

## 日本の2030年木質バイオマス発電導入見込量とその燃料供給可能性評価

新エネルギーグループ 研究員 木村 謙仁

” 研究主幹 二宮 康司

### はじめに

2015年7月に経済産業省より発表された『長期エネルギー需給見通し』は、①エネルギー自給率の向上、②発電コストの低減、③欧米に遜色のない温室効果ガス排出削減、という目標を実現するための、日本の2030年度における各エネルギーの具体的な導入見込量(2030年エネルギーミックス)を提示している。これによると、2030年に想定される総発電量(約1,065 TWh)に対して、バイオマス発電には3.7~4.6%という割合が与えられている。そのバイオマス発電には投入される燃料の種類によって多様な区分が設けられているが、そのなかでも「一般木材・農作物残さ」が図1の通り、発電設備容量にして2,740~4,000 MWと大部分を占めている。この「一般木材・農作物残さ」の発電設備を円滑に導入できるか否かが、バイオマス発電全体の導入見込量達成の成否に大きく関わってくるといえる。そしてバイオマス発電の特性上、これらの設備を運転するに足るだけのバイオマス燃料を確保できるか否かの問題となる。

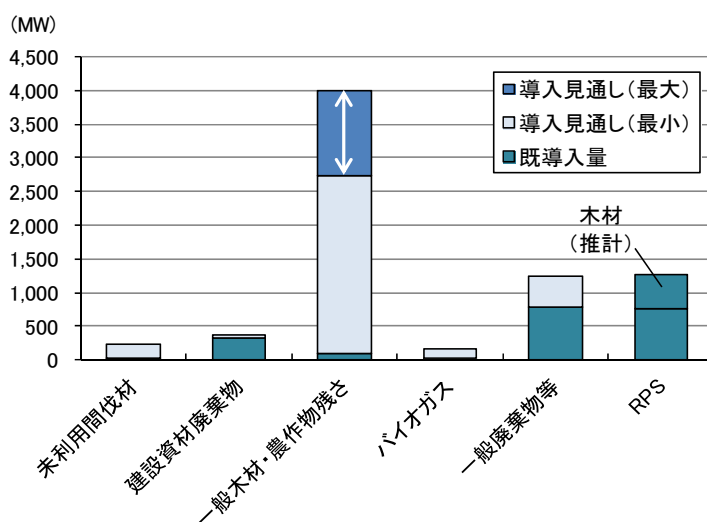


図1 2030年度のバイオマス発電の導入見込量  
出典：経済産業省『長期エネルギー需給見通し』などより作成

しかし、2030年エネルギーミックスとの関係性を視野に入れたうえで日本のバイオマス燃料の供給可能性について扱った調査研究はまだ十分には行われていない。そこで本稿では、まず日本におけるバイオマス発電の政策的位置付けとこれまでの議論を整理した後、上記の導入見通しの実現可能性について、燃料の物理的な量の面から検討する。最後にそれらの結果をもとに、日本が選択し得るバイオマスエネルギー政策の方針について簡単な考察を試みる。

## 1. バイオマス発電の政策的位置付け

バイオマス発電は自然条件によらず安定的な運用が可能であることから、2030年エネルギーミックスにおいて、原子力を代替できる電源として「燃料供給面での制約を踏まえつつ、実現可能な最大限まで導入」することとされている。太陽光・風力発電に付された「電力コストを現状よりも引き下げる範囲で最大限導入」というコスト条件もバイオマス発電には与えられていないことから優先した扱いとなっており、高い期待が示唆されている。

他方でバイオマス発電には2014年の『エネルギー基本計画』（資源エネルギー庁、2014）で述べられているように「地域活性化にも資する電源」という特性がある。バイオマス発電には継続的な燃料投入が必要であるが、これを満たすための地域資源の有効利用（地産地消）と、それに伴う地域活性化がバイオマス発電の重要な政策的副次効果として注目されている。2016年9月に閣議決定された『バイオマス活用推進基本計画』においても、「長期エネルギー需給見通しにおいて示された導入量の実現に向け、国民負担の抑制との両立を図りながら、農林漁業の健全な発展と調和のとれたバイオマス発電の最大限の導入を促進していく」として、日本国内でのバイオマス資源の供給が農林漁業との相乗効果の文脈で語られている。

