

種々の制約条件を考慮した再生可能エネルギー導入ポテンシャルの推計

山田秀之, 立川裕隆, 平塚二朗, 工藤俊祐, 山崎智雄, 永井大介,
水谷義昭, 廣永茂雄, 松永義徳, 宮原智哉, 赤松宏典

Study of Potential for the Introduction of Renewable Energy considering various limiting factors

Hideyuki YAMADA, Hirotaka Tachikawa, Jiro HIRATSUKA,
Shunsuke KUDO, Tomoo YAMASAKI, Daisuke NAGAI,
Yoshiaki MIZUTANI, Shigeo HIRONAGA ,Yoshinori MATSUNAGA,
Tomoya MIYAHARA and Hironori AKAMATSU

Abstract: For greenhouse effect gas reduction, analysis for introduction potential of renewable energy is a necessary step. As a research project of Ministry of the Environment of Japan, this study analyzed introduction potential of wind power generation, small and medium-scale hydropower generation and geothermal power generation all over the country. By using GIS, we analyzed some basic data such as mean wind speed and river flow (theoretically estimated resources), various limiting factors such as land use, regulation of law, distance from residential area, and visually showed as distribution map of introduction potential all over the country.

Keywords: 再生可能エネルギー (renewable energy), 賦存量 (abundance), 導入ポテンシャル (introduction potential), 国土数値情報 (national land numerical information)

1. はじめに

再生可能エネルギーについては、京都議定書目標達成計画において、新エネルギーとして 2010 年度に原油換算で 1,910 万 kL の導入を図ることとしているが、2005 年の実績では 1,160 万 kL (経済産業省) であり目標達成には大きな隔たりがある。また、中長期的目標として 2020 年に 1990 年比で 25% の

温室効果ガス排出量の削減を実現するためには、太陽光発電、風力発電、中小水力発電などの再生可能エネルギーの導入を進めることが必要であり、今後の再生可能エネルギー導入可能性についての高精度な分析が必要とされていた。

このような背景の中、環境省では平成 21 年度および 22 年度に、太陽光発電(非住宅系)、風力発電、中小水力発電、地熱発電に関する導入ポテンシャルについて GIS の技術を用いて理論的に分析を行い、我が国における再生可能エネルギーの導入ポテンシャル量を算出した。本稿では、全国の風力発電、

山田秀之 〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2
アジア航測株式会社 社会基盤システム開発センター
Phone: 044-967-6303
E-mail: hde.yamada@ajiko.co.jp

中小水力発電、地熱発電の導入ポテンシャルの推計にあたり、種々の制約条件を考慮し GIS により理論的に解析した成果の概要を報告する。

2. 既往調査レビューと課題

平成 21 年度調査時点での従来の算定・推計事例としては、例えば水力発電については、資源エネルギー庁（未利用落差包蔵力調査）や、環境省（平成 20 年度小水力発電の資源賦存量全国調査）等がある。これらはいずれも賦存量（理論的に算出できるエネルギー資源量）を算出したものであり、エネルギーの採取や利用に関する種々の制約要因を考慮し、エネルギーとして利用可能な資源量を算出する必要がある。

風力発電については、日本風力発電協会（JWPA）や風力発電事業者懇話会（WPDA）等による推計結果がある。これは、自然公園や森林区分などの土地利用を考慮して賦存量を算出していたが、自然公園だけでなく鳥獣保護区などの法規制も考慮する必要があり、森林地域については保安林地区を除いて導入可能地域として評価する必要がある。

地熱資源量評価としては、GIS を用いて全国の資源量を算出した事例がある（村岡ら、2008a, 2008b）。これらの資源量評価は、高い精度で熱水系地熱資源量を評価しているが、法規制などの制約要因による設置の可否は考慮していない。また、150°C以上および 53~120°C の地熱資源については評価しているものの 120~150°C は対象となっていない。さらに、地熱発電研究会による導入ポテンシャルの試算

