第５章　国内バイオ燃料生産への国際バイオエネルギー・パートナーシップ（GBEP）持続可能性指標の適用可能性の検証[1]

林　　岳

１．はじめに

第４章で解説したとおり，近年国内外でバイオ燃料の持続可能性を求める動きが進んでいる。日本国内で生産されるバイオ燃料についても当然ながら持続可能性指標に照らして持続可能性が担保されているかを確認する必要がある。特に，GBEP のバイオエネルギーの持続可能性指標は，日本も参加して取り決めた持続可能性指標であり，国際的にも我が国のバイオエネルギーへの適用が求められることが予想される。

しかしながら，GBEP の持続可能性指標は世界各国のあらゆるバイオエネルギー生産に適用することを意図して構築されており，必ずしも日本のバイオエネルギー生産に適したものとはなっていない。室内煤煙による疾病を意図した指標は我が国のバイオエネルギー利用の実態に当てはめるとほとんどの事例において適用する必要がないと思われる。また，GBEP の持続可能性指標を適用するには，多くの統計データを収集することが必要であり，我が国の統計データの利用可能性と照らし合わせ，どのようなデータが取得可能なのかを明らかにすることが必要である。このように，GBEP の持続可能性指標を日本のバイオエネルギー生産に適用する場合，データの有無と制約要因，評価の際にどのような点に留意する必要があるのかを明らかにすることは，今後の日本の国産バイオ燃料生産における持続可能性評価に大きな示唆を与えると考える。

そこで本章では，日本におけるバイオエネルギー生産への GBEP 指標適用の第一歩として，京都市における BDF 生産を取り上げ，GBEP 指標を用いて持続可能性評価を行うことで，日本の事例に GBEP 持続可能性指標を適用する際の課題点を抽出し，GBEP 持続可能性指標が有する課題についても言及することを目的とする。

なお，第４章で解説したとおり，GBEP の持続可能性指標は国レベルもしくは地域レベルといったマクロ的な適用が目的とされており，今回取り上げるような京都市の一事例を対象とした評価には向いていない。しかしながら，現状では日本においてはバイオマス関連の統計データがほとんど整備されておらず，マクロ的な評価も個別事例の積み重ねでの

評価とならざるを得ない状況を踏まえ，京都市を一地域として捉え，バイオ燃料生産にGBEP 持続可能性指標を適用する。

２．適用事例の紹介と事例選定の理由

（１）京都市における BDF 生産の紹介[2]

本章では，評価の対象となるバイオエネルギーとして京都市における BDF 生産を取り上げる。まず，京都市における BDF 生産の取組を概説する。京都市では 1997 年から廃食用油を原料とした BDF 生産を開始している。原料となる廃食用油は一般家庭から発生するものを収集している。家庭から発生する廃食用油については，市内各所に回収地点を設け，ここに住民が廃食用油を持ち込み，月 1 回程度これを収集している。回収地点は 1997 年に 13 か所のみだったが，2010 年には 1,352 か所に増加している。これに伴い廃食用油の回収量も増加し，1997 年には 4.2KL だった家庭からの廃食用油の回収量は，2010 年には 207KL に達している。しかしながら，年間 200KL 程度の供給では原料量としては十分ではなく，京都市では市内の飲食店や食品製造業者，ホテルなどから発生する事業系廃食用油を業者から 45 円/L で購入している[3]。こちらについては，2010 年に 1,279KL の廃食用油を回収しており，一般家庭からの分を合わせて 1,487KL が BDF 生産の原料として使われている。

BDF の製造は京都市南部に位置する南部クリーンセンター内に設置された BDF 製造プラントで行われ，2009 年は 1,650KL，2010 年には 1,405KL の BDF を生産している。製造能力は年間 1,500KL であり，設備の稼働率としては 100％近い状況である。プラントの総工事費は 7 億 5,000 万円で，そのうち環境省の助成が 2 億 7,000 円である。内訳は，プラントの建設費用が 4 億 4,000 万円。残りは管理棟の建設費用，土地取得費用などである。製造コストについては，単純に事業額（減価償却費除く）を BDF 生産量で割り返すと 138 円/L となるが，市役所の本局勤務者の人件費を除けば 110 円/L 程度となる。なお，BDF 製造の際に生じるグリセリンは助燃剤としてクリーンセンターのゴミ焼却炉で混焼させている。また，精製の際に発生する廃液については，清掃工場内で焼却の温度調節用に利用しており，外部の業者に処理を委託する廃棄物はない。