これらから「安定電源として物理的限界まで最大限の導入」と「地域活性化に資する、国内での燃料供給」の二点がバイオマス発電の政策的な位置付けであるとまとめられる。

## 2. 2030年木質バイオマス発電見込量に必要なエネルギー投入量の推計

本稿では基本的に、冒頭でも触れた「一般木材・農作物残さ」の2,740～4,000 MWを対象とするが、稲わらや籾殻などを指す「農作物残さ」は、発電用途での導入量は一般木質と比して十分に小さいと考えられる。このため、本稿では「一般木材・農作物残さ」とは実態上「一般木材」のみであるとみなす。また、上記の2,740～4,000 MWとは別に、2012年のFIT開始以前から実施されていたRPS制度（2003年開始）の下で認定された1,270 MWのバイオマス発電設備も2030年エネルギーミックスに含まれている（図1）。この1,270 MWのうち504 MW相当の設備は「一般木材」と同区分の燃料を使用していると推計される<sup>1</sup>ため、2030年に「一般木材」燃料を使用する発電設備の導入量は、これら両者を合計した3,244～4,504 MWとなる。そして、バイオマス発電の設備利用率を80%、発電効率を最新の値である32%（資源エネルギー庁、2016）と仮定すると、これだけの設備を稼働させるのに必要なエネルギー投入量は、年間256～355 PJと推計される。

## 3. 木質バイオマス燃料の国内供給実績との比較

前章で推計した、2030年度の木質バイオマス発電に必要とされるエネルギー投入量256～355 PJに対し、日本国内でのバイオマス燃料の供給ポテンシャルはどの程度見込めるのだろうか。林野庁が公表している「木材需給表」より、「一般木材」たり得る木材の2015

<sup>1</sup> RPS認定設備データなどより筆者らが推計。

年の供給量データを取得し、その木材量をエネルギー量に変換した値を Krajnc (2015) などに基づいて推計すると、以下の通りとなる。

表 1 2015 年の木材供給量とそのエネルギー相当量

		供給量(丸太材積)	熱量
国産材	燃料材	2,946 千m <sup>3</sup>	26 PJ
	丸太	21,580 千m <sup>3</sup>	189 PJ
	計	24,526 千m <sup>3</sup>	215 PJ
輸入材	燃料材	1,156 千m <sup>3</sup>	10 PJ
	丸太・木材製品	49,086 千m <sup>3</sup>	430 PJ
	計	50,242 千m <sup>3</sup>	440 PJ

出典：「木材需給表」および Krajnc (2015) などより推計・作成

これらの数値と比較すると、例えば、2015 年の国産材の供給量は丸太を含めた総合計で 215PJ 相当であり、2030 年度の必要エネルギー量 256～355 PJ が非常に大きな数値であることが見て取れる。仮に 2030 年の木材供給量が 2015 年実績付近で維持されていたとすると、燃料用途で供給された木材だけでは国産材と輸入材を合わせても到底足りず、他の用途に充てるために供給された国産材・輸入材を全て発電に充てることで、はじめて必要量を満たすことができる(図 2)。無論、日本の国内森林資源の賦存量はこれよりはるかに膨大<sup>2</sup>であり、そこから生産される木質バイオマスの生産量も生産物価格等の変動に応じて増大させることは可能ではある。しかし、1964 年の木材輸入の自由化以降、価格面で劣る国産材は輸入材に対する競争力を失い、今日に至る半世紀の長きにわたって国内林業は衰退の一途をたどったままである。国内林業の衰退と対照的に、日本の森林蓄積量はこの 50 年間で約 2.5 倍に増加した(太田, 2012)が、国内資源の賦存量がどれだけ増加しても、輸入材との激しい価格競争は国産材の供給量増加に対して大きな障壁となる。

