

再生可能エネルギーにおける 木質バイオマス利用

斉藤 崇

1. はじめに

気候変動問題に対する世界的な関心を背景として、再生可能エネルギーの利用が進んでいる。日本では、2012年に固定価格買取制度が始まり、そのもとで太陽光などの発電設備が多く建設され、設備導入量も大きく増加している。またそうした再生可能エネルギーの利用が促進されるなかで、発電にかかる費用の低下も見られている。

再生可能エネルギーのなかには、太陽光のほか、風力、水力、地熱、バイオマスなどもあるが、太陽光の発電設備が急増しているのに対して、それ以外のエネルギー源の導入はそれほど進んでいない。このなかの1つであるバイオマスに関しては、いくつかの区分に分かれており、そのなかには間伐材等の未利用材の利用を進めることを意図した区分も設けられている。

日本の森林は、国土面積の約3分の2を占めており、諸外国と比べても森林面積の割合が高い¹⁾。また森林は古くから身近で調達しやすいエネルギー源を供給する場所でもあった²⁾。近年では、岡山県真庭市のように、木質バイオマス発電の利用によって地域がうるおっているところもある³⁾。

¹⁾ 林野庁(2020)、p.54によれば、2017年3月末の森林面積は2,505万haとなっており、国土面積(3,780万ha)の66%を占めている。

こうした環境があるにも関わらず、上述のような未利用材の利用を促進するような取り組みがおこなわれている背景には、間伐されたあとに利用されずに放置されている「林地残材」の存在が挙げられる。林野庁（2020）によれば、2014年の林地残材の年間発生量が約800万トンであるのに対し、利用されたのはわずか9%であるという⁴⁾。日本はこの数値を2025年に30%以上に上昇させる目標を掲げている。

バイオマスは再生可能エネルギーの1つに含められるものの、太陽光などとは異なる性質を持っている。固定価格買取制度のような仕組みのもとで、そうした性質の違いによる影響もみられるようになってきている。また持続可能な資源利用という観点で捉えた場合にも、バイオマスは、太陽光などの他の再生可能エネルギーと異なる要素を考慮する必要がある。本稿では、とくに木質バイオマスの利用に焦点をあてて、再生可能エネルギーにおける位置づけを整理するとともに、持続可能性についても考えていく。

なお本稿の構成は以下のとおりである。まず第2節において、日本の固定価格買取制度のもとでどのような状況の変化が起こってきたかについて、整理をおこなっていく。つづく第3節では、固定価格買取制度のもとで新規事業者の参入が増加することによって、関連する市場においてどのような影響がもたされるかについて考察する。とくにバイオマス発電が、他の再生可能エネルギーとは異なる点について指摘する。第4節では、木質バイオマスの利用を考えていくうえでの持続可能性について取り上げる。そして第5節で研究のまとめをおこなう。

²⁾ 日本における森林の状況、とくに人との関わりの歴史については、田中（2014）に詳しい説明がある。

³⁾ 真庭市の事例については、藻谷・NHK広島取材班（2013）を参照されたい。

⁴⁾ 林野庁（2020）、p.189より。

2. 日本における固定価格買取制度と設備導入量の変化

固定価格買取制度は、再生可能エネルギーの導入を促す仕組みとなっており、日本では2012年に7月に始まった⁵⁾。この制度は、再生可能エネルギーで発電された電気を電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束するというものになっており、その対象となるのは、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの5つである。再生可能エネルギーは、文字どおり再生可能なものであり長期的に供給できることや、気候変動などの環境面においてもメリットがあるものの、費用がかかるというデメリットがあり、導入が進んでこなかった。固定価格買取制度のもとでは、発電設備の導入にかかる建設費用などについて、回収の見通しが立てやすくなるため、再生可能エネルギーの普及が進むことが期待されている。

表1：再生可能エネルギーの設備導入量（2020年3月末時点）

	設備導入量		変化
	制度開始前	制度開始後	
太陽光（住宅）	約470万kW	691.3万kW	1.5
太陽光（非住宅）	約90万kW	4,329.5万kW	48.1
風力	約260万kW	160.4万kW	0.6
地熱	約50万kW	7.8万kW	0.2
中小水力	約960万kW	50.9万kW	0.1
バイオマス	約230万kW	219.8万kW	1.0
合計	約2,060万kW	5,459.7万kW	2.7

