

5.2 バイオマス

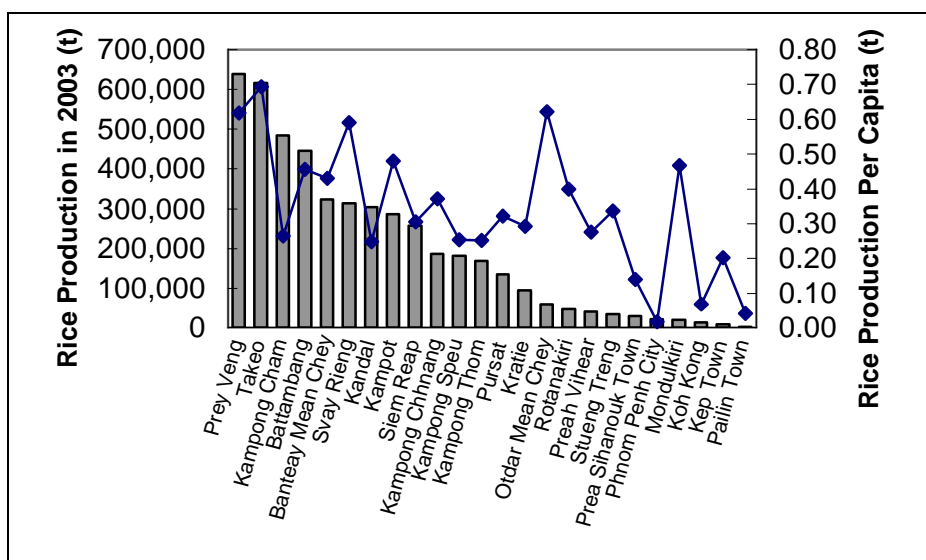
5.2.1 カンボジアのバイオマス資源⁹

カンボジアでは木材や農業廃棄物などのバイオマス資源が豊富で、国内の総エネルギー利用のうちのおよそ8割はバイオマスによるものである(MIME 2001)。バイオマス発電施設は小型のものが数件あるのみで、国内の総発電量に対する割合は殆どゼロである。国内で利用されているバイオマスエネルギーの95%は木質バイオマスによるものである。

発電への利用に有望なバイオマス資源は、籾殻、植え替えの際に発生するゴムの廃木、植林木や間伐材などが挙げられる。以下にそれぞれの燃料資源の特徴について記す。

(1) 籾殻

籾殻は米の外皮にあたる部分で、米の生産量に対して約20%分の重量の籾殻が発生する。低位発熱量は13-16MJ/kgで、これは燃焼性オイルの1/3程度、高品質の石炭の1/2程度にあたる(Natarajan et al. 1998)。米はカンボジアにおける最も重要な農作物であり、農地の90%は稲作に利用されている(IRRI 他)。2003年の作付け面積は230万haで470万トンの米が生産された(MAFF 2003)。およそ100万トンの籾殻が発生したことになる。これをすべて発電に利用すると、60MW(多数の20-100kW級)から100MW(数箇所の10-50MW級)の発電を1年を通して行えることになる。



Source: Agricultural Statistics 2003-2004, MAFF 2003

Notes: Bars indicate the production with left Y axis and the plots indicate production per capita with right Y axis.

Rice Production and Production per Capita in 2003 in Each Province and Major Cities in Cambodia

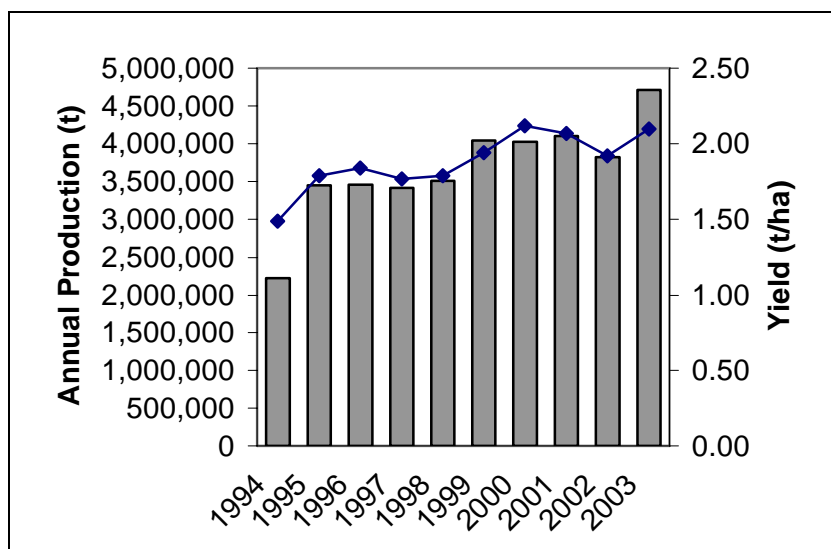
図 5.2.1 水稲収穫高と一人当たり生産高 (州別、2003年)

最も米の生産量が多いのはプレイベーン州の639,452トン(14%)で、タケオ(13%)、カンポンチャム(10%)、バタンバン(9%)、そしてその他の州と続いている(図 5.2.1)。国全体では乾期の米の

9 バイオマスの技術面については Part 3 第1章 1.2.1 節参照。

生産量は僅か 19%であるが、米の生産量の多い地域ではバタンバン(1%)をのぞいて、乾期においても年間収量の 27-31%の生産を行なっている。

プレイベーンとタケオ州においては人口 1 人当たりの収穫量も多くなっている(0.62 および 0.69 トン)。収穫量が 6 番目に多いスベイリエン州の人口 1 人当たりの収穫量は 0.59 トンで 4 番目に高い数値となっている(図 5.2.1)。人口 1 人当たりの米の生産量が多い地域では一般に、余剰籾殻が発生しやすいと言えるであろう。一般に家庭用燃料としては木材の方が籾殻よりも好まれる。木材が豊富にある地域では籾殻があまり利用されていない可能性がある。米の生産量の多い上位 11 州における森林率は国全体の森林率の 60%よりも低くなっている(DFW 2003)。米の生産量の最も多いプレイベーンとタケオ州は逆に森林率は最も低くなっている(2%)。バタンバン州においては、米の生産量が全国 4 位ながら、森林率も 45%あり、籾殻があまり利用されていない可能性がある。



Source: Agricultural Statistics 2003-2004, MAFF 2003
 Notes: Bars indicate the annual production with left Y axis and the plots indicate yield in hectare base with right Y axis.
 Annual Rice Production and Rice Yield per Unit Area in Cambodia

図 5.2.2 カンボジアの水稲収穫高と単位収量

国際稲作研究所によると、1960年代には 250 万 ha の作付け面積があったが、1970 年代の混乱の時代に大きく減少した。過去 10 年間で、作付け面積も単位面積あたりの収量も大きく増加し(図 5.2.2)、今後も技術の向上にともなって、米の収穫量は増加することが見込まれている。したがって、籾殻の発生量も増加することが予想される。ただし、籾殻は一般に家庭調理用燃料や小規模のレンガ工場などの燃料としてよく利用されており、籾殻を発電用燃料として利用すると、地域のエネルギー供給に少なからず影響を及ぼす可能性がある。一方地域によっては余剰籾殻をお金を支払って廃棄している例も調査団によって確認されている。籾殻の利用状況に関しては今後も調査の必要性がある。

ヨーロッパ連合によってアセアン諸国におけるバイオマスコージェネレーションの推進を目的に進められている COGEN 3 プログラムが、プノンペン郊外の Angkor Kasekam Roongroeng 精米所における 1.5MW の発電機設置計画の調査を行なったが、設置は見送りとなった。

(2) カシューナッツ殻

カシューナッツの木は開花植物であり、ウルシ科に属し、学名は *Anacardium occidentale* という。ナッツは実の中に一つだけある種である。全国で 37,140ha の植栽面積があり(MAFF 2004)、さらに広がりつつある。主な植栽地域はカンポンチャム州(17,136ha、46%)、ラタナキリ州(6,505ha、17%)である。植栽後 3 年目から実がなり、10 年目までに成熟し、30 年程度まで実をつける。農民は R1,500 から R2,000/kg 程度の収入を天日乾燥した実によって得る。カシューナッツ殻は実の 70%の重量を占め、残りの 30%がナッツの重量となる。カシューナッツ殻の高位発熱量は 18.84MJ/kg(Gaur & Reed 1995)で直接燃焼方式での発電に適する。現在の技術ではガス化には適していない。カシューナッツの生産に関する統計資料は無い。他の熱帯諸国における単位面積あたりの生産量は 800-1,000kg/ha であり、この値をカンボジアに当てはめると、実の年間生産量は 14,000 トンとなり、およそ 10,000 トンのカシューナッツ殻が発生することになる。しかし、現在のところ殆どの乾燥されたカシューの実がベトナムに非公式に運ばれて加工されており(Mathew 2003)、カンボジア国内におけるカシューナッツ殻の発生量はずっと少ないものと思われる。したがって、カシューナッツ殻を利用したバイオマス発電のポテンシャルは小さいものの、加工工場における発電機の併設などは検討すべきである。

(3) その他の農業廃棄物

バガスはサトウキビから砂糖を精製する際に発生する絞りかすである。サトウキビのおよそ 30%の重量を占め、その高位発熱量は 15.68-19.50 MJ/kg (Graboski & Bain 2002)である。主要な砂糖生産国においては直接燃焼方式による発電施設が広く導入されている。2003 年には 33 万トンのサトウキビが国内で生産されたが、カンボジアにおける精製工場についての詳細は不明である。その他、ココナッツ殻、キャッサバの幹、桑の木の枝などの農業廃棄物についてカンダル州にある Centre for Livestock and Agriculture Development (CelAgrid) おいて、ガス化発電の適性試験が行われ、適性が証明されており、発電燃費は 1.3-1.5 kg/kWh となっている¹⁰。2003 年のココナッツの植栽面積は 2 万 7 千 ha、キャッサバ幹やココナッツ殻などの発生量は不明。ピーナッツの 2003 年の生産量は 18,000 トン。ピーナッツ殻は実の 30%の重量を占め、その高位発熱量は 18.84MJ/kg(Gaur & Reed 1995)となっている。

(4) ゴムの廃木

国内にはおよそ 4 万 ha のゴム園がある(JAFTA 1995)。通常ゴムの木は 25-30 年ほどで植え替えられ、植え替え時にはおよそ 180 t/ha の木質バイオマスが発生するとされている(Prasertan & Krukanont 2003)。これより、およそ年間 2 万 5 千トンの木質バイオマスがカンボジアでは発生していることになる。ゴムの廃木については、一般にレンガ工場や家庭内調理用燃料としてよく利用されていると言われるが、詳細は明らかでない。

(5) 森林

カンボジアには他の東南アジア諸国と比べて多くの森林が残されているものの、減少傾向にある。1960 年に 73%だった森林率は 1998 年には 58%に減少し(MOE 2002)、さらに 2010 年には 50-

10 Miech P. Adding value of edible fibrous biomass residues in ecosystem farm for socio-economical and environmental benefits. MSc dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. 2005. p.46.

56%に減少すると試算されている(FAO 1997)。森林減少の主な理由は、商業伐採と農地拡大によるものとされている。国民の95%は調理用熱源として薪炭材を利用し(NIS 1999)、バイオマスエネルギーは国の総エネルギー需要の86%をまかなっている(ADB 1996)。1995年の製材の国内生産量はおよそ150万 m^3 と推計されるのに対し、総木材使用量は600万 m^3 と推計されている(世銀他 1995)。カンボジアの人口は急増中であり、人口増加率は年間2.5%(MOE 2002)となっている。薪炭材の使用量は2010年には1995年の4割増しになることが予想されている(ADB 1996)。大量の木材の利用が更なる森林破壊につながる恐れがあると危惧されている。Top 他(2004)はカンポントム州における燃料材の年間使用量は州の森林の年間成長量のわずか2%に過ぎず、森林減少の原因とはならないとの報告を行なっている。ただし、燃料材は主に村周辺で集められることが多いので、局所的な森林破壊は大いに起こりうるとしている。

カンボジアの多様な熱帯林の減少には国際社会の注目度が高く、また近年の洪水被害の増加に国民の森林保護の意識も高まっている。これらを受けてカンボジア政府も森林の保全を国の最重要政策課題の一つに掲げ取り組んでいる。木材をバイオマス発電に利用する場合、森林破壊に繋がらないように、植林プランテーション、小規模植林、コミュニティフォレストなど管理された森林で生産される木材を利用する必要がある。

(6) 植林プランテーション

現在およそ11,000 haのアカシアやユーカリを中心とした植林プランテーションがある(DFW 2003)。プランテーションの主な目的は輸出用のチップの生産である。森林局によると、チップ用材の販売価格は\$23/tである。これを適用すると発電の燃料単価は\$0.03/kWhとなり、ディーゼル発電の燃料単価の\$0.23/kWhの1/7となる。調査団は2005年1月にミアノークプランテーションを視察した(図5.2.3)。択伐や除伐の際に発生する木材は、山火事を防ぐため、林道まで運ばれ燃やされていた(図5.2.3)。これらの不要木材は、問題なく発電に利用することができる。

国内にはおよそ250万haの草地や灌木地が広がっており(JAFTA 1995)、植林プランテーションを拡大する余地はまだまだ十分にある。植林プランテーションによる燃料材の生産とバイオマス発電の組み合わせは、地方電化だけではなく、系統への電力供給に関しても大きなポテンシャルをもつ。



Source: JICA Study Team

Notes: Both stand are similar size of about 7 m in height by sight observation. *Acacia* sp. (front) and *Eucalyptus camadulensis* 3.5 year old stand at Mear Nork forest plantation in Kampong Chhnang Province.

図 5.2.3 カンポンチュナン州ミアノークのアカシア造林 (3.5年)



Source: JICA Study Team
Thinned waste woods were carried to road then burnt for preventing from forest fire at Mear Nork forest plantation in Kampong Chhnang Province.