ここで、より長期的な視点から日本国内の木質バイオマス燃料の供給実績を把握するために、国内林業が盛んであった過去の木材生産量を振り返ってみたい。「木材需給表」によると、データが存在する 1955 年以降で丸太と燃料材の生産量の合計が最大であったのは 1957 年の 68 百万 m<sup>3</sup> である。これを先程と同様にエネルギー量に換算すると、594 PJ となる。この場合には、2030 年度の木質バイオマス発電に必要とされるエネルギー投入量(256～355 PJ)を全て充足することが量的には可能である(図 2)。これは過去に一度は実現された数値ではあるが、林業を支える地方での社会システムの再構築や林業従事者の育成を 2030 年までに実現するのは容易ではない。また、当時は木材輸入が規制されており、輸入材による供給量は燃料材以外の丸太や木材製品を合わせても 4 百万 m<sup>3</sup> 程度でしかなかった。

以上より、2030 年エネルギーミックスで提示された木質バイオマス発電の導入見込量が実現した場合に必要なとされる木質バイオマス燃料を日本国内での供給で充足することは非常に困難であるといえる。それでも 2030 年度の見込量を維持するのであれば、木質バイオマス燃料を輸入で調達することは避けられない。この事実を踏まえて次章では、この木質

<sup>2</sup> 林野庁の『平成 26 年度 森林・林業白書』によると、2012 年時点での日本の森林資源蓄積量は約 49 億 m<sup>3</sup> となっている。

バイオマス発電への必要エネルギー投入量と、世界で流通している木質バイオマス燃料の供給量との比較を行う。

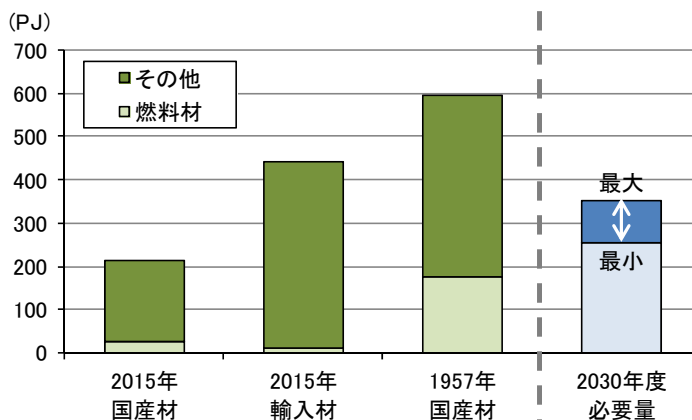


図 2 木材による国内エネルギー供給量と 2030 年度の必要量  
出典：各種資料より推計・作成

#### 4. 木質バイオマス燃料の世界流通量との比較

##### 4.1. 各種木質バイオマス燃料の世界生産量に基づく推計

FAO 統計 (FAOSTAT) によると、2015 年には全世界の丸太生産量のおよそ半分にあたる 1,863 百万 m<sup>3</sup> もの木質燃料がエネルギー用途で生産されている。しかし、エネルギー利用向けに採取されたこれらの木材についても、その大部分が途上国での直接燃焼による暖房や調理用に生産されているのが実態であり、日本が輸入し得る市場流通量として扱うことは適切とはいえない。そこで、ここでは木質バイオマス発電用の燃料として使用可能な形態として生産されている木材量を評価の対象とする。具体的な対象は、木質チップ、木質ペレット、木質残さ、パーム椰子殻 (PKS) の 4 種とする。これら 4 種の木質バイオマス燃料の生産量から各々が供給できるエネルギー量を推計すると、以下の表 2 の通りとなる。

表 2 世界の木質バイオマスエネルギー供給実績 (生産量ベース)

	生産量	密度	単位発熱量	供給熱量
木質チップ	24 百万m <sup>3</sup>		7.302 GJ/m <sup>3</sup>	178 PJ
木質ペレット	27 百万t		18.3 GJ/t	495 PJ
木質残さ	223 百万m <sup>3</sup>	0.3 t/m <sup>3</sup>	19.25 GJ/t	1,288 PJ
PKS	8 百万t		18.0 GJ/t	143 PJ
			計	2,104 PJ

注：木質チップは他用途での需要が主であるため、生産量の 10%がエネルギー利用に充てられると想定。  
PKS は 2014 年のパーム核 (“Palm Kernel”) 生産量より推計。

