

小水力発電の動向と導入拡大ポテンシャル

小林 久

茨城大学農学部地域環境科学科

はじめに

3・11の福島第一原発事故の後、CO₂排出削減に効果のある原発の代替という色合いも加わって、自然エネルギー（本文では、基本的に再生可能エネルギーと同義として用いる）利用に、とくに大きな関心が寄せられるようになった。2011年には、脱原発のための自然エネルギー開発のシナリオも、NGOを中心に緊急提言されている。

その自然エネルギーは、石油などの非再生可能なエネルギーと異なり、分散すること、自然環境に大きく影響されることを特徴としている。このため、自然エネルギーの多くは集中して大量に生産供給することには、あまり適していない。本気で自然エネルギーを利用する社会にするのであれば、現行の大規模に集中して生産供給するというエネルギーシステムを大幅に転換する覚悟が不可欠であろう。資源可能量を見積もったり、需給シナリオを構想したりするだけでなく、技術工学的かつ社会的に大規模集中型エネルギーシステムを、どのようなシステムで代替できるのかを具体的に試し、新たなシステムへの実際の移行手順を明らかにすることなしに、自然エネルギーを本格的に活用する未来へは向かえないといってもよい。ここでは、このような観点から、全量買取制度下での小水力発電の可能性を考えてみる。

1. 小水力の動向

(1) 小水力とは

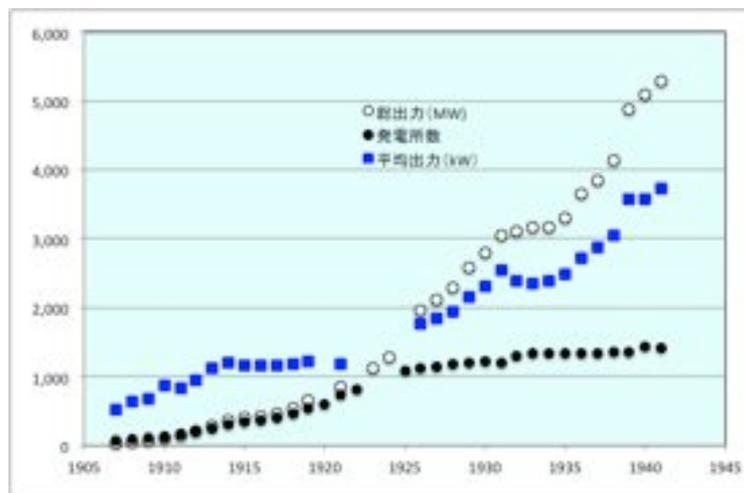
水力発電というと、30万kW規模の黒四ダムで有名な黒部第四発電所、あるいは総出力が2,000万kWを超える中国の三峡ダムの水力発電所や、1,300万kW規模のブラジルとパラグアイの国境にあるイタイプ発電所など、巨大ダムを連想する人が多いかもしれない。しかし一方で、水力発電には都留市市役所前の20kWや京都嵐山の渡月橋上流の堰に据え付けられた5.5kWという小規模のものもある。このように規模に桁違いの差があるため、水力は出力で分類される。わが国では、一般的に5~3万kW未満を中小水力、1万kW以下を小水力と呼ぶことが多い。小水力のうち出力が1,000kW以下の水力は、実用化のための技術開発や経済性改善に対する支援が必要とされ、太陽光発電や風力発電と同じように「新エネルギー」に分類されている。しかし、実は出力1,000kW以下の小水力こそが、先駆的に試され普及拡大して、日本の水力発電技術を確立した立役者であった。

(2) 小水力の過去

明治政府は、国家近代化のために欧米の産業技術を移植して産業を興す政策を推進した。欧米でようやく盛んになりつつあった水力発電の技術も、産業に必要なエネルギーをまかなうために積極的に導入された。たとえば、世界初の水力発電所稼働から10年後の1888年（明治21年）には、日本初の産業用水力発電（三居沢発電所、直流5kW）が始まった。1891年には、琵琶湖疎水を利用した蹴上水力発電所（直流80kW×2）が完成し、水力発電事業も始まった。山地が多く、年間を