註) 資源エネルギー庁（2020b）、p.9をもとに作成。

「設備導入量」は認定後に運転を開始したものである。

⁵⁾ 日本の固定価格買取制度については、資源エネルギー庁（2020a）および同庁ウェブサイト⁵⁾に詳しい説明がある。また諸外国の状況について整理した文献として、Mendonça（2007）などが挙げられる。

表1は、固定価格買取制度の開始前後、つまり2012年6月末までと翌7月以降における再生可能エネルギーの設備導入量の変化を示したものである。この表の最右列にある「変化」は、制度開始後の設備投入量の数値を開始前の水準で割ったものである。ここから明らかのように、固定価格買取制度のもとで、再生可能エネルギー全体で、制度開始前の水準の2.7倍にあたる設備が新たに導入されていることがわかる。

その内訳をみると、大部分が住宅用あるいは住宅以外の太陽光となっている。制度開始後の設備導入量のうち、12.7%を住宅用の太陽光が、79.3%を住宅以外の太陽光が占めている。住宅用は発電設備の規模が小さいものの、導入された件数でみると全体の70.3%を占めている⁶⁾。表1に示されているように、制度開始前後の設備導入量の変化については、住宅用では制度開始前の水準の1.5倍にあたる設備が、住宅以外では48.1倍もの設備が新たに導入されている。

その一方で、他の再生可能エネルギー、つまり風力、地熱、水力、バイオマスでは、設備導入はそれほど進んでいない。上述のように、導入件数で見れば住宅用が大部分を占めているが、住宅以外の太陽光も他の再生可能エネルギーに比べれば大きく増加している。こうした違いが生じた要因として、同じ再生可能エネルギーであっても、太陽光が比較的導入しやすい状況にあったのに対し、他のエネルギー源ではそれほど容易でなかったということが挙げられるだろう。

この点に関して、事業等の計画を立ててから発電設備の導入までに要する時間の違いも関係していると考えられる。とくに風力発電や地熱発電の場合、予定地の事前調査をするところから、環境アセスメントなどを経て実際に建設工事にかかるまで長い時間を要する。たとえば、大型風力の場合は一般的

⁶⁾ 資源エネルギー庁(2020b)、p.9をもとに計算すると、制度開始後に導入された約210万件のうち、約148万件が住宅用の太陽光となっている。非住宅用は約62万件で、29.6%を占めている。

に4年から7年、地熱発電では10年ほどかかるとされている⁷⁾。このうち環境アセスメントについてはおおよそ3年から4年ほどかかると見込まれているが、計画期間の短縮を図るため、その手続きの見直しが図られている⁸⁾。

こうした計画期間に関連する影響はあるものの、太陽光において発電設備が大きく増加してきた背景の1つとして、調達価格、つまり発電した電気の買取価格が、設備の導入を促すのに十分魅力的な水準にあったことが考えられる。あとでみるように、新規事業への参入が増えることは、関連する市場にいろいろな影響をもたらさう。そして、その結果として、太陽光においては調達価格が制度開始後に大きく変化している。

図1は固定価格買取制度のもとでの調達価格の推移について示したものである⁹⁾。この図から明らかなように、住宅用および住宅以外の太陽光発電の調達価格については、年々低下している。住宅用の太陽光の場合、2012年度の調達価格は42円/kWhであったが、2020年には21円/kWhと半分の水準まで低下している。また非住宅太陽光では、40円/kWhから13円/kWhと約3分の1の水準になっている¹⁰⁾。これに対して、設備導入量がそれほど増えていない地熱あるいはバイオマスなどでは、調達価格に変化が見られない。たとえばバイオマスの場合、2012年度から32円/kWhのまま推移

⁷⁾ 資源エネルギー庁 (2013) より。

⁸⁾ 風力発電などについての環境アセスメントの期間を短縮するための取り組みがおこなわれている。この点については、経済産業省 (2019) に詳しい説明がある。なお太陽光については、環境アセスメントの対象事業ではなかったが、2020年4月から太陽電池発電所を新たに対象として追加している。

