接続手段をどのようにするかという、いわゆるラスト 1 マイル問題が存在する。

そこで、平常時において、有線の通信路が確保されているときは、メッシュノードの各ノードを通常の無線 LAN のアクセスポイントとしてふるまわせれば、大きくなりつつある通信トラフィックを有線通信網に逃すことで処理することが出来、平常時・災害時互いに有効なインフラとなることが期待される。また、山間部において無線による通信路と電源を確保することで、情報を伝える手段を与え、デジタルデバイドの解消にもなる。

電源については、災害時に商用電源が提供されなくなるような状況において、携帯電話基地局をはじめとする既存の通信機器が動作を停止しても、通信機器の電源を、自律的に発電を行い、環境性能も優れた太陽光・風力をはじめとする再生可能エネルギーとし、独立駆動させることにより、動作を継続できるものと考えられる。また、平常時から使用する商用電源の購入電力の削減に対する効果が期待される。単純に災害時用のバッテリーを増やすという対策も考えられるが、本研究では電源に対する想定外の事態にも対応するため、また再生可能エネルギーは設置コストの割合が大きいため、十分大きい発電機を利用することで平常時から十分な発電量を得、余剰電力を売電する仕組みを用いることによ

り設置コストを回収することができると考えたため、通信機器に必要な電力を全て再生可能エネルギーで賄う構成を考えた。

まとめると本研究では、長時間停電による発電機燃料及び蓄電池容量の枯渇により通信機器の動作が停止したという問題に対し、通信機器ごとに独立の電源として風力、太陽光、またその併用からなる再生可能エネルギーを用いることで解決を試み、地震等の直接被害による伝送路断の問題に対しては、網目状等のネットワークを用いて、一部の通信機器が動作を停止しても迂回してデータのリレーすることにより通信の確保ができる広域無線 LAN メッシュネットワークを用いることで解決を試みた。後に述べるが、地震や津波による直接被害を除いて 9 割以上の通信設備の被害要因に対する対策ができる。

本研究では、通信路と電源の面で災害に強く平常時にも使用するネットワークインフラを組むに当たり、通信機器の動作に必要な構成要素の大きさにより変化する設置コストを最適とする構成を求めることを目的とする。

1.2 本論文の構成

本論文は、4つの章から構成されている。以下にその概要を示す。

第1章 序論

序章として、研究の動機、目的、および本論文の構成について述べる。

第2章 研究の背景

研究の背景として、災害時、および平常時に対する通信の現状、対策をまとめ、問題点を明らかにすると共に、それを解決するために想定するメッシュネットワーク、電源として用いる再生可能エネルギー、及び災害対策の研究例を紹介する。

第3章 電源構成の最適化

本研究で扱う通信機器の電源構成について検討を行い、3.2 節においては通信機器を動かすのにだけ発電した電力を用いる場合、3.3 節では得られた結論を基に携帯電話基地局とのコスト比較を行い、3.4 節は通信機器を稼働させ、余った電気を売電する場合の最適な電源構成を考え、得られた結論を示す。

第4章 結論

本論文のまとめと今後の課題について述べる。

第2章

研究の背景

2.1 東日本大震災をはじめとする自然災害による通信設備の被害

状況

平成 23 年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では大きな揺れとそれに付随する津波によって主に東北地方において多くの通信交換局、携帯電話の基地局が被害を受けて動作を停止し、またそれらを結ぶ通信路の断絶もあった。広範囲・長時間にわたる停電によって、それら通信局の電源が失われ、非常用バッテリーを消費し切った地震発生の数時間後から翌日にかけて、通信不可能な通信局数が最大となるといった問題も生じた。

Fig.2.1 は通信設備の被災回線数であり、東北地方太平洋側 3 県において稼働している基地局 13 万局中、5 分の 1 に当たる 2 万 9 千局余りの携帯電話基地局が停止していた状況を示す。

Fig.2.2 に固定通信の通信不能回線数の推移、Fig.2.3 に移動通信の停波基地局数の推移を示す。Fig.2.4 に通信設備の被害状況とその要因、Fig.2.5 に被害の発生した通信機器の要因の割合を示す。8 割以上の被害要因は停電によるもの、次いで多い約 1 割の被害要因は伝送路断によるものとなっている。

停電等による被害によって携帯電話が 72 時間程度つながらなかった地域もあるというが、実際に、気仙沼市では携帯電話基地局の非常用電源が 3 月 11 日 23 時頃まで作動しつながったが、それ以降は切れ、au の仮基地局が開設したのが 14 日の 18 時頃という証言がある [1]。

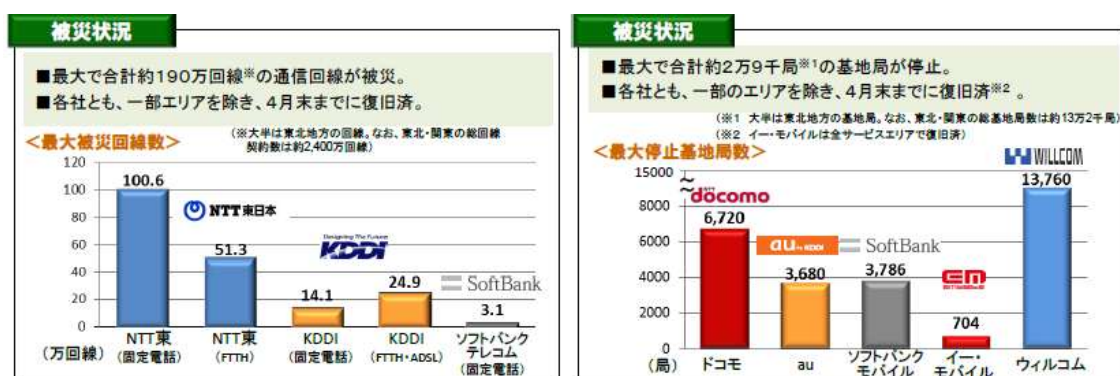


Fig.2.1 通信設備の被災回線数 [2]

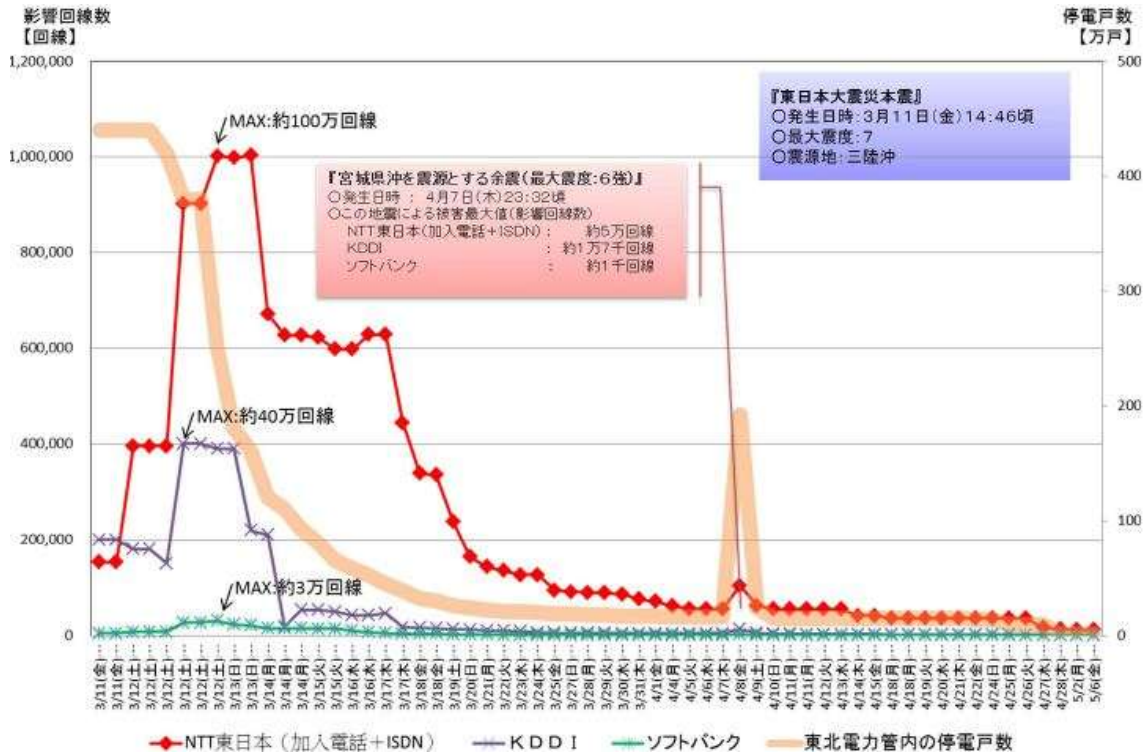


Fig.2.2 固定電話の不通回線数の推移 [3]

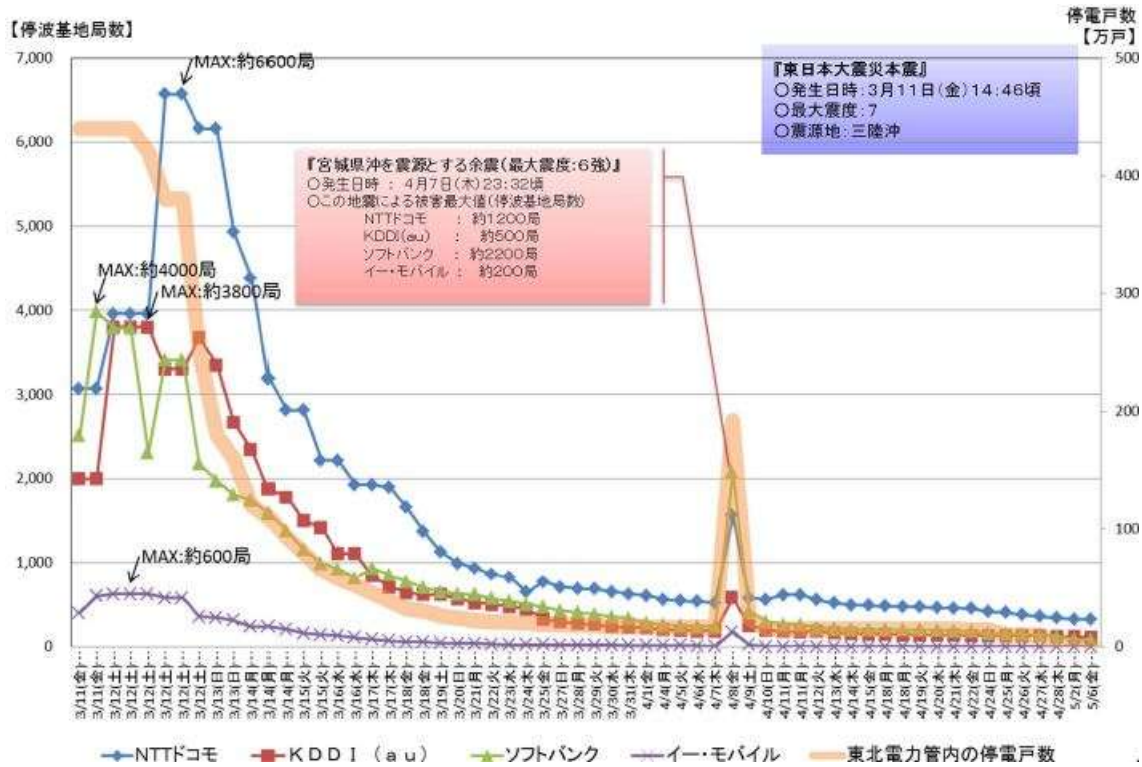


Fig.2.3 携帯電話基地局の停波基地局数の推移 [3]

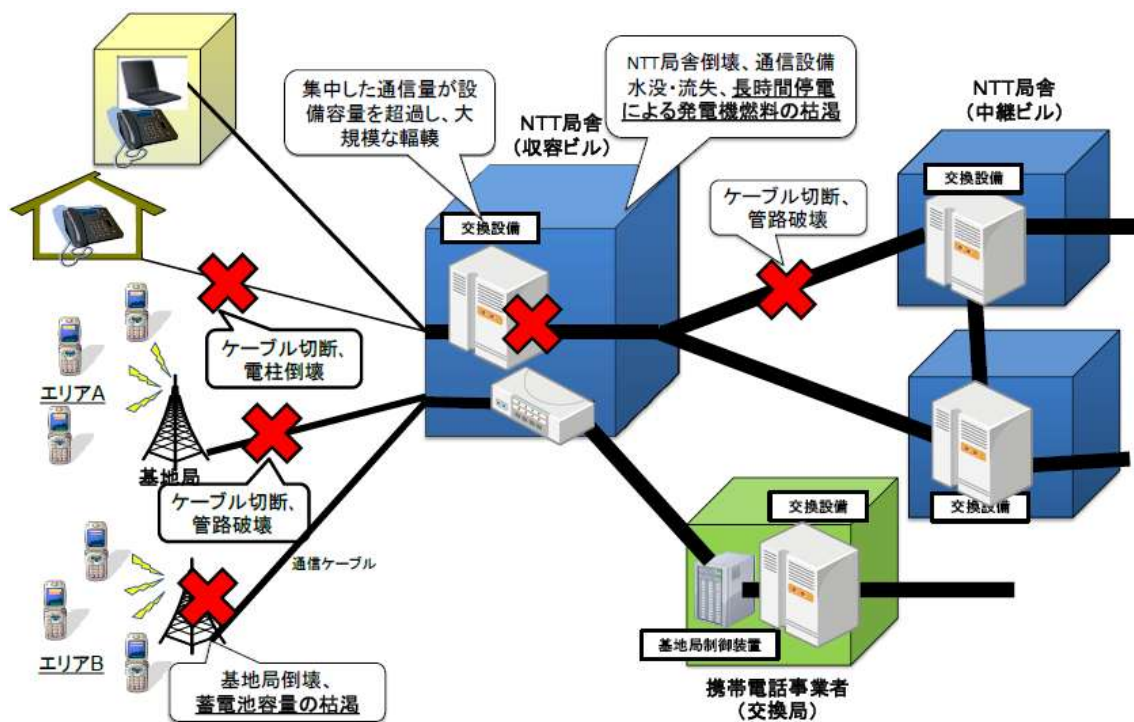


Fig.2.4 通信設備の被害状況とその要因 [2]

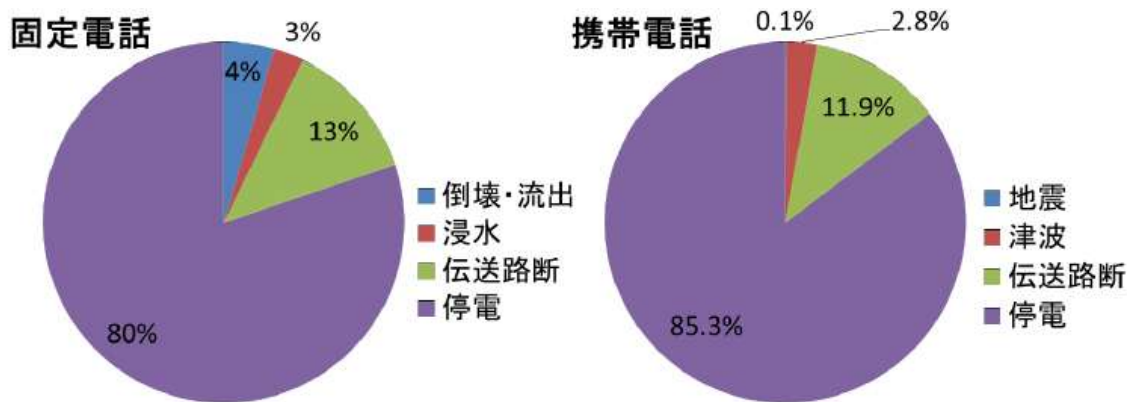


Fig.2.5 通信設備の被害要因の割合 [2]

