

ロシア東部地域における再生可能エネルギーの活用： 課題と展望

ロシア科学アカデミーシベリア支部エネルギーシステム研究所副所長 B.G. サネエフ
 同上級研究員 I.Yu. イワノワ
 同上級研究員 T.F. トゥグゾフ

1. 最先端の技術

このところ、再生可能エネルギーの活用は、世界の多くの国々のエネルギー戦略における優先方針の一つとなりつつある。世界の総発電量に占める再生可能エネルギーのシェアは18%。このうち95%以上は水力発電所が発電している。風力発電所、太陽光発電所、地熱発電所のシェアは増え続けている。風力発電は特に急速に発展している。世界の風力発電所の定格出力の合計は、9万4,000MWに達した。ドイツはまさにこの分野のリーダーである〔参考文献1〕。太陽エネルギー利用設備は、主に暖房供給システムで使われている。現在、ソーラーコレクター（太陽熱収集器）の設置面積は1億4,000万m²を超えた。このうちの半分以上が中国にある〔参考文献2〕。

再生可能エネルギー源は、集中的にエネルギーバランスに組み込まれつつある。それによってクリーンエネルギー

が生産されることが、その主な理由だ。各国政府はこの種の設備・装置の活用に関与し、一連の方策を定めている。それらの方策は、優先投資や国の補助金の配分のみならず、再生可能エネルギー源によるエネルギー生産を促進する事業を優遇することを目的としている。

ロシアでは、総発電量における再生可能エネルギー電源のシェアは19%である。しかしこれらの電源の大部分は大型水力発電所が占め（約98%）（図1）、定格出力30MW以下の小型水力発電所やマイクロ水力発電所、風力発電所、地熱発電所の総発電量におけるシェアは、1.9%である。これらは今のところ幅広くは利用されていない。例外は、北東連邦管区、南部連邦管区、ウラル連邦管区、中央連邦管区の小型水力発電所（定格出力の総量は70MW）で、小型再生可能エネルギー設備の88%に相当する（図2）。ロシアでは風力と太陽光エネルギーの実績は非常に小さい。