図 5.2.4 択伐・除伐材の焼却処分

(7) 小規模植林

住民による小規模植林は、村落電化に必要な十分な木質バイオマスを生産することができる。国内で唯一バイオマス給電を行なっているバットンバン州のアンロンタメイエネルギー組合は、組合員による小規模植林を燃料供給源としている(詳細は 3.7.3 節を参照)。カンボジアの平均的村落規模である 140 件の村落を電化すると想定。1 軒当たりの月平均電気使用量が 10 kWh、バイオマス成長量が 10t/ha として、およそ 2.5ha の植林地が必要となる。また、この 2.5ha は細切れの土地でよく、さらに、道路端や農地に適さない急傾斜地など、あるいはアグロフォレストリーとして農作物との混植も可能である。また管理にあまり手間がかからないため、遠隔地でもよいので、この程度の広さの土地はたいていの農村で確保可能と考えられる。

住民による小規模植林には、マメ科の *Cassia* spp.、*Leucaena* spp.、*Gliricidia* spp.などの早生樹が適していると思われる。これらの樹種は空中窒素を固定することができ、やせた土地においても比較的旺盛な成長をすることができる。バイオマス発電に利用する木材は直径 3cm 程度の小径木でよいので、植栽後 1 年で収穫を開始できる。萌芽の更新が旺盛なものに関しては、植栽後 10 年以上にわたって、継続的に木材を収穫することができる。収穫した木材は \$ 20/ t 程度での発電所への販売が想定されるうえ、これらの樹種は葉、花、実、種が高い栄養価を持つ肥料、家畜のえさあるいは人間の食料としても利用可能である。住民は木を育てることにより、発電用の燃料を得るだけでなく、他にも多くの恩恵を受けることができる。

(8) コミュニティーフォレスト

カンボジアでは森林の保全にコミュニティによる森林の管理システムが有効であると広く認識され、導入が進められている。コミュニティフォレストの主な形態は、植林よりも既存の森林の管理や伐採などにより劣化した二次林の回復を主とするものが多い。政府主導(環境省や森林局)によるものや NGO 主導によるものがある。管理形態は対象とする地域の森林の状況などによって様々であり、単に森林を区分けし、伐採などの活動を制限するものもあれば、生産性を高めるために間伐等の育林手法を取り入れている場合もある。Concern Worldwide (NGO) のアドバイザーから、1ha の間伐試行を行なった際に、牛車 60 台分、生重量 12 トン(乾重量 6-8 トン)分の木材

が発生した。しかし、住民が利用できず無駄になるからと、それ以降の間伐実施を拒んだとの話を聞いた。これら森林管理上発生する木材廃棄物は発電に利用可能である。

5.2.2 現在カンボジアで使用されているバイオマス発電施設

現在カンボジアでは3件のバイオマス発電設備が導入されている。そのうちの2件は主に研究用として利用され、1件が実際の給電を目的として利用されている。

(1) Center for Livestock and Agriculture Development (CelAgrid)

CelAgrid は農業技術の普及を主ツールとして農村部の開発を推進している、研究系 NGO である。現在17人の研究者と40人の学生が活動を行なっている。2004年9月に9kWeのバイオマスガス化発電設備をインドのAnkur社から購入した(図5.2.5)。現在Phalla氏がこの発電機を使い、ココナッツ殻、キャッサバの幹、桑の木の幹、マメ科樹木などのガス化特性や燃料効率に関する研究を行なっている。

(2) アンロンタメイ村エネルギー組合事業

アンロンタメイ村エネルギー組合事業(バタンバン州バンナン地区)は国内で唯一、採算ベースに基づいて運営を行なっているバイオマス発電事業である。9kWeのガス化発電設備(上記CelAgridと同モデル)を利用し、ミニグリッドにより70世帯へ1日7時間(16:30-23:30)給電を行なっている。組合員によって植栽されたLeucaenaの樹木を燃料として利用している。本事業の詳細は3.7.3節に記述されている。

(3) NEDO ソーラー・バイオガスハイブリッド発電事業

2003年12月に日本のNEDOによる50kWのソーラーと2x35kWのデュアル燃料型発電施設がシハヌークビル近郊に完成した。バイオガスは農場の牛の糞を利用する。本施設は稼動中であるが、主にデモンストレーションと研究用の施設であり、採算ベースに乗る段階には達していない。



Source: JICA Study Team

Notes: The orange body at the back is the gasifier and the front green part is the generator unit.

The 9 kW Woody Biomass Gasifier Installed to Centre for Livestock and Agriculture Development

図 5.2.5 バットアンバン州の村落電化用バイオマスガス化発電機 (9 kW)

5.3 太陽光発電

遠隔地の電化では、再生可能エネルギーを電源とする分散型発電による電化が、送配電線の長距離延伸と比べて経済的となる場合が多い。また、小規模の分散型電化事業は、初期投資を分割、小型化するため、政府にとって財務支援がし易くなるという効果もある。カンボジアの僻地未電化村では、全土において太陽光ポテンシャルが高く、場所を選ばず、設備の大きさを需要に合わせる事ができる太陽光利用が適している。

5.3.1 日射量

カンボジアでは NEDO の実証実験を通じて、数箇所です地上日射量を観測している。この実験は数年前に開始されたが、データは未公表である。本調査では、NASA のホームページ <http://eosweb.larc.nasa.gov/> から衛星による日射量データを取得、分析した。10 年間の年平均日射量データを表 AP-B1.1 添付資料-B に添付する。最低年平均は $4.7 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ 、最高年平均は $5.3 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ であり、全国平均は $5.0 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ である。

月平均日射量を図 5.3.1 に示す。3 月が最高で $6.0 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ 、8 月が最低で $4.0 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ 。8 月は年による変動幅も大きい。

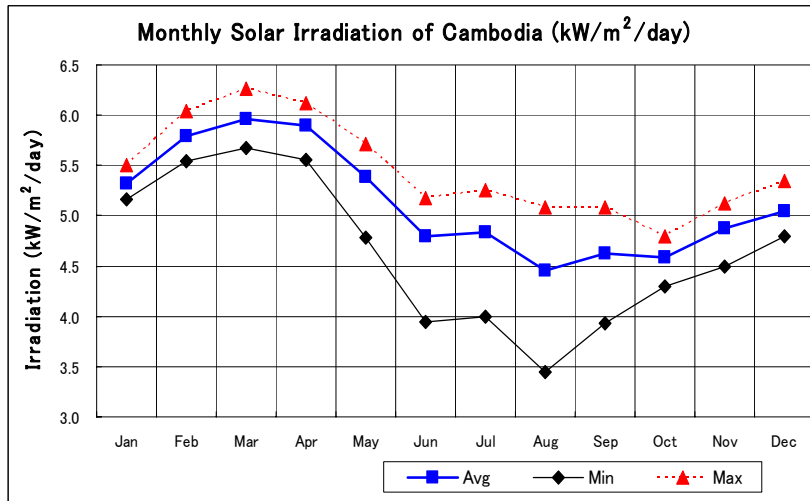
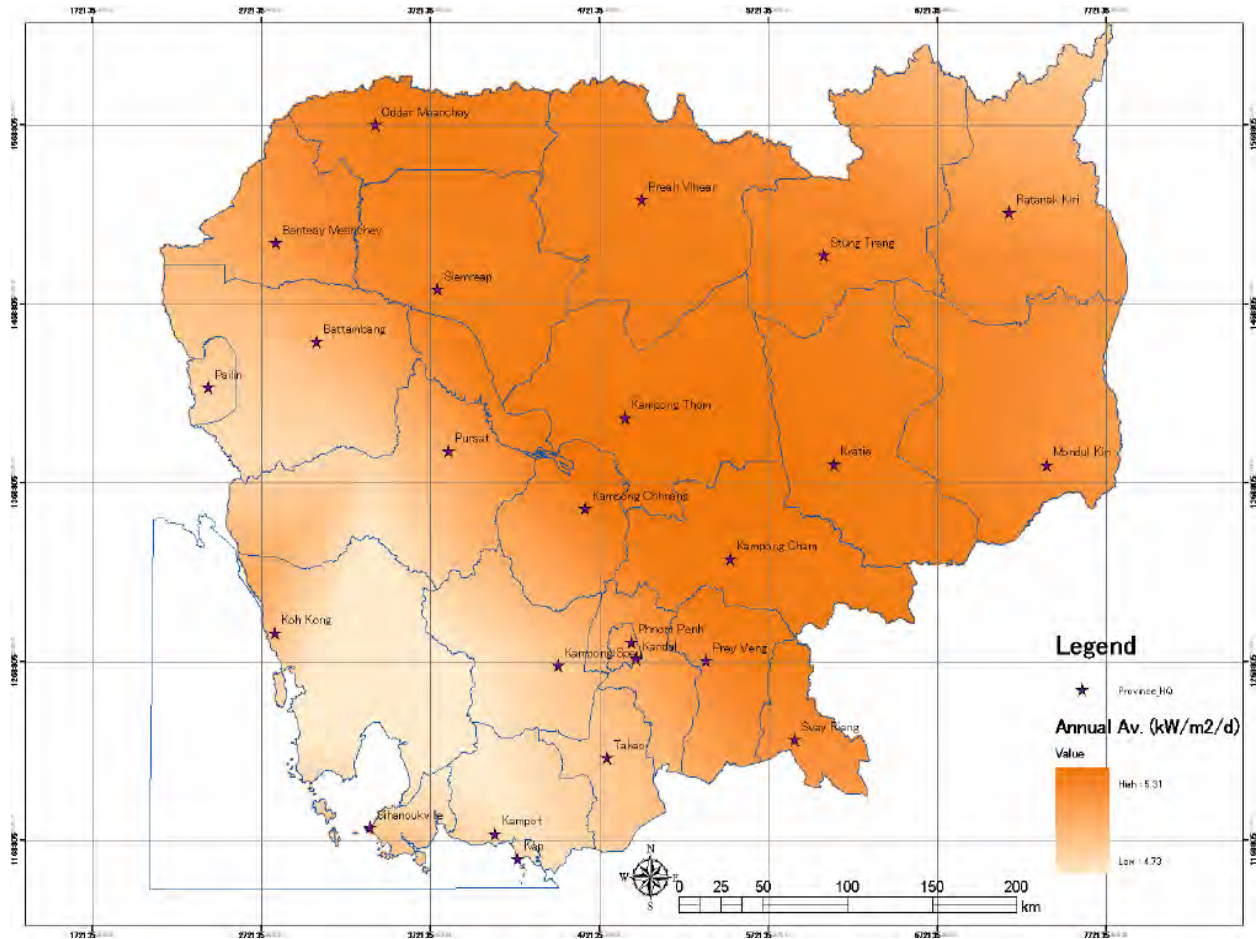


図 5.3.1 月別平均、最低および最高日射

衛星データから作成した年平均日射量の分布を図 5.3.2 に示す。南西地域では日射量が低く、中央部で高いが、東北部に向かって漸減する。



出典：NASA 衛星データをもとに調査団が作成

図 5.3.2 年平均日射量

5.3.2 カンボジアにおける PV システムの普及状況

MIME の 2003 年の記録によれば、国全体で 204 kWp の太陽電池 (PV) モジュールが設置されている。これらシステムは、カンボジア政府、NGO、テレコム会社、NEDO 等が設置したものである。個人ベースで設置したシステムの現状は把握できていない。カンボジアでは商業ベースで太陽電池や周辺機器が輸入され、政府機関や個人利用者、NGO 等にシステムが提供されている。NEDO/MIME 共同実証実験で設置された大型システムを図 5.3.3 に示す。テレコム会社が設置した中・小型システムを図 5.3.4 に示す。システム設計のための標準パラメータが設定されていないため、既存システムは援助機関あるいはサプライヤーが独自基準で設計したものである。



(a) 大型 PV (50 kWp) & Biogas ハイブリッドシステム (b) 大型 PV (30 kWp) & MH ハイブリッドシステム
 図 5.3.3 NEDO/MIME 共同実証実験プロジェクト



(a) 中型 PV システム (b) 小型 PV システム
 図 5.3.4 無線通信基地局に設置されている PV システム

カンボジアでは Solar Power Co., Ltd.、Khmer Solar 等の太陽光機器販売会社が営業している。これらの会社が、個人、NGO、あるいは政府機関からの注文に応じて PV、周辺機器等を輸入し販売している。

5.3.3 太陽光発電設備の種類

カンボジアでは 2020 年までに全国の村落電化率 100%を達成することを目標としている。グリッド延伸および他電源によるミニグリッドを設置不可能な地域では太陽光が一つの選択肢となる。僻地の簡易電化は、貧困削減、都市地方間格差是正、および都市部への人口集中を緩和すること

に貢献する。システム設計に先立ち、対象地域の日射量、家庭の照明負荷、世帯数、支払い能力等の基本的データを把握することが必要である。家庭照明需要が主体であること、PV システムの単価、および必要なバッテリー容量を考慮すると、PV システムで三相あるいは単相交流電力を供給することは非現実的である。SHS は商業ベースで何件か設置されているが、裕福な世帯でしか導入できない。世界における過去の設置事例では、SHS の設置後バッテリーの交換が重荷となり、SHS が放置されているケースが多い。SHS は、必然的に個人所有とせざるを得ないことから、REF による 25%の資金援助を受けてシステムを導入できる個人を対象とする。本 MP では SHS を紹介し、REF の利用を奨励することに留める。

本 MP で検討対象となる太陽光利用システムは以下の 3 形態である。

- (i) 太陽光 BCS
- (ii) 公共施設用 PV システム (オプションとして太陽光 BCS 機能も付加)
- (iii) ハイブリッド・システム

(1) 太陽光 BCS

カンボジアでは数多くのディーゼル BCS が設置されており、住民が広く利用している。ほとんどの BCS では、バッテリーを直列につなぎ、ディーゼル発電機の出力電圧に合わせて充電している。一方、村人はバッテリーを完全に放電するまで利用している。各家庭のバッテリーには過放電を示す表示ランプ等がついてない。BCS オーナーおよび村人に、バッテリーの正しい充電方法と使い方を教える必要がある。

遠隔地域では太陽光 BCS で充電されたバッテリーにより、軽負荷電気製品を使用することも可能である。ディーゼル BCS の代わりに新しい太陽光 BCS を設置する場合には、燃料輸入の節減効果もある。適切な充電設備の導入によって、バッテリーの効率的充電と寿命延長を図ることができる。太陽光 BCS は、他電源のポテンシャルが不十分で、かつ需要が小さい場所に適している。表 5.3.1 に太陽光 BCS の設計パラメータを示す。

表 5.3.1 太陽光 BCS の設計パラメータ

番号	パラメータ	値	単位	備考
1	Horizontal solar irradiation	5.1	kWh/day	Country average (from satellite data)
2	Module derating factor	10	%	Decrease of output due to dirt, years of uses and so on.
3	Columbic efficiency	90	%	To charge battery effectively.
4	Charge controller (C/C) consumption	10	mA/day	Depends on manufacturer
5	Depth of discharge (DOD) of battery	50	%	Manufacturers recommendation for shallow cycle lead acid batteries
6	Charging interval of each battery	5	days	To control deep discharge manually
7	Required Voltage output from charge controller (C/C)	13.5 and above	V	To charge battery effectively
8	C/C capacity	12	Amp	To charge battery effectively
9	Capacity of battery to be charged	50, 70 & 100	Ah	Capacity of batteries used at present

出展：JICA 調査団

太陽光 BCS の設計にあたり、充電するバッテリー数および容量を把握する必要がある。太陽光

BCS の標準容量は、対象村落の世帯数により選択できるように 4 つのグループに分けた（表 5.3.2）。システム容量は上表の設計パラメータを用いて算出した。バッテリー容量および数は、現地調査情報による。システム設計を表 AP - B1.3、添付資料 - B に添付する。

表 5.3.2 標準モデルの対象世帯数およびシステム容量

Group	Numbers of HH to be covered	Percentage (%) of battery to be charged by the system			Nos. of batteries to be charged each day	System Capacity	
		50 Ah	70 Ah	100 Ah		Value	Unit
1	Up to 25	30	50	20	5	1	kWp
2	From 26 to 50				10	2	
3	From 51 to 75				15	3	
4	From 76 to 100				20	4	

出展：JICA 調査団

対象世帯数が 100 軒以上の場合、上表の標準モデルを組み合わせ、太陽光 BCS を構築する。上記のシステム容量算出に際し、以下の設計条件を設定した；

- 各 PV モジュールの出力電流を 3.0 Imp とする
- PV 容量を 1 kW 単位に切り上げる
- PV システムの電圧は、高い外気温（35°C）でも充電出来るよう、また充電コントローラが 13.5V を保てるよう、選定する
- PV の直並列配置は、各バッテリーを 1 日以内に充電できるように設定する。