日本において移動体通信を提供する主な事業者である NTT ドコモ、KDDI、ソフトバンクは移動電源車を全国から集め、電源を確保するなどして、一時的に復旧した。その後、商用電源の復活などを経て本格的に復旧している。

また、地震以外の自然災害においても、平成 23 年台風第 12 号では、紀伊半島を中心に孤立地域が発生した。ここでも、Fig.2.6 に示すように主に停電や伝送路断が原因で通信が途絶えた。[5]

台風12号等における被害

○主な電気通信事業者からの報告に基づき、通信ビルや基地局等の被害の要因を分析した。
 ○NTT西日本を除き、各事業者とも、最も大きな被害要因は「停電」、次いで「中継伝送路の切断」となっている。

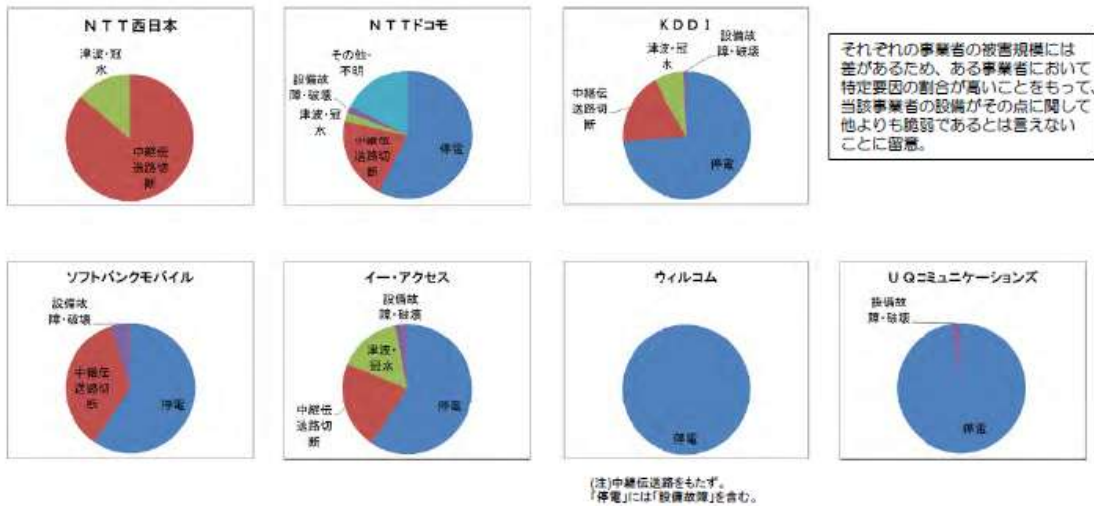


Fig.2.6 台風12号等による被害 [5]

各社とも今回の教訓を基に今後の災害に対する対策がなされており、NTTドコモを例にとると^[4]、最大6,720の基地局が動作を停止したのに対し、商用電源の停電とバッテリー切れの問題に対しては、ビル等に設置してある約800の基地局において発電機を用いた電源無停電化、約1,100の鉄塔基地局においては蓄電池の24時間化を行い、人口カバー率65%の達成を対策とし、また、人口集密地の通信を確保するために、全国約100ヶ所(都道府県ごとにおよそ2ヶ所、東京は5ヶ所、大阪は4ヶ所)に通常の基地局とは別に、Fig2.6のような大ゾーン基地局を設置し、人口カバー率35%の達成を対策として挙げた。また、情報のネットワークへの入り口となるエントランス回線の断絶の問題に対しては、マイクロ波無線による伝送路確保、衛星回線や無線回線による二重化などの対策を行っている。

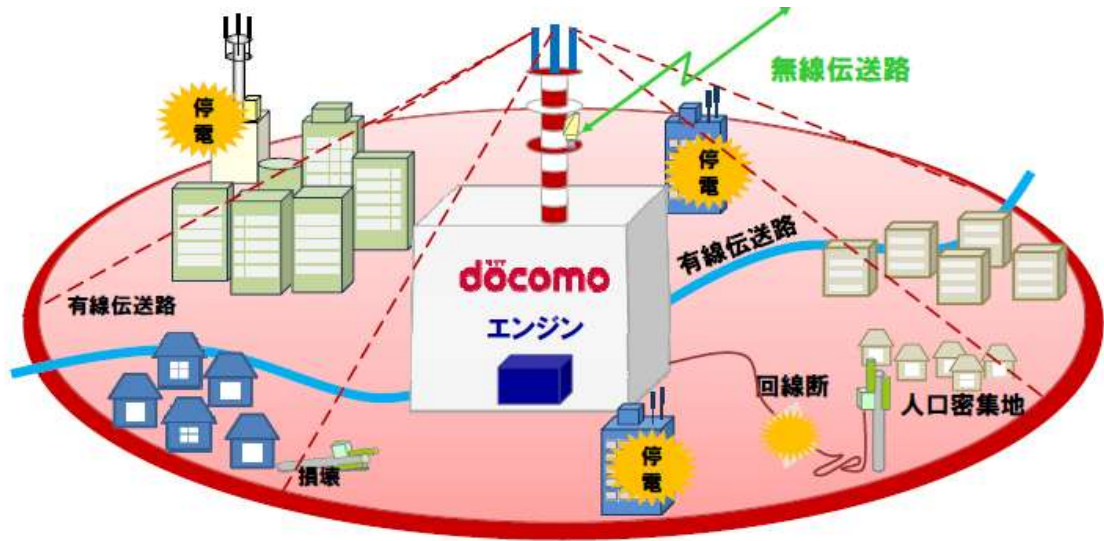


Fig.2.7 大ゾーン基地局 [4]

2.2 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーとは、自然によって利用する以上の速度で補充生成されるエネルギーで、半永久的に発電ができるエネルギーを指し、本研究で用いる太陽光、風力の他に、小水力、地熱、バイオマス等がある。

太陽光は 1 日の中で、昼夜の変動が大きく、風力は年間を通じて変動が大きい。どちらも季節変動がある。小水力は、大規模な開発が不必要な数百 kW 未満の発電規模の水力発電であり、安定性は高いが、定期的なメンテナンスの必要があり採算性が低い。地熱は天候、季節、昼夜によらず安定した出力が得られるが、初期開発コストが高い。バイオマスは現生生物由来の再生可能な資源であり、木質チップやメタンガスなどの形を経て利用されている。

再生可能エネルギーを通信機器の電源として導入したものとして、KDDI によって実証実験が行われている Tribrid 基地局がある^{[6][7]}。

Tribrid 基地局は太陽光発電を電源の一部に用いた移動通信用基地局である。Tribrid という名は、電源として①商用電源、②太陽光パネルにより発電した電源、③深夜電力で蓄電機に蓄えた電源の 3 つを利用して稼働することによるものである。

これにより従来の基地局と比較して消費電力の 20~30%削減を達成した^[6]。

Tribrid 基地局の外観を Fig.2.7 に、Tribrid 基地局によるエネルギー削減の様子を Fig.2.8 に示す。



南側



北側

Fig.2.8 Tribrid 基地局 [7]

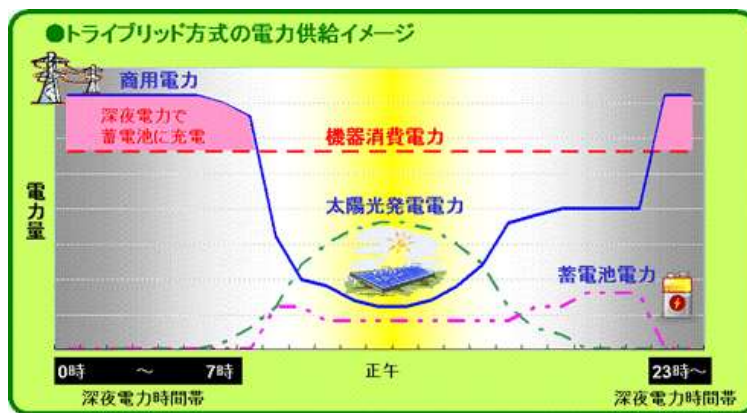


Fig.2.9 Tribrid 基地局によるエネルギー削減 [7]

2.3 メッシュネットワーク

無線 LAN の普及に伴い、そのアクセスポイントを、メッシュ状をはじめとする形状で張り巡らせることで、地域全体で使えるようにする広域無線 LAN のシステムに注目が集まっている。本節では本研究で想定するネットワーク基盤とするメッシュネットワークを紹介する。

今日、無線 LAN や携帯電話などのネットワークの普及に伴い、至る所でネットワークに

接続することができる。しかし、設定や契約が必要であったりして、必要な時にネットワークへの接続を確保できないことも多い。

また、その公衆無線 LAN や携帯電話のネットワークは地上の交換機や基地局に基づいているため、それらの機器における障害により通信が確保できないという事態が生じる。先に述べた 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震においては、NTT だけでも最大約 150 万回線の固定接続、約 6,700 の移動無線局でサービスが提供できない事態となった²⁾。

その状況下では、無線通信機能を持つ機器同士が自律的にネットワークを構成し、他の機器を介しながら情報をリレーして通信を行い、その中にインターネット接続できる機器が存在すれば、その機器を通してネットワークに接続できると有用である。

上述したような機能を持つ、網の目(メッシュ)状等の形状を取るネットワークをメッシュネットワークという。以下でその特徴を詳しく見ていく。

無線 LAN では、アクセスポイント(AP)と端末の間を無線化しているが、AP 同士は有線でバックボーンに接続されている。

これに対し、メッシュネットワークでは、AP を含めた無線通信機能を持つ機器同士が無線でトラフィックをリレー (ホップ) してデータ通信を行うことで巨大なネットワークを形成し、一部の AP だけがバックボーンに接続されていればよい。

メッシュネットワークの利点として、通信経路を複数確保する冗長化によって、耐障害性を高く、トラフィックの負荷を分散させることができることによる信頼性の向上、通信距離を短くすることができるため通信速度が下がらず、消費電力も抑えることができること、また周波数の空間的利用によるネットワーク容量の増加、ネットワークの自動構成による通信エリアの拡大などが挙げられる。

2.3.1 メッシュネットワークの構成要素

メッシュネットワークにおいて、以下の 4 種類のノードを定義する。

・ MP(Mesh Point)

無線 LAN メッシュネットワークを構成するために必要なメッシュ機能を実装したノードであり、STA は収容しない。ソフトウェアによって実現でき、PC や情報家電、AP、携帯端末等を実装される。

・ MAP(Mesh Access Point)

MP のメッシュ機能と AP の機能を実装したノードで無線 LAN メッシュネットワークを構築するだけでなく、メッシュ機能を実装していない無線 LAN 端末である STA からの接

続も収納する。

- MPP(Mesh Portal Collocated with a Mesh Point)

メッシュ機能と、無線 LAN メッシュネットワークから他のネットワークへ相互接続するためのゲートウェイ機能を実装したノード。

- STA(Station)

メッシュ機能を有さない従来の無線 LAN 端末。

メッシュネットワークの構成を Fig.2.9(c)に示す。比較として、(a)は無線アドホックネットワーク、(b)は無線 LAN のインフラストラクチャモードを示す。

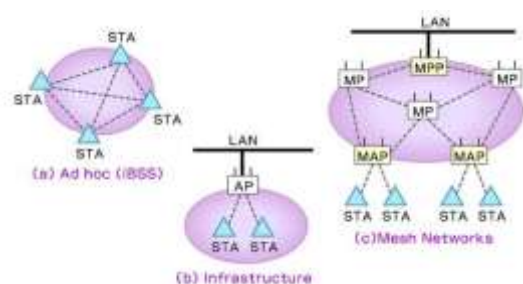


Fig.2.10 メッシュネットワークの他ネットワークとの構成の比較 [8]

2.3.2 メッシュネットワークの特徴

メッシュネットワークは以下の 3 つの特徴を主に有する。

- ① 自己形成機能(Self-organizing function)

無線メッシュネットワークを構成するノードは自ノードの電波到達範囲にある他の通信ノードを発見し、その相手との通信経路を確立することができる。

- ② 自己修復機能(Self-healing function)

無線メッシュネットワークを構築するノードはネットワーク内で発生した障害により、確立されている通信経路に変更が生じた場合でも、新たな通信経路を確立することができる。

- ③ マルチホップ機能(Multi-hop function)

無線メッシュネットワークを構成するノードは、自ノードのデータだけでなく他ノード間のデータを中継する機能を持つ。

2.3.3 標準化とアーキテクチャ

メッシュネットワークは、IEEE802.11s で標準化され、ルーティングプロトコルとして RM-AODV(Radio Metric-Ad-hoc On-demand Distance Vector)が用いられている。

IEEE802.11s によって標準化されているメッシュネットワークのアーキテクチャを Fig.2.10 に示す。

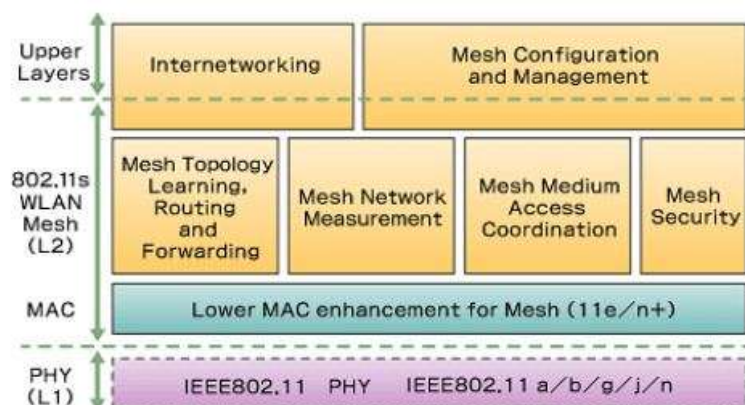


Fig.2.11 メッシュネットワークのアーキテクチャ [9]

・ Mesh Topology Learning, Routing, and Forwarding

同一メッシュネットワークに参加する近接ノードの発見機能、無線リンクの品質情報である無線メトリックを取得する機能、MACアドレスを識別子としてユニキャスト・マルチキャスト・ブロードキャストパケットを所定の宛先まで転送する経路を決定するルーティングプロトコル、およびパケット転送機能を持つ。

ルーティングプロトコルは、単一无線チャンネルで構成されるネットワークで最低限の動作を保証する必要があるが、無線リソースを有効活用して、複数の無線チャンネルを同時に利用することによる高度化も可能である。ネットワークの規模は 32 台の MP の収容を想定している。

・ Mesh Measurement

ルーティングプロトコルに利用される無線メトリック、およびチャンネル選択やメトリック計算等に用いられる無線 LAN メッシュネットワーク内の無線状況を測定する機能を提供する。ルーティングプロトコルは様々なメトリックに対応することが可能であるが、無線情報を反映した無線メトリックを少なくとも一つは実装する必要がある。

・ Mesh Medium Access Coordination

互いに電波が届かない場所に位置し、相手の通信状況が把握できない隠れ端末同士が同時に送信したパケットが衝突して通信品質を劣化させる隠れ端末問題や、近隣の端末が通信中のため送信が抑制される晒し端末において送信が抑制されるため、所要のスループットを確保できず、通信品質を劣化させる晒し端末問題による劣化を回避する機能や、優先制御、通信の混雑である輻輳制御、受付制御、周波数の空間的再利用を実現する機能等を提供する。