生産された BDF は京都市が所有する清掃車に B100（100%BDF）として，また市バスの一部にも B20（BDF20%混合軽油）として利用されている。清掃車については各清掃工

場に給油施設を設け，ごみの搬入の際に給油する仕組みにしている。市では当初，清掃車を220台保有していたが,収集ルートの効率化と1台あたりの走行距離増により，現在は 150 台まで減らしている。また，市バスについては，燃料製造プラントから最も近い横大路営業所の所属の車両全 95 台に給油している。京都市の市バス在籍車両数はおよそ 773 台で，そのうち圧縮天然ガス（CNG）車が 41 台あるので，残りの 732 台のうち 95 台に BDF を利用していることになる（第 1 表)。B100 を利用する清掃車については，燃料ホースなどに腐食防止の措置をしているが，B20 を使っている市バス車両については特段措置を施していない。

第1表 燃料種ごとの車両台数

	B100	B20	軽油	CNG	合計
清掃車	147	0	0	0	147
市バス	0	95	637	41	773

注 数値は2011年9月現在のものである.

BDF 製造部門と同じ環境局の管轄である清掃車に対しては，BDF に関する金銭的取引は行っていないが，交通局の管轄である市バス事業に対しては，85 円/L[(4)]で提供している。市中の軽油価格と比べるとかなり安い価格ではあるが，交通局では軽油を大量に使用するため，入札で安く買っているので，あまり高い価格だとバイオディーゼル燃料が利用されないことや市バスの経営への影響もあり，低めの価格に設定している。

（２）BDF 生産から得られる効果

京都市では，BDF 生産の取組から得られる効果として，食用廃油のリサイクル，温室効果ガス排出抑制，排気ガスのクリーン化，生きた環境教育効果，地域コミュニティの活性化，河川汚濁防止，食料との競合の回避の 7 つを挙げている。京都市ではこのうち特に地域コミュニティの活性化の効果を重視している。地域コミュニティの活性化とは，廃食用油を回収地点に持ち寄ることで，井戸端会議のような会話が発生し，住民の交流が深まるといった効果である。家庭由来の廃食用油は，回収だけでもかなり高コストとなっているが，仮に回収が行われなかった場合は，固めたり吸わせたりした廃食用油をごみとして処理することとなり，その際には 50 円/L 程度の費用がかかる。コストダウンのためには家庭からの廃食用油もペットボトルで回収すると費用は安くなるが，京都市は

この回収方式ではコミュニティを活性化させる取組にはならないと考えており，現行方式を継続している[5]。

これら７つの効果を分類すると，温室効果ガス排出抑制，排気ガスのクリーン化は BDF 生産により化石燃料の代替によることの効果，食用廃油のリサイクル，地域コミュニティの活性化，河川汚濁防止，食料との競合の回避については，廃食用油を回収することによる効果，生きた環境教育効果はこれら双方にまたがる効果と言えるだろう。

（３）京都における取組を取り上げる理由

本章で京都市の BDF 生産事例を取り上げた理由は，第１に事業の開始が 1997 年と国内の同様の取組の中では，比較的長期間の操業実績があることから，生産が安定的に行われていること，データの蓄積がなされていることである。第２に京都市は単なる地球温暖化対策としてこの事業を行っているのみならず，前述のような様々な効果に期待しており，持続可能性評価としては，地域コミュニティの活性化といった社会的な側面の効果も評価できると考えたためである。

３．　評価方法

（１）計測した指標

本研究では，第４章で紹介した GBEP の 24 の持続可能性指標のうち，京都市の事例に適合すると思われる 14 指標を取り上げ，具体的な評価を行った。

環境分野については，ライフサイクル温室効果ガス排出量（指標１），大気有害物質を含む非温室効果ガス排出量（指標４），水利用と効率性（指標５）の３つを取り上げた。京都市の取組は原料を廃食用油としているので，原料作物の生産に関係する土壌質（指標２）や木質資源の採取水準(指標３),バイオ燃料の原料生産に伴う土地利用と土地利用変化(指標８）は京都での取組の評価に適合しないものとして除外した。また，水質（指標６）は精製の際に発生する廃液については，清掃工場内で焼却の温度調節用に利用しており，外部環境の水質を汚濁する原因にはなり得ないことから，除外した。さらに，景観と生物多様性（指標７）の指標については，与える影響が無視できるほど小さいと考え，これも除外した。