（2009）もあるが、31 の有望地域についてのみ推計したものであり、全国の導入ポテンシャル推計が必要である。

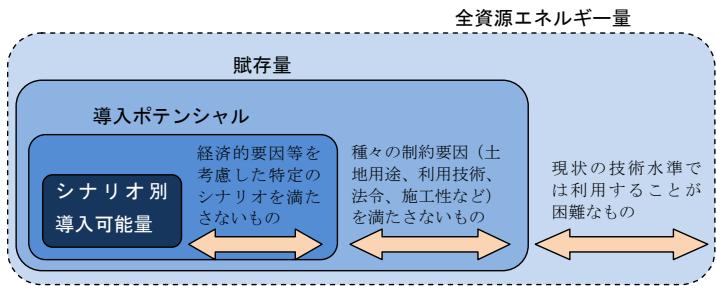
以上から、単なる資源量のみを集計するのではなく、種々の制約条件を考慮した現実的な導入可能性を推計する必要があるといえる。また、「再生可能

エネルギーの全量固定価格買取制度」導入により、どの程度の導入ポテンシャルが具現化する可能性があるのかについても明らかにする必要がある。

3. 分析手法

3.1 導入ポテンシャル等の理論的枠組み

前述の課題から、全国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル算出にあたり、全資源エネルギー量に対し利用可能なエネルギー量についての理論的な枠組みを以下のとおり設定した（図-1）。



出典：環境省(2011)：「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」

(1) 賦存量：設置可能面積、平均風速、河川流量等から理論的に算出することができるエネルギー資源量。現在の技術水準では利用することが困難なもの（例：風速 5.5m/s 未満の風力エネルギー）を除き、種々の制約要因（土地の傾斜、法規制、土地利用の現況区分、居住地からの距離等）を考慮しないもの。

(2) 導入ポテンシャル：エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量。

(3) シナリオ別導入可能量：事業収支に関するシナリオ（仮定条件）を設定した場合に具現化が期待されるエネルギー資源量。対象エネルギーごとに建設単価等を設定した上で事業収支シミュレーションを行い、税引前のプロジェクト内部収益率（PIRR）が概ね 8.0%以上となるものを集計した

もの。

3.2 推計に使用した各種データ

導入ポテンシャル算出にあたり、推計に使用した各種データの一覧を表-1に示す。

表-1 推計に使用した各種データ

項目	元データ		解析用データ		
	出典・入手元	形式	解析用データ名	形式	解像度
数値地図(標高)50mメッシュ	国土地理院	DEM(50m)	標高	Grid	100m
イヌワシ・クマタカ生息地の分布図	環境省	ポリゴン	イヌワシ生息地 クマタカ生息地	Grid	100m
IBA(Important Bird Area: 重要野鳥生息地)	(財)日本野鳥の会 日本大学長井研究室	ポリゴン	IBA	Grid	100m
地すべり地形分布図	(独)防災科学研究所	ポリゴン	地すべり地形	Grid	100m
道路中心線(数値地図 2500空間データ基盤)	国土地理院	ライン	道路からの距離	Grid	100m
国立・国定公園	環境省	ポリゴン			
世界自然遺産地域	環境省	ポリゴン			
都道府県立自然公園	日本大学長井研究室	ポリゴン			
原生自然環境保護地域・自然環境保全地域	環境省 国土数値情報	ポリゴン	法規制(自然公園・その他法規制)	Grid	100m
国指定鳥獣保護区	環境省	ポリゴン			
都道府県指定鳥獣保護区	国土数値情報	ポリゴン			
保安林	国土数値情報	ポリゴン	法規制(保安林)	Grid	100m
地域メッシュ統計(人口)	(財)統計情報研究開発センター	1/2地域メッシュ	居住地からの距離	Grid	100m
都市計画区域(市街化区域、市街化調整区域、都市地域)	国土数値情報	ポリゴン	都市計画区分	Grid	100m
土地利用	国土数値情報	3次メッシュ	土地利用区分	Grid	100m
海岸線	国土地理院	ライン	離岸距離	Grid	100m
J-EGG500海底地形データ	海上保安庁	DEM(500m)	水深	Grid	100m
送電線	日本スマーマップ(株)	ライン	送電線からの距離	Grid	100m
2003年(第11次)漁業センサス漁業地区図及び漁業地区概況図空間データ	農林水産省	ポリゴン／ライン	区画漁業権	Grid	100m
常時訓練海域図	海上保安庁・日本大学長井研究室	ポリゴン	自衛隊訓練海域	Grid	100m
近海航路誌	海上保安庁・日本大学長井研究室	ライン	航路	Grid	100m

国土地理院の数値地図や海上保安庁、民間会社のGISデータ等の有償で購入できるデータや、国土交通省国土政策局がWebで無償公開している国土数値情報等一般に入手可能なデータを極力採用したほか、環境省等が保有する法規制データも利用した。