通して河川流量が多いわが国の自然環境に、水力発電は非常に適していた。このため、産業用の電力はベース供給を次第に大規模化する水力発電が受け持ち、ピーク供給を火力発電が受け持つという「水主火従」が電力供給の基本となった。一方で、「おらが村」にも電燈を、という小さな水力発電所も各地で盛んにつくられた。

水力発電の導入・拡大期には、産業用の大規模化に向かう水力発電所と各戸に明かりを灯すための小規模な水力発電所が併存して増加した。図1は、1910～1925年頃は年間に50～100箇所の水力発電所が建設されたこと、1925年頃に発電所数が千箇所を超えるまでは平均出力が数百kW～千kWの時代が続いたことを示している。水力発電の導入～普及期には小さな設備も各地で建設され、日本の水力発電技術の確立に大きく貢献したといえる。



日本経営史研究所「日本電力業史データベース」のデータを用いて作成。

図1 戦前の水力発電の動向

戦時体制になると、発電所は大規模化の傾向が顕著になり、発電所数の増加は鈍化するが、総出力は大きく伸びるようになった（図1）。そして戦後は、大規模化が加速し、発電用の巨大ダムが各地で建設されて大出力の水力発電所が盛んに開発された。一方、戦前の「おらが村」の電化を継承した小水力発電所も、昭和30年代までにはつくられた（図2）。しかし、燃料が薪炭から石油、ガスへと急激に移行するにともない、大規模化による効率が優先され、非効率という理由で分散する自然エネルギーとしての小水力発電は次第に姿を消していった。

(3) 小水力の現状

オイルショックのとき、小水力も代替エネルギーの一つとして一時的には関心をもたれた。しかし、小水力が再び注目されるようになったのは、地球温暖化問題が本格的に議論されるようになった1990年頃からであった。温暖化防止のための制度が導入されると、わずかではあるが小水力開発は背中を押された。たとえば、2003年に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)は、小水力発電所の年間建設数を1桁の後半にした。2008年に1,000kW以下の小水力が新エネルギーに区分されてからは、図3に示すように年間新設数は10箇所を超えるようになった。

このような理由で、2003年以降の小水力発電所の建設数は微増傾向にある（図3）。しかし、現時点の出力1,000kW以下の小水力の総出力は20万kW程度で、工事中を含む既開発水力（総出力23百万kW、年間量940億kWh）の1%にも満たない。過去50年間（1962～2011）のRPS認定施設（1,000kW以下の小水力発電所）の建設数も188しかない。一方、RPS認定施設のうち、1940年までに運転を開始した発電所は246箇所、総数（492）の50%以上を占める。現在稼働している最も古いRPS認定施設は、1897年に運転を開始した中部電力の岩津水力発電所（140kW）である。水力発電は小規模で普及・拡大したが、大規模化の中で小規模は駆逐されたということであろう。そのため、時代に合わせた技術の改良や向上も小水力に関しては、ここ50年間止まったままであったとあってよい。