第2表　評価に適用した指標一覧

環境	1	**ライフサイクル温室効果ガス排出量**	○　＊
	2	土壌質	N/A
	3	木質資源の採取水準	N/A
	4	**大気有害物質を含む非温室効果ガスの排出量**	○　＊
	5	**水利用と効率性**	○
	6	水質	N/A
	7	景観と生物多様性	N/A
	8	バイオ燃料の原料生産に伴う田地利用と土地利用変化	N/A
社会	9	新たなバイオエネルギー生産のための土地分配と土地所有権	N/A
	10	国内の食料価格と食料供給	N/A
	11	**所得の変化**	△
	12	**バイオエネルギー部門の雇用**	○
	13	バイオマス収集のための女性・児童の不払い労働時間	N/A
	14	近代的エネルギーサービスへのアクセス拡大のためのバイオエネルギー	N/A
	15	屋内煤煙による死亡・疾病の変化	N/A
	16	**労働災害，死傷事故件数**	○
経済・エネルギー安全保障	17	**生産性**	△
	18	**純エネルギー収支**	△　＊
	19	**粗付加価値**	○
	20	**化石燃料消費および伝統的バイオマス利用の変化**	△
	21	**職業訓練および再資格取得**	△
	22	**エネルギー多様性**	○
	23	**バイオエネルギー供給のための社会資本および物流**	○
	24	**バイオエネルギー利用の容量と自由度**	○

○：計測したもの．
△：一部計測したもの．
N/A：京都市の事例には適合しないと思われるもの．
＊：寺川・東野（2008）および寺川（2009）に基づき計測したもの．

社会分野の指標については，所得の変化（指標 11），バイオエネルギー部門の雇用（指標 12），労働災害，死傷事故件数（指標 16）の３つを取り上げた。新たなバイオエネルギー生産のための土地分配と土地所有権（指標９）と国内の食料価格と食料供給（指標 10）は原料作物の生産を想定したものであり，京都市の事例とは無関係と判断し除外した。また，バイオマス収集のための女性・児童の不払い労働時間（指標 13），近代的エネルギーサービスへのアクセス拡大のためのバイオエネルギー（指標 14），屋内煤煙による死亡・疾病の変化（指標 15）については，途上国におけるバイオエネルギーおよび原料作物生産を意図した指標であるため，これも除外した。

最後に，経済・エネルギー安全保障分野の指標については，８つ全ての指標が京都市の取組の評価に適用すべきと判断し，全て評価対象として取り上げた。

なお，評価の際に参照した細かな方法論については，2011 年 5 月に開催された GBEP ワシントン会合で議論された非公開版を用いており，2011 年 12 月に公開された最終版（GBEP（2011））とは若干異なる部分がある点，留意いただきたい。

（２）収集データ

上記で取り上げた 14 の指標の評価に用いた統計データは京都市から提供されたもののほか，ライフサイクルアセスメント（LCA）をベースとした指標である指標１，指標４，指標 18 については，既存研究の寺川・東野（2008）および寺川（2009）を参考にして指標の評価を行った。寺川・東野（2008）および寺川（2009）では，一部実際に京都市で行われている BDF の生産・供給システムとは異なる設定のもとで分析を行っており，これらの相違をあらかじめ念頭に置く必要がある。具体的には，BDF の利用先は市バスのみで清掃車は想定していないこと，B20 を BDF 製造プラントから市バス営業所まで輸送する際の環境負荷は考慮していないこと，さらに，分析結果が廃食用油の回収率 10%から 100%までの 10 段階で表示し，回収率の変化により環境負荷発生量の違いを把握できるようにしている点である。3 点目については，著者が独自に計算した結果では，実際の取組における回収率は家庭からの廃食用油で 10.5%，事業系廃食用油では 6.6%と推計された。したがって，本研究では寺川（2009）における回収率 10%が最も現実に近いと考え，この数値を採用して評価を行った。

４．計測結果

（１）環境分野

環境分野の８つの指標の評価結果については，第３表に示した。このうち，指標４と指標５については，各指標に評価すべき数値が複数あり，それぞれ 4.1 から 4.5 および 5.1a，5.1b，5.2 に細分されている。ここでは，このうち指標１と指標５について，数値の推計方法を簡単に解説する。