• Mesh Security

無線 LAN メッシュネットワーク上で転送されるデータフレームと、ルーティングプロトコル等の制御機能に用いられるマネージメントフレームを保護するセキュリティ機能を提供する。本機能は、無線 LAN のセキュリティ方式を規定している IEEE802.11i の利用を想定する。

• Interworking

無線 LAN メッシュネットワークは、他ネットワークとの相互接続性、および上位層に対するインタフェースを提供する。

有線イーサネットに代表される IEEE802 標準規格の一部である無線 LAN メッシュネットワークは、IEEE802 のネットワークアーキテクチャに準じる必要がある。このため、他のネットワークと接続するには、ネットワーク境界に位置する MPP にトランスペアレントブリッジの機能を実装し、また、各無線 LAN メッシュネットワークは送信パケットを LAN に接続するすべての端末に配信するブロードキャストのネットワークとして動作する必要がある。

• Mesh Configuration and Management

無線 LAN メッシュネットワーク内の各 MP における RF パラメータの自動設定、チャネル選択、送信電力制御、QoS ポリシーの管理、MP 間の時刻同期等に利用されるインタフェースが提供される。

2.3.4 災害時にメッシュネットワークを用いる研究例

2.3.4.1 山古志ねっと^{[10][11]}

新潟大学、間瀬憲一教授を筆頭に研究が行われている、山間部において孤立しないことを

目的とした通信インフラを提供する山古志ねっとの概要を Fig.2.10 に示す。山古志ねっとは無線メッシュネットワークで旧山古志村に点在する集落を結ぶものである。集落内では、集落をカバーするようにアクセスポイントを配置し、アクセスポイント間はモバイルアドホックネットワークで接続し、数か所の離れた集落同士は WiMAX で接続する。通常はコミュニティネットワーク、デジタルデバイド解消のためのインターネット接続、遠隔医療等に使用し、災害時には安否確認、外部からの災害状況のモニタリングに利用できる。山古志ねっとは中山間地に経済的に展開・構築し、災害に強いネットワークを構築できる。

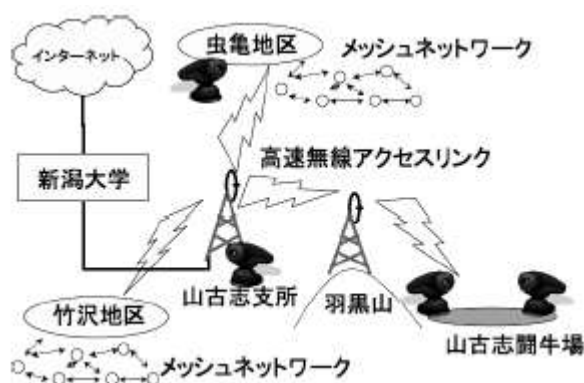


Fig.2.12 山古志ねっどの概要 [11]

2.3.4.2 SKYMESSH [11] [12]

同じく新潟大学、間瀬憲一教授を筆頭に研究が行われている、災害時に気球を使って通信インフラの提供を行うスカイメッシュ基地局の概要を Fig.2.11 に示す。スカイメッシュ基地局は災害直後から 1 週間程度の通信サービスが停止している期間に、無線メッシュネットワークを用いた臨時のインフラを提供するものである。気球に無線 LAN の中継局を搭載し、高さ 50~100m に設置することで、通信の長距離伝送を可能とし、必要に応じて地上にも中継局を設置して、これらの中継局と無線メッシュネットワークで接続することで臨時のインフラを構築する。課題として外部の通信は衛星で行っており接続確保に時間がかかることや、電源は係留したケーブルから有線で供給されることによる電源確保の制限等、運用上の問題がある。

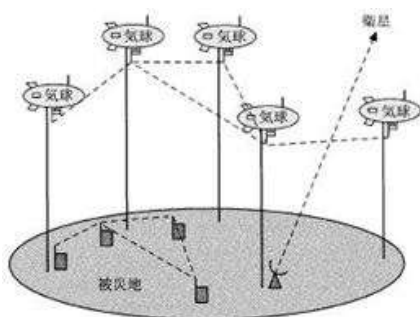


Fig.2.13 SKYMESH 基地局の概要 [12]

2.4 スマートフォンの普及により増大するトラフィックの対策

災害時において再生可能エネルギーを用いて停電時の通信機器の電力を確保しようとする本研究であるが、平常時にも稼働させておく利点として、再生可能エネルギーを用いることによる商用電源から購入する電力の削減、山間部の固定回線を引くのが困難な地点への経済的なネットワークの導入によるデジタルデバイドの解消や、スマートフォンの普及により増大するトラフィックを無線から有線に逃すオフロード処理がある。本節では予測されるトラフィック推移について述べ、増大するトラフィック処理の必要性を示す。

インターネット上を流れるデータの情報量であるトラフィックについて、ITU-R M2023 報告書を基にした KDDI によるトラフィック推移の予測を Fig.2.12 に示す。Fig.2.12 ではトラフィックが 7 年で 8 倍程度になるという推定が示されているが、試算としては 2025 年には現在の 100~200 倍ものデータ量がインターネット上を行き交うだろうという推計もある[6]。

そのため、増加する無線トラフィックを有線に逃すことで処理する必要がある。実際にフェムトセルや公衆無線 LAN 等を用いた対策がなされており、本研究で想定する広域無線 LAN メッシュネットワークも、平常時は通常の無線 LAN として有線網に直接つながりトラフィックを逃すことによるトラフィック対策ができると考えられる。

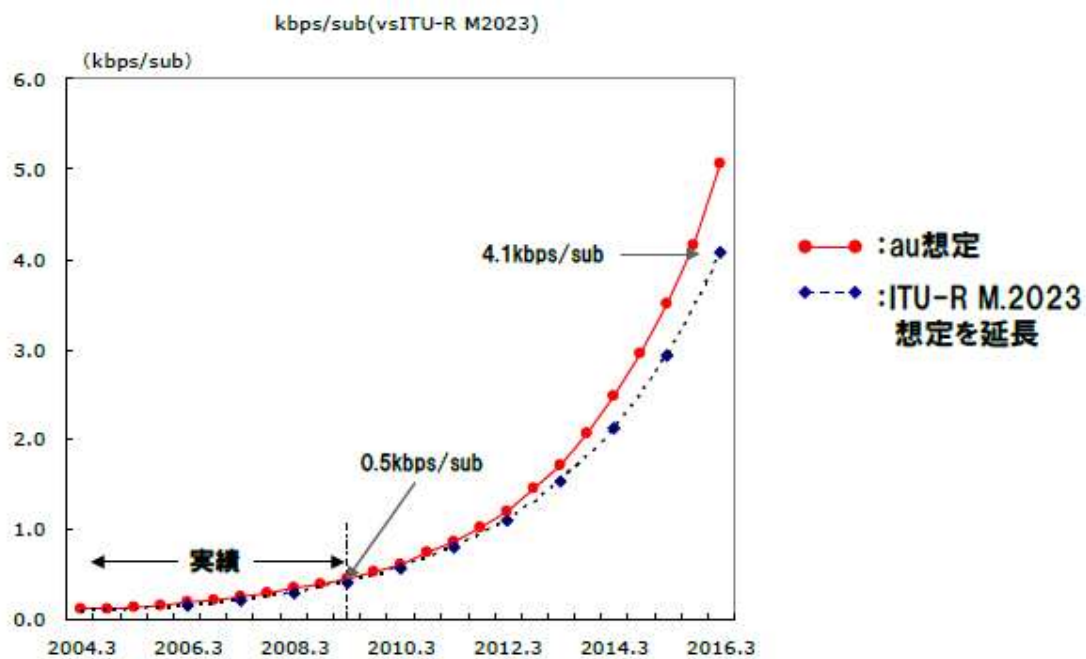


Fig.2.14 携帯電話によるトラフィック推移の予想 [13]

第 3 章

電源構成の最適化

3.1 データ解析および電源構成の最適化に用いる手法

3.1.1 想定する電源構成

想定するネットワークインフラストラクチャは、平常時は通常の無線 LAN アクセスポイントとして有線網に直接つながることで、大きくなりつつある通信トラフィックを有線通信網に逃すことでさばき、非常時はメッシュネットワークの無線マルチホップ機能により通信路を確保するものである。

また、電源については、太陽光パネルや風力発電機のような再生可能エネルギーの電源を備える。この際、平常時は商用電源を主な電源とすることも考えられるが、太陽光パネルや風力発電機は設置コストの割合が大きく、どうせ設置するのであれば十分大きな容量の発電設備を設けた方がコスト的に有利なのではないかと考え、ここでは通信機器に必要な電力を全て再生可能エネルギーでまかなうことを考える。

電源構成は再生可能エネルギーの発電機と、変動を吸収するための蓄電池をメッシュネットワークの通信機器に取り付けるものとする。

メッシュネットワークの通信機器(ノード)として、想定するものは最大消費電力 8W のものとする。(参考 URL: <http://www.ibt-j.co.jp/portandharbor/wireless.html>)

通信機器の動作に必要な全ての電力を従来通り商用電源で賄うとすると、例えば東京電力管内において 10 年間で 27,000 円程度の電気代がかかることとなるため、再生可能エネルギー源の設備コストがこれよりも安ければコスト的に有利と考えられる。さらに余剰電力を売ることを考えれば、設備コストがさらに高くてもペイする可能性が考えられる。

電源として用いる再生可能エネルギーとして太陽光と風力を考える。それぞれ単独で、また併せて用いた際の設置コストを最小化する。電源の設置コストは太陽光パネルおよび風力発電機と蓄電池のコストで構成される。

BS(Broadcast Satellite)放送のように特定の日、夜間サービスを停止するサービスも存在し、再生可能エネルギーの出力変動により、夜間運用を停止しても影響は少ないと考えられるため、事前に停電許容時間を定め、その時間内なら停電を許容するという場合も考え、必要な構成がどの程度少なくなると考えられるかについても検討する。

3.1.2 解析に用いたデータ

3.1.2.1 測定によって得られたデータ

最適な電源構成を検討するに当たり、コストを最小とするために必要な発電機および蓄電池の大きさを求めるのに再生可能エネルギーの発電量を基に分析を行った。

本研究では実際の再生可能エネルギーによる発電量を測定するため、2012年12月20日から2013年1月27日にかけて研究室のある東京大学工学部12号館屋上に風力発電機(定格300W)、太陽光発電機(定格50W)、蓄電池、需給調整と交直変換、及びデータの記録に用いるコントローラからなるシステムと、水平設置した日射計、また風速計を設置し、発電量と日射量を測定した。測定間隔は、発電量は10秒間隔、日射量は、12月は30秒間隔、1月は60秒間隔、風速計は60秒間隔とした。

今回の測定は、発電量を測定した期間が短く、また途中雨によるショート等による不具合も生じてデータが欠損していたため、年間変動、場所変動を見るためにも、3.1.2.2で示す外部から入手した発電データ、及び購入した気象データを用いて、データの解析を行うものとした。

そこで、この測定で得られたデータは水平設置した日射量と太陽光パネルで得られた発電量を、設置角度の問題は考えずに、日射量から電力への変換関係として用いた。

また、風力発電に関するデータも取ったが、今回の測定期間では発電に十分な風の吹く時間が少なく、風力発電機では1日数Wh程度とほとんど発電量がなかったため、有効な発電量データが得られなかった。

よって、風力発電においては、東京大学第二本部棟に設置されている定格2.5kWの風力発電機^[15]のデータを用いて、風速から電力への変換関係を求めた。

測定設備を構成し、設置している際の様子を Fig.3.1 に示す。



Fig.3.1 測定設備の構成

3.1.2.2 解析に用いた外部データ

風力は東京大学第二本部棟に設置した定格 2.5kW の風力発電機^[15]によって得られた 2011 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日までの 10 分間隔の風速と電力のデータを、風速と発電電力の変換関係を求めるのに用いた。また、実測の発電量のデータとして分析にも用いた。

分析するデータとして、東京の太陽光発電に関しては気象業務支援センターから購入した 2011 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日の地上気象観測 1 分値データ中の全天日射量による日射量データを東京大学工学部 12 号館屋上に設置した太陽光パネルと日射計によって得られた発電量と日射量の対応関係によって変換し、太陽光による発電量のデータとして用いた。

また、地域差を見るために 2007 年 1 月 1 日から 2007 年 12 月 31 日の稚内と宮古島においても、同様の 1 分間隔の気象データを入手し、こちらは風速と全天日射量の両方について 3.1.3 に述べる手法により、風力と太陽光による発電量に変換し、分析を行った。

3.1.3 で示す気象データから発電量への変換関係を用いて、変換で用いた定格による発電機を用いた場合の、各地(東京、稚内、宮古島)の 1 年間の総発電量の平均として求めた 1 時間

当たりの平均発電量を Table.3.1 に示す。

Table.3.1 各地(東京、稚内、宮古島)の 1 時間の平均発電量

[Wh]	東京	稚内	宮古島
風	12	68	78
太陽	10	12	15

3.1.3 気象データから電力への変換

実際の発電データが得られた東京の風力以外は、実際の気象測定データを電力に変換し、解析に用いた。

日射量から発電電力への変換は、Fig.3.2 に示される 1 次近似した関係を用いた。求める際に用いたデータは東京大学工学部 12 号館に測定設備を組んだ太陽光パネル(定格 50W)による発電量と日射量のデータである。

太陽光パネルによる発電量のデータは時間によりデータの欠損が生じ、日射量のデータとの時刻の同期が完全にとれていなかったことに注意が必要である。

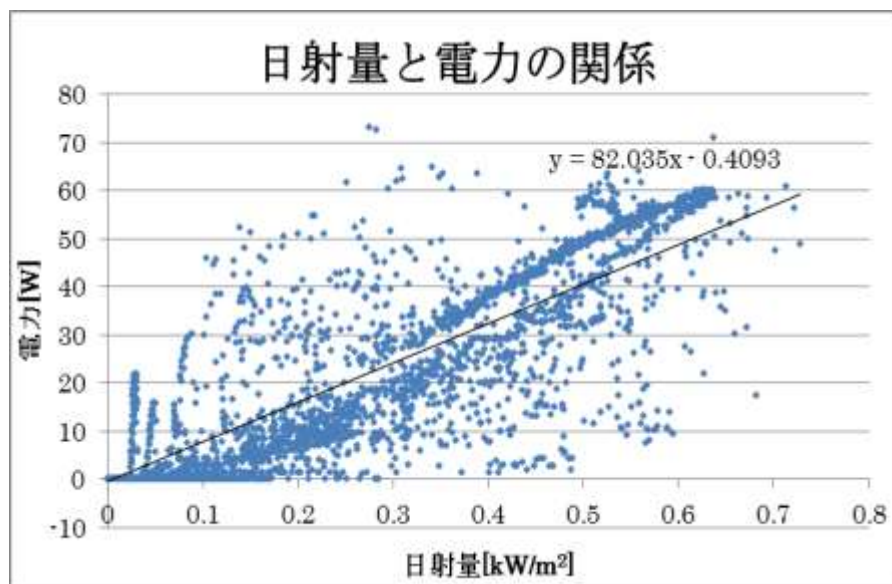


Fig.3.2 日射量と電力の関係

風力発電について、風力と電力の関係と、本来電力は風速の 3 乗に比例することから、3 次近似した変換曲線を示したものを Fig.3.3 に示す。求める際に用いたデータは東京大学第

二本部棟に設置された風力発電機(定格 2.5kW)で測定した風速及び発電のデータである。風速 8m/s 以上では騒音対策のため、出力にブレーキをかけているようである点に注意が必要である。