⁹⁾ 調達価格は、電源の種類や規模によって異なっている。図2に示しているのは、太陽光 (非住宅) に関しては10kW以上50kW未満のもの、風力は20kW以上、地熱は15,000kW以上、水力は5,000kW以上30,000kW未満、そしてバイオマスは未利用材の場合の調達価格である。調達価格の全体的な状況については、資源エネルギー庁 (2020a)、p.6を参照されたい。

¹⁰⁾ 資源エネルギー庁 (2020b)、p.10より。なお本文に示す非住宅用太陽光の2020年度の調達価格は、発電設備の規模が10kW以上50kW未満のものである。また2017年度より規模の大きい区分では入札制がとられている。

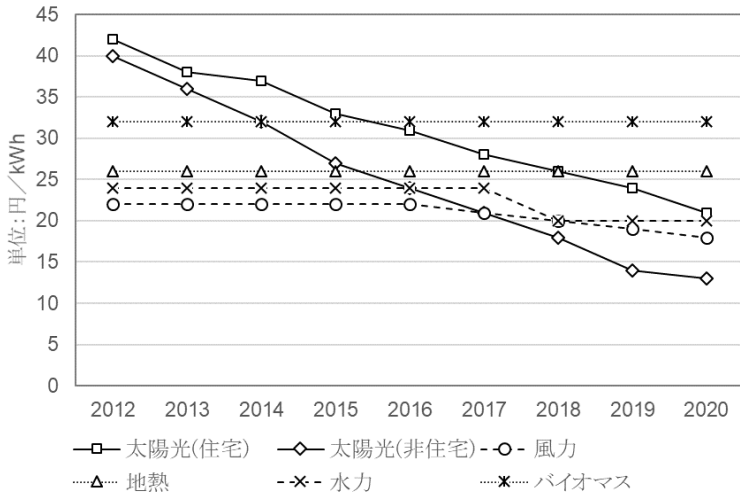


図1：調達価格の推移（2012年度～2020年度）

（注）資源エネルギー庁（2020b）、p.10をもとに作成。

している¹¹⁾。

このように、日本では固定価格買取制度のもとで、太陽光のみが大幅に増加し、他の再生可能エネルギーについてはあまり増えていない状況にある。また調達価格に関しても太陽光が年々低下しているのに対し、それ以外のエネルギー源の調達価格にそれほど大きな変化が見られていない。そうした状況がもたらされた背景について、次節では整理をおこなっていく。

3. 発電費用の低下と原材料の確保

前節では、固定価格買取制度のもとで、再生可能エネルギーの設備導入が増えてきたことや、太陽光で調達価格が低下し続けてきたことについて確認

¹¹⁾ 規模が2,000kW以上の場合はこの水準になる。2015年度より、2,000kW未満の区分が設けられ、40円/kWhと高めの調達価格になっている。

してきた。こうした変化について掘り下げるために、本節では、固定価格買取制度のような再生可能エネルギーの普及を促す制度のもとで、どのような効果が期待できるのかという点について改めて考えてみることにしよう¹²⁾。

すでに述べたように、固定価格買取制度は、一定期間一定価格で買い取ることを国が約束することにより、発電にかかる高い費用の回収の見通しをしやすいとするための仕組みとなっている。容易に想像できるように、このような制度のもとでは事業への新たな参入が起りやすくなると言える。前節で見たように、日本では、住宅用以外の太陽光においてメガソーラーなどの大規模な発電設備の建設も増加し、設備導入量の再生可能エネルギー全体に占める割合も非常に高くなっていった。

こうした新規事業者の参入はさまざまな影響をもたらす。発電設備が増えることによって、電力供給全体への影響ももちろん出てくるが、本稿では発電事業の生産要素市場に与える影響に注目して見ることにしよう。

発電事業への参入が増えることは、発電のための生産要素に対する需要の増加をもたらす。そうした生産要素の需要の増加に対して、供給側が十分に対応できるならば、生産要素価格の上昇は起りにくいかも知れない。一方、そうした需要の増加を見越して、生産要素市場に参入する事業者が増えてくる可能性もある。もし、そのようにして生産要素市場がより競争的になれば、技術革新等が起り、その結果として生産要素価格の低下がみられるかも知れない。