指標１のライフサイクル温室効果ガス排出量の推計に用いたのは，寺川・東野（2008），寺川（2009）による評価結果が中心である。寺川（2009）より，廃食用油回収率 10%時の温室効果ガス年間排出量を引用した。この数値は廃食用油回収（回収用トラックの走行）段階，廃油回収用トラックの製造段階，BDF プラントの建設段階・BDF 製造設備生産段階，BDF 製造段階，BDF 消費段階の６つのステージに分けられ，さらに家庭からの回収分と事業所からの回収分に分類されて推計されている。本研究では，これらの数値を引用し発熱量あたりの値に変換して集計して算出された値を，ライフサイクル温室効果ガス排

出量として計上した（第４表）。このとき，カーボンニュートラルを考慮し，BDF 消費段階における温室効果ガス排出量は加えていないが，全ての段階の排出量を合計したカーボンニュートラルを考慮しなかった場合の数値を参考値として掲げた[6]。

第3表　計測結果（環境分野）

指標	単位	数値
1.　ライフサイクル温室効果ガス排出量	kg/GJ	11.7 (1)
4.1 廃油回収時のNOx排出量	kg/GJ	1.5
廃油回収時のSO2排出量	kg/GJ	0.4
4.2 燃料製造時のNOx排出量	kg/GJ	14.2
燃料製造時のSO2排出量	kg/GJ	14.5
4.3 燃料輸送時のNOx排出量	kg/GJ	N/E
燃料輸送時のSO2排出量	kg/GJ	N/E
4.4 燃料使用時のNOx排出量	kg/GJ	547.7
燃料使用時のSO2排出量	kg/GJ	0.1
4.5 ライフサイクルで見たNOx排出量	kg/GJ	563.3
ライフサイクルで見たSO2排出量	kg/GJ	15.0
5.1a 再生可能水総量に対する割合	--	0.0010%
5.1b 総取水量に対する割合	--	0.0010%
5.2 発熱量あたりの水利用量	m3/MJ	0.0000438 (2)

寺川(2009)に基づき計測したもの.

注1　カーボンニュートラルを考慮しなければ80.8.

第4表　指標1 ライフサイクル温室効果ガス排出量の推計

	単位	数値
廃油回収トラックの走行	kg/GJ = g/MJ	0.3
廃油回収トラックの製造	kg/GJ	0.3
BDFプラントの建設	kg/GJ	0.8
BDF製造設備の生産	kg/GJ	1.4
BDF製造	kg/GJ	8.9
BDF消費	kg/GJ	69.1
1 総排出量	kg/GJ	**11.7**
総排出量（カーボンニュートラル不考慮）	kg/GJ	**80.8**
軽油からの温室効果ガス総排出量	kg/GJ	**92.2**
温室効果ガス排出削減率		**87.3%**
（カーボンニュートラル不考慮）		**12.3%**

さらに，指標１では化石燃料からの温室効果ガス排出削減率を計上することを求めている。軽油からの温室効果ガス排出量についても寺川（2009）の分析結果に基づき，推計を行った。その際，寺川（2009）では，廃食用油を下水処理場で処理した場合の温室効果ガス排出量を化石燃料との比較で考慮している。これは，廃食用油から BDF 生産が行われなかった場合，化石燃料（軽油）が消費されるとともに，下水処理場で廃食用油の処理が行われ，追加的な温室効果ガスの排出をもたらすという考えに基づく。本研究でも寺川

（2009）に基づき，同様の考え方を採用し，下水処理場での廃食用油処理に係る温室効果ガス排出量についても計算に加えた。なお，温室効果ガス排出削減率についても，カーボンニュートラルを考慮しなかった場合の値を参考値として掲載した。

続いて，指標５水利用の推計について解説する。指標５の推計の前に，GBEP の持続可能性指標のレポートでは，バイオ燃料の製造に使用する用水の水源を特定することを求めている。京都市の事例の場合，京都市の上水道は琵琶湖を水源としていることから，これを明記した（第５表）。次に，琵琶湖からの総取水量（Total annual water withdrawal : TAWW）であるが，京都市水道局（online）によると，2006 年現在の水供給量は 2 億 1,345 万 m^3 となっており，これを総取水量として引用した(7)。このうち再生可能な水量（Total actual renewable water resources : TARWR）については，京都市および琵琶湖周辺地域では十分な降水量があり，水資源の枯渇問題が発生していないことを鑑み，総取水量の全てが再生可能と判断し，総取水量と同じ値を計上した(8)。BDF 製造に利用される水の総量については，京都市（2011）から水道使用量を引用して計上し，全量が再生可能水と定義した。