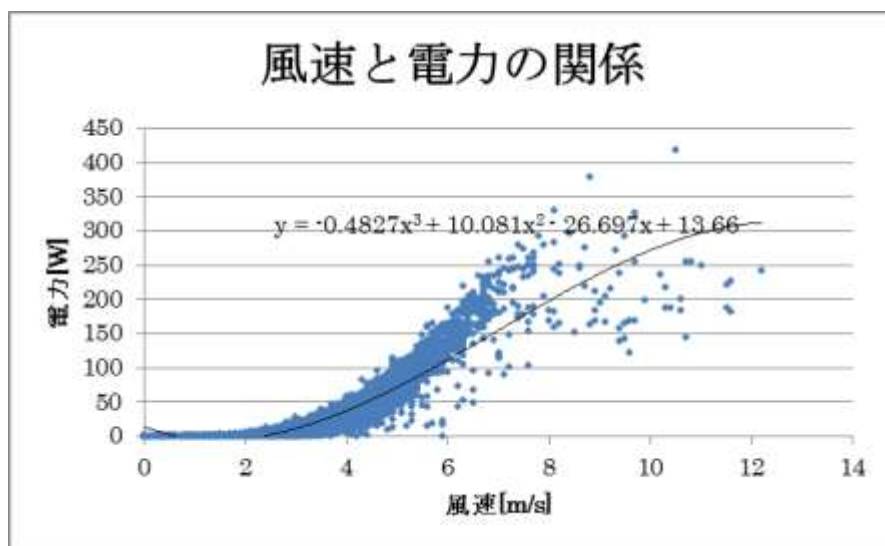


Fig.3.3 風速と電力の関係

3.1.4 コストの推定

設置コストを見積もるために、2013年時点で市場に売られている太陽光パネル、風力発電機、蓄電池の定格、容量と価格の関係をプロットし、その傾向を用いて必要な電力量を発電することのできる定格の発電機に対するコストを近似的に算出した。市場の商品はamazon (<http://www.amazon.co.jp/>)で2013年1月当時売られていた検索上位320件の商品から該当するものを抽出して用いた。

抽出点とその1次近似を示した太陽光パネルのコスト近似直線を Fig.3.4 に、風力発電機のコスト近似直線を Fig.3.5 に、蓄電池のコスト近似直線を Fig.3.6 に示す。

風力発電機については、サンプル点が少なく、加えてサンプルの定格が比較的大きいものに偏っているため、定格が小さいものに関しては正しい近似ができていないことに注意が必要である。

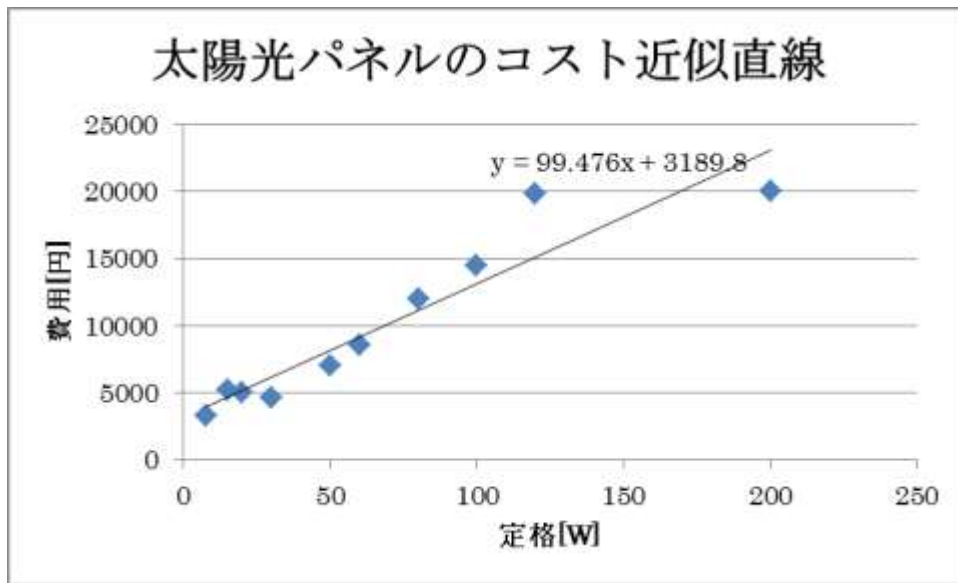


Fig.3.4 太陽光パネルのコスト近似直線

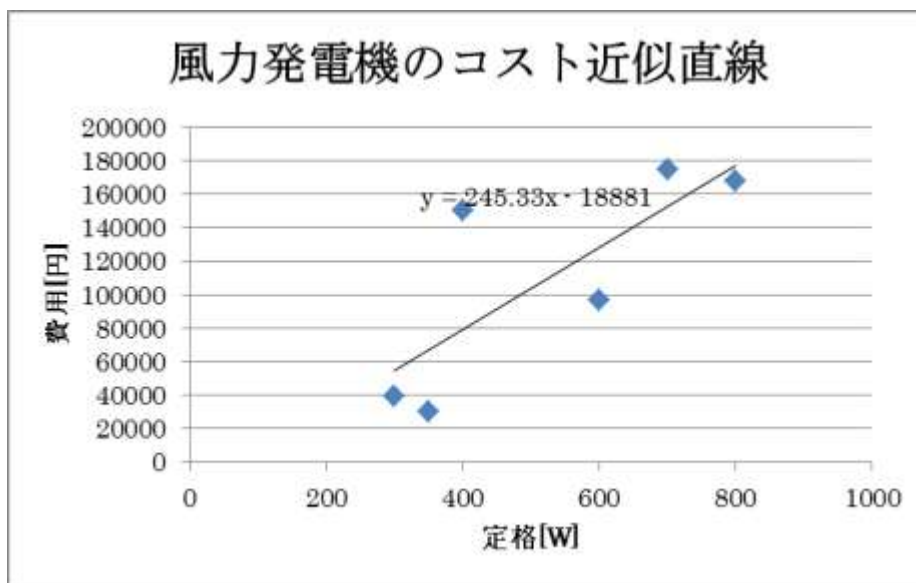


Fig.3.5 風力発電機のコスト近似直線

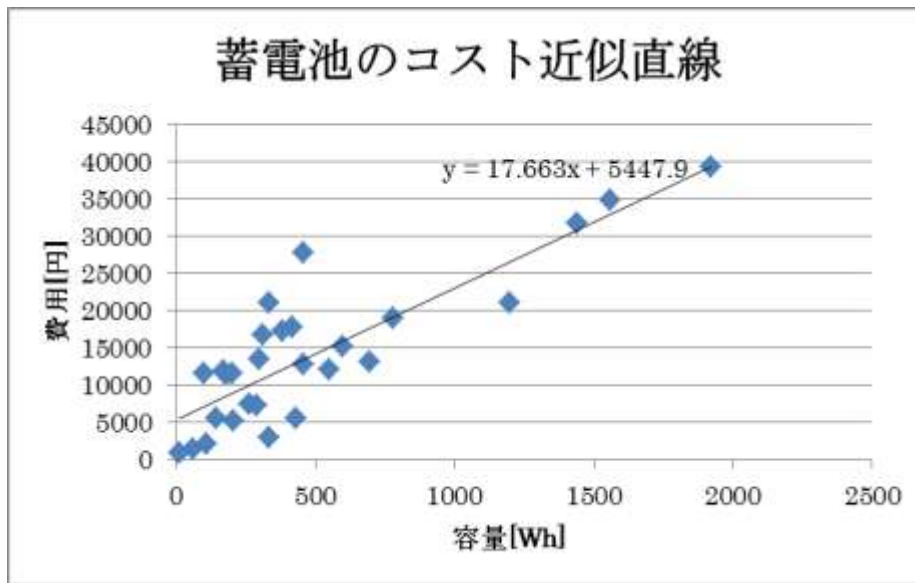


Fig.3.6 蓄電池のコスト近似直線

コスト算出に用いる発電機の定格は、気象データから発電量に変換する際に用いる発電機の定格に、求める地域の総発電量に対する必要な総消費電力量の割合を掛け合わせたものを用いた。

3.2 通信負荷に対して必要な発電機と蓄電池容量の検討

3.2.1 太陽光発電を用いる場合

通信機器の電源として用いる再生可能エネルギーに太陽光を用い独立稼働させる場合の、コスト最適となる構成を明らかにする。データの得られた地点ごとに1年間の変動に耐えて、通信機器に途切れなく電力を供給するのに必要な構成を求めた。

先にも述べたが、大きな災害において電源が復旧し、通信機器が再稼働するまでの時間は、被害が大きい地域では72時間程度であった。そこで、他の通信機器が復旧するまでの間に通信を行えるように最大連続停止時間として72時間まで許容した場合の構成についても求め、停止時間0の場合とコストが変わるかどうか比較した。

発電手段や地域ごとに、連続停止時間を許容した場合のグラフを凡例に示された曲線ごとに示す。

まず、東京における1日ごとの太陽光による発電量の、1年を通じた変動の様子を Fig.3.7

に示す。定格 50W の太陽光パネルを用いた場合の発電量で示す。1 日当たりの平均発電量を赤線で示した。

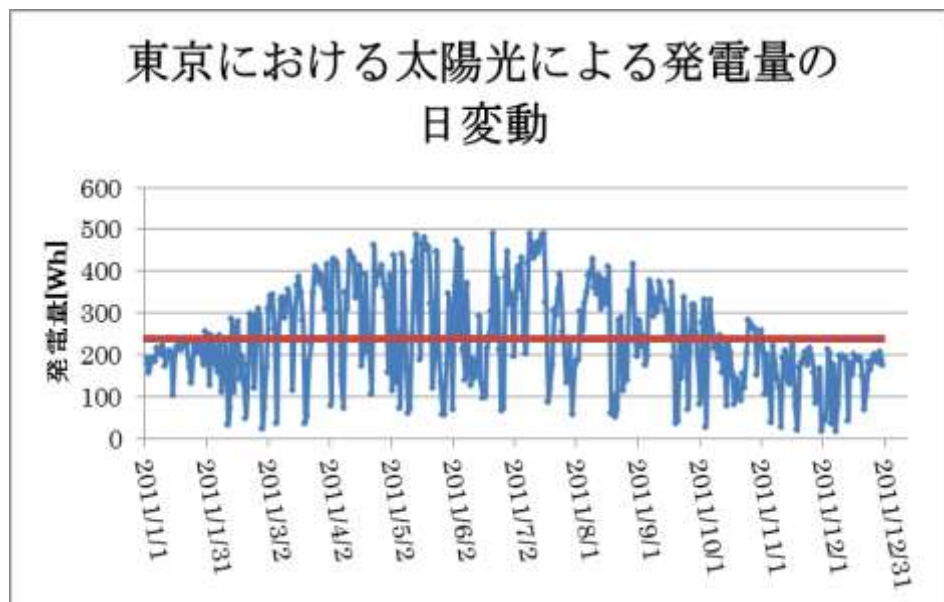


Fig.3.7 東京における太陽光による発電量の日変動

太陽光による発電量には大きく分けて、数日単位で変動時間の短い日変動と数か月単位で変動時間の長い季節変動があることが分かる。

データの分析にあたって注意した点として、今回は 1 年間分のデータで分析したため、そのデータが繰り返されると仮定して、データのはじめと終わりの蓄電池容量を同じとすることとした点がある。

Fig.3.8 に発電機定格に対して変動を吸収し、所定の許容停電時間とするのに必要となる蓄電池の容量の関係を示す。

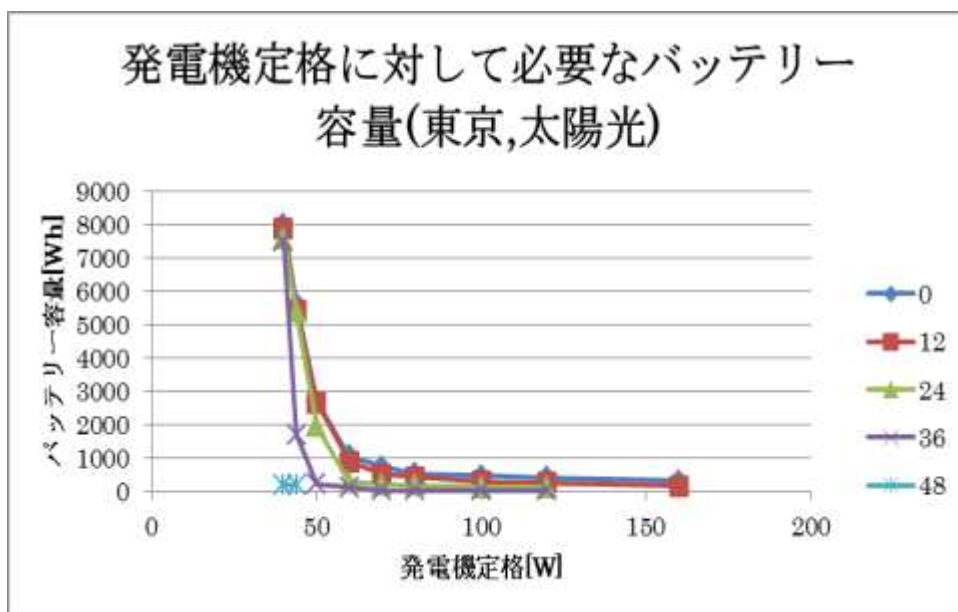


Fig.3.8 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量

細かい変動が見えやすいように、縦軸を対数表示したグラフを Fig.3.9 に示す。

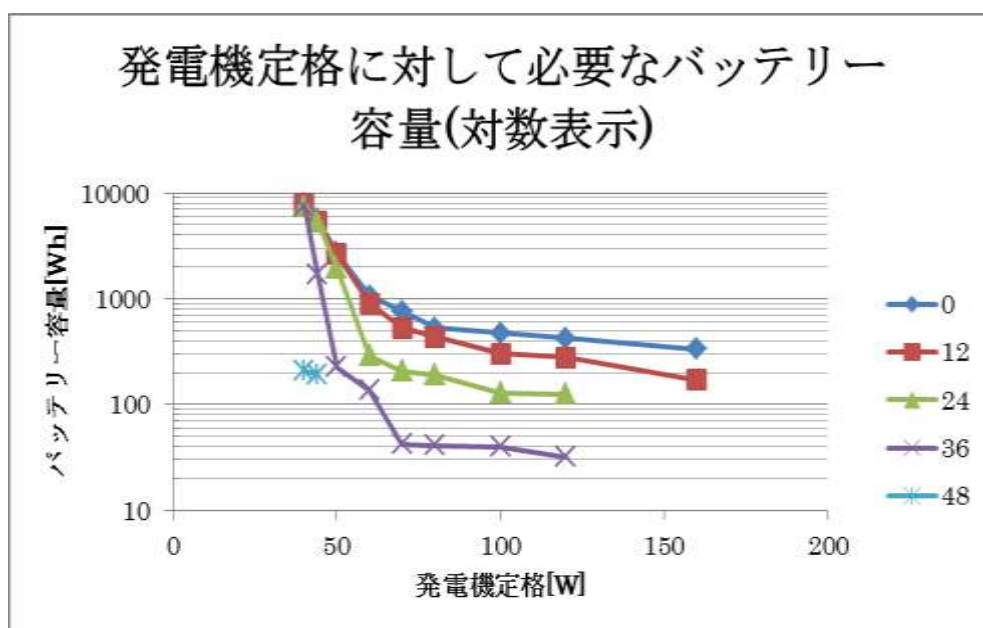


Fig.3.9 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量(対数表示)