(2) 公共施設用 PV システム（オプションとして太陽光 BCS 機能を付加）

この PV システムは、住民がバッテリーを購入する支払い能力を持たないような貧困村落の診療所、集会所、夜間学校等の公共施設に設置する。一部の住民に充電需要があれば、PV の容量を増やし BCS 機能を付加する。利用者は太陽光 BCS 同様、充電費用を支払ってバッテリーを充電する。徴収した充電費は施設の維持管理に使う。この PV システムには長寿命・高パフォーマンスの重深度バッテリーを利用する。表 5.3.3 に設計パラメータを示す。

表 5.3.3 公共施設用 PV システムの設計パラメータ

番号	パラメータ	値	単位	備考
1	Horizontal solar irradiation	5.1	kWh/day	Country average (from satellite data)
2	Module derating factor	10	%	Decrease of output
3	Columbic efficiency	90	%	To charge battery effectively
4	Depth of discharge (DOD) of battery	80	%	For deep cycle batteries
5	Days of autonomy (no sunny days)	3	days	Reservation for no sunny days
6	Charging interval for public	5	days	To control the deep discharge
7	Required voltage output from C/C	13.5	V	Minimum voltage to charge battery effectively
8	DC system voltage	12	V	Voltage required for charging option

出典：JICA 調査団

PV システムの容量決定のためには、利用時間、充放電装置の容量、インバータの有無を決める必要がある。無日照日は衛星データを参考にして決める。全国平均無日照日は、算術平均 2.9 日

を切り上げて3日とする。無日照日が3日以上ある地域では、システム設計の際対象施設例えば診療所の電気需要を検討することが必要となる。地域毎の無日照日の衛星データを表 AP-B1.2、添付資料-Bに添付する。

(3) ハイブリッド・システム

地方部の電気需要は朝晩に集中し、昼間はほとんどない。太陽光 BCS は 24 時間給電には適していない。乾季に小水力の出力が低下したり、あるいはバイオマス発電の燃料供給が困難な期間（例えばモミガラ発電の場合の稲収穫前 1-2 ヶ月）に、PV システムにより電力を補給するハイブリッドが、技術的には可能なオプションのひとつとなる。PV システムは昼間にはバッテリーなしでも給電できる。主システムを先ず計画し、昼間需要を考慮して PV システムを検討する。この場合、PV システムのバッテリーは、電源切り替え後に必要となる容量に限定できる。PV システムは小水力、バイオマス、風力、あるいはディーゼル発電設備とのハイブリッドが考えられる。

しかし、5.3.3 節で述べたように、風力とのハイブリッド BCS 以外は、交流電力の供給となるので、本 MP では対象としない。

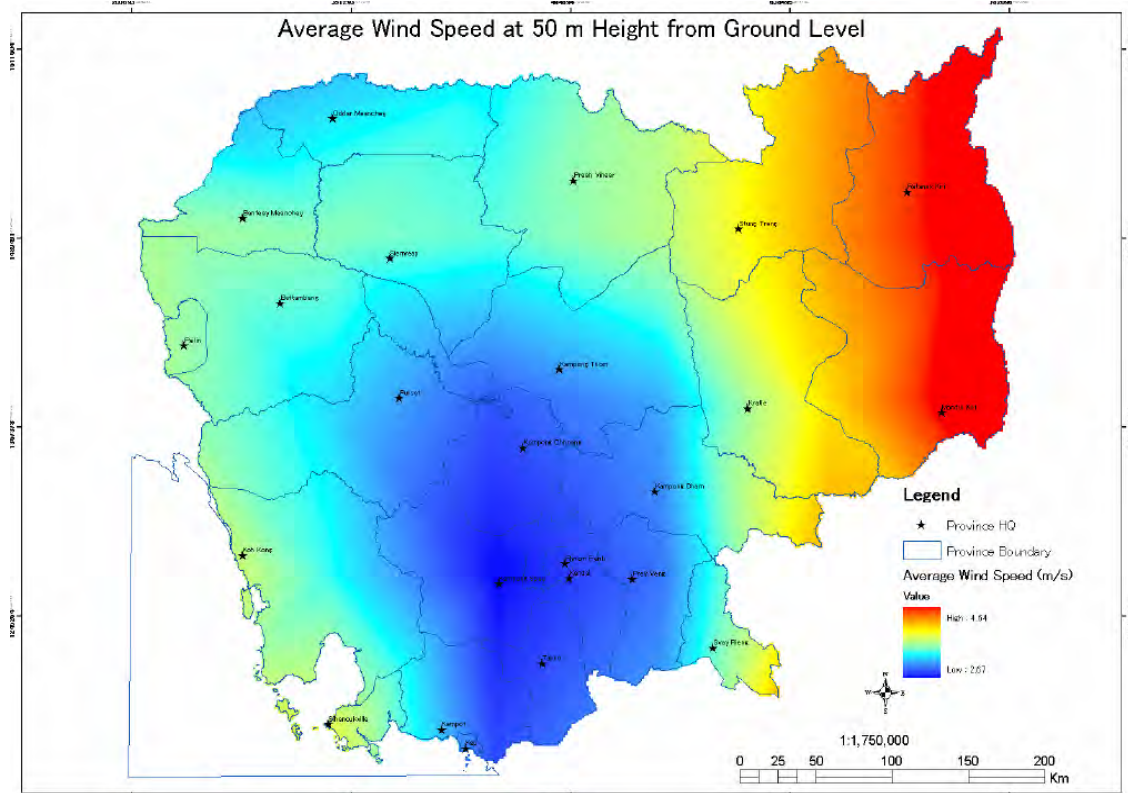
5.4 風力発電

一般に風力は海岸周辺および山岳地域で強い。しかし、人が住んでいない地域では利用できない。一般に 10 分間平均風速が 7 m/s 以上の所では風力発電が経済的になり、世界で風力発電設備が建設されている。大部分は中大型機で、系統に接続することにより風力の出力変動を系統が吸収している。小水力同様に、カンボジアの風力資源はサイトが限定される。オフグリッド地域の電化では小型風力が必要となるが、系統接続用の 500-2,000 kW クラスの大型機 (kW 当り 3,000 ドル) と比べて kW 単価が顕著に増大する。

5.4.1 風力ポテンシャル

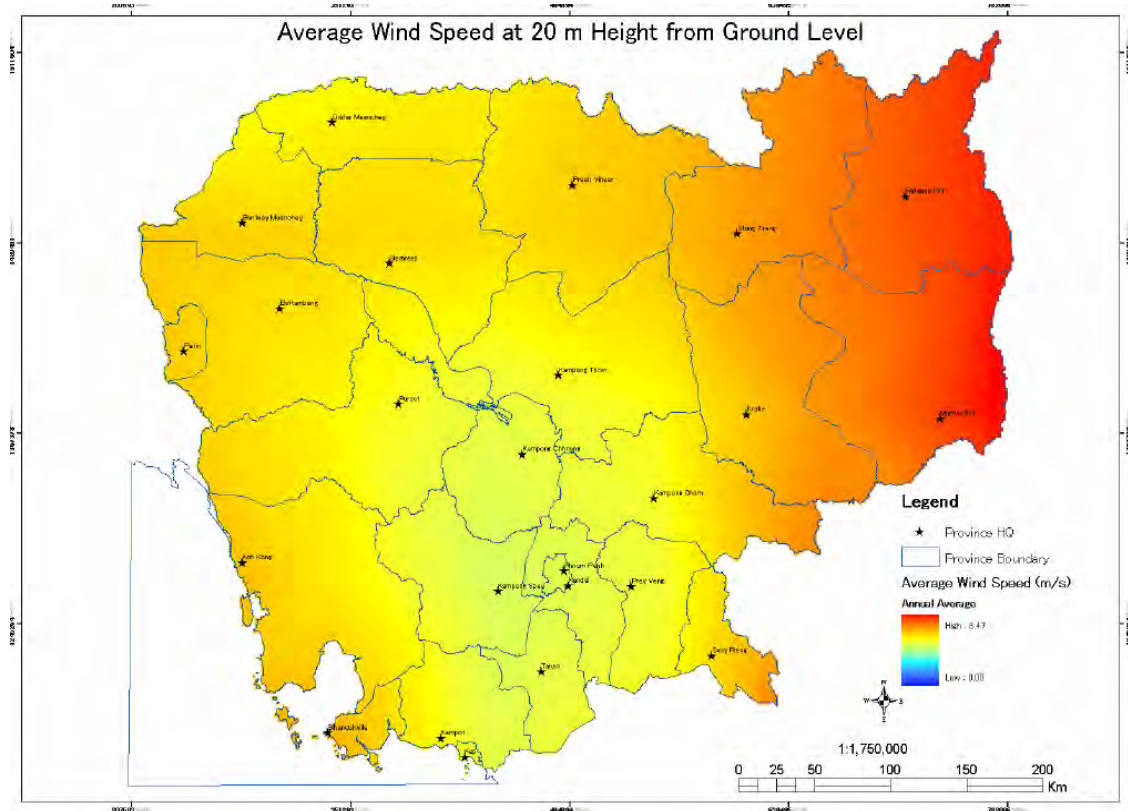
風力観測所はカンボジアではわずかしかない。NEDO の実証試験研究プロジェクトで、発電システムの設置と共に風力を観測している。シハヌークビルの場合、NEDO バンコクの協力で水処理センターの建物の屋上に風力計を、また港湾管理当局が通信タワーの約 30 m の高さに設置して観測している。これら地上観測データを分析した。先ず、NASA の衛星データを取得し、全国の風力ポテンシャルを分析した。10 年間の 50 m 高と 20 m 高での年平均風速データを表 AP-B2.1 と表 AP-B2.2、添付資料-B にそれぞれ添付する。地上から 50 m 高での平均風速は約 3.5 m/s で (図 5.4.1 参照)、20 m 高で約 2.6 m/s である (図 5.4.2 参照)。50 m 高の場合、東部で風力ポテンシャルが高く約 4.6 m/s に達する。

世銀のアジア再生可能エネルギープログラムのために作られた 'WIND ENERGY RESOURCES ATLAS OF SOUTHEAST ASIA' によると、35 m の高さで、海岸および山岳部でポテンシャルが高いが、周辺国と比べるとカンボジアの風力ポテンシャルが小さいことが分る。局所的に風力ポテンシャルの高い「風回廊」もあるが、そのような地点の風力発電計画には、計画地点での風力ポテンシャル調査が必要となる。



出典：NASA 衛星データをもとに調査団が作成

図 5.4.1 地上高 50mでの年平均風速



出典：NASA 衛星データをもとに調査団が作成

図 5.4.2 地上高 20mでの年平均風速

5.4.2 風力発電設備

カンポット州では PV とのハイブリッド・システムとして NEDO バンコクの協力により数 100 W 程度の小型風力発電設備を設置した。しかし、据え付けから数か月後に壊れてしまい現在動いていない。故障の原因は不明である。これ以外には NGO あるいは個人での風力発電機の設置情報は入手できていない。

カンボジアでは風力ポテンシャルが限られている。オフグリッド地域の簡易電化計画において、風力発電により BCS に給電するためには、BCS 自体に大きなバッテリー容量が必要となり、その費用がかさむ。さらに、5 年程度毎にバッテリーの更新費用が必要となる。小型風力発電システムは、初期設置費用でも太陽光 BCS を上回り、さらにバッテリーの更新費用の点から持続性が懸念される。したがって、一部の風回廊を除いて、風力は本 MP のオフグリッド地域の候補電源から外す。

なお、マスタープラン対象外であるが、農業・家畜および生活用水を汲み上げるために太陽光や風力資源を用いることは、バッテリーが不要であり、推奨できる利用形態である。

第2巻： マスタープラン

Part 1	基礎調査
Part 2	マスタープラン
Part 3	地方電化計画

カンボジア国
再生可能エネルギー利用地方電化マスタープラン調査
ファイナルレポート

第2巻 マスタープラン

目次

Part 2 マスタープラン

第1章	開発戦略	P2 - 1
1.1	地方電化の政策目標	P2 - 1
1.1.1	地方電化セクターのゴールと政策目標	P2 - 1
1.1.2	EdC 系統による地方電化	P2 - 2
1.1.3	地方電気事業者 (REE) による地方電化	P2 - 4
1.1.4	再生可能エネルギーによる地方電化	P2 - 4
1.2	送電網拡張計画と MP の対象地域	P2 - 5
1.2.1	送電網とその対象地域の定義	P2 - 5
1.2.2	地方電化のための再生可能エネルギー開発の対象地域	P2 - 7
1.3	未電化村の分布と電化需要	P2 - 9
1.4	再生可能エネルギーのポテンシャル	P2 - 10
1.4.1	小水力発電	P2 - 10
1.4.2	太陽光エネルギー	P2 - 13
1.4.3	風力発電	P2 - 14
1.4.4	バイオマス発電	P2 - 14
1.5	再生可能エネルギーの需給バランスとディーゼル発電機の役割	P2 - 17
1.5.1	小水力	P2 - 17
1.5.2	太陽光	P2 - 18
1.5.3	風力	P2 - 18
1.5.4	バイオマス発電	P2 - 18
1.5.5	ディーゼル発電機の役割	P2 - 18
1.6	地方電化のための制度的枠組み	P2 - 19
1.6.1	概要	P2 - 19
1.6.2	オフグリッド電化の阻害要因と課題	P2 - 19
1.6.3	オフグリッド電化実施のための制度的枠組みについての提案	P2 - 19
1.7	電気料金と補助金制度	P2 - 21
1.7.1	料金設定の原則と規則	P2 - 21
1.7.2	料金設定原則	P2 - 22
1.7.3	金融支援制度(補助金とソフトローン)	P2 - 23
第2章	地方電化の開発シナリオ	P2 - 25
2.1	送電網による全国規模の電化	P2 - 25
2.1.1	全国送電網による電化の基本政策	P2 - 25
2.1.2	全国送電網の拡張の基本方針	P2 - 27
2.1.3	全国送電網拡張計画	P2 - 28
2.1.4	副送電系統の拡張計画	P2 - 32
2.1.5	免許業者の全国送電網への取り込み	P2 - 35
2.1.6	送電網による電化地域の需要予測	P2 - 38

2.2	オフグリッド地域の地方電化政策	P2 - 41
2.2.1	オフグリッド地域の電化戦略	P2 - 41
2.2.2	地方電化推進のための短期施策	P2 - 64
2.2.3	地方電化の中期推進施策	P2 - 71
2.2.4	目標電化率達成の見通し	P2 - 72
2.2.5	必要資金額と資金計画	P2 - 73
2.2.6	地方電化実施組織体制	P2 - 82
2.2.7	能力強化組織	P2 - 83
2.2.8	コミュニティ・エンパワメント	P2 - 85
2.2.9	マスタープランプロジェクト	P2 - 86