固定価格買取制度を導入することによって期待される効果の1つとして、こうした発電にかかる費用の低下を挙げることができる。資源エネルギー庁(2020b)によれば、事業用太陽光においては、2014年ごろには約35円/kWhであったものが2019年には13.1円/kWhまで大幅に低下している¹³⁾。今後もさらに低下していくことが予想されており、2030年の見通しは5.8円/

¹²⁾ 固定価格買取制度についての経済理論的な分析については、たとえばYamamoto (2018) などがある。

となっている。また風力発電のうちの陸上風力においても同様の費用の低下が見られている。2014年に約20円/kWhであったものが、2019年には11.1円/kWhと半分近くにまで低下しており、2030年の見通しは6.6円/kWhとなっている。

こうした発電費用の低下は、他の再生可能エネルギーにも同じように起こっているかということ、必ずしもそうとは言えないだろう。発電にかかる生産要素といっても、さまざまなものがあるからである。発電設備のほか、設備を建設するための土地や発電をおこなうための原材料等も必要となる。太陽光や風力の場合には、自然の力を直接的に利用することができるため、発電をおこなうための原材料にあたるものは無料で手に入れることができる。これに対して、バイオマスの場合、原材料となるバイオマス資源を確保する必要がある。

この点について、もう少し掘り下げてみることにしよう。表2は固定価格買取制度におけるバイオマスの区分について示したものである。この表に示されているように、バイオマスの場合は利用するものによって区分が異なっている。第1節で取り上げた未利用材はこのうち上から2つ目にある「間伐材等由来の木質バイオマス」に分類され、2,000kW以上のものの調達価格は32円/kWh、2,000kW未満であれば40円/kWhと他の区分に比べて高めの価格となっている。

また上から5つ目にあるように「建設資材廃棄物」なども対象になっており、バイオマス発電には廃棄物の有効利用という側面もあることがわかる。そのため逆有償取引、つまり処理費用を受け取って原材料を手にするような場合もある。一方、発電設備のある場所までの輸送も必要となるため、その費用も考慮しなければならない。太陽光などのように自然の力をそのまま利用できる場合には輸送費用がかからないが、バイオマスの場合にはそうした費用

¹³⁾ 資源エネルギー庁(2020b)、p.13より。陸上風力に関する数値も同ページに記載されている。

再生可能エネルギーにおける木質バイオマス利用

も考慮しなければならず、他の再生可能エネルギーに比べて原材料をどのように確保していくかという側面が強くなる。この点については廃棄物の処理およびリサイクルで見られる状況と同じであると言える。

表2：固定価格買取制度におけるバイオマスの調達区分

区分	具体的なもの
メタン発酵ガス（バイオマス由来）	下水汚泥・家畜糞尿・食品残渣由来のメタンガス
間伐材等由来の木質バイオマス	間伐材、主伐材
一般木質バイオマス・農産物の収穫に伴って生じるバイオマス固体燃料	製材端材、輸入材、剪定枝、パーム椰子殻、パームトランク
農産物の収穫に伴って生じるバイオマス液体燃料	パーム油
建設資材廃棄物	建設資材廃棄物（リサイクル木材）、その他木材
廃棄物・その他バイオマス	剪定枝・木くず、紙、食品残渣、廃食用油、黒液

(註) 資源エネルギー庁（2020a）、p.6より一部転載。

発電のための原材料の確保という点に注目するとき、もう1つ見えてくるものがある。それは原材料の確保をめぐる競合が起こるかどうかである。太陽光などの場合は、自然のもつエネルギー供給力が非常に大きいため、発電設備が増加し、原材料となる自然エネルギーが多く需要されるようになったとしても、非競合的に利用することができる。これに対して、バイオマスの場合は、原材料に対する需要の増加によって競合の度合いが強まる可能性がある。また輸送費用なども考慮する必要もあり、資源エネルギー庁（2020b）で指摘されているように、費用全体に占める燃料費用の割合が高くなっている¹⁴⁾。そうになると、原材料を安定的に確保しやすいところから入手しよう