傾きが途中で変化するが、それぞれ傾きが急な部分は発電量の日変動、緩くなる部分は発電機の季節変動を吸収するのに必要なバッテリー容量に対応しているものと考えられる。

Fig.3.10 に 3.1.4 のコスト推定法を用いてパネルと蓄電池のコストの和を求め、発電機定

格に対してプロットしたグラフを示す。

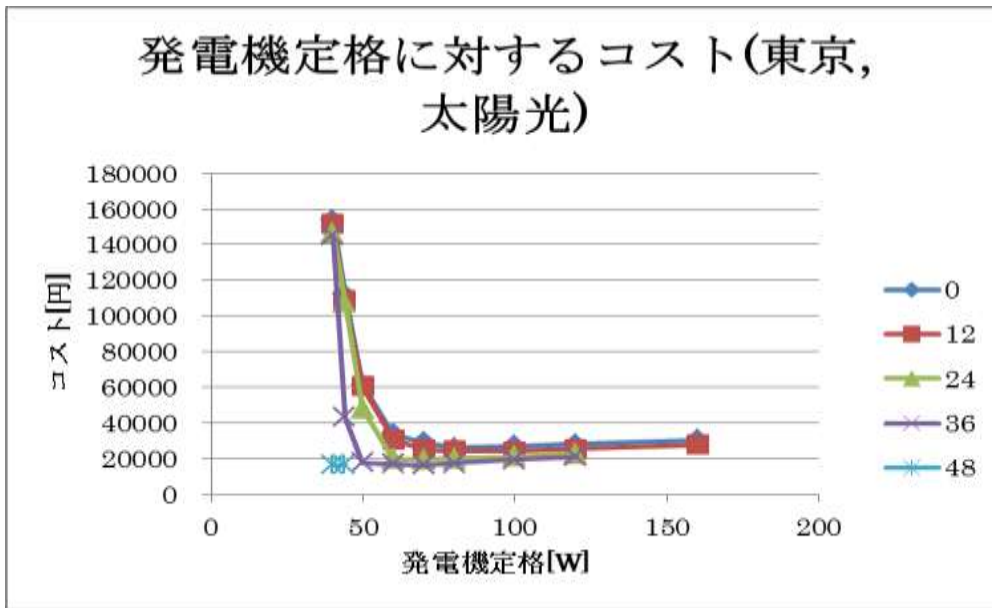


Fig.3.10 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト

最小値が見えやすいように、縦軸を対数表示したグラフを Fig.3.11 に示す。

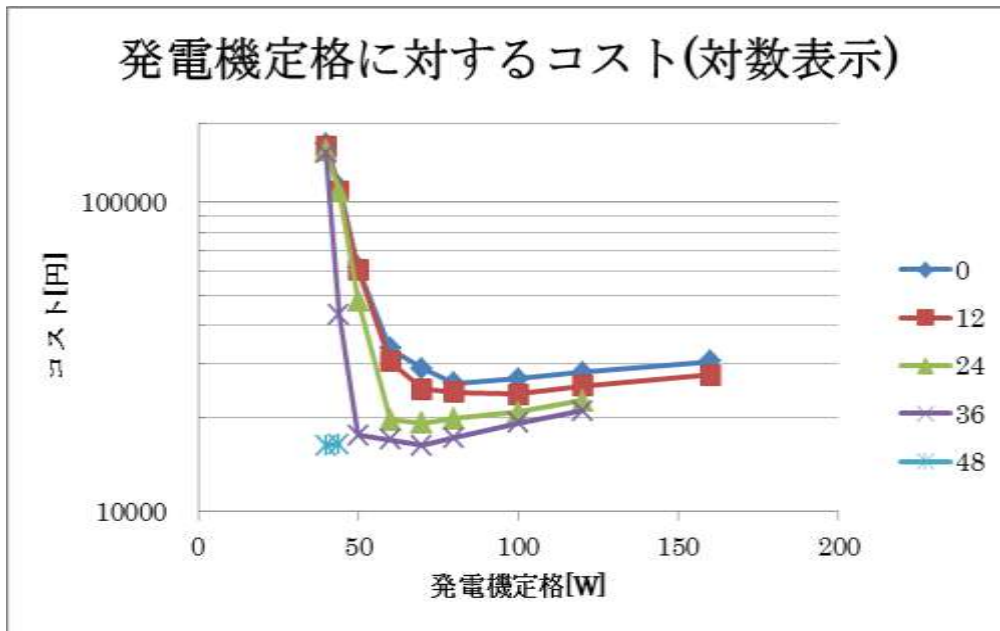


Fig.3.11 東京における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト(対数表示)

この結果から、東京の場合は消費電力の2倍、定格にして80Wの発電機定格を持つ太陽光パネルを用いるとき、コスト最小で約2.6万円となることが分かる。

この場合、増えた発電機に対するコスト以上に蓄電池に対するコストが減って全体のコストを抑えているため、一定の大きさの定格でコストが最小となっている。

なお、今回の検討は2011年の東京の気象データを基にしているため、今回提案した検討を以て、他の年でも100%稼働できると保証できるものではないことに注意が必要である。

停電時間については、この場合、多少許容しても必要なコストは大きく変わらないので、停電時間0を目指した方がいいと考えられる。

地点変動を見るため、稚内における気象データを解析した結果を示す。

まず、2007年の1年間を通した定格50Wの太陽光パネルによる発電量の日ごとの変動の様子をFig.3.12に示す。赤線は年間平均を表す。

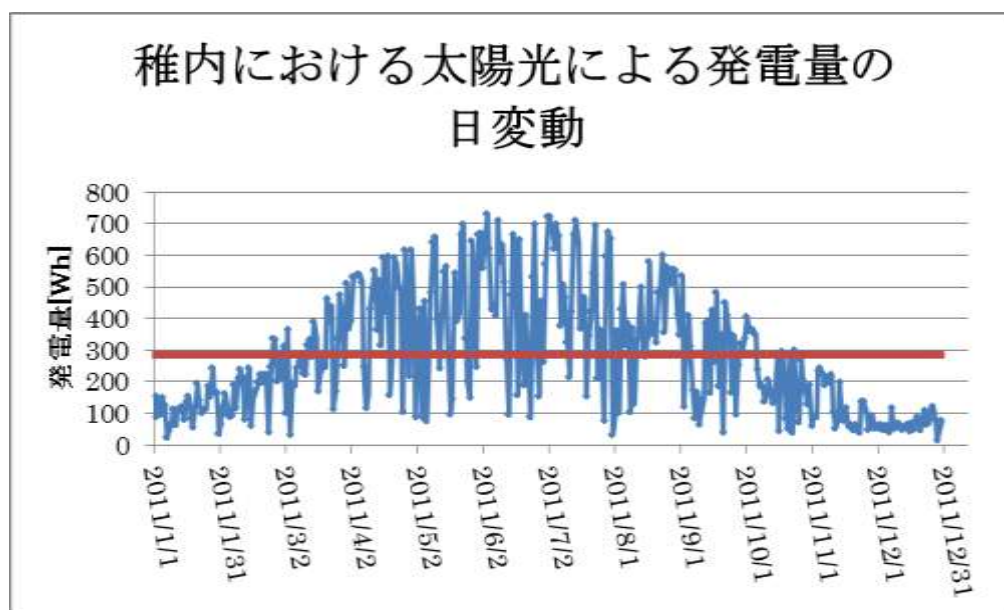


Fig.3.12 稚内における太陽光による発電量の日変動

次に、発電機の定格に対して必要な蓄電池の容量を Fig.3.13 に示す。

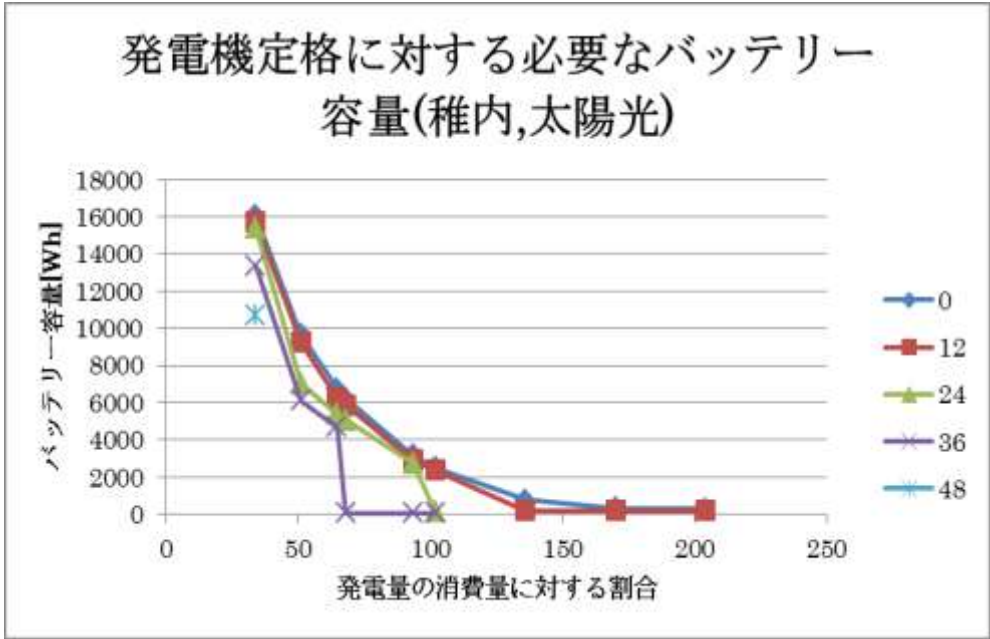


Fig.3.13 稚内における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量

また、発電機の定格に対して必要なコストの推移を Fig.3.14 に示す。

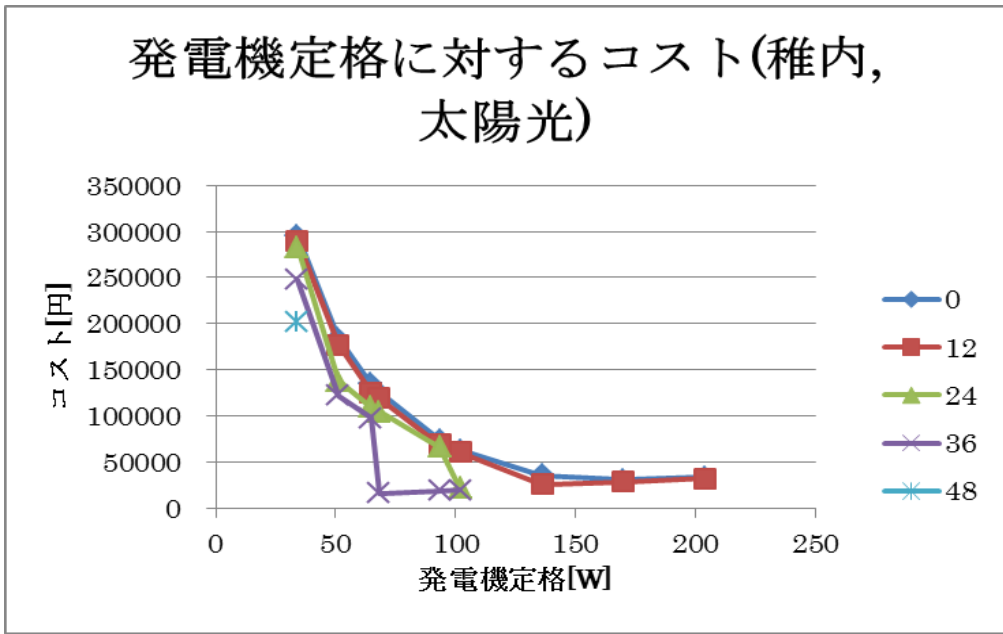


Fig.3.14 稚内における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト

稚内の場合には消費電力の 5 倍程度、定格にして 170W の発電機定格を持つ太陽光パネル

を用いるとき、コスト最小で約 3.1 万円となる。

最後に宮古島における太陽光の発電量の推移を Fig.3.15 に示す。

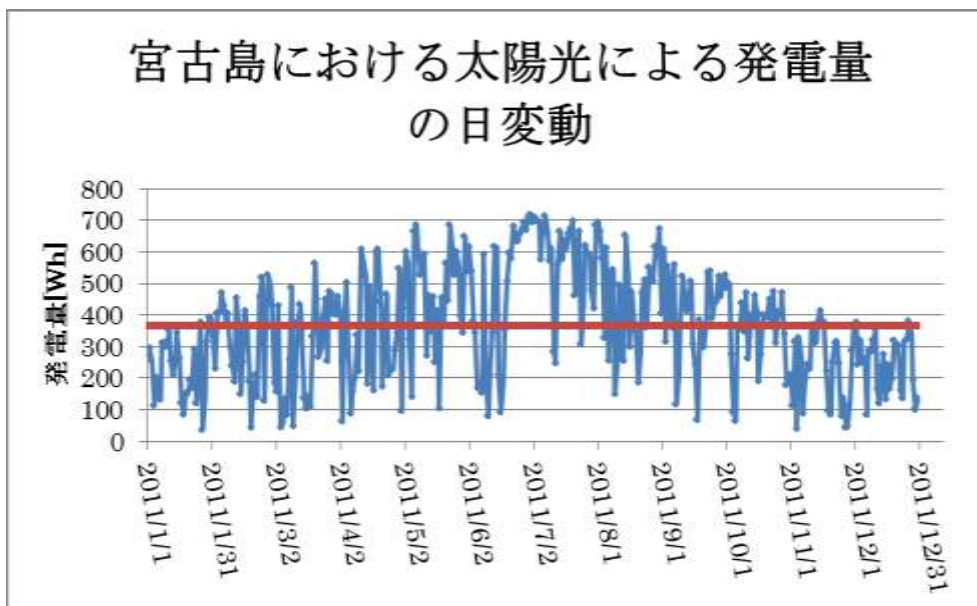


Fig.3.15 宮古島における太陽光による発電量の日変動

発電機定格に対して必要な蓄電池容量を Fig.3.16 に示す。

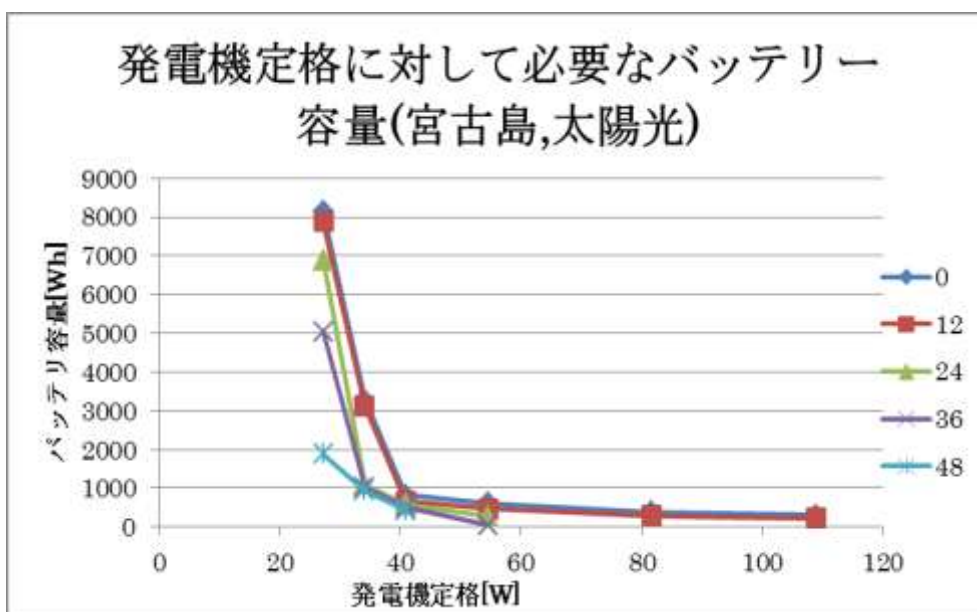


Fig.3.16 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量

蓄電池容量の推移を見やすくするために縦軸を対数表示とした結果を Fig.3.17 に示す。

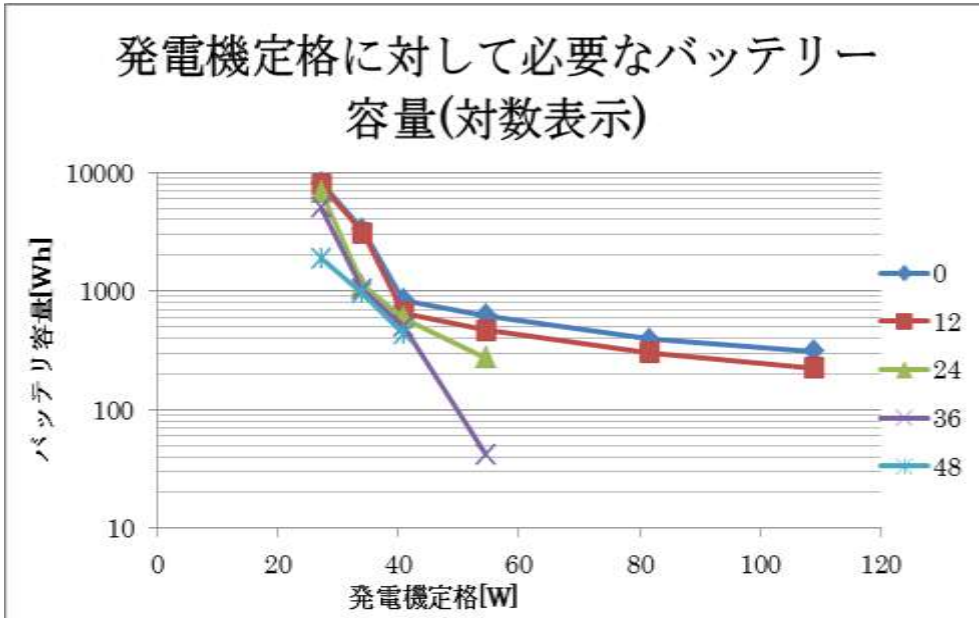


Fig.3.17 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なバッテリー容量(対数表示)