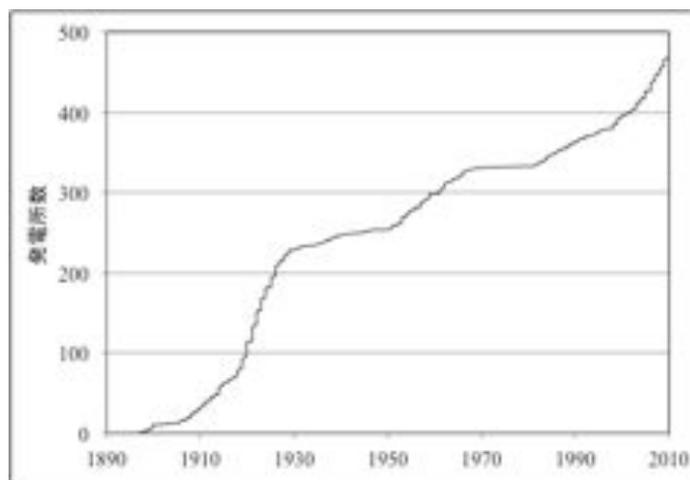


図2 RPS認定施設（水力）の年別運開数（2010年度末時点）

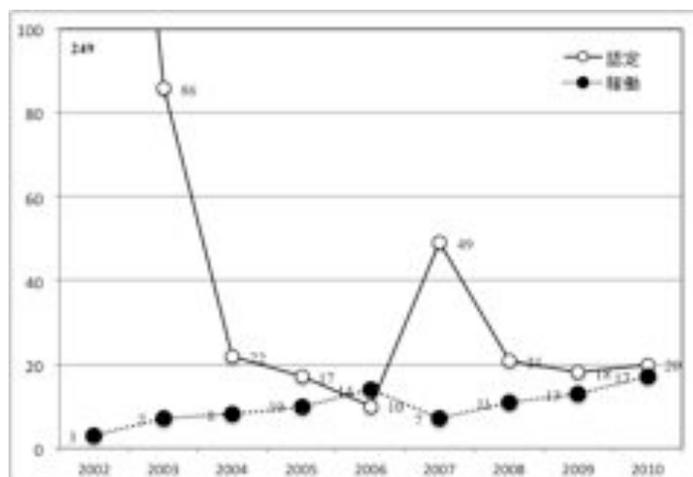


図3 年別のRPS認定施設（水力）数と新規稼働設備数（2010年度末時点）

一方ヨーロッパでは、長い間、製粉や製材に使用されていた身近な動力利用の水車が、小水力発電所に姿を変えて、地域の電力供給の一部を担っている。発電の所有者は、企業、共同出資、地域の環境団体、個人など様々である。図4は、2005年時点の出力が1,000kW以上と1,000kW未満の水力発電所数の比率を、日本とドイツで比較したものである。この図は、年間降水量がドイツの2倍を大きく超える日本において、小水力の開発がいかに進んでいないことをよく示している。

1,000kW 以上と 1,000kW 未満の水力発電所数の比率がドイツと同じであると仮定すると、わが国には現在の約 50 倍の 2 万程度の 1,000kW 未満の水力発電所があってもおかしくない。

そのドイツでは、小水力が継続して開発されている。例えば、2005/2006 の 1 年間に 323 箇所（5,000kW 以下の発電所新設数、平均出力 167kW）の小水力発電所が新たに建設されている。すでに多くの適地が開発済みといえるドイツに対して、1,000kW 以下の水力が RPS 認定対象となり、新エネルギーになったことで開発が促進されたという日本の年間 20 箇所弱という開発量の少なさに、改めて驚かされる。



日本

ドイツ

出典：資源エネルギー庁(2004), GER Renewable Energy yearbook(2002/2003)

図 4 日本とドイツの 1,000kW 以下の水力発電数・割合の比較

2. 小水力の可能性

(1) 自然エネルギー導入見通しの妥当性と手順

福島第一原発事故前まで、政府は原発の増加を前提としてエネルギー需給を検討していた。一方、NGO や一部研究者は、とくに原発事故後に自然エネルギーの導入シナリオを公表するようになった。それらのうちのいくつかのシナリオに関して、直近の未来である 2020 年時点の自然エネルギー導入見通しの実現可能性を検討してみる。

まず、これから 10 年間の設備導入量に関して考えてみる。表 1 の見通しに従うと、政府案を含めていずれも今までに導入された自然エネルギー生産供給のための全設備容量と同じか、数倍の設備を 2020 年まで毎年導入しなければならないということになる。薄く分散することを特徴とする自然エネルギーの急激な開発には、おそらく膨大な空間が必要になるはずである。たとえば、環境省見通しの太陽光発電の場合、毎年約 60km²の面積に毎年パネルを設置しなければならない。さらに、その 60km²のパネルは一箇所に設置されるのではなく、日本中に分散して設置されるはずであるから、発電所・変電所から末端へという現行の大規模集中システムの電力の流れを多数の末端から系統に集まるという逆の流れにする仕組みも不可欠となる。分散設置される多数の太陽光発電施設からの電力を順次集約する現行の電力の流れを逆にするような分散型の電力システムを、数年で整えることはおそらくできない。加速的な自然エネルギー導入を見込む多くのシナリオには、どうみても実施過程の具体性が欠けている。

表 1 2020 年時点の自然エネルギー導入見通しの比較（原油換算百万 kL）

	経産省*2	環境省	WWF	GP*3	歌川
太陽光発電	7.0	9.1	22.6	16.4	10.0
風力発電	2.0	4.6	11.3	36.0	14.5
水力発電	20.7	21.4	23.1	26.0	28.9
地熱発電	0.9	1.5	6.2	13.1	6.1
太陽熱利用	-*4	1.3	7.8	8.1	6.8
バイオマス発電*1	4.1	5.9	5.9	19.5	5.4
バイオマス熱利用	3.4	1.3	4.1	15.7	12.0
その他	6.9*4	9.8	-	14.0*5	1.0*6