という動きも出てくることになる。たとえばパーム椰子殻 (palm kernel shell, PKS) のように、原材料を外国から輸入してそれを発電に利用するという状況も起こってくるのである。

このように発電のための生産要素であっても、発電設備と原材料とは固定価格買取制度のもとでもたらされる影響が異なってくる。このことは発電を計画している事業者の立場からすると、発電事業にともなう不確実性の違いという形であらわれてくる。

固定価格買取制度自体は、発電した電気を一定価格で一定期間売ることを可能にすることにより、売電による収入をより安定的にさせる、つまり収入に関する不確実性を軽減させるものとなっている。一方、費用についてみた場合、発電設備などにかかる費用は事業計画の初期にかかるものであり、実際に設備を運転し始めてからかかってくる原材料確保のための費用に比べると不確実性の程度は小さなものであると言える。言い換えれば、原材料の確保のための費用は、原材料の競合が起こる可能性も含めて考えると、不確実性が大きなものである。事業者の立場から考えれば、発電事業に参入するかどうかの判断に影響を及ぼさるのではないだろうか。

固定価格買取制度のもとで、発電費用の低下が順調に進んでいけば、そうした制度的な支えがなくても再生可能エネルギーによる電力供給が十分に可能になってくる。バイオマスにおいても、中長期的には制度からの自立化を目指すことが目標として掲げられている。本節でみてきたような他の再生可能エネルギーとは異なるバイオマスの性質も踏まえて、発電にともなう費用の低下を進めていくことが重要である。

4. 木質バイオマスの持続可能な利用

前節では、固定価格買取制度のもとで発電事業の生産要素市場にもたらさ

¹⁴⁾ 資源エネルギー庁 (2020b)、p.32 より。

れる影響などについて整理し、バイオマスが太陽光などのエネルギー源とは異なる性質があることに注目してきた。再生可能エネルギーは、石油や石炭などの化石燃料とは異なり、長期的な供給が可能である。本節では再生可能資源の利用という観点から、木質バイオマスの持続可能性についてみていくことにしよう。

資源経済学の分野では、再生可能資源の利用において、時間の経過とともに資源水準がどのぐらい増加するのかに注目し、その増加分を「持続可能生産量」と呼んでいる¹⁵⁾。これは持続可能生産量の分だけ利用することで、資源水準を維持することができるため、每期、同じ資源の増分を期待することができるからである。

こうした持続可能生産量を木質バイオマスの利用について当てはめると、バイオマスの増分を利用していくということになるが、現状の制度はそうした利用を促すものにはなっていない。本稿で取り上げている未利用木材の利用に注目してみると、これはバイオマス資源の増分というよりも、間伐されて利用されなかったものを有効利用しているという位置づけでしかない。また前節でも取り上げたように、発電のための原材料の確保をめぐる競争が激しくなることで、バイオマスの増分以上に利用されてしまう可能性も否定できない。そうした懸念から、バイオマスのエネルギー利用を促すような仕組みに対して批判的な立場をとる意見も少なくない。

そうした原材料の競合も踏まえて、持続可能性を考慮するならば、利用する木質バイオマスの分について再造林などによって資源量を増加させていく取り組みも進めていかなければならない。ただ、現状においては調達価格のもとで、原材料の確保や輸送費用などをカバーすることはできても、そこからさらに再造林のための費用を捻出することは難しい状況にある。前節で取り上げた中長期的な制度からの自立化を進めていくだけでなく、再造林も含めた持続可能な利用も進めていく必要があるだろう。

¹⁵⁾ 資源経済学の代表的なテキストとして、たとえばConrad (2010) がある。

また持続可能な利用ということ意識したときに、どういう目的あるいは用途なのかによって、最適な持続可能生産量も異なってくる点にも注意が必要である。たとえば、エネルギーとして利用する場合、二酸化炭素の吸収源とする場合、そして木材の利用を考える場合とで、最適な資源水準が一致するとは限らない。多様な用途を考慮すれば、さらに複雑な状況のもとで最適解を考えていかなければならないかもしれない。ただ、そうした持続可能性を考慮する場合に、現在の固定価格買取制度のような仕組みでは不十分であるかもしれず、新たな仕組みを検討していくことも必要となってくるだろう。