付表目次

表 1.1.1	電化率 70%達成に必要な年平均増加率	P2 - 3
表 1.4.1	小水力電化対象候補村落(1/2)	P2 - 12
表 1.4.1	小水力電化対象候補村落(2/2)	P2 - 13
表 1.5.1	小水力により電化可能な村落と世帯数	P2 - 17
表 1.6.1	地方電化のビジネスモデルと関係主体の役割分担	P2 - 20
表 1.7.1	オフグリッド電化地域の料金表	P2 - 22
表 1.7.2	REFの仕組みと補助金の比率	P2 - 23
表 2.1.1	全国送電網の 2020 年までの拡張計画	P2 - 30
表 2.1.2	副送電線路拡張計画	P2 - 33
表 2.1.3	全国送電網の需要予測 (2004-2020)	P2 - 40
表 2.2.1	2020 年までの地方電化の資金需要	P2 - 51
表 2.2.2	CECの支援機関と役割分担	P2 - 53
表 2.2.3	地域別、レベル別電化基本方針	P2 - 54
表 2.2.4	再生可能エネルギーの分散型電源としてのポテンシャル	P2 - 55
表 2.2.5	オフグリッド地域のミニグリッド電源の必要条件	P2 - 59
表 2.2.6	カンボジアの地方電化計画	P2 - 60
表 2.2.7	地方電化計画と資金需要	P2 - 63
表 2.2.8	既存 REF と調査団提案の CFR の機能	P2 - 67
表 2.2.9	オフグリッド地域の電化資金の調達案	P2 - 71
表 2.2.10	2030 年最終目標達成のための電化タイプ別投資コスト推計	P2 - 73
表 2.2.11	2020 年中間目標達成のための電化タイプ別投資コスト推計	P2 - 74
表 2.2.12	最終目標達成のための投資コスト見積もり	P2 - 75
表 2.2.13	地方電化のための資金調達のフレームワーク	P2 - 75
表 2.2.14	中間目標達成のための資金源別資金調達計画	P2 - 76
表 2.2.15	電化タイプ別の段階的投資計画	P2 - 77
表 2.2.16	資金源タイプ別の段階的投資計画 (補助金一定のケース)	P2 - 77
表 2.2.17	資金源タイプ別の段階的投資計画 (補助金を抑制するケース)	P2 - 78
表 2.2.18	3つの補助金タイプにおける資金源別投資計画	P2 - 78
表 2.2.19	資金調達先候補	P2 - 80
表 2.2.20	地方電化セクターにおける、実施体制(案)	P2 - 82
表 2.2.21	小水力によるミニグリッド計画のリスト	P2 - 87
表 2.2.22	バイオマスガス化発電によるミニグリッド計画のリスト	P2 - 88
表 2.2.23	太陽光 BCS のリスト	P2 - 89

付図目次

図 1.1.1	地方電化セクターのゴール、目標、効果、アクション	P2 - 2
---------	--------------------------------	--------

図 1.2.1	送電網拡張計画で電化される対象地域.....	P2 - 7
図 1.3.1	村落別電化水準.....	P2 - 10
図 1.4.1	選定された小水力 21 計画の位置図.....	P2 - 11
図 1.4.2	カンボジアでの地域別平均日射量の季節変動.....	P2 - 14
図 1.4.3	カンボジアの土地利用図(2003).....	P2 - 15
図 1.4.4	コミュニティ別の世帯当り草地・灌木地面積.....	P2 - 15
図 1.6.1	オフグリッド地域の電化実施体制.....	P2 - 21
図 2.1.1	EDC の全国送電網拡張計画.....	P2 - 29
図 2.1.2	全国送電網の 2020 年までの拡張計画.....	P2 - 31
図 2.1.3	副送電線路の拡張計画.....	P2 - 34
図 2.1.4	副送電線の延伸に伴う REES の取込.....	P2 - 35
図 2.2.1	PAGE、オングリッド地域、オフグリッド地域.....	P2 - 41
図 2.2.2	電化戦略と短期・中期推進施策.....	P2 - 45
図 2.2.3	カ国地方電化の環境条件と必要な支援.....	P2 - 46
図 2.2.4	地方電化セクターの関係機関と機能.....	P2 - 48
図 2.2.5	CEC の支援が必要な背景.....	P2 - 49
図 2.2.6	CEC に対する 3 つの支援.....	P2 - 49
図 2.2.7	CEC 支援の枠組みと機能分担.....	P2 - 50
図 2.2.8	CEC の支援概念.....	P2 - 50
図 2.2.9	PAGE 外部地域のコミュニティの収入水準による電化ピラミッド.....	P2 - 54
図 2.2.10	カンボジアの日射量の月変動範囲.....	P2 - 55
図 2.2.11	カンボジアの環境保護区と小水力ポテンシャル地点.....	P2 - 56
図 2.2.12	草地・かん木地の世帯当り面積.....	P2 - 56
図 2.2.13	カンボジアのバイオマスガス化発電による地方電化の事例.....	P2 - 57
図 2.2.14	ガス化炉用燃料木.....	P2 - 58
図 2.2.15	2020 年時点の村落および世帯電化率の計画内訳.....	P2 - 61
図 2.2.16	村落電化率の向上計画 (バッテリー照明を含む).....	P2 - 61
図 2.2.17	グリッド品質の世帯電化率の向上計画 (バッテリー照明を除く).....	P2 - 62
図 2.2.18	設備利用率と需要家端原価の関係.....	P2 - 63
図 2.2.19	免税の意義と税収への影響.....	P2 - 65
図 2.2.20	相互補助が必要な背景.....	P2 - 66
図 2.2.21	ブスラ計画発電所地点.....	P2 - 68
図 2.2.22	サンケ河.....	P2 - 69
図 2.2.23	カンボンコー村の並木道と給水車.....	P2 - 70
図 2.2.24	スラエタパン村.....	P2 - 71
図 2.2.25	EDC の売上予測とタリフ・サーチャージ期待額.....	P2 - 81
図 2.2.26	発電量及び発電原価の予測.....	P2 - 82
図 2.2.27	CEC による運営の一案.....	P2 - 84

Part 2 マスタープラン

第1章 開発戦略

1.1 地方電化の政策目標

1.1.1 地方電化セクターのゴールと政策目標

地方電化セクターの最終ゴールは、カンボジア国の「再生可能エネルギーによる地方電化政策」に記述されているように、① 貧困削減、② 生活水準向上、③ 地方経済開発の育成支援である。このゴールへの第1ステップとして、MIME は地方電化目標を次のように設定し、本 MP でも採用する。

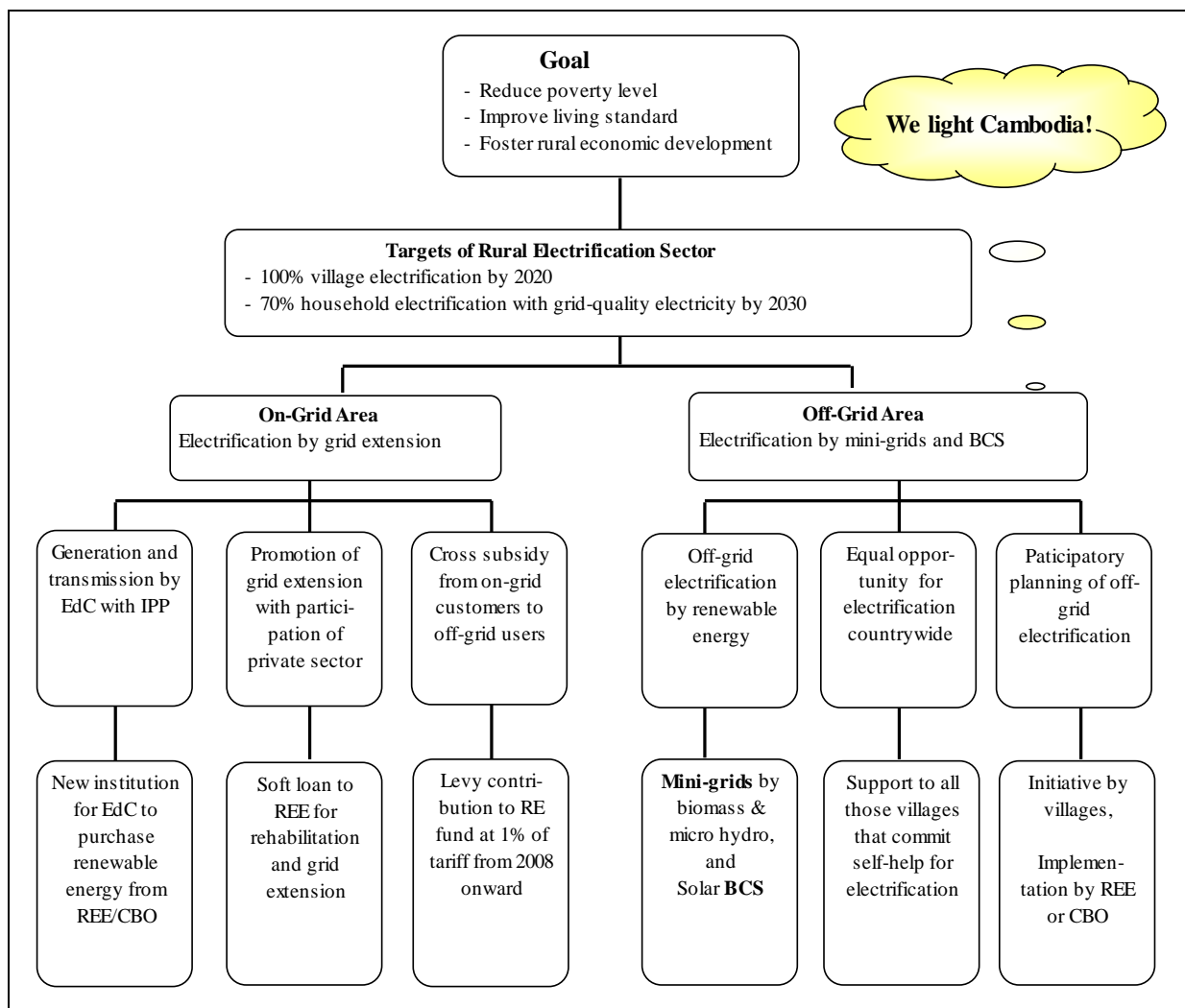
- 1) 2020年までにバッテリー照明を含めて100%の村落電化率を達成する。
- 2) 2030年までにグリッド品質の電気により70%の世帯電化率を達成する。

上記政策目標を達成するために、カンボジア国の地方電化は図 1.1.1 に示す戦略フレームに沿って実施する。この地方電化は次の2つの方法で実施する：① オングリッド地域における系統延伸による電化、② オフグリッド地域におけるミニグリッドおよび BCS による電化。

オングリッドは、全国電力系統の延伸により EdC が主導する。この系統延伸は、民間セクターが全国系統に接続するサブグリッドを建設・運営することによってさらに拡張・補完される。全国系統に接続され廉価かつ高品質の電力を享受できる顧客は、高価なオフグリッド電化を支援するファンドに寄金することを求められる。

オフグリッド電化は、再生可能エネルギーにより、全村落に対して電化機会を均等に提供するものであり、村落主導の原則で実施する。この電化は、バイオマスと小水力を電源とするミニグリッド、および太陽光 BCS¹ の分散型電源による。本 MP が設計・提案する支援制度に沿って村落住民が計画し提案する電化事業には、資金支援での高い優先度が与えられる。そのような電化事業計画は村落住民自身（CEC）が直接、あるいは民間ビジネス（REE）として実施される。

1 局所的な風回廊で風力ポテンシャルが高い場合には、風力 BCS も対象とする。



出典：調査団

図 1.1.1 地方電化セクターのゴール、目標、効果、アクション

1.1.2 EdC 系統による地方電化

(1) カンボジアの電力セクターの特徴

ほとんどの東南アジア諸国では、その国の電気供給事業を国営の電力会社(以後公社)に委ね、地域的な独占営業権を与えてきている。一部では民営化が進められてきているが、ほとんどの場合、送電会社や需要家に直結している配電会社には地域的独占権を付与している。その理由として、電気供給事業は設備産業であり、地域密着型であり、代替施設の建設は経済的に困難なことに由来する。一般的に、電気供給事業者が地域的独占権を付与する代わりに、その地域内の受電を希望する需要家への電気の供給を義務付けている場合が多い。換言すれば、地方電化の義務を負わせていることになる。

一方、電気料金はほとんどの場合認可制であり、地方電化促進に伴う費用負担を軽減するための電気料金体系の採用や政府補助金制度を採用している。電気料金体系での補助政策は、一般的に、需要家グループ間の補填の形態を採用している場合が多い。EdC の電気料金体系も需要家グループ間の相互補助方式を採用しているが、地方電化促進のためでなく、政策としての低収入の一般家庭の電気料金の低減・抑制のためである。(現実には、このような貧困世帯は需要家当り最小

のエネルギーしか消費しない。その結果、kWh 当りの固定費負担が重くなり、給電単価は EdC の多様な需要家のなかで最も高くなる。))

農村部では、電気料金の支払い能力が低く、1軒当りの消費量も少ない(カンボジアの典型的な地方部では1ヶ月1世帯当り7-10 kWhの水準であり、一方都市部では50 kWh)。そのような低消費水準の顧客に接続し給電するためにも、料金徴収や設備の維持管理が必要となり、その費用は料金収入を超過する。この赤字が配電業者にとって経済的負担となる。

一方、カンボジアでは、建前上 EdC が全国的地域独占権を付与された時期はあったが、その設備、資金力の関係でプノンペンと特定の州都に限定された事業となっただけでなく、その他の地域の電気供給は DIME と民間によってなされてきた。

電気法の制定により、その状況を容認すること(電気供給事業の自由化)が明確に規定され、誰も未だ免許を取得していない地域において、電気供給事業に参加できる状況となった。近隣諸国と比較すると、このことは地方電化の促進という観点から見てカンボジアにとって有利であり、適切な政策をとることにより地方電化が飛躍的に促進される可能性を秘めているといえる。

GIS データベースを用いて算出した結果によると、州都を中心とする半径 40km の範囲内に国民の 80%強が居住していることがわかった。このことは地方電化のための送電網の拡張に投資する資金の費用効果が近隣諸国に比較して非常に高いことを意味する。

民間に電気供給事業を開放後、急速に地方電気事業者が誕生してきており、潜在需要の高さを示している。しかしながら、隣国から電力を輸入する場合を除き、そのほとんど全てが中古か廃棄寸前の老朽化した小型のディーゼル発電機を電源としている。さらに需要が照明やテレビに限定されるためエネルギー消費水準が低く、固定費負担のために必然的に発電原価が高くなり、カンボジアの地方部では 0.30-0.90 ドル/kWh という非常に高い電気料金となっている。

(2) 全国電力系統の拡張による電化

MIME は地方電化政策として、送電網と同等の質の電気 (grid-quality electricity) による電化目標値を 2030 年時点で 70%と設定している。2004 年末の実績値を基に 2030 年末において電化率 70%を達成するために必要となる年平均増加率を算定すると以下のとおりである。

表 1.1.1 電化率 70%達成に必要な年平均増加率

地方電気事業者グループ	世帯電化率 (%)			平均増加率 (%)
	2004	2020	2030	
1. EdC only	8.4	31.0	70	8.50
2. EdC + Licensees of EAC	10.8	34.1	70	7.45
3. EdC + Licensees of EAC + Others	18.5	41.9	70	5.25

EdC の過去 6 年間の平均増加率は 15.0%であり、この数値は電力供給地域を増大させてきた影響を含んだものとなっている。1999 年に EdC の供給地域であった電力供給システムに限った年平均増加率は 11.4%であった。