第5表　指標5 水利用の推計

		単位	数値	
	国家的に定められた水源	--	琵琶湖	(1)
	総取水量	m3	213,445,000	(2)
	再生可能水の総量	m3	213,445,000	(3)
	原料生産に利用される再生可能水の水量	m3	0	
	原料生産に利用される非再生可能水の水量	m3	0	
	燃料製造に利用される再生可能水の水量	m3	2206.4	(4)
	燃料製造に利用される非再生可能水の水量	m3	0	
	燃料製造に利用される水の総量	m3	2,206.4	
	燃料製造量（発熱量換算）	MJ	50,348,736	
5.1a	再生可能水総量に対する割合	%	**0.0010%**	
5.1b	総取水量に対する割合	%	**0.0010%**	
5.2	発熱量あたりの水利用量	m3/MJ	**0.0000438**	
5.2	発熱量あたりの水利用量	cm3/MJ	**43.8**	

注1 京都市に供給される上水は全て琵琶湖から取水している.
2 2006年の上水取水量である.
3 京都市に供給される全ての水は再生可能と考えられる.
4 管理部門での使用を含む.

これらの数値をもとに指標 5.1a，5.1b，5.2 を推計したが，琵琶湖からの総取水量に対する割合は非常に小さく，大きな影響はないと判断された。これは，GBEP の持続可能性指標が国レベルでの適用を念頭に置いているため，本研究のような個別事例（ミクロレベル）での評価との齟齬が発生していることも１つの要因と考えられるので，その点留意いただきたい。しかし，それでもなお GBEP レポートで指定された MJ あたりの水量という

のは数値が小さくなりすぎ，少なくとも TJ あたりとすべきと考えている。

（２）社会分野

社会分野の指標の計測結果は第 6 表に掲げてある。指標 11 の所得の変化については，バイオエネルギー部門で支払われた賃金（11.1）とバイオエネルギー生産物の取引，物々交換，自家消費による純収入（11.2）の２つの指標に分けられる。このうち，指標 11.1 については，京都市（online）から使用済てんぷら油回収事業の人件費を計上した[9]。指標 11.2 については，本研究で対象とする京都市の事例には適合しない指標であるため，推計を行わなかった。指標 12 のバイオエネルギー部門の雇用も，GJ あたり総雇用発生数（12.1），GJ あたり技能職従業員数（12.2），GJ あたり一時雇用労働者数（12.3）の３つの指標に分けられる。京都市の BDF 事業に携わる職員数は合計 6 名，うち本庁所属で他業務と兼務する職員が 2 名，専属スタッフが 4 名で，全員が常時雇用となっている[10]。指標 16 の労働災害，疾病，死亡件数については，京都市がプラントの操業を開始して以来，大きな労働災害等は発生していないため，ゼロとした。

第6表　計測結果（社会分野）

指標	単位	数値
11.1 バイオエネルギー部門で支払われた賃金	1000円	9,338.7 (1)
11.2 バイオエネルギー生産物の取引，物々交換，自家消費による純収入	--	N/E
12.1 GJあたり総雇用発生数	人/TJ	0.00012 (2)
12.2 GJあたり技能職従業員数	人/TJ	0.00008 (3)
12.3 GJあたり一時雇用労働者数	人/TJ	0.00000 (4)
16. 労働災害，疾病，死亡件数	件	0 (5)

注1　2010年値，職員6人（うち専属スタッフ4名）である.
　2　職員合計6名である.
　3　職員4名である.
　4　全員常時雇用である.
　5　これまで重大事故はない.

（３）経済分野

経済分野の指標に関しては，指標 17 から指標 24 までの全ての指標の評価を行った（第 7 表）。これらの指標も細分化されており，合計 19 のサブ指標が存在する。本研究では，このうち京都市の事例には適さないサブ指標を除き，合計 12 の指標の計測を行った。ここでは環境分野の指標同様，推計した指標のうち一部のみを解説する。