全国における資源量分析にあたり、標高、傾斜などの自然条件や、法規制、土地利用などの社会条件区分など、多種多様の全国レベルのデータを、GIS上で重ね合わせて同一規格で空間解析を行う必要があった。土地利用区分や法規制区分などのポリゴンデータは全国規模となると膨大な容量となるため、効率よく解析処理をおこなうため、100mメッシュのグリッド形式データへ変換を行うことで必要十分な精度と実用的な処理速度を実現した。

3.3 分析方法

3.1の枠組みに従い、賦存量、導入ポテンシャル、およびシナリオ別導入可能量の推計を行った。推計結果は設備容量(kW)で示した。

賦存量は、風力発電では風況マップ、中小水力発電では河川線形ネットワークデータによる水路区间ごとの流量データ、および地熱発電では地熱資源量密度分布図(村岡ら)をもとに、GISを用いて賦存量マップを作成し、設備容量(kW)を算出した。

導入ポテンシャルは、賦存量マップに対し種々の制約条件(自然条件や社会条件)をGISで重ね合わせて絞込みを行い、発電施設の設置が可能な面積を求めて設備容量(kW)を算出した。

シナリオ別導入可能量は、現在の事業性に関わる条件を設定し、「再生可能エネルギーの全量固定価格買取制度」の各種条件および将来の技術開発の可能性を考慮した複数のシナリオを設定し算出した。

なお、試算結果は設備容量(kW)で示したが、再生可能エネルギーによって標準的な設備利用率(一定期間に生み出した電力量の、その期間ずっとフル稼働したとして得られる発電電力量に対する割合)は異なるため、発電電力量(kWh)への換算もエネルギー種によって異なる。そのため、異なるエネルギー間の比較に際しては注意が必要である。

4. 分析結果

ここでは、風力発電に関する分析結果を示す。

4.1 賦存量

日本における風況マップには、NEDOが開発したLAWEPSと伊藤忠テクノソリューションズ株式会社が開発したWinPASがあるが、今回はWinPASを使用した。WinPAS(地上高80m)における500mメッシュの風況マップを基に、最低限の事業可能性を考慮し風速5.5m/s以上のメッシュを抽出する。GISでの解析では、0.5m/s刻みに変換したポイントデータ

タを使用し 100m メッシュのグリッドデータに変換して賦存量マップを作成した。賦存量(設備容量)の推計は、賦存量マップの面積から 1 万 kW/1k m²で設備容量(kW)を算出した。

4.2 導入ポテンシャル

賦存量マップに対して、各種制約条件を重ね合わせ、風力発電施設を設置可能な面積を求め、導入ポテンシャル(設備容量、年間発電量)を推計した。制約条件は「標高」、「最大傾斜角」、「法規制区分」、「都市計画区分」、「土地利用区分」、「居住地からの距離」を設定し、GIS での重ね合わせ解析により導入ポテンシャルマップを作成した。推計条件を表-2、導入ポテンシャルマップの例を図-2、図-3 に示す。

表-2 導入ポテンシャル推計条件(陸上風力)

区分	項目	開発不可条件
自然条件	風速区分	5.5m/s未満
	標高	1,000m以上
	最大傾斜角*	20度以上
社会条件 (法制度等)	法規制区分	1)国立・国定公園(特別保護地区、第1種特別地域) 2)都道府県立自然公園(特別保護地区、第1種特別地域) 3)原生自然環境保全地域 4)自然環境保全地域 5)鳥獣保護区のうち特別保護地区(国指定、都道府県指定) 6)世界自然遺産地域 7)保安林
社会条件 (土地利用等)	都市計画区分	市街化区域
	土地利用区分	田、建物用地、幹線交通用地、その他の用地、河川地及び湖沼、海水域、ゴルフ場 ※「その他農用地」、「森林(保安林を除く)」、「荒地」、「海浜」が開発可能な土地利用区分となる
	居住地からの距離	500m未満

*最大傾斜角 : 50m標高メッシュデータを使用し、ArcGISのSpatial Analyst機能により8方位の最大傾斜角を算出。このデータから100mメッシュのグリッドデータを作成し、傾斜角20度未満と20度以上の属性を付与し、解析に用いた。