注) 原油換算量がない場合の電力は、0.257kL/千 kWh で原油に換算した。

*1 廃棄物発電を含む。

*2 グリーンピースジャパン

*3 「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009）の最大導入ケース。

*4 太陽熱利用は、廃棄物熱利用などとともに「その他」に計上。

*5 海洋エネルギーによる発電、地熱の熱利用など。

*6 地熱の熱利用。

では、どのような手順が考えられるだろうか。再生可能電力の全量買取制度による技術改良や経済性の向上の成果が得られるまでの数年間は、数量の拡大よりも、むしろ合理的で確実な自然エネルギー利用の仕組みや自然エネルギー資源の開発順位などをあらゆる方向から検討・試行して、2050 年頃に自然エネルギーが基幹となるエネルギー利用の具体像を明らかにすることが最優先されるべきではないだろうか。自然エネルギーの導入は、様々な試行の結果として得られる合理的な仕組みで、2020 年、場合によっては 2025 年頃から、本格的に始めることが最終的には得策ではないだろうか。

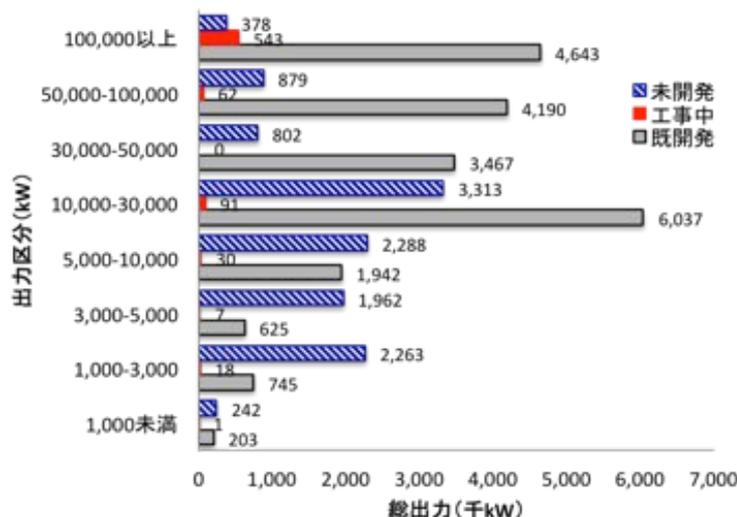
電力システムを大規模集中型から分散型にするためには、合理的な新たな電力システムを開発・整備し、現行の大規模発電・独占送配電管理から離脱してスムーズに移行することが不可欠となる。新たなシステムの開発と整備、さらに移行には、周到的な準備と試行に相応の時間が必要である。たとえば、新たなシステムの確立には大量導入される不安定な自然エネルギーの安定化や水力が得意とする調整機能（アンシラリーサービス）の活用などが様々な側面から検討され、様々な条件で試されなければならない。そのような準備と試行なしに、自然エネルギーの量的拡大が先行すると、分散型電力システムの要といえる相互融通、変動調整、異なる電力品質の許容などに関する合理的な仕組みが整わず、結局は部分改良によって大規模集中型システムを温存し、効果的な自然エネルギー利用を阻害することになりかねない。そうすると、自然エネルギーに頼る社会の到来は、2050 年を大幅に超えた時期になる可能性が高い。「急がば回れ」である。

(2) 小水力のポテンシャル

表 1 の水力の見通しを検証してみる。資源エネルギー庁によると、日本の既開発（含工事中）の水力は総出力 23 百万 kW（年間量 940 億 kWh）である。電力の原油換算係数を 0.257kL/kWh とすると、現時点でも水力は 24 百万 kL（原油換算）の生産を行っているの、歌川（2012）を除いて表 1 の見積もりは、いずれも水力開発はもう必要ないといっていることになる。

そこで、とくに小水力に着目して、開発可能性を改めて検討してみる。資源エネルギー庁の資料では、出力が 1 万 kW 以上の水力の未開発量は総出力で 5.4 百万 kW（247 地点）である。対して、