上表より明らかなごとく、2030 年末までに 70%の電化率を達成するための年平均増加率は、上記 11.4%より少ない数値である。

2030 年の目標電化率 70%を達成するために必要となる電化世帯の平均増加率 (5.25-8.59%) は

EdCの過去の実績値11.4%より低い。一見すると、2030年までに70%の目標電化率を達成することは、特別な政策手段なしでも可能と見える。しかし、EdCの供給地域は人口密度の高い都市部のみに限定されている。過去の高い増加率11.4%は、必要な電源の増設や配電網の整備・拡張のために、多大な資源を投入してきた結果である。同様の努力と資源投入が、カンボジア全土の地方電化を推進するために必要となっている。

その努力の主たるものは、115kV または 230kV 送電網の拡張であり、それに合わせた EdC の供給地域外への副送電網の延伸である（高い発電原価に苦しんでいる既存ミニグリッドに廉価なエネルギーを供給する）。このような系統延伸計画が適切に実施されるなら、70%の目標電化率を系統延伸だけで実現することも不可能ではないだろう。

1.1.3 地方電気事業者（REE）による地方電化

カンボジアの地方電化では REE 事業者の参加が奨励されている。この政策は、次の効果を狙うものである。

- 1) オングリッド・オフグリッド両地域を通じて、民間セクターの資本、人的資源、ノウハウ、および効率性の活用
- 2) オフグリッド地域におけるミニグリッドと BCS の推進
- 3) 小さな政府を目指す政策実施に民間セクターが参加することを促進（民間ができることは民間に任せる）

地方電化セクターへの民間投資家の参入を奨励するため、カンボジア政府は支援システムを設立・運用する。

民間セクターによる地方電化を補完するために、村落主導 (community-based organization, CBO) の実施方法も奨励する。民間事業者の関心を呼び込めないような僻地の小規模村落のミニグリッドや BCS を建設・運営できるのは CBO だけである。CBO モデルの本質は、初期資金の一部負担、労力の現物出資としての拠出などにより、可能な限り低廉な料金水準を実現することにある。しかし、適切な計画とガイダンスなしに実施すると、悲惨な結果を招く。本 MP では、そのような村にもまた電化の均等機会を提供するための支援制度を設計・提案する。

1.1.4 再生可能エネルギーによる地方電化

地方電化の最終段階では、PAGE (Potential Area of Grid Extension、各州都から半径 40 km 以内の地域) 内部に位置するほとんどの世帯を全国電力系統に接続し、給電することになる。これは、全国電力系統の大きな発電規模によるスケールメリットと、昼間需要を持つ負荷パターンから実現される廉価で高品質の電力を、供給するものである。しかし、地方電化を系統拡張だけに依存すると、以下に示すように、面的に都市から地方部へ順次拡張とならざるを得ない。

- 1) 高压送電線を建設してベトナム、タイ、ラオスの廉価な電力を輸入することにより、先ず全国電力系統の発電能力を確保する (2007 年完成予定)
- 2) 高压送電網の全国的な拡張と、各州都への基幹変電所 (GS) の建設
- 3) 各州都から PAGE 内の主要道路沿いに 22 kV 配電線の延伸 (この系統延伸は、第 1 優先地域、第 2 優先地域、補完地域などの 2-3 期に分けて実施することになる)
- 4) 22 kV 配電線沿いの両側各 1 km 以内の世帯の低压配電線延伸による電化

このような系統による地方電化は、22 kV 配電線が延伸され、村落に到着するまで待つことが必要となる。さらに、PAGE の外側に位置する村落、および PAGE の内側でも 22 kV 配電線から 1 km 以上離れた村落は、上記系統延伸では電化されない。

これが、カンボジアのオフグリッド地域の電化のための本 MP 調査の背景である。カンボジアの全ての村落が、全国電力系統や州都からの距離に拘わらず、ミニグリッドか BCS を設置することにより、電化を実現できる。これは、カンボジア全土の村落に、電化の均等機会を提供するものである。

加えて、本 MP では、そのようなミニグリッドと BCS の電力を再生可能エネルギーで供給することを推奨する。再生可能エネルギーは、以下の優位性を持つ。

- 1) 燃料代が無料もしくは廉価であり、運営管理の持続性確保に貢献する。
- 2) 中長期的には平均発電原価が、特にエネルギー需要が高いときには、ディーゼル発電より低くなる。その結果、ミニグリッドの料金水準のある程度の低減に貢献する(\$0.35/kWh)。
- 3) 地場資源であり、クリーンで、再生可能である。バイオマス発電で燃料木栽培者に燃料代金を支払う場合、その代金はコミュニティ内に留まり、地域経済を活性化する波及効果を持つ。
- 4) 地方電化セクター全体として、カンボジアの石油輸入の節約と、CO₂ 排出量の増加率の抑制に貢献する。

その一方で、再生可能エネルギーによる電化事業は、ディーゼル発電と比べてより大きな初期投資を必要とする。またカンボジアでは商業銀行によるローン制度が事実上機能しておらず、ほとんどの REE にとって利用できない。したがって、経済的だがより大きい初期費用を必要とする再生可能エネルギー利用ミニグリッドにより、オフグリッド地域の電化を推進するためには、財務支援が最大の課題となっている。

さらに、僻地の電化促進のために、太陽光 BCS によるバッテリー照明の普及を推奨する。これは、最小限の家庭照明を実現し、児童に読書の機会を与えることにより、長期的に識字率向上、貧困削減を目指す社会電化事業である。2020 年までの目標村落電化率 100%を達成するための手段でもある。社会電化を推進するために、太陽光 BCS は未電化村に全額補助金により設置し、リース料を徴収して貸し出す。

1.2 送電網拡張計画と MP の対象地域

1.2.1 送電網とその対象地域の定義

送電網拡張に関連した言葉の定義が、ケースごとの例を挙げて EAC の発行文書、“Regulatory Treatment of Extension and Distribution Grid in Cambodia approved by EAC’s Session No. 27 dated 28 October 2003”、に説明されている。

電力供給システムを、その電圧別に、高圧(HV)システム(115kV またはそれ以上)、中圧(MV)システム(22kV)、および低圧(LV)システム(400/230V)に分類し、さらに、その用途に応じて、送電システムと配電システムに分類している。

送電システムは配電業者や大口の需要家に電気を輸送し、配達し、売るために利用される設備で

ある。送電線路や変電所を含む HV 設備の全てが送電システムの一部を構成するものとし、その所有・運用をするために送電免許の取得を義務付けている。配電用変圧器を含めた MV システムに関しては、その用途に応じて2つに分類している。すなわち、免許業者自身の供給地域内の電力供給に供する場合は配電システムの一部として取り扱う。自身の供給地域外の他の免許業者に電力を供給する目的で延伸された MV 線路および変圧設備は送電システムの一部として取り扱う。後者の送電システムを副送電システム(sub-transmission system)または中間送電システム(interim transmission system)と呼び、送電免許業者によって建設・運用される。

また、全国送電網に接続されていない電力供給システムを孤立システムと規定し、複合免許をそのような電力供給事業者に発行できると規定している。

一方、電気法 32 条に送電免許のなかの全国送電免許は全国の配電会社や大口需要家に電力を供給する権利を有する国有送電会社にのみ付与すると明確に規定している。現在、この規定に合致する会社は EdC のみである。EdC 以外の会社に付与されるのは特別目的送電免許であり、その都度政府の規定に準じて付与が決定される。

以上より、本調査では、送電網拡張計画の対象とする送電網は、EdC が所有・運用する 115kV およびそれ以上の電圧の変電所(以下 GS)、送電線路を含む送電システムおよび GS から EdC の供給地域外の配電業者や大口需要家に電力を供給する目的のために EdC の供給地域外に延伸された HV および MV システム、と定義する。2005 年時点の送電網は、プノンペン市内の 115kV 送電システムおよびそれに電力を供給している 115kV Kirirom 線であり、同線路に接続されている Kampong Speu の GS を含むシステムのみであり、EdC が自己の供給地域外の大口需要家または他の免許業者に電力を供給するために供給地域外に延伸した MV 線路は存在しない。

なお、本調査では、需要密度の低い農村地帯では無効電力の補償を適切に実施すれば、技術的に GS から 50km 程度またはそれ以上の範囲に電力を供給することが可能であるが、GS から延伸できる MV 線路の長さの限度を、同国のエネルギー政策に示す数値に準じて 40km とする。すなわち、図 2.2.1 に示す州都を中心とした 40km の範囲が将来送電網でカバーされる対象地域である。

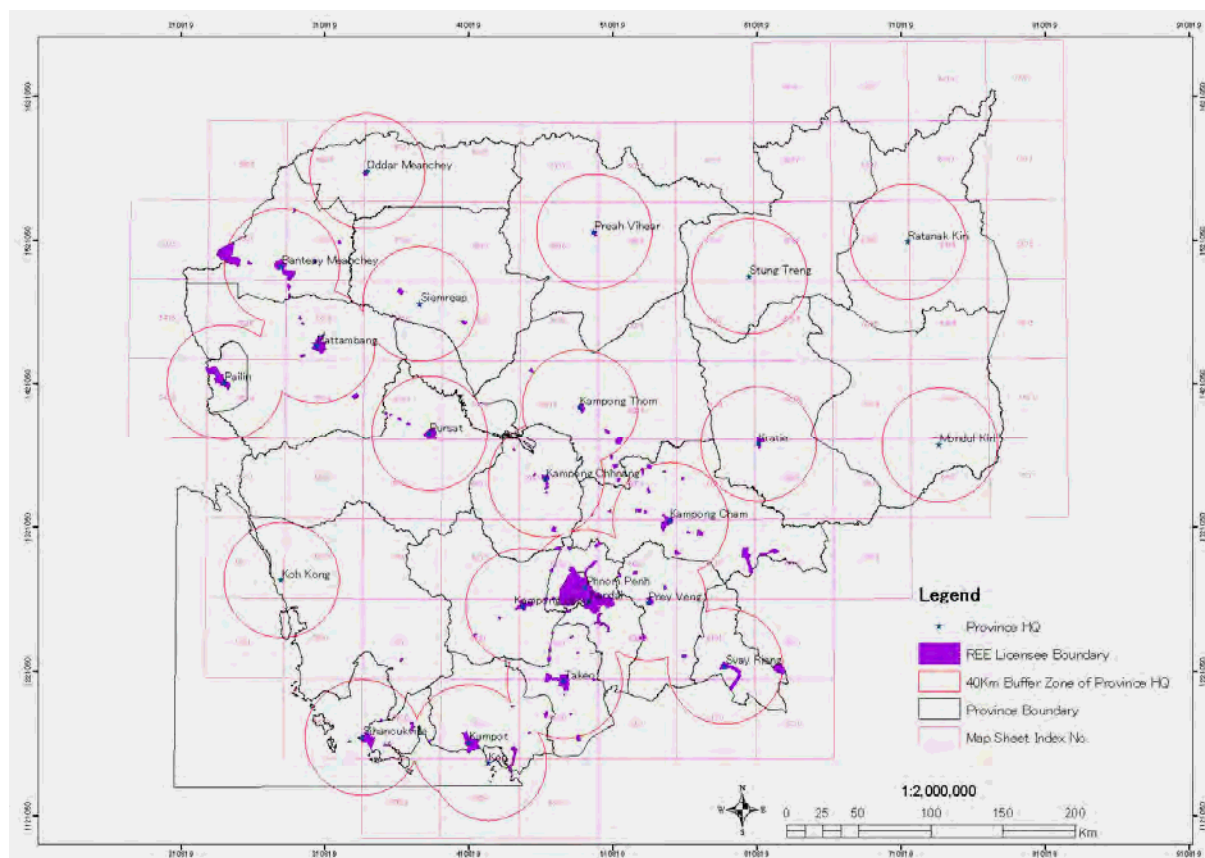


図 1.2.1 送電網拡張計画で電化される対象地域

2005年時点では、EdCが自己の供給地域外の大口需要家または他の免許業者に電力を供給するために供給地域外に延伸したMV線路は存在しない。

1.2.2 地方電化のための再生可能エネルギー開発の対象地域

村落電化の電源として再生可能エネルギーの開発を促進することは、同国で消費される化石燃料のほとんどを輸入に依存している現状から、有意義である。しかしながら、開発地点の選定、その優先順位付け等において、以下に説明するそれぞれの資源の特性および電源としての経済性を考慮する必要がある。

再生可能エネルギーを利用した発電設備の単機容量は比較的小さく、農村部で広く利用されている小型のディーゼル発電設備と競合可能なレベルにある。しかし、送電網の電源である大規模発電設備で発電された電気や隣国からの輸入電力と比較した場合、その発電原価はかなり高いレベルにあると言える。換言すれば、当該地域に送電網が延伸された後は、その地域で開発された再生可能エネルギーを利用したほとんど全ての発電設備は経済的な理由から送電網との共存は困難となる可能性が高い。

地方電化のためにカンボジアに適用可能な主要な再生可能エネルギーの固有の特性は以下のとおりである。

- 1) 小水力：地形・水文により開発可能地点・開発規模が限定され、季節変動が大きい。これらの特性に加えて、ディーゼル発電設備に比較して初期投資額が非常に大きく、建設期間も比較的長い。反面、化石燃料を使う発電設備に比較して運転維持費が格段に安い。

- 2) バイオマス： 一般的に、開発地点や開発規模の選定の制限が少なく、初期投資額も比較的小さい。燃料費を含めた運転維持費はディーゼル発電設備より低い、小水力より高い。発電設備の寿命および保守費用はディーゼル発電設備と同等である。
- 3) 太陽光発電： 同国は太陽光発電に恵まれており、日射量に多少の差があるが、開発地点の選定に制限が無く、資材調達を含めた建設期間が非常に短い。設備の単位容量当りの建設費は水力発電に比較しても高い。反面、ほとんどメンテナンス・フリーの状態での利用でき、維持管理が容易である。

第1.2.1節で説明したように、送電網の延伸に従い新規に建設されたGSから40kmの範囲にある地域が送電網電化の対象地域になる。送電網電化の対象地域は段階的に拡大してゆく。このことは、送電網による電化地域が増大するに伴い、再生可能エネルギーを利用した電化の対象地域が段階的に縮小されてゆくことを意味する。

再生可能エネルギーを電源とする小規模の発電設備と送電網との共存は経済的観点から種々の問題があり、送電網が延伸された地域のそれら小規模発電設備を送電網に接続して利用を継続するか、他の未電化地域に移設するか、または設備そのものを廃棄するかを決定しなければならない。しかし、このような小規模の設備は系統が延伸されるまでの電化には有利である。従って、二重投資を避ける上から、送電網が延伸された時点で廃棄しなければならない発電設備は、将来的に送電網が延伸される可能性の高い地域ではその開発を極力避けなければならないことを意味する。