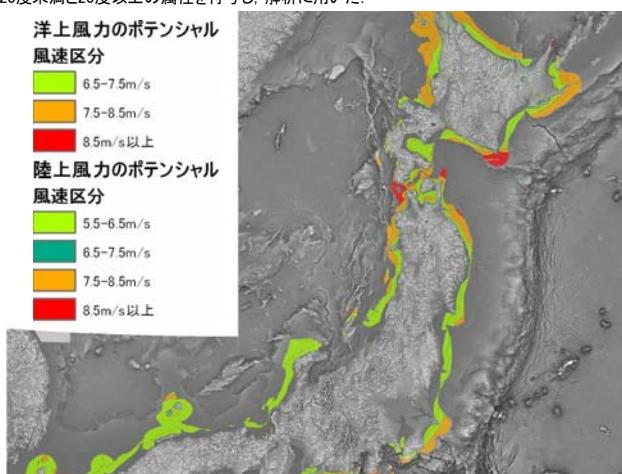


図-2 風力発電導入ポテンシャルマップ(東日本)

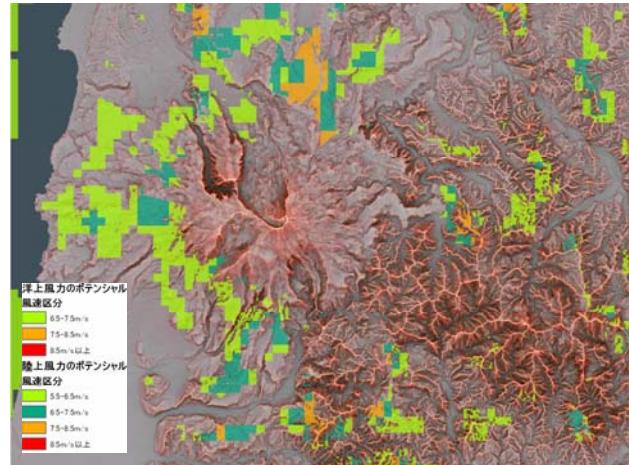


図-3 風力発電導入ポテンシャルマップ(鳥海山周辺)

陸上風力発電の導入ポテンシャルは、全国で約 2.83 億 kW と推計され、北海道や東北地方に多く分布していた。中短期の導入可能量は地域間連携設備能力の限界などを含めた検討が必要であるが、今回の試算では検討を行っていない。

4.3 シナリオ別導入可能量の推計結果

前節の導入ポテンシャルに対して、事業採算性のファクターを組み込んだ試算を行った。

風力発電に関する導入シナリオを表-3 に示す。

表-3 シナリオの設定

シナリオ	シナリオの考え方
シナリオ1 (FIT対応 シナリオ)	現状のコストレベルを前提とし、2011年3月に閣議決定された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法(FIT法)」において想定されている制度開始時点の買取価格及び買取期間で買取が行われる場合。
1-1	FIT単価15円/kWh × 買取期間15年間で表出すると考えられるポテンシャル
1-2	FIT単価20円/kWh × 買取期間15年間で表出すると考えられるポテンシャル
1-3	FIT単価20円/kWh × 買取期間20年間で表出すると考えられるポテンシャル
シナリオ2 (技術革新 シナリオ)	技術革新が進んで、設備コスト等が大幅に縮減し、かつ、FIT法において想定されている制度開始時点の買取価格及び買取期間が維持される場合。 ※売電単価および買取期間はシナリオ1-2と同等(20円/kWh × 15年間)とする。

基本シナリオは、「再生可能エネルギーの全量固定価格買取制度」(Feed-in Tariff, 以下 FIT と略す)の導入や技術開発によるコスト縮減等を想定した。

具体的なシナリオについては、「再生可能エネルギーの全量買取制度の大枠」(経済産業省、2010 年 8 月)によると買取価格は 15~20 円/kWh、買取期間は 15~20 年間を基本とする、とされていること

から、いくつかの導入シナリオを想定し、どのシナリオであればどの程度の導入ポテンシャルまでが具現化する可能性があるのかについて推計を行った。なお、表-3 のシナリオ 2 におけるコスト縮減幅は、発電設備費は 50%、土木工事費は 20%とした。

シナリオ別導入可能量の推計にあたっては、あらかじめ、建設単価や収支計画等の条件を設定し、そのうえで、事業成立条件を税引前 PIRR が 8.0%以上とし事業収支シミュレーションを行い、シナリオ別及び風速区分別開発可能条件を算出した（表-4）。