5,000～1万kWが2.3百万kW(340地点), 1,000～5,000kWが4.2百万kW(1,755地点), 1,000kW以下が24万kW(371地点)である(図5)。経済性を考慮した包蔵水力の着実な見積もりでも、まだ12百万kWが開発可能ということになる。



出典：資源エネルギー庁「水力のページ」(<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/>)のデータを用いて作成。

図5 わが国の出力別包蔵水力(出力)

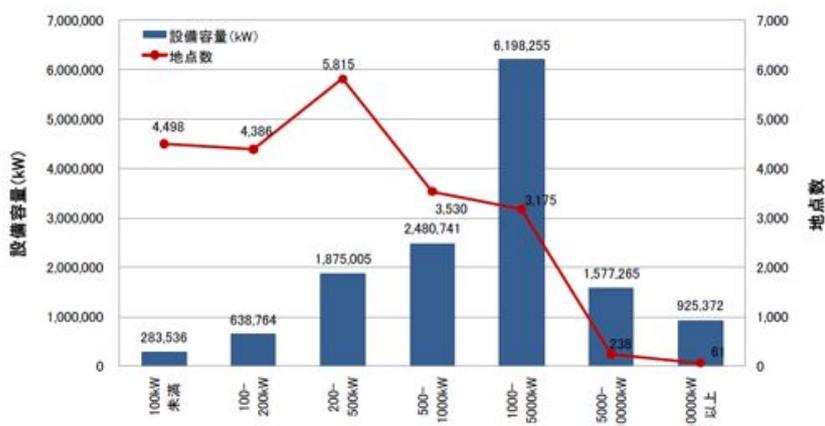


図5-22 河川部の導入ポテンシャル集計結果

図6 中小水力の導入ポテンシャル推計値(環境省, 2011)

一方、自然エネルギー開発を推進するという立場の見積もりとして、環境省(2011)の推計がある(図6)。この推計では、出力3万kW以下の導入可能量が総出力で約14百万kW、そのうち1,000kW未満は5.3百万kW、地点数で18,229地点と見積もられている。仮に、この環境省推計の1,000kW未満がすべて開発できれば、2005年時点のドイツとほぼ同水準の1,000kW未満の水力発電所比率を達成することができる。ただし、現在の小水力の開発量はせいぜい年間10~20箇所である。爆発的に開発量が増えて、戦前の年間50-100箇所、さらに今のドイツと同水準の年間数100箇所になったとしても、開発には数10年かかることになる。

3. 小水力の課題と全量買取制度

小水力発電の課題は、技術から制度まで複雑に絡み合っている。主な課題は、小流量・低落差などの小水力発電に適した条件に対応する技術の熟成不足、小規模生産に見合う設備や技術の非経済性、地域における小水力発電に関わる技術や知識の消失などの「技術」に関わるものと水利用に関する責任分解点の地域からの遊離、縦割り管理の許認可システムと手続きの煩雑さ、複雑な利害関係調整と合意形成プロセス、資源に対する価値認識と権利意識の消失、事業形態の不確かさなどの「社会・制度」に関わるものに分けられる。さらにこれらの課題は、集権的な技術・制度・社会メカニズムの存在が大きな障壁になっているという表現で一括りにすることができる。

「技術」に関わる課題は、小規模水力に関わる技術の改良や向上が、約50年間ほぼ停止していたという点に根本的な原因を求めることができる。小水力の拡大で確立したわが国の水力発電技術は、とくに1950年以降、5千kW～数10万kWを中心に発達した。多くはない1,000kW以下の小水力発電開発にも、この中～大水力で磨かれた優良技術が転用された。しかし、低落差、小流量、小型設備に対応する小水力のための適正な発電技術の発展は、不十分であったといってよい。このため、わが国では、中小河川や用水路などの様々な流況に対応した数10kW～数100kW級の水車発電設備・装置の品揃えは、明らかに貧弱である。小規模に適合した合理的な土木施設の整備手法もほとんど確立していないといえる。

今後は、全量買取制度の下で、経済性のある小水力発電事業モデルを早期に実現するための適切な価格水準の設備開発や装置・部品等の品揃えの充実、地域で対応できる技術の導入が求められる。そのためには、現在の年間20箇所弱の整備数を大幅に増加させ、100箇所以上／年の事業規模にして、多くの新規参加者が小水力事業に関われるような環境をつくることが不可欠である。