図1 ロシアの発電構成（現状）

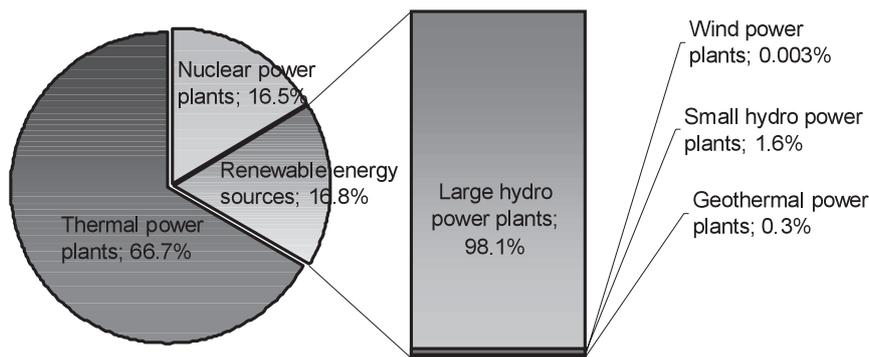


図2 再生可能エネルギーによる小型発電所の定格出力の構造

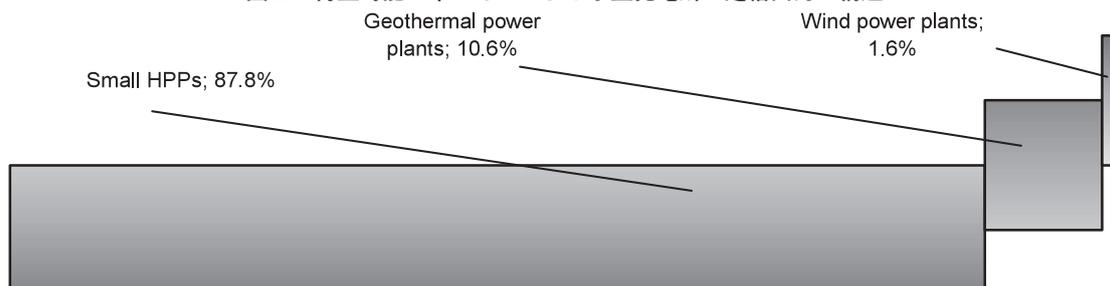


図3 ロシア東部地域の再生可能エネルギーを使った発電所の立地



ロシアの風力発電所の定格出力の合計は13MW、ソーラーコレクターの設置の総面積は1万5,000m²である。

水力は、ロシア東部地域でもっとも発達した再生エネルギー源である。この地域の大型水力発電所の定格出力の合計は2万8,000MWを超え、ロシア全体の水力発電所の定格出力の合計の62%に相当する。

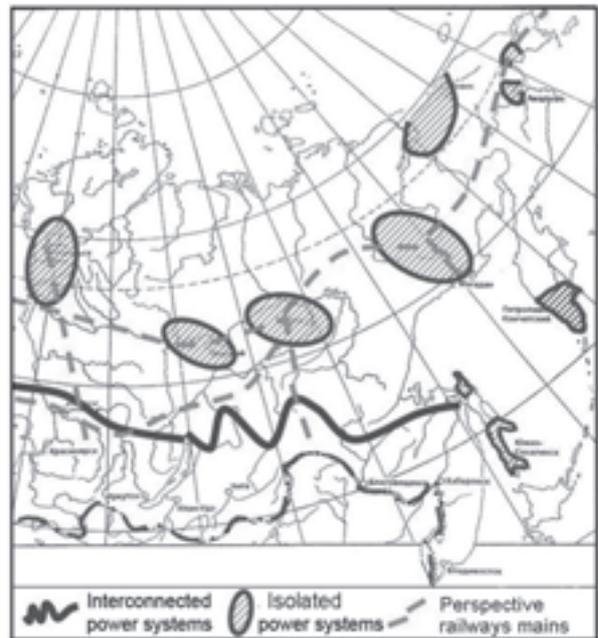
さらに、地熱ポテンシャルがかなり広域で利用されている。ロシアの地熱発電所はすべて、東部地域に立地している。カムチャツカ地方の地熱発電所（パウジェツカヤ、ベルフネ・ムトノフスカヤ、ムトノフスカヤ）、サハリン州の地熱発電所（メンデレエフスカヤ、オケアンスカヤ）の定格出力の合計は83.7MWに達している。これら地熱発電所の年間の発電量は4.8～4.9億kWh／年である。

ロシア東部地域のその他の再生可能エネルギーの利用は小規模だ。この地域では5つの小型水力発電所（定格出力合計29MW）と3つの風力発電所（3.25MW）が運転している（図3）。

同時に、電力供給を目的としてロシア東部地域で再生可能エネルギーを利用することのポテンシャルは高い。主にそれは、当該地域の80%以上をカバーする分散型電力供給地域における需要家に関わってくることである。

ロシア東部地域では、南部だけが集中電力供給方式で電力の供給を受けている。北部では一部地域のみが独立した電力系統から電力供給を受けている。この地域の大多数の需要家は、自立型電源、主にディーゼル発電機から電力を得ている（図4）。このような孤立した需要家は南部の居

図4 電力供給の集中度別のロシア東部地域の区分



住区にも存在するが、これら区域の発電量に占めるディーゼル発電機のシェアは1%に満たない。そして、ロシア極東の北部ではこの数字は12～15%になる。

このような需要家への電力供給での主要な問題は、地域を越えて需要家が分散していること、輸送・交通インフラの未発達、燃料輸送の複雑な構図と季節的性格である。これらの要因が、ディーゼル燃料の価格を引き上げ（25～30ルーブル／トン）、その結果、ディーゼル発電機による発電コストを高く（10～15ルーブル／kWh）している。

再生可能エネルギーの利用は次のことを可能にする。

- 化石燃料の消費量の減少と、それによる化石燃料供給への依存度の軽減
- 発電コストの削減
- 発電が環境に及ぼす負荷の軽減
- 住民生活の利便性、スタイル、質の向上