表-4 シナリオ別および風速区分別の陸上風力の開発可能条件（風車以外の事業費）
(単位:億円)

シナリオ	シナリオの内容	風速区分						
		8.5m/s 以上	8.0m/s	7.5m/s	7.0m/s	6.5m/s	6.0m/s	5.5m/s
1-1	15円/kWh×15年間で税引前PIRR≥8%を満たす	15	8	1	×	×	×	×
1-2	20円/kWh×15年間で税引前PIRR≥8%を満たす	41	31	22	11	1	×	×
1-3	20円/kWh×20年間で税引前PIRR≥8%を満たす	54	43	32	21	9	×	×
2	発電設備費50%削減、土木工事費20%削減、20円/kWh×15年間で税引前PIRR≥8%を満たす	81	70	58	45	32	19	6

※「風車以外の事業費」は下式より算定するものとする

「風車以外の事業費」(億円) =
0.85億円/km × 道路からの距離(km) × 2倍(迂回等を考慮) + 0.55億円/km × 送電線からの距離(km)

以上の条件から分析した、風力発電（陸上）のシナリオ別導入可能量分布図を図-4 に、集計結果を表-5、図-5 に示す。

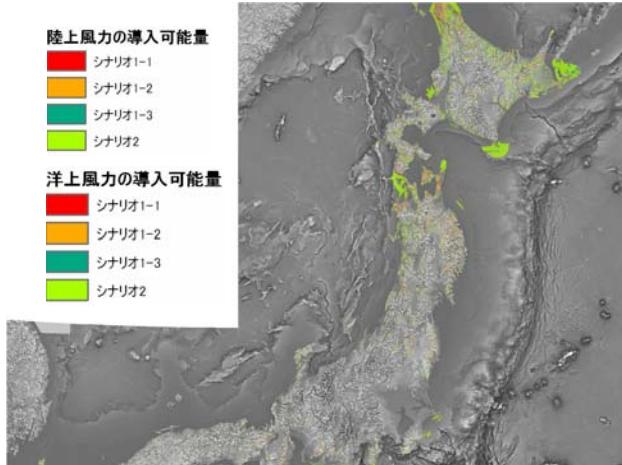


図-4 シナリオ別導入可能量分布図

これによるとシナリオ 1-1（15 円/kWh×15 年間）のケースでは、導入ポテンシャルの 8.6%しか具現

化しないが、シナリオ 1-2（20 円/kWh×15 年間）では 35.8%、シナリオ 1-3（20 円/kWh×20 年間）では 48.6%と大幅な増加が期待されることが分かった。

表-5 シナリオ別導入可能量集計結果

シナリオ	面積(km ²)	設備容量(万kW)	導入ポテンシャルに占める割合
シナリオ1-1	2,437	2,437	8.6%
シナリオ1-2	10,130	10,130	35.8%
シナリオ1-3	13,764	13,764	48.6%
シナリオ2	27,374	27,374	96.7%
参考:導入ポテンシャル	28,294	28,294	100.0%