「社会的制度的」な課題としては、許認可に関わる法制度を第一に取り上げることができる。利水に関わる河川法、発電に関わる電気事業法、施設利用に関わる土地改良法などの他、電気事業者との協議等の過剰な要求や煩雑な手続きなどが該当する。今後は、全量買取に関わる法制度も加わる。これらは、合理性の確保、公開原則や簡素化・迅速化が指向されるべき課題といえる。第二に、事業の主体や形態、あるいは資金調達・経営などに関わる課題がある。全量買取制度導入により経営計画の事前検討が可能になることで、資源分配や体制整備の手法開発、合意形成や利害調整メカニズムの一般化などを通して、いくつかの課題は解決の糸口を見いだせるかもしれない。その一方で、だれが「地域の水力を利用して『富』を得るのか」という、資源の保有や利用の権利などに関わる制度的課題が積み残される可能性がある。これらは、資源の価値や資源の価値認識などの問題とも密接に関係し、現行の所有や許認可権の枠組みを本質的に問い直すことが求められる重要な課題でもある。

おわりに

小水力は、エネルギー変換効率が高い、設備稼働率が高い（年間5～7千時間）、出力の変動・急変が少ない、発電量が予測・制御し易い、環境インパクトが小さいなどの特徴をもつエネルギー技術で、他の自然エネルギーとの比較から生産の有利性がしばしば強調される。しかし、自然エネルギー導入が本格的に議論されるようになって、水力のもつ不安定な電源を調整する機能が強調されるようになってきた。水力が、瞬間的な変動に対して最も短い時間で対応できる電源だからであ

る。たとえば、オーストリアの Kops II という揚水発電所は、1 分以内に発電と揚水の運転を切り替えられるといわれ、拡大する風力発電のピーク抑制等の電力調整を主目的に建設されている。

全量買取制度は、自然エネルギーの導入量増加を最終目標としている。しかし、自然エネルギー利用をわが国に定着させるためには、量的拡大とともに、自然エネルギーによる電力システムの安定化問題を解決することが必要となる。自然エネルギーの開発拡大には、「環境価値」を電力料に転嫁することで成り立つともいえる固定買取価格の導入が妥当かもしれない。しかし、その拡大を保証するシステム維持のコストはどのようにまかなうことが合理的かは、まだ議論されていない。

一つの方向として、安定化・変動調整機能をもつ自然エネルギーの電源には、「環境価値」に加えて「調整価値」という概念を付与することが考えられる。その「調整価値」は、全体の破局を防ぐための意図的な生産縮小など無償の変動調整オペレーションが求められること、ひんぱんな可変操作により設備寿命を短縮させられる可能性があることを評価・反映したものでなければならない。したがって、「調整価値」には固定買取価格のような単価設定という枠組みではなく、高価であっても必ず支払われるべき設備オペレーションのコストであるという発想が必要になるかもしれない。全量買取制度下で進むはずの自然エネルギー利用の本格化にともない、小水力にも量的拡大以外の新たな役割が求められ、その可能性が試されることなるに違いない。

参考文献

- グリーンピースジャパン (2011) 「自然エネルギー革命シナリオ-2012 年、すべての原発停止で日本がよみがえる」
- 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」
- 気候ネットワーク (2011) 「3 つの 25 は可能だ、脱原発の複数シナリオ」
- 小林久 (2011) 「地域小水力発電のポテンシャル」, 中小商工業研究 109, 87-97.
- 小林久 (2011) 「農山村の再生と小水力からみる小規模分散型エネルギーの未来像」, 季刊地域 7, 54-59.
- 野田浩二 (2011) 「緑の水利権」, 武蔵野大学出版会, p.293.
- 上坂博亨, 後藤眞宏・小林久・駒宮博男・水林義博 (2010) 「農業用水を利用した小水力発電に関する課題と方向性」, 水土の知 78 (8), 661-664.
- 歌川学 (2012) 「原発縮小下の省エネ・自然エネルギー普及シナリオ」, 日本の科学者 47 (1), 12-18.
- Vorarlberger Illwerke Aktiengesellschaft, “Hydropower Plant Kops II”.
- WWF ジャパン (2011) 「脱炭素社会に向けたシナリオ」 (システム技術研究所) .