ロシア東部地域における事実上すべての再生可能エネルギー源の潜在能力は、莫大なものである。これら再生エネルギー源は、全ロシアの地熱エネルギーの80%以上、風力および太陽光エネルギーの約60%、小河川のポテンシャルのほぼ70%がこの地域に集中している（表1）〔参考文献3〕。しかも、太平洋岸には相当な潮力ポテンシャルが存在する。

再生可能エネルギー利用の効率に影響を及ぼす主要因を以下に挙げる。

- 再生可能エネルギーの原単位、持続期間、変動性
- 再生可能エネルギーのコスト
- 代替される化石燃料の価格とシェア

2. 活用効率

・風力発電

ロシア東部地域の主要部分は風速が3 m/秒の地帯に広がっている（図5）。北部及ぶ東部の海岸地域一帯、さらにバイカル湖といった一部の地域で、5 m/秒以上の年平均風速が観測されている〔参考文献4、5〕。

時間の経過とともに風速が変化するため、再生可能エネルギーベースの自立型電源は、従来の需要家への電力供給体制を完全に代替することはできない。このようなシステムは、化石燃料の一部を代替しながら従来の電力供給体制を合理的に補うことしかできない。

ディーゼル式発電機と風力発電機の組み合わせによる平均発電コストが、個人向けに設定された電気料金よりも高くなると見られているため、分散している需要家向けの風力発電所建設プロジェクトに営利的魅力はない。プロジェクトへの投資は、燃料を部分的に代替して燃料コストを下げることによって回収される。

筆者らが開発した手法を使った研究によって、風力発電所建設プロジェクトへの投資の最大金額を算定することができた。これらの数値の下なら、風力発電所は現行の電力供給構図に対して経済的に妥当と言える（図6）。風力ポテンシャル値に直接左右される設備稼働率は、風力発電所

表1 自然エネルギー資源の総量、百万tce（石炭換算トン）

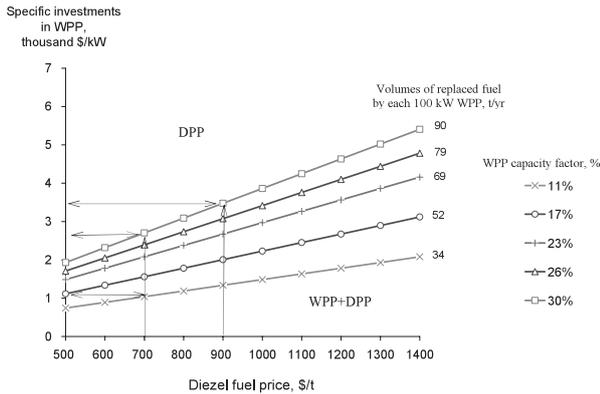
国、地域	風力	太陽光エネルギー	小河川	地熱エネルギー*
ロシア連邦全体	320-10 ³	2205-10 ³	145	2287-10 ⁶
このうち、東部地域	180-10 ³	1342-10 ³	99	1930-10 ⁶

注) *20~70℃の温水供給のため。

図5 年間平均風速によるロシアの地域の区分



図6 風力発電機の利用が経済的に妥当であるための条件



建設プロジェクトの効率に大きな影響を及ぼす。

700～900ドル／トンという現在のディーゼル燃料価格のもとで、風力発電所建設が経済的に成り立つのは、風力発電所の設備稼働率にもよるが、投資額が1,100～3,500ドル／kWを超えない場合である。投資額が低いのは設備稼働率11～17%の場合に対応しており、多額の投資ができるのは設備稼働率30%のケースに対応する。その際、風力発電機の出力100kW当たりの代替効果は、ディーゼル発電機用燃料34～90トンである。

・小型水力発電

ロシア東部地域で広範囲に使われている大型水力発電所は、肥沃な土地や鉱物資源の埋蔵地の水没、都市部の浸水、気候変動、景観・陸生水生動植物の変化という、環境にマイナスの影響を及ぼしている。これらの損失はすべて、ダム有りおよびダム無しで建設される低出力水力発電所を用いた小河川ポテンシャルの利用によって回避される。