第7表　計測結果（経済分野）

指標	単位	数値
17.1 原料種・農家ごとのバイオエネルギーの原料生産性	トン/ha	N/E
17.2 原料種・技術ごとのバイオエネルギー製造生産性	MJ/L-廃油	33.9
17.3 面積あたり，年あたりのバイオエネルギー最終生産物の量，発熱量	トン/ha	N/E
17.4 バイオエネルギー一単位あたりの生産コスト	円/L-BDF	133.5
18.1 原料生産に関する純エネルギー収支	--	N/E
18.2 燃料製造に関する純エネルギー収支	--	4.2
18.3 バイオエネルギーの使用に関する純エネルギー収支	--	N/E
18.4 ライフサイクルにおける純エネルギー収支	--	N/E
19 バイオエネルギー生産物の取引，物々交換，自家消費による粗付加価値	円/L-BDF	4.4 (1)
20.1 化石燃料の代替	GJ/年	38,343.2
20.2 伝統的バイオマス利用の近代的エネルギーへの転換	--	N/A
21.1 バイオエネルギーに関する従業員のうち訓練済み従業員数	--	0.67 (2)
21.2 バイオエネルギー部門で失業した総数のうち，再就職者の割合	--	N/A
22. エネルギー多様性（ハーフィンダール指標）	--	0.73
22. エネルギー多様性（バイオエネルギーがない場合のハーフィンダール指標）	--	0.86
23.1 流通ルートの数	本	2
23.2 流通ルートの容量	MJ/年	0
23.3 それぞれに関するバイオエネルギーの割合	--	100%
24.1 バイオエネルギー使用拡大の余地に関する容量割合	--	11.1
24.2 バイオエネルギーと代替燃料の転換に関する柔軟性割合	--	9.4%

注1　便益には清掃工場における廃油処理コスト削減分（50円/廃油L）を含む.
　2　訓練されたの職員4名をもとに算出した.

第8表　指標18 純エネルギー収支の推計

	単位	数値
廃油回収時のエネルギー投入	GJ/年	627.1
廃油回収時のエネルギー産出	GJ/年	N/E
18.1 原料生産時の純エネルギー収支	----	**N/E**
製造プラントの建設・設備製造のエネルギー投入	GJ/年	1,171
製造時のエネルギー投入（廃油単位あたり）	GJ/t-廃油	9
廃油投入量	t/年	1,905
製造によるエネルギー生産	GJ	17,602
製造過程における総エネルギー投入	GJ/年	18,773
製造過程における総エネルギー産出	GJ/年	78,730
18.2 製造過程における純エネルギー収支	----	**4.2**
18.3 使用時における純エネルギー収支	----	**N/E**
18.4 ライフサイクルにおける純エネルギー収支	----	**N/E**

寺川(2009)および寺川・東野(2008)から一部データを引用したもの.

第８表は指標 18 純エネルギー収支の推計値を示したものである。このうち網掛けをした数値については，寺川（2009）および寺川・東野（2008）から引用した数値である。18.1 原料生産時の純エネルギー収支については，廃油回収時のエネルギー投入と産出の比で示される指標であるが，京都市の事例の場合，廃油回収時のエネルギー産出というのは概念的に想定しにくいので，このサブ指標については計測をしなかった。また，18.3 使用時における純エネルギー収支については，寺川（2009）において，BDF プラントから市バス営業所への輸送にかかるエネルギー投入量を計算していないため，本研究においても計測しなかった。その結果，実際に推計したのは指標 18.2 の製造過程における純エネルギー収支のみとなり，指標 18.4 ライフサイクルにおける純エネルギー収支も計測しなかった。

第9表　指標19 粗付加価値の推計

	単位	数値
BDF生産量	L-BDF	1,405,761
交通局へのB20販売価格	yen/L-B20	85 (1)
中間投入額総額	1000円	187,685 (2)
BDF単位あたり中間投入額	円/L-BDF	134 (3)
清掃工場における廃油処理コスト削減（廃油単位あたり）	円/L-廃油	50 (4)
廃油回収量	L-廃油	1,486,723
BDF生産による廃油処理コスト削減（総額）	1000円	74,336
清掃工場における廃油処理コスト削減（BDF単位あたり）	円/L-BDF	53
19 粗付加価値	円/L-BDF	**4.4** (5)

注1 2010年の値.
2 2010年, B20用の軽油購入費用含む.
3 軽油の購入費用含む.
4 京都市調べ.
5 清掃工場での処理費削減分を含む.