発電機定格に対して必要となるコストの推移を Fig.3.18 に示す。

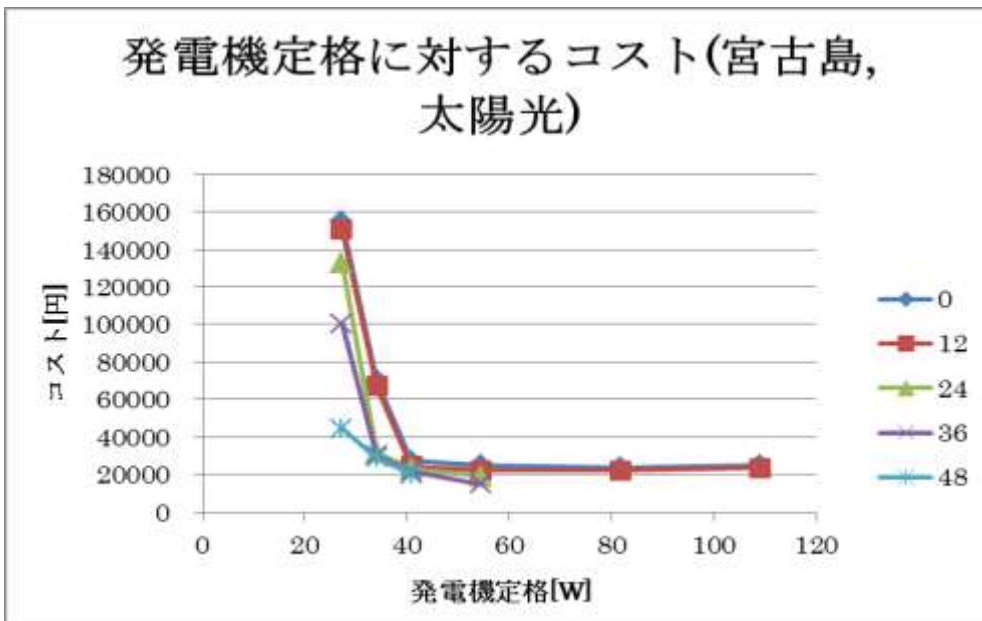


Fig.3.18 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト

コストの最小値を見るために縦軸を対数表示とした結果を Fig.3.19 に示す。

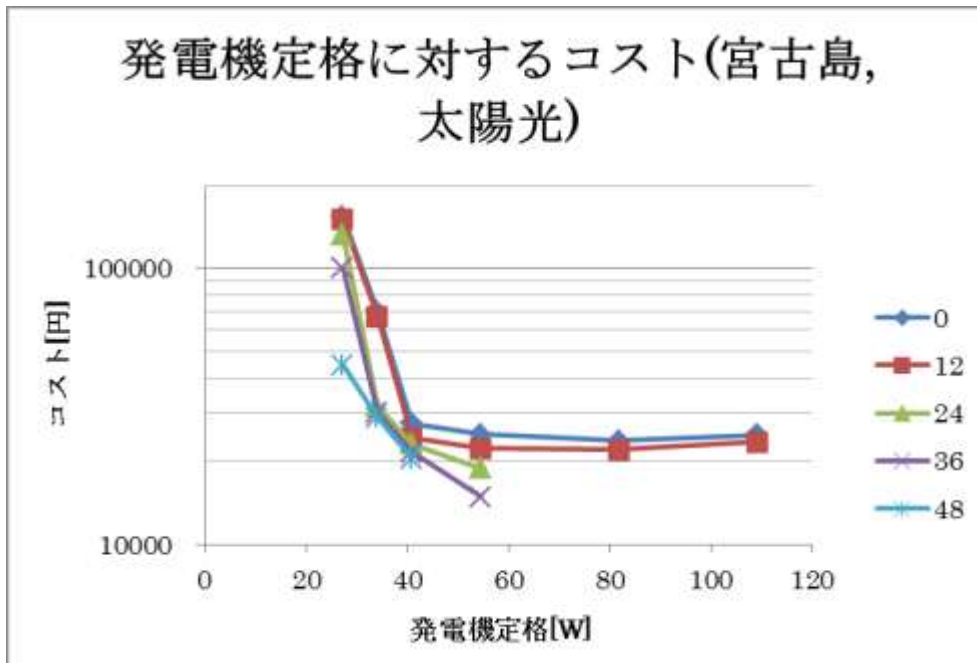


Fig.3.19 宮古島における太陽光パネルの定格に対して必要なコスト(対数表示)

宮古島における太陽光発電の場合、必要な消費電力の3倍、定格にして80Wの太陽光パネルを持つときがコストミニマムとなり、その額は約2.4万円となる。

太陽光に関して言えるのは、必要な消費電力量に近い発電量の発電ができる定格を持つ発電機で発電機のコストを下げようとするよりも、2倍、あるいは発電量の変動が大きい場所ではそれ以上の3~5倍程度の定格を持つ発電機で多く発電して、電力を吸収させる蓄電池の容量を小さくすることで、全体のコストは下がり、これが設置コスト最適な構成であるといえる。

また、事前に告知した多少の停止時間については許容されると考えられるが、今回の場合許容連続停止時間を多少変えてもあまりコストは安くならず、安くするには大幅な停止時間を許容する必要があるので、現実的ではない。例えば、通信事業者が事前の告知なく通信機器の動作を2時間以上停止し、かつ3万人以上の利用者の影響がある場合、事故としてその原因を申し出る必要があるという規則もある。

(http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/net_anzen/jiko/judai.html)

よって、この場合は停電時間0を目指す方がいい。

3.2.2 風力発電を用いる場合

風力発電を用いる場合も太陽光の場合と同じように、気象データから発電データに変換し、所定の消費電力に対して必要な発電機定格と必要なバッテリー容量からコストを求め、コストミニマムとなる構成を明らかにした。東京の風力は実測した電力データを用いた。