技術面から見たロシア東部地域の小河川の水力ポテンシャルは2,560億kWhと評価されるが、その100分の1しか利用されていない(表2)。

季節を通して水流がかなり不安定なのが小河川の特徴で、それは小河川の効率的利用にとって深刻な障害となっている。春から秋にかけての雪解けと雨の時期に、流量は最大になる。この時期の流量は年間流量の70～95%に相当する。冬場、流量は減少する。12月から3月の間は、総流量は年間流量の10～13%を超えない。また、冬場、河川は底まで凍結する。

図7は、主に当該圏域の南部と中部の地域を流れる小河川のエネギー・ポテンシャルの利用が可能な地域を示している。

小河川は河床勾配によって分類することができる。河床

表2 小河川の水力ポテンシャル、十億kWh

国、地域	ポテンシャル総量	技術上のポテンシャル	現在運転している小型水力発電所の発電量
ロシア連邦全体	1180	372	2.5
そのうち東部地域	803	256	0.06

図7 水力資源を有するロシアの国土

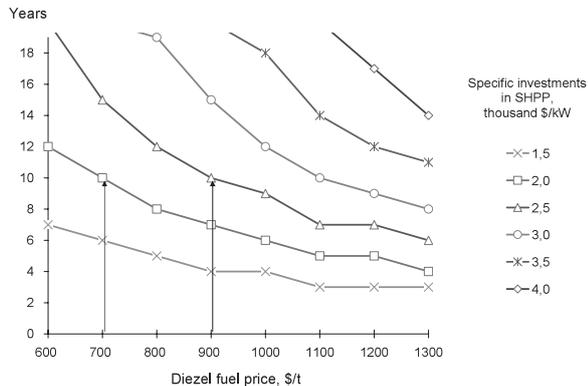


勾配は起伏量の特長によって異なる。山岳地帯の小川の河床勾配は1%以上で、流速は平地を流れる河川よりもかなり高い。それらの流れは、冬期に川底まで凍結しにくく、高いエネルギー・ポテンシャルを秘めているから、より活用しやすい。運河あるいは河口に注ぎ込む一部の河川のみが発電目的で利用されているが、前述のような理由で、多様な仕組みの小型水力発電所の活用が可能になる。

平地を流れる河川の河床勾配は通常、1%以下である。これらの河川には、流れ込み式小型水力発電所（フロート式と水中式ともに）を設置することができる。

小型水力発電所建設プロジェクトが財務・経済上魅力的であるための条件は、総発電量と投資モデルに基づいて決まるが、それはかなり高い効率性を示している。ディーゼル燃料価格700~900ドル/トンのとき、ロシア東部地域の

図8 小型水力発電所建設プロジェクトの財務・経済的魅力的条件



平均的水力ポテンシャルでの小型水力発電所への投資額が2,000~2,500ドル/kWを超えなければ、容認しうる投資回収期間となる（図8）。

特定の季節だけ小規模水力発電所を運転する場合、最大投資額は1,300/kWに減る一方、通年で活用する場合は、投資額は3,000ドル/kWに増える〔参考文献6、7〕。

・太陽光エネルギー

水平面に射す太陽放射はロシア全土でかなり異なっている。太陽放射量および持続期間は北から南へ、緯度とともに増える。ロシア東部地域でもっとも太陽光エネルギー・ポテンシャルが高いのは、主要経済活動が集中している南部地域だと考えられる（図9）〔参考資料5〕。

年間を通じてもっとも大量の太陽光エネルギーが得られるのは夏期だが、このことは太陽光エネルギーの利用効率にネガティブに作用する。なぜなら、エネルギー消費量が多いのは冬だからだ。そのため、太陽光発電所は完全には化石燃料をベースとしたエネルギー源を代替することはできないので、化石燃料の補完的役割を担うべきだろう。