5. おわりに

本稿では、日本において固定価格買取制度の開始後に再生可能エネルギーの状況がどのように変化してきたかを整理し、そのうえで木質バイオマスの利用をどのように考えればよいかについて考察をおこなってきた。日本では固定価格買取制度のもとで太陽光の発電設備の導入量が大幅に伸びてきた一方で、森林資源が豊富な状況にありながら、木質バイオマスの利用はそれほど進んでいない。発電のための生産要素市場にもたらされる影響が太陽光などとは大きく異なっており、また発電事業者の立場からみても不確実性の高いものになっている可能性があり、そうした点の改善が必要である。

また再生可能資源の利用という観点でみたときに、現状の仕組みは持続可能な利用を促すものにはなっておらず、今後はそうした側面も考慮した制度にしていくことが重要である。バイオマスの利用は、太陽光のような自然を直接的に利用するタイプの再生可能エネルギーとは異なる特徴があるため、そうした点も考慮していく必要があるだろう。

木質バイオマスの持続可能な利用を考えていくうえで、現在の固定価格買取制度に代わる仕組みはどのようなものなのか、望ましい制度のあり方についても具体的に検討をしていく必要がある。ただ木質バイオマスの利用においては、既存の木材産業の状況や、地域経済および雇用なども含めた総合的

な視点が求められる。こうした点については今後の課題としたい。

また林地残材などの未利用材の利用は、潜在的な資源価値をもつものを集めて有効利用していくということであり、携帯電話やPCなどの「都市鉱石」のリサイクルに似た側面がある。都市鉱石の回収や有効利用についての分析アプローチを、こうした林地残材の利用に適用することもできるだろう。この点についても今後の課題としたい。

謝辞

本稿は文部科学省科学研究費補助金「〈木質バイオマス経済〉の日中比較：空間、地域、政策の視点から」（研究代表者：岩手大学 佐藤一光、課題番号：19H04332）の助成を受けた研究成果の一部である。

参考文献

- 経済産業省（2019）「発電所に係る環境影響評価の手引の改訂について」, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/files/furyoku_kaitei.pdf（2020年11月15日閲覧）.
- 資源エネルギー庁「固定価格買取制度」, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/surcharge.html（2020年11月15日閲覧）.
- 資源エネルギー庁（2013）「平成25年度調達価格検討用基礎資料」, 経済産業省 調達価格等算定委員会, 第8回委員会 資料2, https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/008_02_00.pdf（2020年11月15日閲覧）.
- 資源エネルギー庁（2018）「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」, 経済産業省 調達価格等算定委員会, 第38回委員会 資料1, https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/038_01_00.pdf（2020年11月15日閲覧）.
- 資源エネルギー庁（2019）「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」, 経済産業省 調達価格等算定委員会, 第46回委員会 資料1, https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/046_01_00.pdf（2020年11月15日閲覧）.
- 資源エネルギー庁（2020a）「再生可能エネルギー 固定価格買取制度 ガイドブック2020年度版」, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2020_fit.pdf（2020年11月15日閲覧）.
- 資源エネルギー庁（2020b）「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」, 経済産業省 調達価格等算定委員会, 第61回委員会 資料1,

- https://www.meti.go.jp/shingikai/santei/pdf/061_01_00.pdf (2020年11月15日閲覧).
- 田中淳夫 (2014) 『森と日本人の1500年』, 平凡社新書.
- 藻谷浩介, NHK広島取材班 (2013) 『里山資本主義』, 角川oneテーマ21.
- 林野庁 (2020) 『令和元年度 森林・林業白書』, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo/zenbun.html> (2020年11月15日閲覧).
- Conrad, Jon M. (2010) *Resource Economics*, second edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- International Energy Agency (IEA) (2020) *Renewables 2020: Analysis and Forecast to 2025*, <https://www.iea.org/reports/renewables-2020> (2020年11月15日閲覧).
- Mendonça, Miguel (2007) *Feed-in Tariffs: Accelerating the Development of Renewable Energy*, Routledge, New York.
- Yamamoto, Yoshihiro (2018) *Feed-in Tariffs and the Economics of Renewable Energy*, Springer, Cham, Switzerland.