以上の観点から、本調査において、それぞれの再生可能エネルギーに対し、以下の方針で対象地域を限定し、MPに反映させる。

- 1) 小水力： 開発コストは一般水力に比較して大きな差が無く、送電網が延伸された後は、送電網に接続し、継続して設備を運用することを基本とする。送電網との並列運転は技術的・コスト的に容易である。すなわち、現時点で未電化の地域の包蔵水力および村落の需要調査をベースに開発優先順位を検討し、MPを策定する。カンボジアの既存の水力発電所は、IPPが所有しているKirirom発電所と2004年にEdCに移管されたラタナキリ州のO Chumミニ水力発電所の2箇所のみである。このことは、今後豊富な水力資源の開発・有効活用を促進していかなければならない同国にとって、水力発電開発のための運転・保守の要員の養成の機会が極端に制限されていることを意味する。将来同国の豊富な水力資源の開発を促進するために、多くのよく訓練された運転・保守要員を必要としている。小水力の開発は将来の水力発電所の技術員の訓練の場を提供するものである。小水力は少ない資金で開発でき、準備を含めた建設期間も一般水力と比較して短いうえ、送電網外の村落電化のみならず水力開発のための要員を訓練することに寄与する。
- 2) バイオマス： 地方電化に供される小規模のバイオマス発電設備は、分散型供給システムにおいて既存の小型ディーゼル発電設備と経済的に十分競合することが可能である。しかしながら、送電網と接続して並列運転を行うためには、発電原価の低減や設備の仕様の検討が必要である。一部の小型機械設備は商業普及段階にあり、コスト的にも安くまた移設が可能である。バイオマス発電のミニグリッドが将来全国系統に接続された場合には、それまで燃料木を生産していた土地は市場に燃料材を供給するために生産を継続するか、地主の判断で通常の林地に変換可能である。発電設備を未電化の他の地域に移設する場合、機械設備の移設に先立って、一年前に燃料木の植林をすべきである。そう

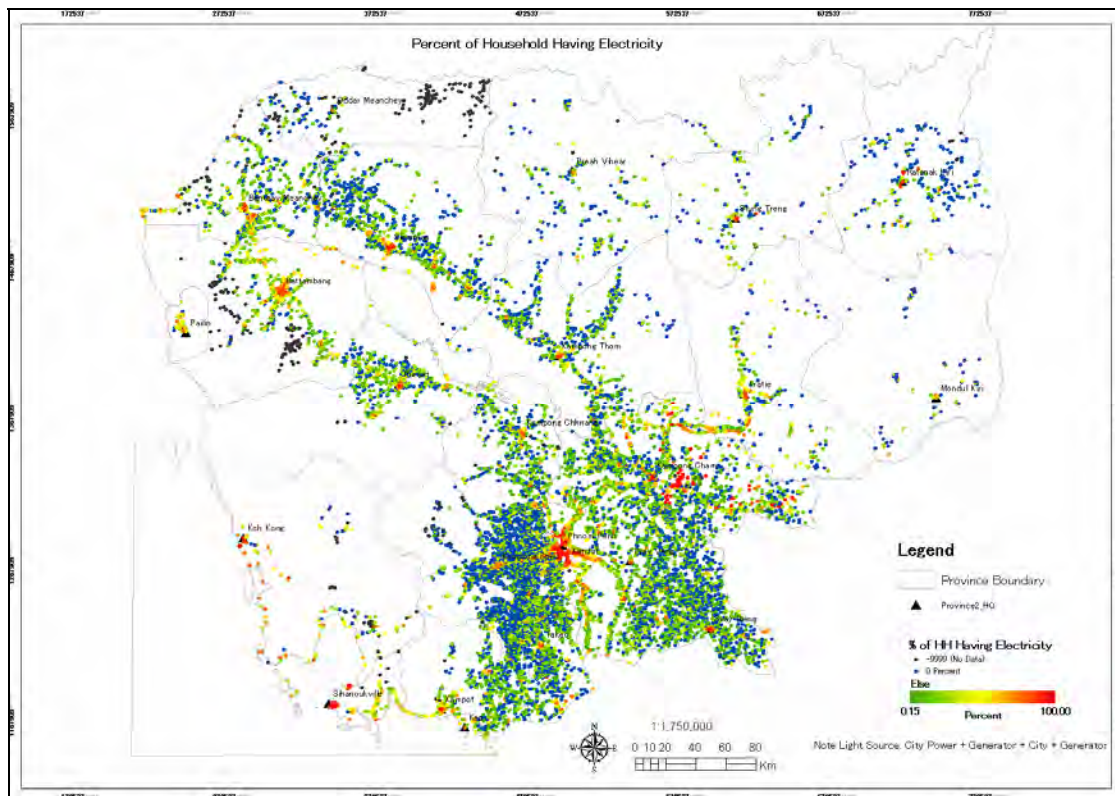
すれば、新しい村に機械設備を設置した時点で燃料の供給が可能となる。従って、バイオマス電力事業計画を実施する際には将来的な送電系統への接続の可能性の検討が必要となる。しかし、図 1.2.1 に示す半径 40km の円内および隣国との国境近くの地域でも、近い将来に送電網でカバーされる可能性の低い地域では設置が可能である。

- 3) 太陽光： 太陽光エネルギーは人々の最低限の要求である、照明やラジオなどのオーディオ機器に電気を供給するものである。しかし、経済的に送電網にエネルギーを供給することは困難である。従って、本 MP では送電網の延伸後は設備を未電化地域に移設することを基本方針とする。

移設を電化計画の枠内で実施するには、設備の所有権の帰属を明確にし、限定することが、電化計画を促進する上から重要となる。一方、従来の SHS 方式は個人の所有・単独使用の認識が強く、政府の無償供与にも問題があるだけでなく、一般のマーケットを通じた売買を除き、政策的に移設を進めることが困難であり、不相当と判断する。従って、本調査では、移設が容易な太陽光発電 BCS を提言する。さらに、所有権を特定の政府機関とし、REEs または個人に貸与し、賃貸料を徴収するシステムを構築できれば、地方電化計画の中の太陽光発電利用促進に大いに寄与する。賃貸料の一部を使って技術支援を行い、さらに、賃貸料を積み立てて資材購入のための自己資金の構成比率を高めてゆくことなどにより持続性のある計画とすることが可能となる。なお、賃貸料は BCS に電力量計を設備し、その充電に利用された電気量に応じて徴収することを提言する。太陽光 BCS 設置対象地域は BCS を持たないか BCS が遠隔地にある村落である。周辺の未電化の家庭に供給するため、送電網で電化された地域を含めて、多くのディーゼル BCS がある。このことは、小規模の配電網または送電網で新たに電化された地域に近い村落でも設置が必要なことを暗示している。

1.3 未電化村の分布と電化需要

カンボジアの全村落の電化率（バッテリー照明は除く）を図 1.3.1 に示す。



出典：調査団（1998年NIS資料に基づき調査団が作成）

図 1.3.1 村落別電化水準

上図に示されるように、カンボジアの電化需要は、プノンペンといくつかの州都を除き、極めて高い。

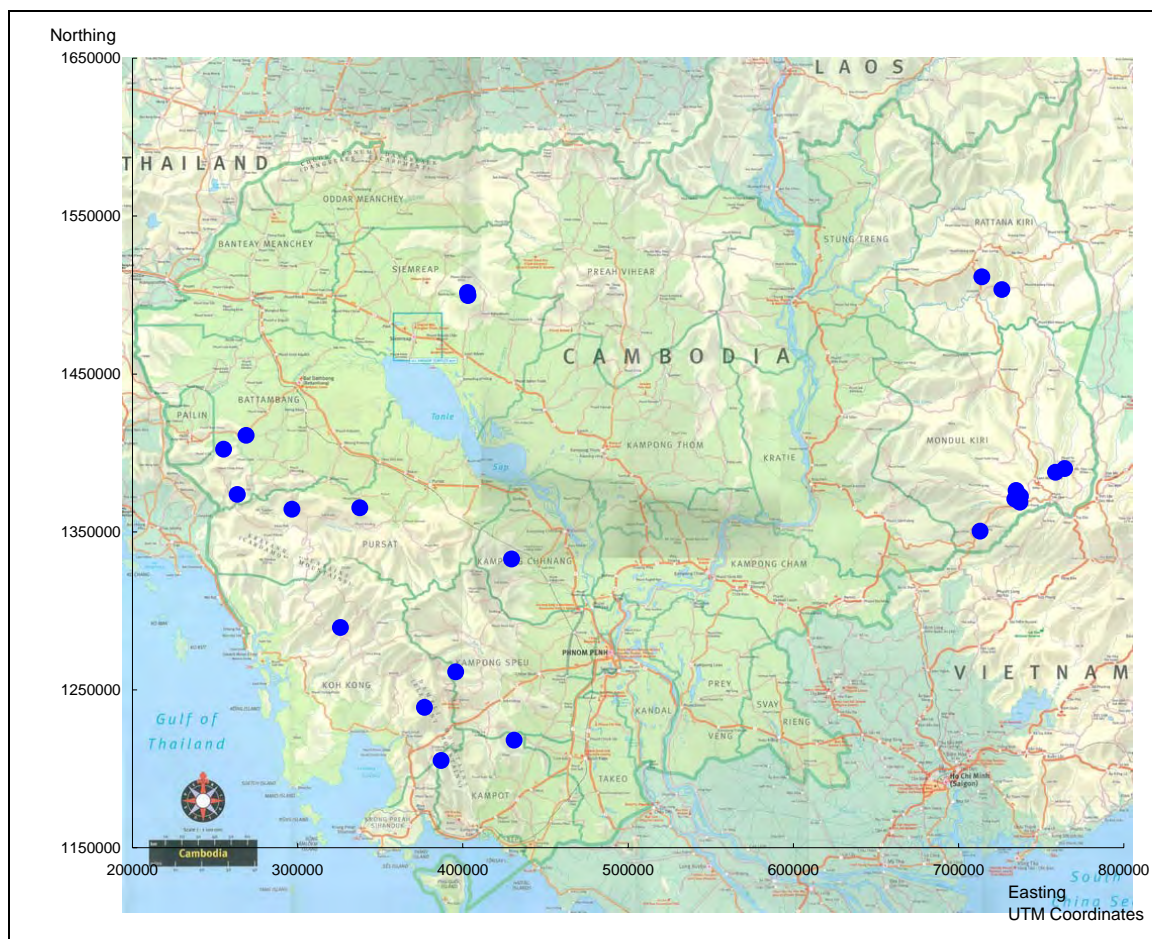
GIS 技術を適用しポテンシャル地域を示す GIS 村落地図を用意した。同地図には 1) 河川と等高線、2) 小水力発電ポテンシャル地点の位置、3) 村落の位置と世帯数、4) 道路の配置、5) 行政界、6) 村落内の電源所有率を示している。GIS 村落地図については第 3 巻、Part 1 の図 2.3.2 に例を示している。GIS 村落地図は A1 サイズ、カラー、1 : 100,000 の縮尺で準備、印刷されており、カンボジア全土をカバーする 89 枚の地図を準備し電化計画策定に利用した。

1.4 再生可能エネルギーのポテンシャル

1.4.1 小水力発電

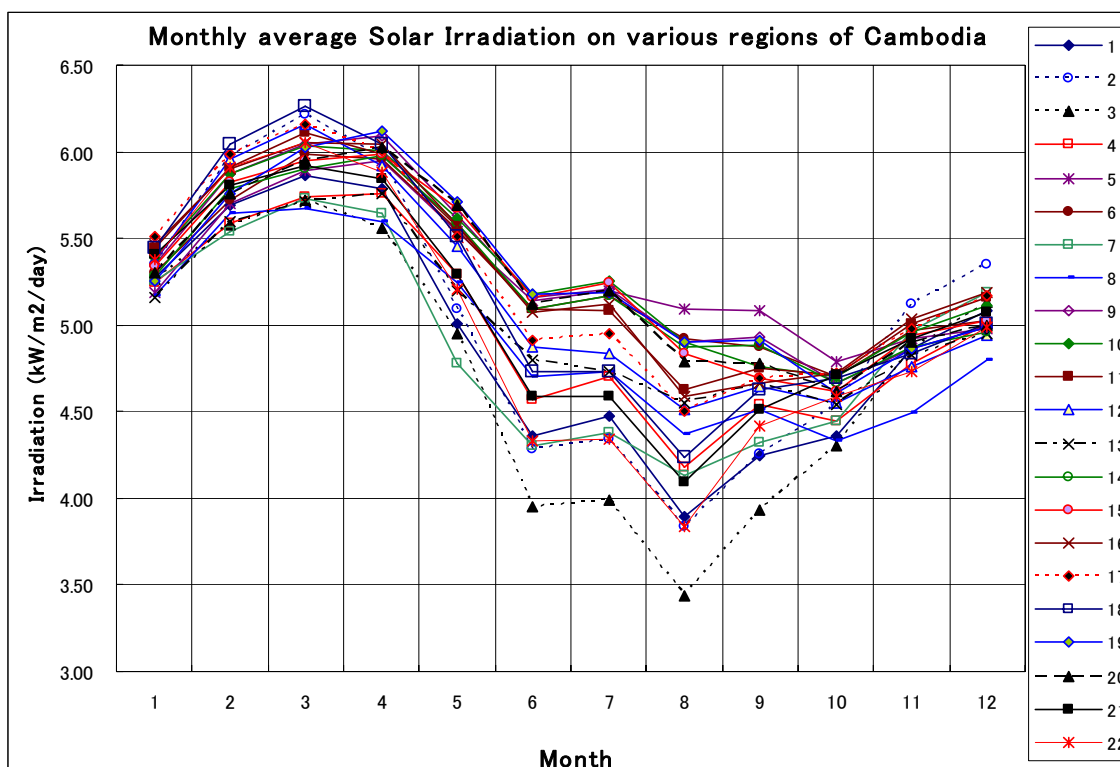
Part 1 で述べたカンボジアの自然条件と水文特性を考慮し、マップスタディを行った。マップスタディを通し 145 の小水力ポテンシャル地点が確認された。これら 145 地点のうち 44 地点で、近傍に村落が確認された。さらに、第 3 巻に詳述する電源選定基準によりスクリーニングした結果、137 村落を含む 21 地点が小水力発電計画候補として選定された。残りの 74 村落を含む 23 地点は小水力ミニグリッドを適用するには時期尚早であると判断された。

選定された 21 計画を図 1.4.1 および表 1.4.1 に示す。これら 21 計画には、バイオマスガス化発電とのハイブリッド 4 計画と、ディーゼル発電によるバックアップを要する 4 計画を含む。



出典：調査団

図 1.4.1 選定された小水力 21 計画の位置図



出典：調査団

図 1.4.2 カンボジアでの地域別平均日射量の季節変動

1.4.3 風力発電

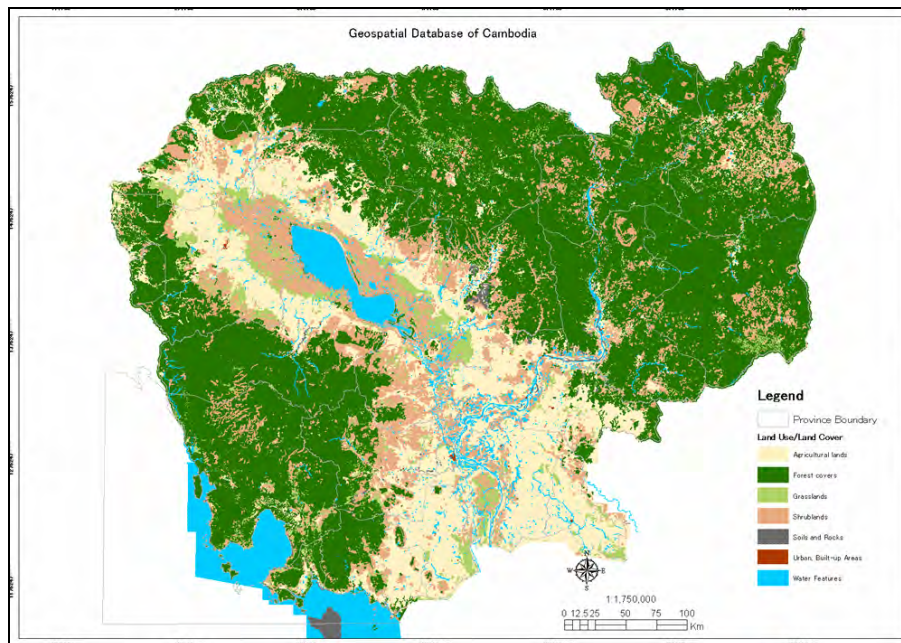
カンボジアにおける風力ポテンシャルは相対的に低い。局所的な地形条件に依存する一部の風回廊では、多少の風力ポテンシャルも存在するが、系統へ 2 次電力を供給するものか、あるいは BCS の電源に留まろう。オフグリッド地域に位置する村落電化のためのミニグリッド用電源としては適さない。風回廊では、BCS の電源として利用できる可能性がある。