ロシア東部地域南部の需要家向けの現在のディーゼル燃料価格が600~800ドル/トンという条件下で、太陽電池などの光電変換素子（PC）の設置プロジェクトは、投資額が300~400ドル/m²を超えない場合に、容認しうる投資回収期間となる（図10）。現在のPCの価格は1,000~1,500ドル/m²であるため、これはPCに競争力がないことを示

図9 太陽光エネルギー・ポテンシャル別のロシア国土の区分

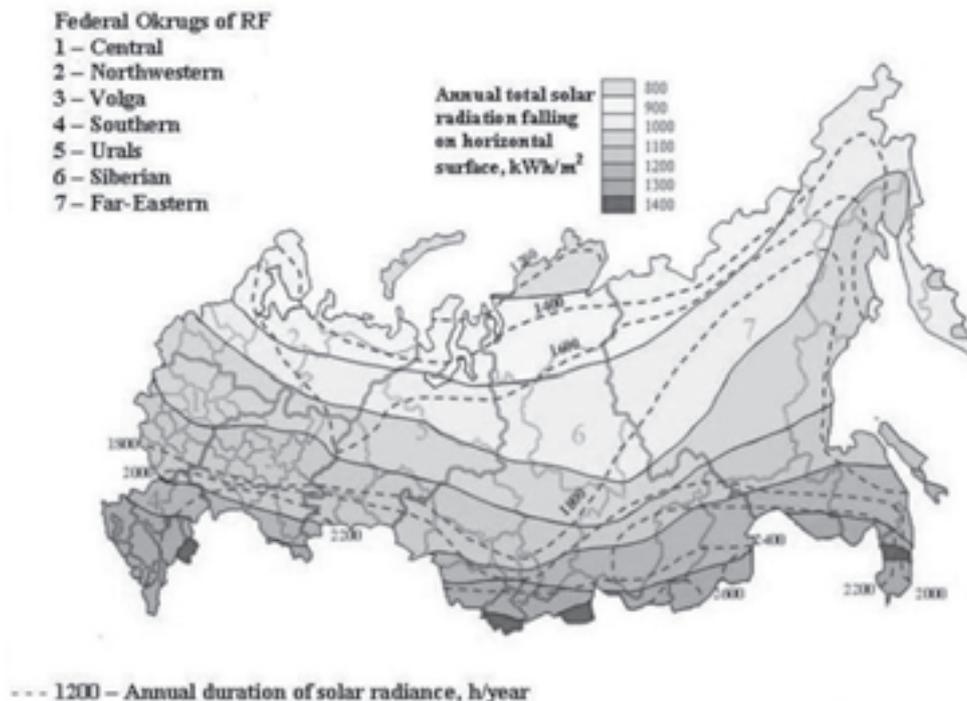
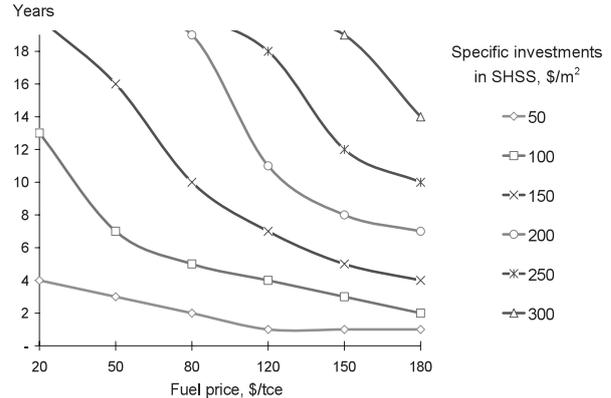
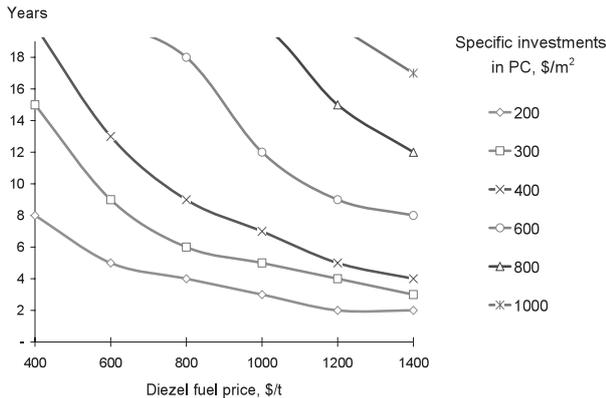