四捨五入の関係で、表中の数値は最終的な推計値と必ずしも一致しない。

出典：FAO 統計, Lamers *et al.* (2012), Krajnc (2015) などより推計・作成

以上の推計の合計により、生産量に基づく 2015 年の全世界の木質バイオマスエネルギー供給実績は 2,104 PJ となる。これに対して、日本が 2030 年の木質バイオマス発電導入見込量を実現するのに必要な木質バイオマスのエネルギー投入量は前述の通り 256~355 PJ である。仮に 2030 年の世界の木質バイオマス生産量が 2015 年のレベルで維持されたと仮

定すると、日本の需要量は一国でそのうちのおよそ12～17%という割合を占めることになる(図3)。これは一国で占めるには大きな数値であるといえよう。また、今回の推計では木質残さの生産量の全てがエネルギー用途に充てられると仮定しているが、さらに厳密な推計を行った場合、日本の需要量が占める割合はさらに高いものとなるだろう。

#### 4.2. 各種木質バイオマス燃料の輸出量に基づく推計

前節の推計は単純な生産量の世界合計に基づいたものであり、各国が自国内の需要を満たすために生産している木質バイオマス燃料も含まれている。しかし、日本がバイオマス発電用に調達し得る数量をより厳密に推計するためには、各国が自国内へ供給している数量は除外し、国際市場で取引可能なものとして流通している数量のみを推計すべきとの指摘もあり得る。そこで、ここでは各国が自国内の需要を満たしたうえでの余剰分が輸出に回されていると仮定し、全世界の輸出量から供給実績を推計する。対象とする燃料は前節と同様の4種とし、推計結果をまとめると以下の表3の通りとなる。

表3 世界の木質バイオマスエネルギー供給実績(輸出量ベース)

	輸出量	密度	単位発熱量	供給熱量
木質チップ	7 百万m <sup>3</sup>		7.302 GJ/m <sup>3</sup>	49 PJ
木質ペレット	16 百万t		18.3 GJ/t	296 PJ
木質残さ	10 百万m <sup>3</sup>	0.3 t/m <sup>3</sup>	19.25 GJ/t	59 PJ
PKS	6 百万t		18.0 GJ/t	117 PJ
			計	521 PJ

注：木質チップは他用途での需要が主であるため、生産量の10%がエネルギー利用に充てられると想定。

PKSは2014年のパーム残さ輸出量より推計。

四捨五入の関係で、表中の数値は最終的な推計値と必ずしも一致しない。

出典：FAO統計、国連貿易統計、Lamers *et al.* (2012)、Krajnc (2015)などより推計・作成

以上の推計の合計より、木質バイオマス燃料の輸出量に基づいた2015年の全世界の木質バイオマスエネルギー供給実績は521PJとなる。これに対して、日本が2030年に木質バイオマス発電に必要なエネルギー投入量256～355PJであり、全世界の木質バイオマスエネルギー供給実績の49～68%に相当する膨大な量である(図3)。