Fig.3.20 に東京における風力発電によって得られた発電量の推移を示す。

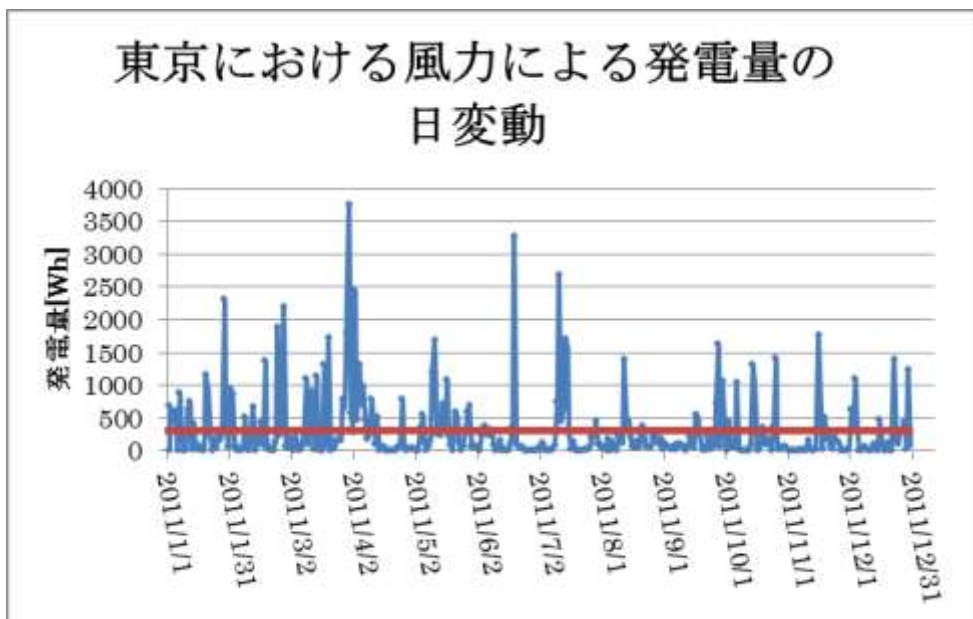


Fig.3.20 東京における風力による発電量の日変動

太陽光に対して発電量の日変動が大きいことが分かる。

Fig.3.21 に発電機定格に対して必要となる蓄電池容量を示す。

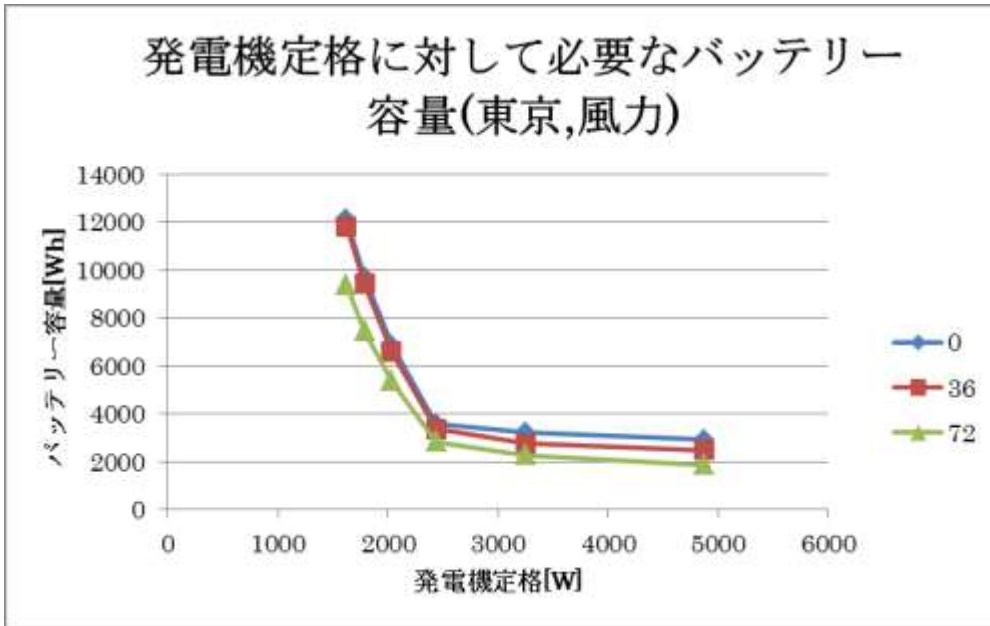


Fig.3.21 東京における風力発電機の定格に対して必要なバッテリー容量

Fig.3.22 に発電機定格に対して必要なコスト推移を示す。

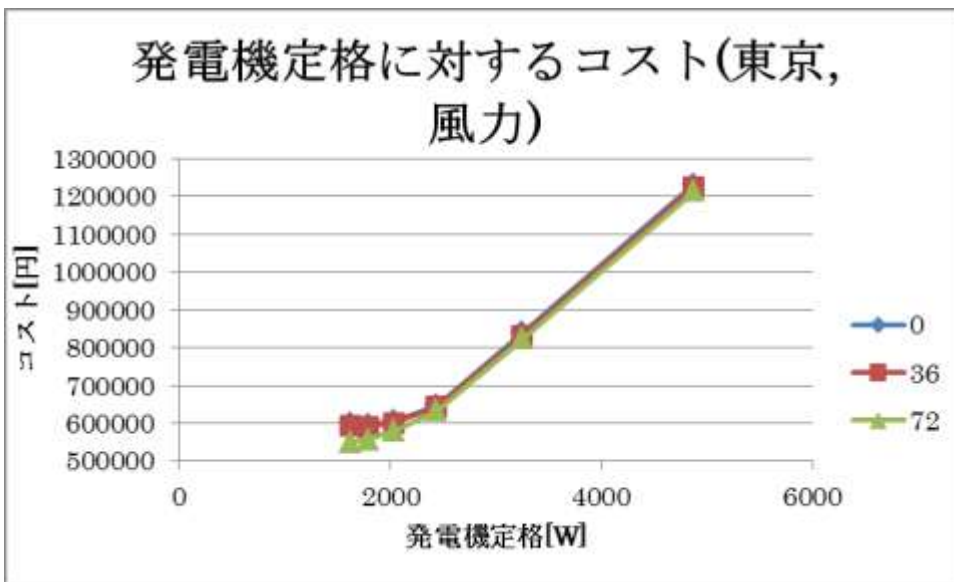


Fig.3.22 東京における風力発電機の定格に対して必要なコスト

東京における風力発電の場合、必要な消費電力の 1.1 倍、定格にして 1.8kW の風力発電機を持つときがコスト最小でその額は約 60 万円となる。

Fig.3.23 に稚内における風力発電によって得られる発電量の推移を示す。

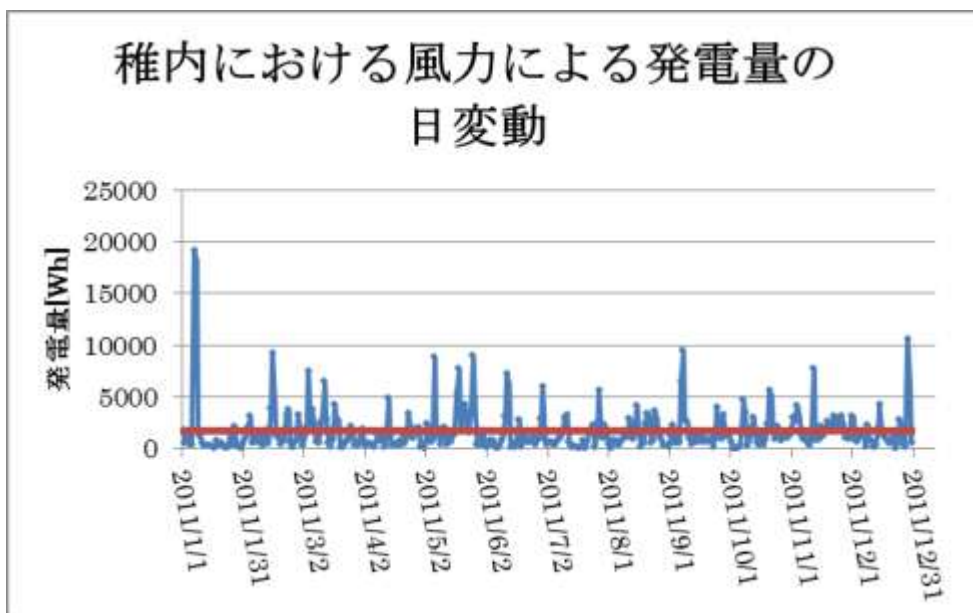


Fig.3.23 稚内における風力による発電量の日変動

Fig.3.24 に発電量に対して必要となる蓄電池容量を示す。

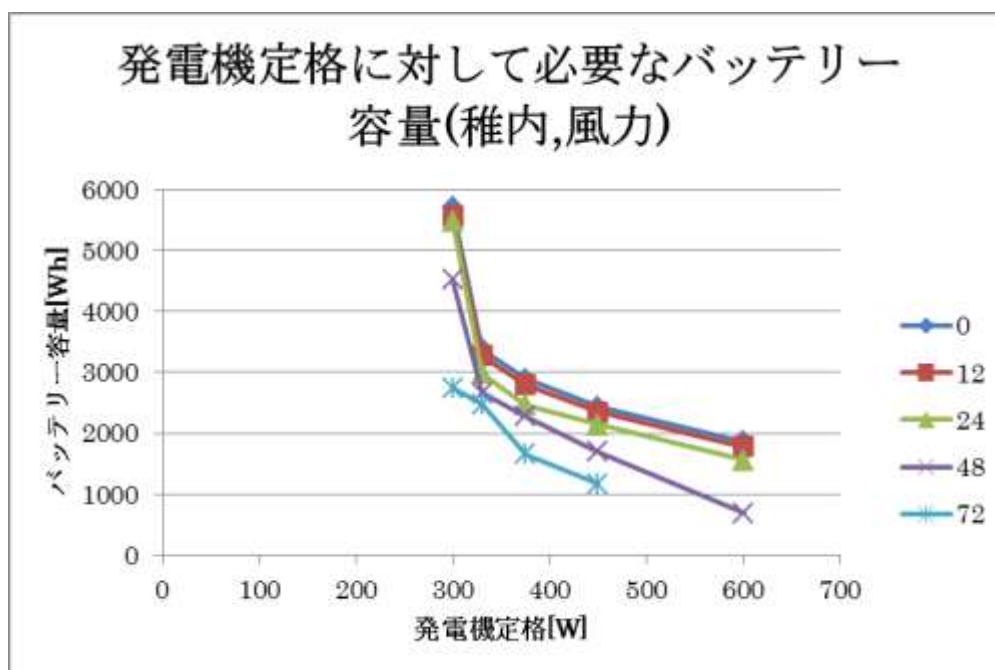


Fig.3.24 稚内における風力発電機の定格に対して必要なバッテリー容量

Fig.3.25 に発電機定格に対して必要なコスト推移を示す。

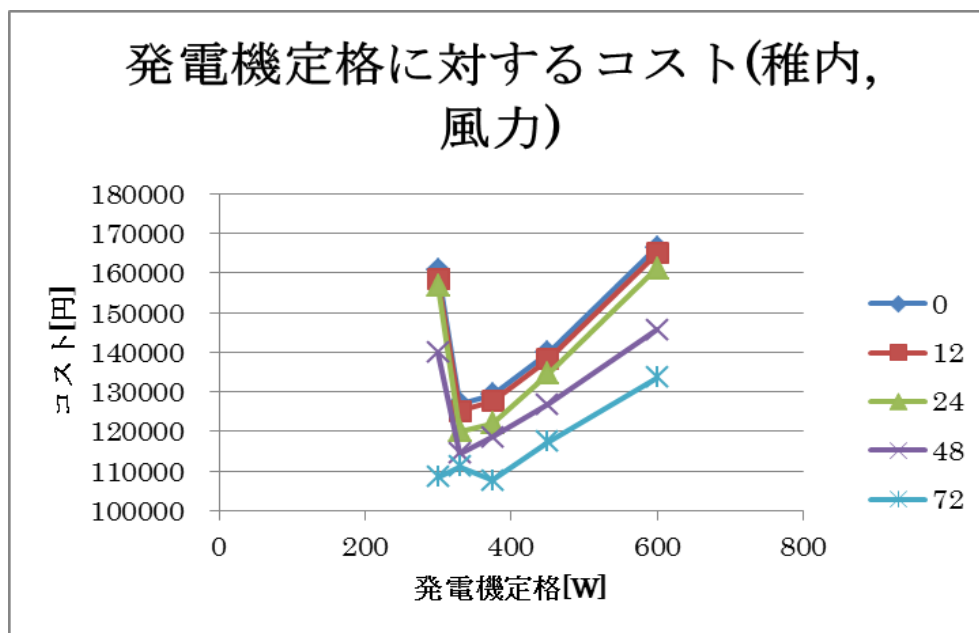


Fig.3.25 稚内における風力発電機の定格に対して必要なコスト

稚内における風力発電の場合、必要な消費電力の 1.1 倍、定格にして 330W の風力発電機を持つときがコストミナムでその額は約 13 万円となる。

Fig.3.26 に宮古島における風力発電によって得られる発電量の推移を示す。

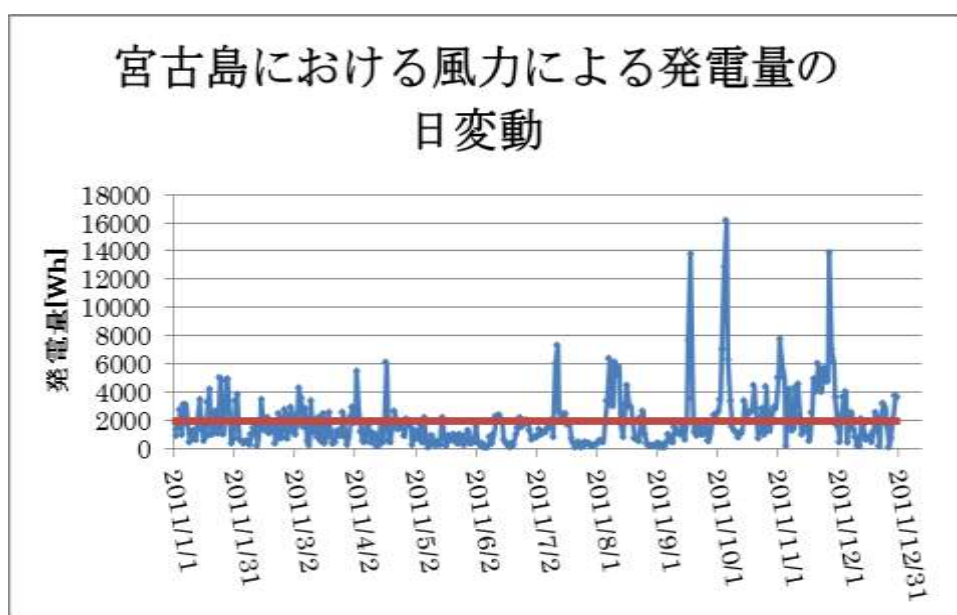


Fig.3.26 宮古島における風力による発電量の日変動

Fig.3.27 に発電量に対して必要となる蓄電池容量を示す。

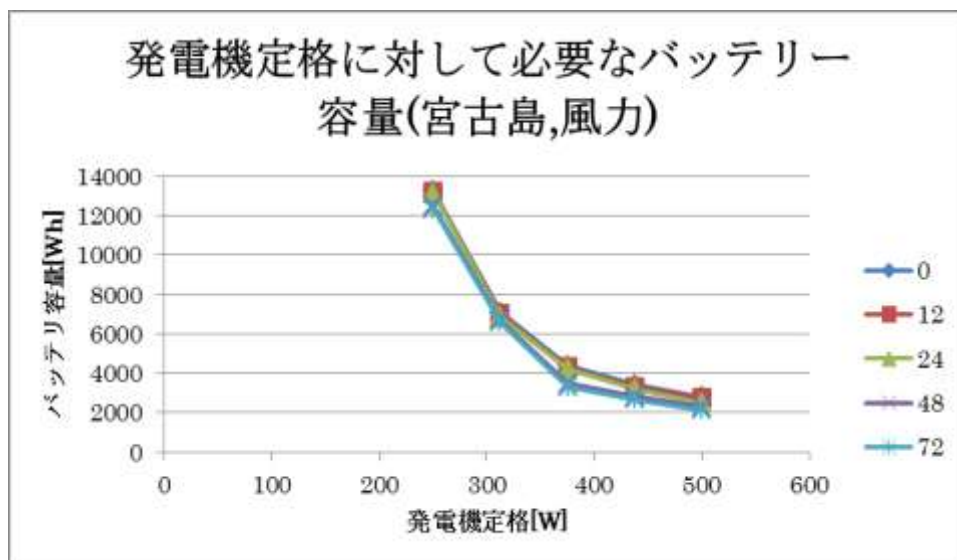


Fig.3.27 宮古島における風力発電機の定格に対して必要なバッテリー容量

Fig.3.28 に発電機定格に対して必要となるコストの推移を示す。

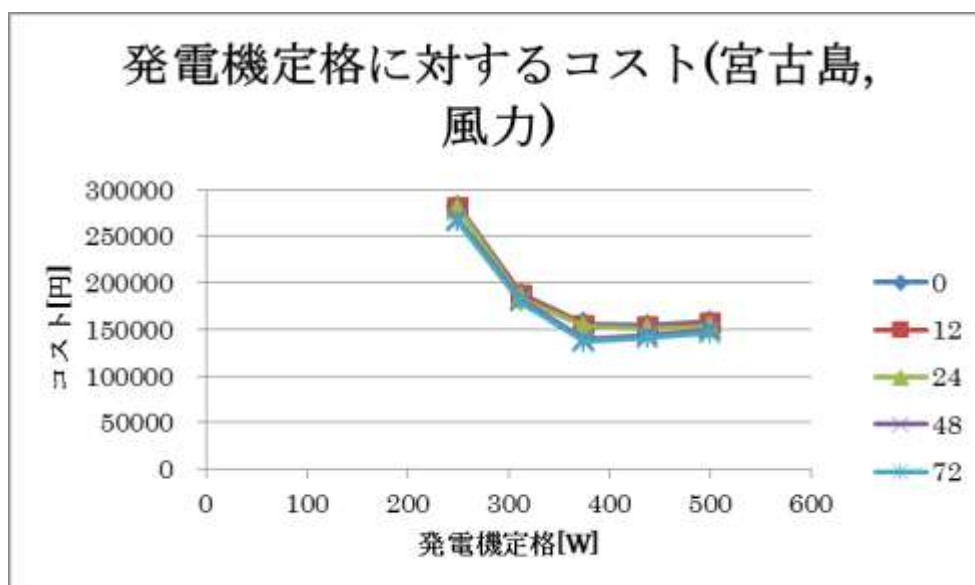


Fig.3.28 宮古島における風力発電機の定格に対して必要なコスト

宮古島における風力発電の場合、必要な消費電力の 1.75 倍、定格にして 440W の風力発電機を持つときがコストミニマムでその額は約 15 万円となる。

風力の場合は設備の稼働率が低く、必要な電力を発電するために大きな定格の発電機が必要となり、そのコストが大きいため、太陽光の場合と比較するとあまり大きい発電機にしない構成が最適となる。この場合においても、必要な消費電力量に近い発電量の発電のできる定格の発電機を持つより、1 割程度の余裕を持つ定格の発電機を持つ方が必要なバッテリー容量も大幅に下がり、全体のコストは安くなる。ただし、全体のコストとしては、太陽光の場合に比べて高く、太陽光だけの方が最適な構成である。

停電時間に関しても、許容するとしても大幅に許容しないとコストは変わらないため、停電時間は 0 とするのがよい。

3.2.3 太陽光と風力を併用した発電を用いる場合

太陽光と風力との併用の場合、どの割合で併用するとコストミニマムとなるかについて構成を検討する。

太陽光によって得られる電力と風力によって得られる電力の 1 時間ごとの発電データの相関をとり、相関係数を求めた結果を Table.3.2 に示す。

相関係数とは 2 つの変数の類似度の度合いを表す指数で、全く同じ傾向を示す時は 1、逆の傾向を示す時は -1、全く関係がないとき 0 となるように計算した指数である。

Table.3.2 太陽光による電力と風力による電力の相関

場所	相関係数
稚内	-0.01
東京	0.01
宮古島	0.02

ここから分かるのは太陽光による電力と風力による電力はほぼ独立で、お互いの特徴を補い合える可能性があるということであり、そのため併用することでコストを下げられる可能性がある。

風力発電によって得られる電力と太陽光発電によって得られる電力を併用する場合、必要となる最小のコストと混合割合の関係を Fig.3.29 に示す。

太陽光と風力の検討の結果、停電時間を多少許容しても、必要なコストは大幅には変わ

らず、現実的でないため、ここでは停電時間 0 を達成する構成を検討した。

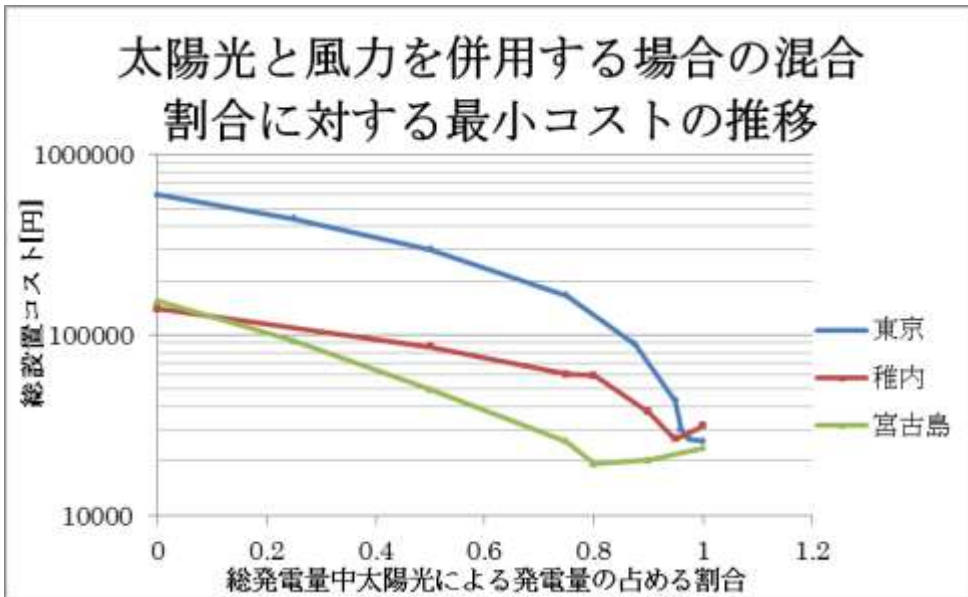


Fig.3.29 太陽光と風力の併用割合とコストの関係

この結果、太陽光発電を主な電力供給源としつつも、風力発電を総発電量の数割程度、混合することにより、併用する場合のコストの方が安くなる可能性があるということが分かる。