1.4.4 バイオマス発電

全国で 6,328 村(1,006,033 世帯)が、バイオマス発電による電化が適した村として Part 3 の 3.1 節で説明する方法によって、特定された。バイオマスミニグリッドが適しているとされた村の割合は、全国すべての村の 45%、未電化村の 56%にあたる。これらの村には燃料木の植栽用として世帯当たり 0.02 ha の草地もしくは灌木地が存在する。その際 Flooded grassland とされる土地は、樹木が生育可能かどうか疑問が残るため除外した。また woodland and scattered trees (C<10%)とされる土地も、保護管理によって元の植生を再現することができる可能性があるために除外した。また世帯当たり 0.02 ha という選定基準は以下の理由により設定した。

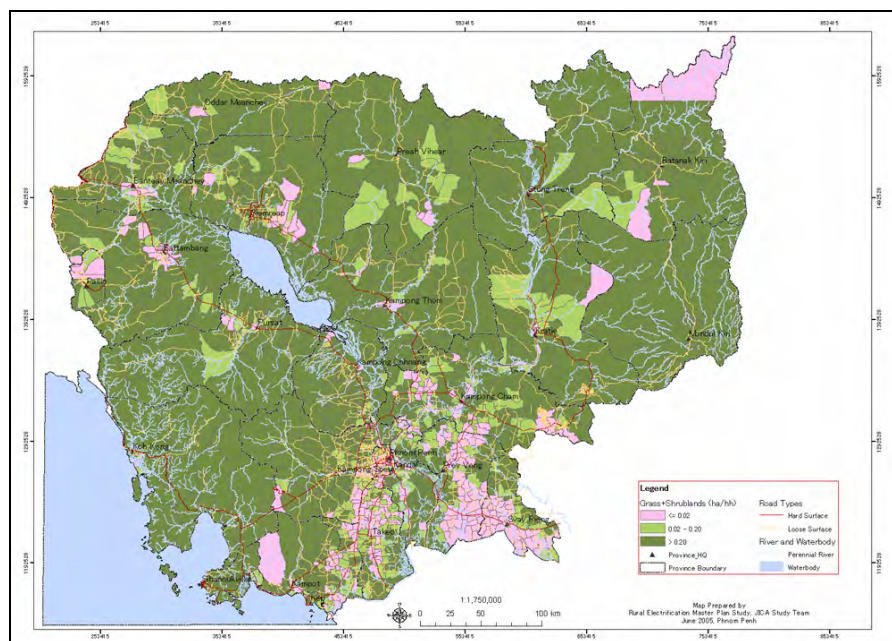
世帯当たりの月平均電力使用量を実際の村落ミニグリッドでの使用量より 2-3 割り多い 10 kWh (10%の配電ロスを含む)と想定した。単位電力量当たりの燃料材使用量は 1.5 kg/kWh とし、バイオマス成長量はカンボジアのたいがい地域で最低これくらいは見込まれるであろう 10 t/ha/year とした(詳しくは本章内にて後述)。これにより、世帯当たりの必要な燃料木の植栽面積は 0.018 ha となり、選定基準として世帯あたりのグラスランドと灌木地の面積を 0.02 ha 以上とした。

Anlong Ta Mei 村の組合式バイオマス発電事業(Part 1 の 3.7.3 節参照)の場合、燃料木は組合員によって休閑地、あるいは畑に果樹などと混植されており、草地や灌木地は利用されていない。農民による小規模植林の場合、植栽地はおもに休閑地など農地周辺になることが予想されるが、世帯当たり 0.02ha の草地および灌木地は燃料木栽培の土地の更なる確保となる。



出典：公共事業省

図 1.4.3 カンボジアの土地利用図(2003)



出典：調査団

図 1.4.4 コミューン別の世帯当たり草地・灌木地面積

(1) バイオマス燃料供給に関する考察

仮にバイオマス対象として選定された 6,328 村(1,006,033 世帯)すべてがバイオマスを利用して電化され、世帯平均 10 kWh/月の電力を消費したと想定すると、全体の年間電力消費量はおよそ

124 GWhとなる。この発電に必要な木質バイオマスは18万6千トン。籾殻の場合24万8千トンが必要となる。国内で発生する籾殻はおよそ100万トンと推計され(Part 1の5.2.1節参照)、発生量のおよそ1/4で対象村すべての発電を賄えることになる。植え替え時に伐採されるゴムの木は年間およそ2万5千トン(Part 1の5.2.1節参照)と推計され、これは対象村落の13%の村の発電を賄える量である。カンボジアにおける農業廃棄物の発生量についてはPart 1の5.2.1節を参照されたい。

(2) バイオマス燃料木の生産量と持続可能性についての考察

Lugo 他(1988)は、ほとんどの熱帯プランテーションにおける地上部バイオマス成長量は6-15 t/ha/yearの範囲に収まると報告している。ただしこれよりもはるかに大きな値も各地で報告されている。例えば、半島マレーシアの4年生 *Acacia mangium* は21 t/ha/year (Tsai 1988)、ナイジェリアにおける5.5年生 *Gmelina arborea* (Chijoke 1980)などである。*Leucaena leucocephala*の萌芽更新した枝のみを繰り返し収穫する場合、Tewari 他(2004)はインドで年間50トンの収穫量を報告しているが、収穫量は土地条件、管理方法によって大きくばらつきがある(Kumar 他 1998)。カンボジアにおけるバイオマス成長量や生産持続性に関する報告はほとんどなされていない。農業省のバタンバン州出張所のチーフである Pohnh Oudam 氏は小規模の調査を出張所の試験園で行っており、灌水を行わない *Leucaena leucocephala*の萌芽枝の3年目から4年目にかけての1年間に80 t/ha/year(野外乾燥)の収穫量を記録している。調査団は *Leucaena leucocephala*、*Eucalyptus camaldulensis*、*Acacia auriculiformis*の3樹種のバイオマス成長量に関する調査を行なった。調査結果ならびにデータ分析の結果を第5巻の付属資料-Cに示している。植栽地土壌の養分の持続性はバイオマス発電の持続性にとても重要な要素である。継続した収穫の結果土壌の劣化が起こるようであると、発電システムは持続的ではなくなってしまう。カンボジアにおいて、バイオマス発電による地方電化を推進していくためには、バイオマス成長量、植栽地の養分循環、適切な管理手法などに関して、今後多大な研究を行っていく必要がある。

(3) 地方電化に最適なバイオマス供給方法

農民による小規模植林をバイオマス利用による地方電化の際の燃料供給源とし、大量の余剰農業廃棄物が発生する村においてはそれらを利用すべく検討するものとする。栽培型を主とし、廃棄物利用を従とする理由は以下の通り。

農業廃棄物は一般によく利用されている。

カンボジアにおける農産物加工工場(精米工場、砂糖やカシューナッツの加工工場など)の規模は一般に小さく、年間を通しての十分な廃棄物の発生に疑問が残ること。

栽培型においても、燃料コストの発電コストに占める割合は小さく(16%: Anlong Ta Mei 村エネルギー組合事業の場合)、農業廃棄物を利用したとしても、発電コストの大幅な引き下げにはつながらない。

栽培木の買い取り価格は低く(\$20/トン: Anlong Ta Mei 村エネルギー組合事業の場合)、農業廃棄物の利用に運搬費がかかる場合などは、かえって高くなる可能性もある。

140世帯の村の発電に必要な植栽面積はおよそ2.5 haであり、この程度の土地は大概の村で利用可能である。また農民は植栽木を燃料として発電所に販売することで、\$200/ha/year程度の収入が期待できる。これは稲作による収入(\$200-\$450/ha/year)と競合するほどの収入となる。

1.5 再生可能エネルギーの需給バランスとディーゼル発電機の役割

1.5.1 小水力

小水力のポテンシャル地点については 145 のサイトがマップスタディによって特定された。総ポテンシャル量は 17,000 kW である。これらのポテンシャル地点のほとんどが北東部と南西部の山岳地帯に位置している。

小水力地点について村落レベルで需要評価を実施した。村落レベルの需要評価では 1) 村落内の世帯数、2) その位置を Seila データベースから抽出し評価に使った。

需要評価の結果、44 計画地点が 211 の村落に対して給電可能であることが判明した。この 44 計画地点の中で、21 計画地点が支払い能力を有すると推定される村落 (137 村落) を擁している。したがって、この 21 計画地点が第一優先度の計画と分類される。支払い能力はテレビの普及率を指標として判断した。

一方、残りの 23 計画地点は 74 村落を擁しているが、これらの村落は小水力ミニグリッドに対する十分な支払い能力を有していないと推察されるため、第二優先度の計画に分類された。

上述の需要評価によってオフグリッド地域に位置する 11,205 の村落のうち、1.2 %にあたる 137 の村が電化電源として小水力を選定することができることが判明した。さらに、小水力の開発ポテンシャルはおよそ 17,000 kW であるが、小水力開発に使用できるのはその 13 %にあたる 2,200 kW のみである。主な理由は、1) 小水力ポテンシャル地点はほとんどが山岳地域の人口の疎な村落に位置していること、2) このような山岳地域では小水力ミニグリッドに対する住民の支払能力が未だ十分でないこと、があげられる。

このマスタープランの段階では、需要評価は村落電化計画を作成する目的で、村落レベルで実施した。しかしながら、さらに小規模な集落を対象として住民自身が需要評価を実施すれば、マップスタディでは特定できなかった、限られた需要の中でピコ水力 (1 MW 以下) の可能性も考えられよう。

小水力によって電化可能な対象村落と世帯数は表 1.5.1 に示すとおりである。この表をみるとモンドルキリ州では小水力が村落電化に大いに寄与できると言える。北東部、南西部の州では小水力による電化の可能性がやや高い。

表 1.5.1 小水力により電化可能な村落と世帯数

No.	Province	Household			Village		
		Total Number	to be electrified by		Total Number	to be electrified by	
			Number	(%)		Number	(%)
1	Mondul Kiri	9,455	2,934	31.0%	90	29	32.2%
2	Battambang	179,574	9,004	5.0%	741	55	7.4%
3	Koh Kong	24,867	1,031	4.1%	132	6	4.5%
4	Ratanak Kiri	23,435	855	3.6%	240	7	2.9%
5	Seimreap	139,035	4,301	3.1%	913	27	3.0%
6	Pailin	10,450	255	2.4%	79	1	1.3%
7	Pursat	73,280	1,081	1.5%	501	5	1.0%
8	Sihanoukville	31,212	115	0.4%	94	1	1.1%
9	Kamptot	120,693	308	0.3%	736	1	0.1%
10	Kampong Speu	129,333	295	0.2%	1,358	4	0.3%
11	Kampong Chhnang	335,800	87	0.0%	1,768	1	0.1%
	Total	1,077,134	20,266	1.9%	6,652	137	2.1%

出典：調査団

1.5.2 太陽光

太陽光ポテンシャルについては、供給サイドからの特別な制約はない。太陽光ポテンシャルは豊富である。その開発は、太陽光 BCS に対する需要次第である。

1.5.3 風力

オフグリッド地域の村落を風力で電化する場合には、需給バランス調節を担当する主発電所が存在する電力系統に給電する風力発電所とは異なり、バッテリーが不可欠となる。風力ポテンシャルの乏しいカンボジアでは、風力を電源とする分散型ミニグリッドは、大規模なバッテリーシステムなしには需要を満たすことができない。したがって風力発電はオフグリッド地域の BCS やミニグリッド用の主要電源としては採用することを控えた。

1.5.4 バイオマス発電

バイオマスによる電力供給システムは、ディーゼルによるそれとよく似ている。燃料が唯一大きな違いと言える。バイオマス燃料は電力供給者によって供給されても良いし、近隣農民から購入することもできる。ガス化によって発生したプロデューサーガスは、既存のディーゼルエンジンに改良を加えると、ディーゼルと共に混合燃料運転を行なうことができる。国内で安価なガス化炉が製造販売されるようになれば、この方法は既存の REE 業者にとって、急騰を続けるディーゼル価格による経営圧迫を和らげる良い方策となるかもしれない。

1.5.5 ディーゼル発電機の役割

再生可能エネルギーによる村落電化を考慮する場合でも、対象村落が下記の条件に該当する場合は、ミニグリッドの電源としてディーゼル発電機が重要な役割を果たす。

- 1) 小水力のポテンシャルがない。
- 2) バイオマスのポテンシャルがない。
- 3) 十分な村落需要がある。
- 4) 住民はミニグリッドに対する十分な支払能力を有する。
- 5) ディーゼル油の輸送が容易である（特に雨季においても道路によるアクセスが良好である）。
- 6) 系統拡張計画の見通しがしばらくはない。

GIS を用いた電源選定結果を見るとディーゼル発電によるミニグリッドは一般に平地部に多く見られ、州単位では、タケオ、カンボン・スプー、スパイリエン、プレイベン、シェムリアップに多く見られる。これらの州ではディーゼル発電ミニグリッドの候補村落は、ほとんどの場合、「ひと桁国道」からの距離がおおよそ 2 km から 15 km に位置する村落である。

これらの対象村落ではディーゼル発電機が唯一の電源でありミニグリッドの電源として重要な役割を果たす。しかしながら、系統電化の拡張に伴いこれらディーゼル発電ミニグリッドは系統による給電に置き換わっていく。系統による給電に置き換わった後は、ディーゼル発電機は最も近い次のディーゼル発電ミニグリッド候補村落に移設される。

1.6 地方電化のための制度的枠組み

1.6.1 概要

Part 1 の 3.8.1 節で地方電化の基本戦略について検討した。カンボジア国の地方電化戦略は、EdC が主体となって電力供給を実施しているオングリッド地域と、REE や CEC が主体となって電化を促進することが期待されるオフグリッド地域の 2 つに分けられる。ここで、オングリッド地域は全国給電システムによる給電地域を指し、その地域は拡がりつつある²。オフグリッド地域（分散型ミニグリッド）は、今後 MIME や REF の援助を資金面および技術面から受け、REE や CEC により電化を促進することが期待されている地域である。

地方電化促進のオプションは、電源、運営母体、世帯数、初期投資の規模などにより多岐にわたる。資金支援制度の整備の詳細については 2.2.3 節で述べる。

1.6.2 オフグリッド電化の阻害要因と課題

カンボジアで地方電化を進める際の阻害要因は金融面や運営面に係わるものが多いが、① 供給コストの低減、② 利用者の支払能力の向上、の 2 つが克服すべき中心課題である。その改善策として以下の実施が望ましい。