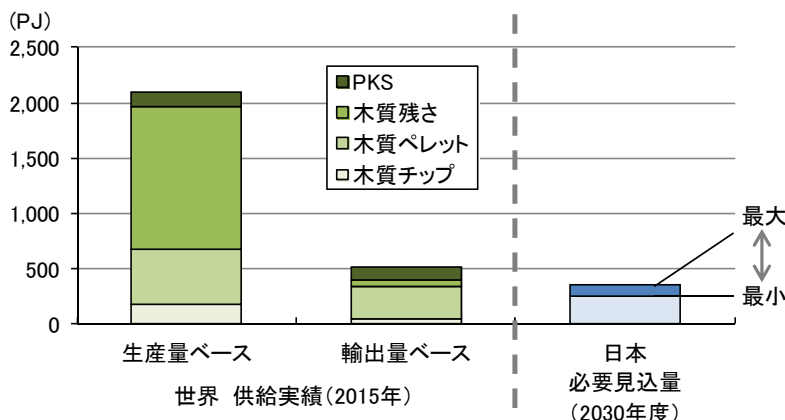


図3 世界の木質バイオマスエネルギー供給実績と日本の必要見込量

出典：FAO統計、国連貿易統計などより推計・作成

### 4.3. 世界流通量の将来予測および必要量との比較

前節で扱った世界の木質バイオマスエネルギー供給実績は、あくまでも2015年時点での生産量・輸出量に基づいて推計した数値となっている。しかし、近年の世界的な需要拡大に牽引されて、木質バイオマス燃料の生産量は増加傾向にある。仮にこの傾向が今後も維持されるのであれば、2030年度の木質バイオマス燃料の需要と供給の関係も図3で描いたものとは異なるものとなる。そこで、全世界の近年の生産量・輸出量の傾向が今後も持続すると仮定して2030年時点での世界の木質バイオマスエネルギー供給量を推計し、同年の日本の必要量と比較すると、図4（生産量）および図5（輸出量）のようになる。

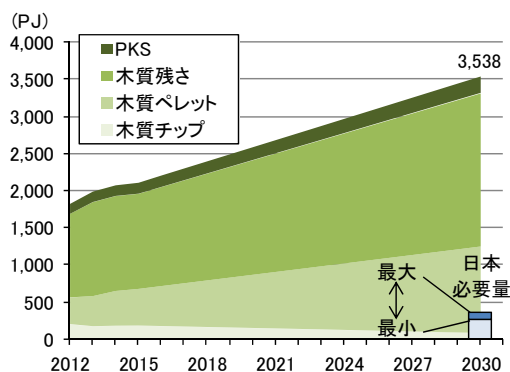


図4 世界生産量見通し

出典：FAO統計、国連貿易統計などより推計・作成

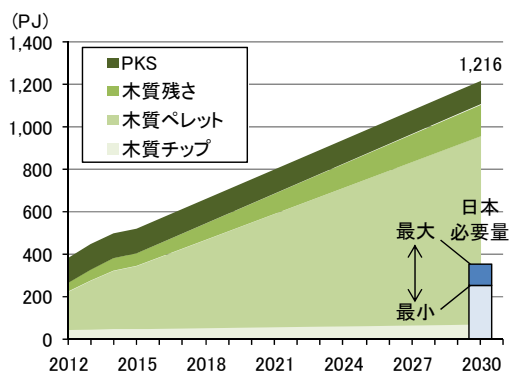


図5 世界輸出量見通し

出典：FAO統計、国連貿易統計などより推計・作成

この場合、2030年の世界の生産量・輸出量は共に2015年のレベルから大きく増加するため、日本が2030年度に必要とする量の割合は低下する。ただし、その場合でも日本は2030年の全世界の木質バイオマス燃料生産量の7～10%、輸出量の21～29%を必要とすることになる。今後、パリ協定の実施に伴って世界各国がバイオマス燃料の需要を高めていくことが想定されるなか、これだけの割合を確保することは困難となる恐れがある。いずれにせよ燃料供給元の確保と供給量増加に向けた国際的な取り組みが必要とされるだろう。

## 5. 考察1：政策的インプリケーション

本章では、ここまですべての量的比較から導き出される政策的なインプリケーションについて考察してみたい。前述の通り、2030年エネルギーミックスにおける木質バイオマス発電の政策的位置付けは「安定的な再エネ電源としての物理的限界までの最大限の導入」と「地域活性化をもたらす国内でのバイオマス燃料供給体制の確立」の二点であった。

一点目で触れられている「安定的な再エネ電源」であることを踏まえると、燃料の安定的供給の確保は不可欠な条件である。しかし、2030年度の日本に求められている供給量は、現在の国内材のエネルギー供給実績はもとより、日本の林業の最盛期のそれと比較してもきわめて大きいため、現状では国内供給のみでの充足はほぼ不可能といわざるを得ない。輸入によって調達するとしても、2030年に向けて過去数年間と同等のペースでバイオマス

燃料生産国が輸出量の増加を維持し続けることが最低限必要である。また、それが達成されたとしても、2030年度の日本の必要量だけで輸出量全体の二割から三割程度を占めることになるため、輸入量確保のための方策も十分に講じる必要がある。