図10 太陽光発電所建設プロジェクトの投資回収期間と燃料費および投資額の関係



している。

投資額が100ドル/m²以内である場合に限り、現在の石炭価格30~50ドル/tceの下で、太陽熱供給システムはロシア東部地域の南部において経済的に魅力的だと言える(図10)〔参考文献8〕。コストがロシアおよび世界のメーカーの価格に相当する200ドル/m²以上になると、プロジェクトの投資回収期間は20年を超える。

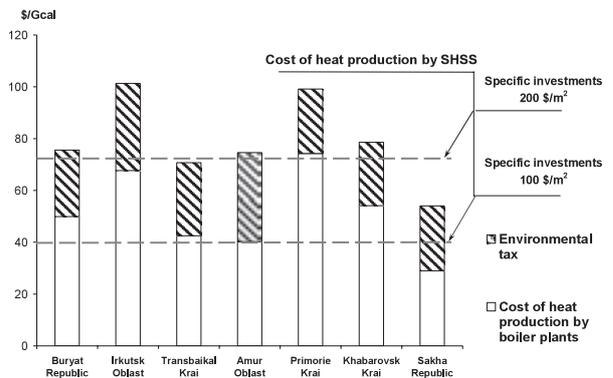
同時に、太陽熱供給システムは、原油(150~180ドル/tce)を使用するボイラー設備と比べて競争力があると言える。このタイプのボイラー設備はロシア東部地域の原油生産地帯で広く利用されている。

小型石炭火力ボイラー設備は環境負荷にかなり寄与していることから、太陽光エネルギー利用の効率性は、環境的要因に大きく左右される。現在、ボイラー設備は環境汚染料を支払っている。この料金は小額で、大気汚染ガスおよび廃水の排出による経済的損失の賠償形態の一種である。

実施された調査によると、南部についてはソーラーコレクター設置面積100m²あたり石炭33~36トンの代替が可能である。これは、灰およびばい煙、硫黄分、窒素酸化物の大気中への排出量5~5.5トンに相当する。

環境税を使って化石燃料を使用するボイラー設備を厳しく規制することは、太陽熱供給システムの経済的効率性を高めるだろう。目下、太陽熱供給システムによる熱生産は、投資額が100ドル/m²以下の場合に限り、ボイラー設備との比較が可能である。ボイラー設備での石炭の燃焼で発生

図11 太陽熱供給システム、ボイラー・プラントによる熱生産コスト



する大気汚染ガスの排出による環境ダメージに相当する環境税の導入は、太陽熱供給システムの経済的効率性をほぼ倍の、200ドル/m²に高めるだろう。

現在の物価状況では、太陽光発電設備には競争力がないが、我々は金額に換算することのできない社会的ファクターを忘れてはならない。太陽熱供給システムがあれば、教育施設や医療施設すらしばしば利用できないことがある温水の供給が可能になるだろう。

人口の少ない区域や気象観測所、トナカイや牛の飼育者の集落などで夏場に電気や温水が使えることのメリットは計り知れない。なぜなら、これらの地域でそれらは供給されることがなかったからだ。

環境汚染に対する厳しい制約があり、他の再生可能な自

表3 経済上効果的な再生エネルギーへの投資の最大値と現状値の比較

技術	最大値	現状値
風力発電所、千ドル/kW	1.2 - 2.5	2 - 2.5
小型水力発電所、千ドル/kW	1.5 - 3.0	1.7 - 2
太陽熱供給システム、ドル/m ²	80 - 100	200 - 250
太陽電池などの光電変換素子(PC)、ドル/m ²	300 - 400	1,000 - 1,500