- 1) 再生可能エネルギー関連機器に課せられている高い輸入関税の削減
- 2) 初期投資の 50% を占める借り入れ（REF スキーム）に対する、ODA を活用した長期融資制度の導入
- 3) 運営効率の向上によるコスト低減を図ることを目的とした REE や CEC の実施能力強化
- 4) 事業展開がなされる地域の住民の事業への参加促進と所得水準向上

一方、現在の法的小および組織的枠組みは弱く、特に資金不足の問題が顕著である。REF による補助金制度の他に民間投資の呼び水となるような、ODA 資金を利用した新たな金融ファシリティーの導入が望ましい。

1.6.3 オフグリッド電化実施のための制度的枠組みについての提案

制度とは、地方電化分野における関係主体の実施責任分担を示した組織的枠組みである。それは、政策目的を達成するために誰が何をするのかを示すもので、ここでは表 1.6.1 のように提示できる。表に示すように、事業モデルとしては 5 つの形態がある。各モデルについて、所有、運営、支援、承認と規制・監督の 5 つの機能を誰が担うか示されている。

ここでは、オフグリッド電化の主役として広義の民間セクターである REE と CEC の 2 つのモデルを取り上げる。農村部では、REE と CEC には大きな違いがなく、資産の所有者が異なるだけである。REE は地元の有력事業者(local businesses)が所有し、CEC はコミュニティが所有する。CEC はさらに 2 つのタイプに分けられる。コミュニティ自身が所有する COE (Community-owned enterprises) と受益者が出資して組合を作る(cooperatives)の 2 つである。REE と CEC は既存の REF と提案中の CFR の支援を受けることができる。REF は技術協力と資金支援を行う公的支援組織

2 「村落部」の定義は、REFによってなされている。現在、村落部とは Phnom Penh、Sihanoukville、Pailin、Kep を除く地域を指す。

である。CEC はこのほかに地方開発省が所管する Seila プログラムの下で管理されているコミュニオン・ファンド(C/SF)の支援も受けられる。MIME/DIME は Seila プログラムへの参加実績がないが、制度的には電力分野でも可能である。

表 1.6.1 地方電化のビジネスモデルと関係主体の役割分担

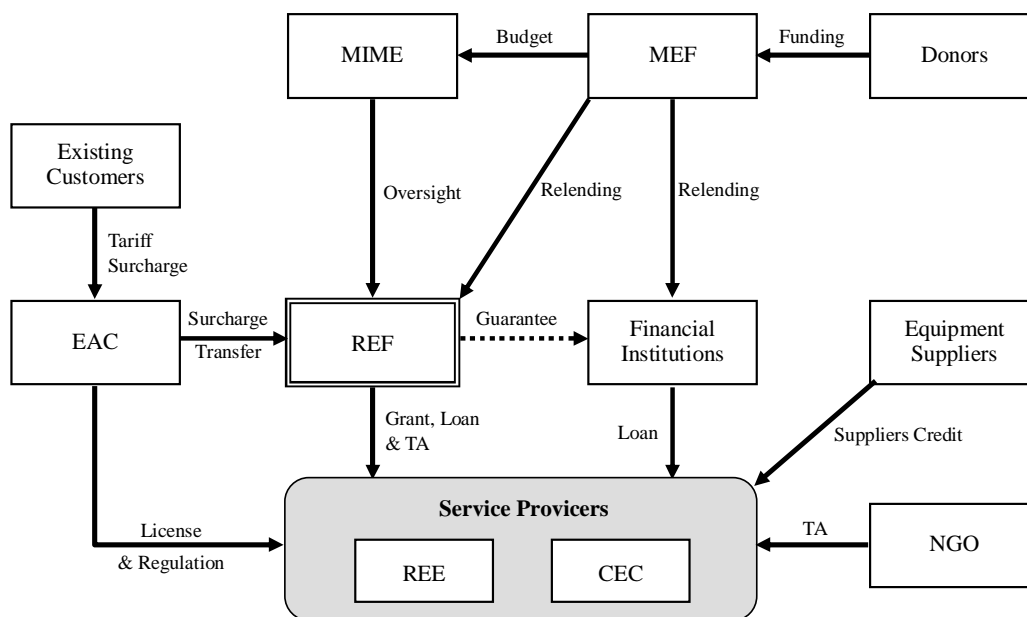
Business Model		Owner	Operation	Facilitation	Approval	Licensing & Regulation
On-grid	EdC, REE	EdC, REE	EdC, REE	-	MIME	EAC
	REE	REE	REE	REF and EdC or NGO	MIME (DIME)	EAC
Off-grid	CEC	CEC	CEC	REF and NGO	MIME (DIME)	EAC
	Central Gov't	Central Gov't	EdC or REE	-	-	EAC
	CEC	Local Gov't (Commune)	REE or NGO/CEC	Seila Task Force & NGO	-	EAC

(Note) Entitled to receive REF support scheme
 (出典：調査団)

オフグリッド電化の実施組織を図 1.6.1 に示す。5 つの主要主体³が関与する。それらは、MIME、EAC、REF、サービス提供者(REE と CEC)、NGO である。MIME は、政策立案者と REF の監督者としてセクターの投資環境の改善を行う。EAC はサービス提供者の規制・監督者として料金設定、規則遵守監視、紛争処理等にあたる。REF は既存の金融機関(商業銀行、特殊銀行⁴、マイクロ金融機関など)と連携して技術協力と資金融通を供与する支援者である。REF 法によると、グラント資金の一部は既存のグリッドユーザーの料金に上乗せした課徴金から賄われることになっている。これは、都市の EdC 顧客から未電化の農村部への所得移転を目的とした内部補助システムで、地方電化促進のための一種のユニバーサル・サービス・ファンドである。サービス提供者(REE と CEC)は事業運営者である。彼らは、自己資金や現物出資し、REF と銀行の資金支援を得て、事業を実施し、農村部の顧客にサービス提供を行う。農村部では NGO も重要な支援者である。NGO は、コミュニティ主導の参加型開発を指導するファシリテータとして深く関与する。

3 ここでは、セクターに固有の主体だけ取り上げている。一般財政支援と ODA ローンの一次受け入れ窓口である財務省(MEF)については論じていない。支援の種類と資金源を含む資金支援の詳細については、2.2.3 節で論じている。

4 地方開発銀行(RDB)は JICA 調査団に対し Appendix-G に示すような ODA ローンを原資とするソフトローン業務提案を提出した。



(出典：調査団)

図 1.6.1 オフグリッド地域の電化実施体制

1.7 電気料金と補助金制度

1.7.1 料金設定の原則と規則

電気法の下、EAC は、電気事業者が認可を得る際に提案する電気料金、初期接続料などその他の料金、サービス内容などについてレビューし、承認する。電気法 48 条では、電気料金の設定において以下の 5 つの方針を挙げている。

- 独占的な価格設定の防止
- 電気事業者が事業コストを賄えるような電力料金の認可
- 事業コストの削減やサービスの見直しを伴う、運営効率性の改善
- 限界コストや需給バランスを反映させた、経済効率性の改善
- 貧困層や遠隔地の利用者への社会配慮、支払可能額、電気サービスの質や形態を加味した、利用者別の電気料金の設定

電気料金の設定に関する別の法令では、以下のことが定められている。

- 認可事業者に対し、発電容量、場所、環境などの条件を加味した料金設定を行う。
- 発電、送電、配電または給電の機能別に、コストの内訳を明示する。
- 認可事業者は、供給地域別のコストを明示する。
- コスト削減、効率的な経営、サービス向上が達成しうるような、パフォーマンスに基づいた料金設定基準を適用する。
- 長期的に見て無理のない資金繰りが成り立つような、妥当なコストを認可事業者は計上する。

さらに、下記の事項に細分化できるような合理的なコスト設定をすることが求められている。

- 1) 運営維持管理費
- 2) 燃料購入費

- 3) 一般管理費
- 4) 電力購入費
- 5) 減価償却費
- 6) 資本収益と借入返済資金
- 7) EACが承認するその他の経費

各項目の定量化や計算方法についても詳細に定められている。2005年半ばより、アジア開発銀行(ADB)の技術協力を得て、料金表の作成が予定されている。

1.7.2 料金設定原則

電気料金は、①コスト回収原則と、②受益者の支払い能力原則のという2つの原則に基づいて決定される。

第1の原則は、サービス提供に必要なコストは受益者の負担、すなわち、料金徴収により回収される原則。第2の原則は、接続料⁵と消費電力量に応じた使用料は受益者の負担可能 (affordable) なレベルに設定されなければならないという原則である。この2つの原則は相反するもので持続的な料金設定をしばしば困難にしている。

従って、この2つの相反する原則、すなわち、前者の投資家の利益と後者の公共の利益をいかにして、運営的にも財務的にも持続的な方法で両立させるかが料金設定の決め手となる。

表 1.7.1 はカンボジアのオフグリッド電化地域のミニグリッドに適用する料金表のサンプルである。この料金表は、需要を喚起する従量逡減型である。当初、いわゆるライフライン(固定料金)価格を最小限の使用量レンジ、例えば月 1 kWh 未満 (7W の省エネ電灯 1 灯を毎日 4-5 時間使用する場合に相当) の世帯に対して設定することを考えた。しかし、平均単価を 50 セントと高めに想定しても、このような最小使用量の世帯に平均単価を適用した場合の月料金は 0.50 ドル (2,000 リエル) に留まる。これは、平均月 3 ドル程度を支出しているバッテリー照明と比べても格安となる。結局、貧困世帯の電気へのアクセスを確保するための課題は、毎月の電気料金ではなく、むしろ初期費用の捻出にあることが判明した。REE のミニグリッドなら \$50 程度の初期接続料金、CEC なら同額程度の初期拠出金が必要となる。これについては、どのミニグリッドでも初期に建設工事が必要となるため、特に CEC のミニグリッドにおいては、工事用労力として貧困世帯を優先雇用することにより、この初期費用を捻出することを提案する。2ヶ月間労働すれば、\$50 程度を貯蓄できると考えられる。

表 1.7.1 オフグリッド電化地域の料金表の例

Household Class (electricity consumed in kWh/month)	Tariff Level	
	Riel/kWh	US¢/kWh
1) 0 - 10	1,400	35
2) 10 - 20	1,280	32
3) over 20	1,160	29

1 US\$=Riel 4,000
(出典：調査団)

5 接続料は配電盤から先の、引き込み線、メーターと屋内配電線に設置に要する費用であり、カンボジアでは 30 から 100 ドルの範囲にある。現金収入の乏しい貧困村落ではこの接続料を一回で支払い可能な世帯は少なく、マイクロファイナンスを利用した延べ払いや補助金等による支援が必要である。

上の表はあくまでも料金表のサンプルとして示したものである。実際の料金は、地域条件、規模、住民の支払い能力等によって地域的にも電化方法によって変わる。具体的な料金設定の方法については第4巻プレフィージビリティ調査編を参照されたい。

1.7.3 金融支援制度(補助金とソフトローン)

カンボジア政府は、補助金を始めとする金融支援制度に関する明確な施策を持たない。電気法では、受益者負担の原則が定められている。

社会経済調査の結果、高い初期投資を全額負担するのは村落部の人々にとって不可能であることが判明した。そのため、補助金や金融支援制度の導入は不可欠である。政府は、REF パイロットプロジェクトの実施に際し、補助金制度（初期投資の25%）を導入している。初期投資の補填であり、運営維持管理についての補助金の導入は考えていない。これは、事業の持続性を維持するために、最低限、維持管理費は「受益者負担の原則」に則って料金で賄うことを基本方針としているものである。

表 1.7.2 REF の仕組みと補助金の比率

REF Mechanism	<p>The REF will call for proposals from private developers to implement rural electrification solutions in particular nominated areas, consisting of either:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) New mini-grids based on generation from diesel, solar or hydropower generation; b) Extension of an existing small grid systems to connect new households; c) Solar Home Systems (SHS); or d) Mini or Micro hydropower system. <p>Proposals will be selected according to eligibility criteria. Successful proposals will receive an REF grant (see rates below) which is expected to contribute approximately a quarter of the total project investment costs:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Grants</td> <td style="text-align: right;">25%</td> </tr> <tr> <td>Equity</td> <td style="text-align: right;">25%</td> </tr> <tr> <td>Loans</td> <td style="text-align: right;">50%</td> </tr> </table> <p>The intended effects of the REF grant is to reduce the capital cost and thus the retail cost of power in rural areas and also, combined with an operating license from the Electricity Authority of Cambodia (EAC), to enable the proponent to successfully obtain the remaining finance from a private finance institution. Technical assistance will be provided to further assist proponents to secure appropriate debt finance.</p>			Grants	25%	Equity	25%	Loans	50%									
Grants	25%																	
Equity	25%																	
Loans	50%																	
Subsidy Rates	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Project Type</th> <th style="text-align: center;">Total Cost</th> <th style="text-align: center;">REF Grant (max)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>New household connected to existing diesel mini-grid</td> <td style="text-align: center;">US\$150 per connection</td> <td style="text-align: center;">US\$45</td> </tr> <tr> <td>Mini hydro (0.75 - 5 MW)</td> <td style="text-align: center;">US\$1,744/kW installed</td> <td style="text-align: center;">US\$400/kW installed</td> </tr> <tr> <td>Micro hydro (average 50kW)</td> <td style="text-align: center;">US\$2,700/kW installed</td> <td style="text-align: center;">US\$400kW installed</td> </tr> <tr> <td>Solar Home System</td> <td style="text-align: center;">US\$400 per set of 40 Wp</td> <td style="text-align: center;">US\$100 per set of 40 Wp</td> </tr> </tbody> </table>			Project Type	Total Cost	REF Grant (max)	New household connected to existing diesel mini-grid	US\$150 per connection	US\$45	Mini hydro (0.75 - 5 MW)	US\$1,744/kW installed	US\$400/kW installed	Micro hydro (average 50kW)	US\$2,700/kW installed	US\$400kW installed	Solar Home System	US\$400 per set of 40 Wp	US\$100 per set of 40 Wp
Project Type	Total Cost	REF Grant (max)																
New household connected to existing diesel mini-grid	US\$150 per connection	US\$45																
Mini hydro (0.75 - 5 MW)	US\$1,744/kW installed	US\$400/kW installed																
Micro hydro (average 50kW)	US\$2,700/kW installed	US\$400kW installed																
Solar Home System	US\$400 per set of 40 Wp	US\$100 per set of 40 Wp																

出典：MIME (www.recambodia.org)

現在の REF 制度では、初期投資に対して補助金の占める比率が 25%と定率である。しかし、この比率は、社会的、経済的観点から妥当とは言いがたい。他国の事例では、太陽光 BCS や太陽電池を導入する場合に 100%の補助金を出す場合もある。

総じて、補助金の比率の拡大、特別な融資制度の導入などの検討は必須である。2002年に制定された再生可能エネルギーアクションプラン(REAP)では、補助金の比率はより大きく設定されていた。

カンボジアの地方電化促進のためには公共と民間の資金をミックスしたファイナンス方法が望ましい。資金源としては、政府補助金、投資家の自己資金と借入の3つの種類がある。現行のREFパイロットスキームでは、単一のメニュー(補助金25%、資本金25%と借入れ50%)を提示している。

REFが示している単一のメニューでは不十分である。多様な電化方法、電源の種類、事業者の種類(REEとCEC)、事業の採算性、等によって異なったメニューを用意すべきである。この点についての詳細な検討は2.2.3節で述べる。