※設備容量は、1万kW/1km²で算定

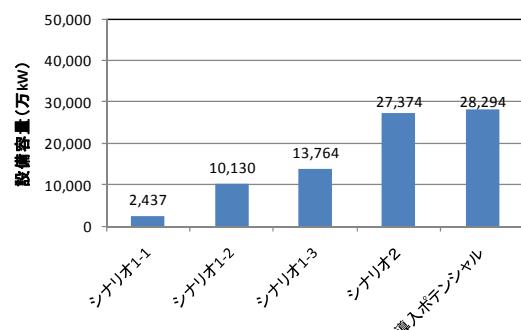


図-5 シナリオ別導入可能量集計結果

また、シナリオ 1-2 に対応する陸上風力の税引前 PIRR の分布を示した事業性マップを図-6 に示す。

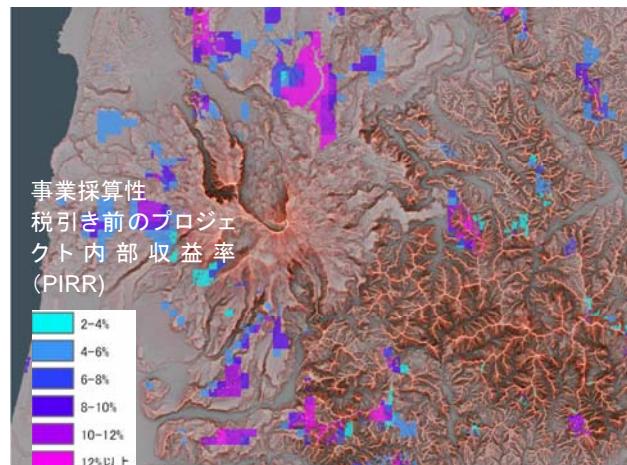


図-6 陸上風力の事業性マップ（シナリオ 1-2、鳥海山周辺）

5. おわりに

本調査の実施により、従来エネルギー種別ごと統一されていなかった再生可能エネルギー導入可能

性を整理して示すことができた。そのうえで、導入ポテンシャルやシナリオ別導入可能量を全国レベルで解析できた。また、GISを利用して、種々の制約要因を重ね合わせ解析した導入ポтенシャルの分布を地図上に視覚的に表現できた。解析データは、GISデータとして整備したため、算定条件の変更にも容易に対応できる。

今後の課題として、本調査は全国的な資源量を一元的に推計することを目的におこなった分析であり、局所的な資源量を把握できるわけではない。また、シナリオ別導入可能量の推計において使用している設定条件はあくまでも一つの推計である。したがって、事業実施にあたっては各サイトにおける様々な特殊性を十分に配慮する必要がある。

また、個々の地域レベルでのより詳細な資源量算定や更なる精度向上のためには、当該地域の詳細データを収集する必要がある。さらに、事業性評価の解析にあたっては、地域に応じた妥当な各種パラメータを用いた解析を行う必要がある。

謝辞

本研究は環境省の平成21年度および平成22年度委託事業「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」として、株式会社エックス都市研究所、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、パシフィックコンサルタンツ株式会社及びアジア航測株式会社の4社による共同実施体制で実施した。また、調査の一部においては、エヌ・ティ・ティ・ジー・ピー・エコ株式会社、イー・アンド・イーソリューションズ株式会社、日本大学生産工学部長井研究室に協力いたしました。また、以下の有識者および外部アドバイザーから助言と指導をいただきました。岡林義一氏（一般社団法人太陽光発電協会 事務局長）、小林 久氏（茨城大学農学部 地域環境科学科 教授）、斎藤哲夫氏（一般社団法人日本風力発電協会 事務局長）、中島 大氏（全国小水力利用推進協議会 事務局長）。

野田徹郎氏（独立行政法人産業技術総合研究所 地圈資源環境研究部門 顧問）、本藤祐樹氏（横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授）、村岡洋文氏（弘前大学北日本新エネルギー研究センター教授）（五十音順）。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 環境省(2010)：「平成21年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」
<<http://www.env.go.jp/earth/report/h22-02/index.html>>
- 環境省(2011)：「平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」
<<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/>>
- 環境省(2008)：「京都議定書目標達成計画（平成17年4月28日策定、平成18年7月11日一部改定、平成20年3月28日全部改訂）」別1-30
- 経済産業省(2008)：「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料（第22回）」
- NEDO(2005)：「風力発電利用率向上調査委員会の風力発電ロードマップ検討結果報告書」
- NEDO(2008)：「風力発電導入ガイドブック2008」
- JWPA・WPDA(2009)「自然エネルギー白書（風力編）」
- JWPA(2008)：「風力発電長期導入目標値と風力発電導入拡大への要望」
- JWPA(2010)：「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定（Ver2.1）」
- 資源エネルギー庁(2009)：「中小水力開発促進指導事業基礎調査（未利用落差発電包蔵水力調査）」
- 環境エネルギー政策研究所(2008)：「2050年自然エネルギービジョン～持続可能な低炭素社会の実現を目指して～」
- 環境省(2009)：「平成20年度小水力発電の資源賦存量全国調査」
- 村岡洋文・阪口圭一・駒澤正夫・佐々木進(2008a)：「日本の熱水系資源量評価2008」、日本地熱学会平成20年度学術講演会講演要旨集
- 村岡洋文・佐々木宗建・柳澤教雄・大里和己(2008b)：「カリーナサイクルによる温泉発電の市場規模評価」、日本地熱学会平成20年度学術講演会講演要旨集
- 地熱発電に関する研究会・経済産業省(2009)：「地熱発電に関する研究会 中間報告」