然エネルギー源が利用できない特殊な自然管理区域（野生生物地区、自然公園、保養所、サナトリウムなど）において、太陽光発電設備の使用は不可欠だ。表3は、ロシア東部地域の条件での輸送、建設、雇用の創出も含め、現状で経済的に見て最大限効率的な再生可能エネルギーへの投資を示している。

現在の物価から見て、最も競争力のある再生可能エネルギー利用施設は風力発電所と小型水力発電所だ。太陽光発電所が経済上効率的になるには、要投資額をかなり（太陽熱供給システムについては、2～2.5分の1、PCについては4～5分の1に）引き下げる必要がある。

3. 将来の活用規模

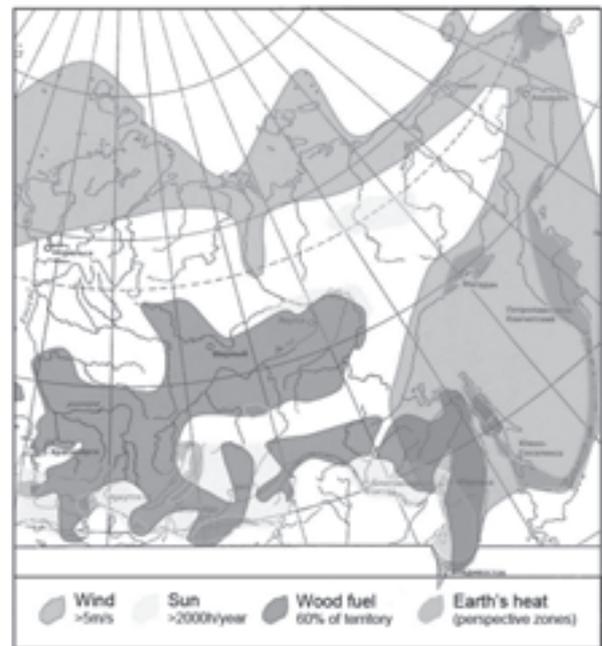
図12は、資源ポテンシャルの観点から、ロシア東部地域の有望な再生可能エネルギー活用区域を示している。

風力発電の発展に最適な区域は、クラスノヤルスク地方、サハリン州クリル諸島、クラスノヤルスク地方北極海沿岸およびサハ共和国（ヤクーチア）、マガダン州東部、ハバロフスク地方、沿海地方、チュクチ自治管区北東部である。

小河川の水力ポテンシャルの活用はイルクーツク州北部およびザバイカル地方、クラスノヤルスク地方中部およびサハ共和国（ヤクーチア）、カムチャツカ地方、ブリヤート共和国、ハカス共和国で有望だ。

太陽光発電に最適なものは、ブリヤート共和国、ハカス共和国、トゥバ共和国、ザバイカル地方および沿海地方、ア

図12 ロシア東部地域で再生可能エネルギーの活用が有望な地域



ムール州、ユダヤ自治州、イルクーツク州南部およびクラスノヤルスク地方だ。

ロシア東部地域の高温地熱資源の主な賦存地は、カムチャツカ地方およびクリル諸島に集中している。低温地熱エネルギーはサハリン州、マガダン州、ブリヤート共和国、チュクチ自治管区に集まっている。

再生可能エネルギー活用の合理的な規模は、地域で入手

図13 ロシア東部地域における将来の再生可能エネルギー電源の立地



可能なエネルギー資源のデータ、再生可能エネルギーの活用に関するフィジビリティ・スタディ、関連プロジェクトの経済性調査、燃料価格の変動幅、様々な再生可能エネルギーのコストの値で決まる。

2030年までにロシア東部地域で事業化される再生可能エネルギー電源の出力の合計は230～320MWと試算される。このうち風力発電所80～120MW、小型水力発電所90～130MW、地熱発電所60～70MWである〔参考文献9〕。このような規模での再生可能エネルギー利用電源の建設は220～300億ルーブルという相当な融資を必要とする。