ただし、前述したように、コストは市場で売られている商品を基にした近似であり、特に風力発電機はサンプル数が少なく、定格が大きいものの近似となっていることから、定格が小さい場合については、よく近似できていないことに注意が必要である。

3.2.4 考察とまとめ

まず、気象データから併用する場合の可能性について考察を行う。気象データの特徴をまとめると Table.3.3 のようになる。

Table3.3 気象データのまとめ

	宮古島	東京	稚内
風	強い	弱い	強い
太陽光年変動	小さい	普通	大きい
併用	よい	太陽光単独の方がいい	よい

風力に関しては、太陽光よりもばらつきが大きく何日も需要を満たさない日がつづく傾向にあるためバッテリーが多く必要な地点が多いが、風の強く吹く地域は弱い地域に対して相対的にコストは安くなる。

また、太陽光に関しては検討した期間においては宮古島よりも東京、東京よりも稚内の方が発電量のばらつきは大きい。

東京は風が吹きにくく、併用してもあまり好ましい結果は得られないが、風が強く太陽光による発電が相対的に高くつく稚内のような地点では、太陽光に風力による発電を少量併用することによることで、必要なバッテリー容量は少なくなるという結果が出、コストも安くなる可能性があると考えられる。

また、全体として、消費電力量ぎりぎりの発電能力を持つ発電機でコストを下げるより、1割~数倍程度の余裕を持つ発電機を使った方が、必要な蓄電池の容量が大きく下がり、発電機のコストの増加分以上に、蓄電池のコストが下がるため、全体のコストも小さくなる。よって、消費電力量に対し、数倍大きい発電機を持つのが最適な構成である。その値は地域によって異なる。

また、同じ消費電力を得るための発電機のコストは風力の方が、太陽光に対して高くなってしまったため、大きい太陽光パネルを発電機として導入するのが、最適な構成だと考えられる。

また、連続停止時間を多少増やすことを許容しても必要なバッテリー容量はあまり変わらず、またバッテリー容量を減らすためには2日程度の動作停止時間を最大に認めてしまい現実的ではないため、許容連続停止時間を0として100%稼働させるのがよい。

3.3 携帯電話基地局とメッシュノードのコスト比較

3.2節で検討したメッシュノードの電源構成に必要なコストを用いて、本節ではネットワーク全体として必要なコストを概算し、2.2節で紹介したトライブリッド基地局を例とした携帯電話基地局との、設置コストでの比較を行う。

メッシュネットワークノードとして、想定するものは最大消費電力で8Wであるのに対し、トライブリッド基地局で用いている無線機の消費電力は約750W^[6]であり、想定するネットワークと同じ再生可能エネルギーだけで稼働すると仮定し、3.2と同様の検討を行うと、メッシュノードに対して約94倍の容量の発電機、および蓄電池が必要となってくると

考えられる。

再生可能エネルギーとして、導入コストの安い太陽光を用いるものとし、東京を例にした携帯電話基地局とメッシュネットワークのコスト比較の結果を、Table.3.4 に示す。

ここで多くのノードを分散配置したメッシュネットワークの 1 つのノードの通信範囲は 100m 四方、携帯の基地局は 1 つのノードで 1km 四方であるとする、同じ通信範囲を実現するのに必要なノードの数はメッシュネットワークが 100 に対し携帯基地局は 1 となる。

Table.3.4 携帯電話基地局とメッシュノードのコスト比較

	分散配置:メッシュノード:100m 四方	集中型:携帯電話基地局 :1km 四方
バッテリー	¥15,000	¥1,400,000
太陽電池	¥10,000	¥940,000
通信ノード	¥100,000	¥10,000,000
合計	¥125,000	¥12,340,000

通信ノードのコストは通信事業者の設備投資額と年間の新規基地局数からの概算である。

この結果、通信ノードが値段の大半を占めるとはいえ、通信ノード数が 100:1 で設置する必要を考慮しても、導入コストはほぼ変わらずに導入できると考えられる。

集中型の 1 局で広い範囲をカバーする携帯電話基地局と、分散型の同じ範囲を 100 局のノードでカバーするメッシュノードとでは、物的被害による破壊や、電力不足で動作できない事態が生じて、数が多いメッシュノードは少数でも生き残ったノード同士、またその中に有線網につながるノードがあれば、ネットワークにつながる通信を確保できると考えられる。

3.4 売電する場合の構成の考察

再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度(Feed-in-tariff)とは、再生可能エネルギーの設備を導入した時点で、その設備から供給されるエネルギーの買い上げ価格を一定期間保証する制度である。

平成 24 年度の固定価格買い取り制度の価格を Table.3.5 に示す。

Table.3.5 平成 24 年度の固定価格買い取り制度の価格 ^[16]

日本,平成 24 年度	太陽光	風力
大規模発電コスト ^[17] [円/kWh]	38	17
買取価格(10/20kW 以上) [円/kWh]	42	23
買取価格(10/20kW 未満) [円/kWh]	42/34(ダブル発電)	57
買取期間 [年]	20/10	20

この買取価格を考慮すると、十分な定格の発電機を持つことで、通信機器で消費して余った電力を売り、設置コストを回収ことが出来ると考えられる。データを基にそれをみていく。

ここでは、東京における最適な構成である太陽光の場合について検討する。

太陽光発電は 10kW 未満で 10 年間買取が保証されているので、その期間売電し続けると仮定して、Fig.3.30 に東京の太陽光を電源として余剰電力を売電する場合、必要となるコストの総量の定格に対する推移を示す。コストには太陽パネルと蓄電池の初期投資額と、蓄電池の交換する際の機材額が含まれている。バッテリーの寿命は 2 年として計算した。

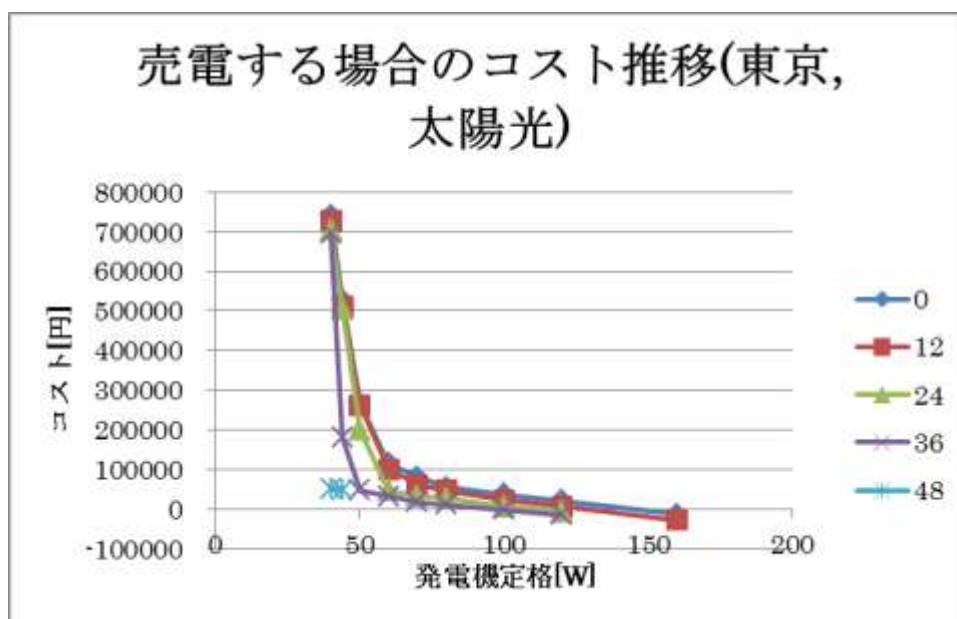


Fig.3.30 東京における太陽光による発電量を売電する場合のコスト推移

発電機定格を増やすほど、売電可能な余剰電力が大きくなり、消費電力の 4 倍程度の発電ができるパネルを持つことにより、パネル、蓄電池、およびその交換にかかる設備投資が回収できると考えられる。

今回は設置コストのみを考え、実際には必要な設置費、人件費、コントローラなどの付属設備費を考えず、またメンテナンスの際の維持費についても、2 年ごとに交換する蓄電池の機材費しか考慮しなかったが、それらは発電機の大きさによらず固定の部分が大きいため、Fig.3.30 の切片が上がる以外は大きい変動は予想されず、大きい面積で発電することによりコスト的なメリットを得られるという傾向は変わらないと考えられる。

第 4 章

結論

4.1 まとめ

本研究では、太陽光と風力を電源としたメッシュネットワークノードの電源構成の検討において、実際の発電データと、気象データから換算して求めた発電データによる解析・検討を行い、通信機器の消費電力より数倍大きな電力の発電が可能な太陽光パネルで発電するのがコスト的には最も優れているとの結論を得た。さらに、余剰電力を売電すれば、電源の設置コストを回収できる可能性がある。

発電量の反動が激しい地点においても、十分な容量の蓄電池で出力を吸収すれば平均化して使用することが出来る。その蓄電池容量は、消費電力量に近い発電能力のある発電機での発電より、余裕を持った発電のできる風力発電機や太陽光パネルで発電する方が必要量は少なくなり、発電機のコストが上がる以上に蓄電池のコストが安くなり、全体のコストとして最小となることが分かった。

また、場所によっては大部分の電力を発電する太陽光発電と少量の発電のできる風力発電を併用することにより、電力の変動を抑えて必要なバッテリー容量が下がり、コストが安くなる可能性があるということを示した。

また、再生可能エネルギーで独立して稼働する場合、携帯電話基地局のように大きい範囲を1局でカバーするネットワークと、多くの通信機器で構成されるネットワークのコストはおよそ同じとなるということを示した。

4.2 今後の課題

1つの課題として、データの処理の問題がある。実測の発電データを用いることで、より詳しいデータの分析ができるのに加えて、併用する場合に特に重要となる小さい定格の風力発電機のコストの見積もりの問題がある。小風力発電機は市場においても、特に10W~100W程度の定格の商品は少なく、特定用途であったり高価であったりする。特に併用する場合の最適な構成を考えるに当たり、そのコストの見積もりが必要となるが、固定価格買い取り制度や少量の電力需要等に対して、市場に数10Wオーダーの極小風力発電機が出てくることもこれから望まれる。

もう1つは太陽光発電を行うソーラーパネルの設置角度によって、発電量推移が異なってくることである。今回は水平面での日射量を用いて太陽光パネルの発電量との関係を求めたが、例えば、2.2において示したトライブリッド基地局においては、アモルファスシリコン太陽電池という軽量で折り曲げ可能なフレキシブルな太陽電池を使用しているものが

あり、基地局の局面に垂直・曲面設置をしているため、一般的な太陽電池にみられる南中時のピークはなく、日の出から日の入りまで安定した出力が得られるという⁶⁾。ただ、総量としては小さくなると考えられる。

また、台風などの接近が多くある地域では、気象環境の要請から、パネルが飛ばされないようほぼ水平に設置する必要があるという。

そのような気象環境ごと、また設置場所の要請によって最適な設置角度が異なることから、それぞれの条件ごとに最適な電源構成が異なってくることが考えられる。

NEDOによって提供されている日射量データベース^[18]には、実際の気象データを基にした斜面日射量の推移を角度ごとにシミュレートできる機能があるので、それらの情報を基に最適な電源構成を考えるのがもう1つの課題として挙げられる。

謝辞

本論文を書くに当たり、以下の方に大変お世話になりました。

3年間の研究室生活を支えて頂き、忙しいながら適切な時には助け舟を出して頂いた相田 仁 教授

研究室のお世話をして頂き、精神的に支えてくださった千葉 信吾 技術専門員

研究室の母となる存在で、様々なお世話をして頂いた中山 小百合 秘書

切磋琢磨し合い、お互いの研究を支えていった同級生

共に研究室を運営していった研究室のメンバー

そして大学から大学院まで通わせてくれた両親

以上の方々のおかげで、仕上げる事が出来ました。

本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 情報支援プロボノ・フォーラム(iSSP): 3.11 被災地の証言 東日本大震災 情報行動調査で検証するデジタル王国・日本の盲点, インプレスジャパン, 2012.
- [2] 総務省: 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方について,
http://www.jaipa.or.jp/event/isp_mtg/sendai/111111_soumu.pdf, 2011.
- [3] 総務省: 情報通信分野における東日本大震災による被害状況とこれまでの復旧状況,
http://www.soumu.go.jp/main_content/000117341.pdf, 2011.
- [4] 竹田 義行: “docomoにおけるエネルギー関連の取り組み”, 第4回スマートグリッド技術研究会「次世代型スマートグリッドへの期待とそれを支えるICT技術について」, 電子情報通信学会 通信ソサエティ ICTスマートグリッド技術研究専門委員会, 2011.
- [5] 篠澤 康夫: “大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方”, 2012年電子情報通信学会 通信ソサエティ大会, ICTスマートグリッド技術研究専門委員会, 2012.
- [6] 田中 寛: “消費電力削減に関するKDDIの取り組み”, 第4回スマートグリッド技術研究会「次世代型スマートグリッドへの期待とそれを支えるICT技術について」, 電子情報通信学会 通信ソサエティ ICTスマートグリッド技術研究専門委員会, 2011.
- [7] KDDI 株式会社: 沖縄初となる「トライブリッド基地局」の共同フィールドトライアルおよびトライブリッド基地局に関する新たな取り組みについて,
http://www.kddi.com/corporate/news_release/2010/0827/, 2010.
- [8] 間瀬憲一: “大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク”, 電子情報学会誌, Vol.89, No.9, pp.796-800, 2006.
- [9] W.S. Conner and H. Aoki: “Propose Extensible Approach for WLAN Mesh Standardization”, IEEE802.11 document 05/0165rl, 2005.
- [10] 大和田 泰伯, 鈴木 裕和, 岡田 啓, 間瀬 憲一: “中山間地におけるメッシュネットワーク: 山古志ねっとの構築”, 2007年電子情報学会総合大会, S-27-S-28, 2007.
- [11] 岡田 啓, 大和田 泰伯, 間瀬 憲一: “災害復旧・復興支援のためのアドホックネットワーク実験プロジェクト”, 第4回 明日を開く高度情報通信シンポジウム, 2007.
- [12] 阪田 史郎, 青木 秀憲, 間瀬 憲一: “アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-B, No.6, pp.811-823, 2006.
- [13] KDDI株式会社, 総務省: 近い未来における定量的なトラフィックの予測,
http://www.soumu.go.jp/main_content/000065189.pdf, 2010.
- [14] 間瀬 憲一, 阪田 史郎: アドホック・メッシュネットワーク-ユビキタスネットワーク

社会の実現に向けて, コロナ社, 2007.

- [15] 環境三四郎, 東京大学のクリーンエネルギー導入に向けた提案書
http://www.sanshiro.ne.jp/activity/07/h03/ecc07_teian.pdf, 2007.
- [16] 経済産業省 資源エネルギー庁: 買取制度の概要,
http://www.enecho.meti.go.jp/kaitori/2011may_kaisetsu.pdf, 2011.
- [17] 国家戦略室: エネルギー・環境会議コスト等検証委員会報告書,
<http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20111213/siryu1.pdf>, 2011.
- [18] 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 日射量データベース閲覧システム 年間時別日射量データベース(METPV-11),
<http://app7.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html>, 2011.

発表文献

- [1] 田中貴大・相田仁, "再生可能エネルギーを電源とする災害に強いメッシュネットワークの提案", 電子情報通信学会 2012年ソサエティ大会講演論文集, pp.428, 2012.
- [2] 田中貴大・相田仁, "再生可能エネルギーを用いたメッシュネットワーク通信機器の電源構成の検討", 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 2013.