二点目の「地域活性化をもたらす国内でのバイオマス燃料供給体制の確立」については、2030年度の必要量を国内供給のみで満たすことは困難だとしても、その一部をまかなうことは可能と考えられる。むしろ、現実的な国内供給量の限界を踏まえうえて、国内の地域活性化をもたらす得る最適水準の供給量を目指し、そのうえで不足するバイオマス燃料を輸入によって供給するという政策的判断が現実的であろう。2030年度に日本が必要としている木質バイオマスの必要量はそれほど大規模なものである。

## 6. 考察2：木質バイオマス輸入依存の経済的影響

最後に、仮に2030年に必要とされる木質バイオマス燃料の供給を全て輸入に依存することになった場合の経済的な影響について考えておきたい。それにあたっては、想定される「木質バイオマス燃料の輸入増加分」と、それによる「化石燃料の輸入削減分」の両者を比較したうえで評価する必要がある。ここでは日本が導入する年間256～355 PJの木質バイオマス燃料の内訳を、前章で推計した全世界での2015年の輸出量の内訳と同様の構成比率であると仮定し、比較対象の火力発電は全て天然ガスによるものと仮定する<sup>3</sup>。バイオマス発電設備が3,244～4,504 MW導入されることによって得られる年間発電量(23～32 TWh)を天然ガス火力発電によって供給していた場合、発電効率を48% (Hussy *et al.*, 2014) とすると、必要な投入エネルギー量は171～237 PJと推計される。したがって、各燃料による代替・被代替エネルギー量をまとめると表4の通りとなる。

表4 バイオマス発電導入量に応じた代替・被代替エネルギー量 (PJ)

3,244 MWケース				4,504 MWケース			
代替		被代替		代替		被代替	
木質チップ	24	天然ガス	171	木質チップ	33	天然ガス	237
木質ペレット	145			木質ペレット	202		
木質残さ	29			木質残さ	40		
PKS	57			PKS	79		
計	256	計	171	計	355	計	237

出典：各種資料より推計・作成

FAO 統計および国連貿易統計より各木質バイオマス燃料の世界輸出総額のデータを用いることで、単位熱量あたりの輸出額(取引額)単価が推計でき、天然ガス(LNG)についても財務省貿易統計より単位熱量あたりの輸入額単価が推計できる。これらの単価より、表4中で示した各燃料の供給エネルギー量を金額に換算すると表5の通りとなり、木質バイオ

<sup>3</sup> 3,244～4,504 MWの木質バイオマス発電が導入されなかった場合、他のいずれかの電源がこれを補うこととなるが、パリ協定の下で2030年の温室効果ガス排出量削減目標を有する日本にとって、その電源は可能な限り排出量の少ないものでなければならない。したがって、ここでは単位発電量あたりの温室効果ガス排出量が相対的に少ない天然ガス火力発電をバイオマスとの代替・被代替関係に置き、比較対象とした。

マス燃料の輸入によって天然ガスの輸入が代替されると年間 549 百万ドル～758 百万ドルの輸入支払い増となる<sup>4</sup>ことが分かる。

表 5 バイオマス発電導入量に応じた代替・被代替燃料費  
(百万米ドル)

3,244 MWケース				4,504 MWケース			
代替		被代替		代替		被代替	
木質チップ	193	天然ガス	1,660	木質チップ	268	天然ガス	2,305
木質ペレット	1,229	/		木質ペレット	1,704	/	
木質残さ	301			木質残さ	417		
PKS	486			PKS	674		
計	2,209	計	1,660	計	3,063	計	2,305

出典：各種資料より推計・作成

この議論では輸入費用の増減のみならず、天然ガス火力発電による二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出増加も考慮に入れる必要がある。日本の天然ガス火力発電の単位発電量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を 424 g-CO<sub>2</sub>/kWh (Hussy *et al.*, 2014) とすると、バイオマス発電を 4,504MW 導入することによって天然ガスの年間 CO<sub>2</sub> 排出量である 13.4 百万 t-CO<sub>2</sub> を削減することができる。これに対し、バイオマス燃料輸入によるコスト増は、既に述べた通り 758 百万ドルである。したがって、バイオマス発電導入による CO<sub>2</sub> 排出の削減コストは約 57 ドル/t-CO<sub>2</sub> と推計できる。佐野 *et al.* (2015) によって、日本が 2030 年の温室効果ガス排出削減目標 (2013 年比で 26%削減) を達成するための限界費用は 380 ドル/t-CO<sub>2</sub> 程度と推計されているが、木質バイオマス発電はこれと比して非常に安価な CO<sub>2</sub> 削減オプションであるといえるだろう。