再生可能エネルギー活用プロジェクトを実施すると、楽観的シナリオでは2030年のロシア東部地域の再生可能エネルギー電源の定格出力が2007年比で3～3.8倍となり、436MW（風力発電所123MW、小型水力発電所159MW、地熱発電所154MW）になる（図14）。

その結果、2030年末までに、年間30～40万tceの化石燃料（60～80億ルーブル相当）を代替することが可能である。

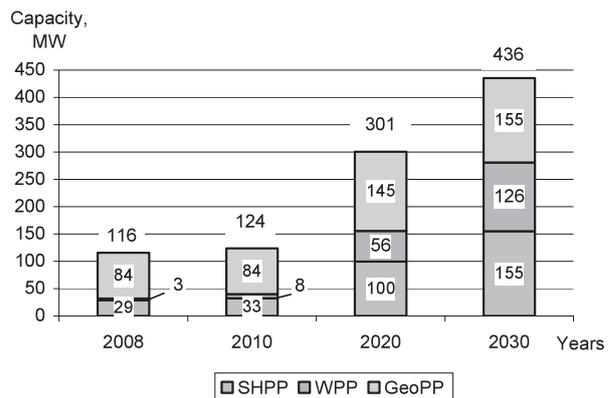
しかし、指定期間までにこの地域の発電量に占める再生可能エネルギーのシェアが変化することはなく、1%レベルにとどまるだろう。ロシア極東の特定の地域でのみ、この値は平均値を大幅に超えるだろう。たとえば、カムチャツカ地方ではその数字は15%になるだろう。

このように非常に資本集約的な再生可能エネルギーの大規模な活用プログラムは、以下をポイントにした積極的な政府の支援なくして、実行は難しい。

- 再生可能エネルギーの活用分野の国家政策に基づいた法律の採択
- 補助金および助成金のターゲットの配分
- 国産技術をベースとした再生可能エネルギー利用設備・装置の本格生産の組織および奨励
- これら技術の重要要素をテストするための試験エリアの整備
- 優遇融資システムの策定
- 設備・装置デザインから実施までのサイクル全体に関わるものに対する優遇税制システムの策定および適用

[英語原稿をERINAにて翻訳]

図14 ロシア東部地域の再生可能エネルギー電源の定格出力の推移



[参考文献]

1. V.G.ニコラエフ（編者）、S.V.ガナガ、Yu.I.クドリャシヨフ「ロシアの風力発電資源に関する国家土地台帳とその特定ののための方法論」、科学情報センター「Atmograph」（モスクワ）、2008年、p.584（ロシア語）
2. “World map of solar industry: big business with the sun”（本文）、“Sun & Wind Energy” 2007年№4
3. 「地域別インデックス」（IAC Energy「ロシアの再生可能エネルギー源・ローカル燃料便覧」、2007年、モスクワ）、p.272（ロシア語）
4. 「ソ連気象便覧」、「Hidrometeoizdat」（レニングラード）、1967年、20-27号第1章、33号、34号（ロシア語）
5. M.M.ボリセンコ、V.V.スタドニク編「ロシアの太陽・風気候地図帳」、ボエニコフ中央地球物理観測所（サンクトペテルブルク）、1997年、p.173（ロシア語）
6. B.G.サネエフ（編者）、I.Yu.イワノワ、T.F.トゥグゾワ、S.P.ポポフ「北部の小規模発電 問題と発展方法」、『Nauka』（ノボシビルスク）、2002年、p.180（ロシア語）
7. B.G.サネエフ、I.Yu.イワノワ、T.F.トゥグゾワ、N.A.ベトロフ「北部地域の孤立した需要家の省エネにおける非伝統的エネルギー部門」、『非伝統的エネルギーセクターの問題』（ロシア科学アカデミーシベリア支部（SB RAS）常任委員会特別セッション資料）、SB RAS出版部（ノボシビルスク）、2006年、p.201、pp.55-70（ロシア語）
8. I.Yu.イワノワ、T.F.トゥグゾワ、A.N.シモネンコ「ロシア東部の小規模開発の効率的な方向性」、『Energeticheskaya politika』、2009年第2号、pp.45-52（ロシア語）