## 結論

本稿では、日本が 2030 年エネルギーミックスで提示された木質バイオマス発電の導入見込量が実現した場合に必要なとされる木質バイオマス燃料のエネルギー投入量と、その必要投入量に対応するための国内外での燃料供給実績をそれぞれ推計し、その結果を日本におけるバイオマス発電の政策的位置付けと照らし合わせたうえで、量的な側面から評価を行った。その結果、2030 年度に日本が必要とする燃料の量は、国内の木材生産量はもとより、全世界の取引量と比較しても極めて大きなものであり、その安定的な確保は輸入に依存するとしても容易ではないことを明らかにした。

無論、本稿が行ったのはこれまでの供給実績に基づく単純な比較であり、より厳密な評価を行うためにはより多くの要素を考慮に入れる必要があるだろう。例えば、世界的な需要増に対応した木質バイオマス燃料の増産についてはより正確な推計に基づいて評価する

<sup>4</sup> この試算は天然ガス、木質バイオマス共に 2015 年 (PKS のみ 2014 年) の価格が将来にわたって一定であることを前提としており、今後の価格変動による影響は考慮されていない。特に木質バイオマスについては、本稿で述べたように日本が世界市場に大きな影響を与えるほど輸入を拡大した場合、それに伴って価格も変動することが予想される。しかし、本稿では木質バイオマスの輸入 (化石燃料の輸入代替) による国富流出増減および二酸化炭素排出増減という側面を簡易な手法によって試算することを目的とし、そうした価格変動の影響をあえて捨象した。



余地が残っている。また、量的な評価のみならず、本稿では十分に考慮されていないバイオマス燃料の価格を含めた経済的側面からの実現可能性評価も不可欠である。その際には需要増に伴う価格変動や市場構造の変化には特に注意しなければならない。これらは今後の研究課題として残されている。

## 参考文献

- FAO, “Small-Scale Palm Oil Processing in Africa,” FAO Agricultural Services Bulletin 148, 2002.
- Hussy, C., Klaassen, E. and Koornneef, J., “International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO2 Intensity - Update 2014,” Ecofys, CESNL15173, 2014.
- Krajnc, N., *Wood Fuels Handbook*, FAO, Pristina, 2015.
- Lamers, P., Marchal, D., Schouwenberg, P., *et al.*, “Global Wood Chip Trade for Energy,” IEA Bioenergy Task 40, 2012.
- 太田猛彦『森林飽和 - 国土の変貌を考える』NHK ブックス, NHK 出版, 2012.
- 経済産業省『長期エネルギー需給見通し』2015.
- 佐野文典, 秋元圭吾, 本間隆嗣, 徳重功子「日本の 2030 年温室効果ガス排出削減目標の評価」『エネルギー・資源学会論文誌』vol.37, no.1, 2016, p.51-60.
- 資源エネルギー庁「電源種別（中小水力、地熱、バイオマス）のコスト動向等について」調達価格等算定委員会（第 26 回）資料 4, 2016.
- 資源エネルギー庁「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について」総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会（第 4 回）資料 2, 2015.
- 資源エネルギー庁「エネルギー源別標準発熱量一覧表」総合エネルギー統計付表, 2015.
- 資源エネルギー庁『エネルギー基本計画』2014.
- 日本政府『バイオマス活用推進基本計画』2016.
- 林野庁『平成 26 年度 森林・林業白書』2015.

## 統計等

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT. (<http://www.fao.org/faostat/en/>)
- International Energy Agency (IEA), World Energy Statistics and Balances 2016.
- The World Bank, World Bank Open Data. (<http://data.worldbank.org>)
- United Nations (UN), UN Comtrade Database. (<https://comtrade.un.org>)
- 農林水産省「木材需給表」([http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai\\_zyukyu/](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai_zyukyu/))

お問い合わせ : [report@tky.ieej.or.jp](mailto:report@tky.ieej.or.jp)