第９表は，指標 19 粗付加価値の推計手順を示している。京都市環境局が交通局への B20 の売り渡し価格は 2010 年時点で 85 円/L であり，一方，BDF の生産費用は人件費および B20 に混合する軽油の購入費用も含めて 134 円/L となっている。また，京都市の担当者によると，清掃工場に廃油が持ち込まれると，この処理に 1L あたり 50 円ほどの処理費用がかかっており，これが BDF 製造のために回収されることによってこの処理費用が軽減されるとのことである。したがって，本研究では廃油 1L あたり 50 円を BDF1L あたりに換算した 53 円を BDF の生産費用から差し引いて計算した。

５．適用の課題

前節では，京都市の BDF 生産事例における GBEP のバイオエネルギー持続可能性指標の試行的適用について解説した。ここでの適用の目的は京都市の BDF を評価することではなく，試行的な適用から GBEP 持続可能性指標の課題点や日本のバイオエネルギー生産事例への適用の際に考慮しなければならない点を明らかにすることである。本節以降では，これらの点に関して検証していく。

まず，京都市の BDF 生産への試行的適用から抽出された課題について２点指摘する。第 1 は，国および地域レベルでの集計の問題である。今回のケースは京都市による BDF 生産事業という単一事例での評価に対して GBEP 持続可能性指標の適用を行った。これは，京都市を対象とした地域の中では，バイオ燃料を生産する事業者が京都市とレボインターナショナル社という民間企業の２つしかなかった。そのうち自治体で行っている事例のほ

うが,予算額などのデータ取得が容易であると考え,京都市を評価対象とした次第である。したがって，評価対象はあくまで1プラントであり，その意味からはミクロ的な事例への適用ということになる。本来，GBEP持続可能性指標は国や地域といったマクロ的な対象範囲を念頭に置いているため，指標の適用には国もしくは地域レベルでの統計データが必要であり，これには個別事例から取得したミクロ統計の積み上げが必要になる。しかしながら，個別事例のミクロ統計をどのようにマクロ統計に加工していくのかについては，集計方法や対象範囲，どこまで細かなミクロデータから積み上げを行うのかなど，多くの課題が残されている。

第2に，データ収集の問題がある。今回のケースは京都市からデータを提供してもらった。京都市を事例に選択した理由は，前述のとおり，データ取得の容易性が大きい。特に民間企業の場合は売り上げやコストなどのデータの提供に消極的な場合もある。例えば，指標1ライフサイクル温室効果ガス排出量の評価には,LCAによる分析結果が不可欠である。本研究における試行的事例の場合は幸い既存研究からデータを入手することができたが，それができない場合には自らが LCA を実施する必要がある。しかしながら，GBEPの持続可能性指標のユーザーは主に政策立案者や行政官を想定しており，必ずしも LCAに精通した者をターゲットにしているわけではない。現在は LCA についても簡単に分析できるソフトも開発されているが，事例ごとに配分方法や生産境界の設定を行わなければならず，これらに専門的知識が必要となり，誰でも評価できるというわけにはいかない。また，LCAを行うにあたっても，そのバックデータとして多くの統計情報や生産プラントや原料生産の実測データが必要となり，これらの蓄積がない場合には評価が難しくなる。

このように，評価に必要なデータが得られないと，GBEPの持続可能性指標を適用できないことも想定される。したがって，バイオマスやバイオエネルギーの統計データを整備する必要があり，特に温室効果ガスやその他汚染物質の LCA や土壌関連データといった自然科学系のデータ蓄積は，専門家の知識や技術が必要であるため，十分な準備が必要と思われる。

６．日本で適用する場合に考慮すべき点

（１）日本で導入すべき評価項目

次に，GBEP持続可能性指標を日本の事例に適用する場合に考慮すべき点について，バ

イオ燃料だけでなくバイオエネルギー全体を踏まえ検討する。これについては，日本特有の考慮すべき事項と日本特有の課題の 2 つに分けて考える。

日本が GBEP の持続可能性指標を用いてバイオエネルギーの持続可能性を評価する際，独自に考慮すべき点は 3 点ある。廃棄物からのバイオエネルギー生産である。日本におけるバイオエネルギー生産の大きな特徴として，廃棄物や副産物を原料にしたバイオエネルギー生産事例が多いという点を挙げることができる。本章での試行的適用の対象にした京都市の BDF 生産事例においても，廃食用油を原料としていることから，例えば指標 2 土壌質や指標 8 バイオ燃料の原料生産に伴う土地利用と土地利用変化など，一部の指標は評価の対象から外された。廃棄物を原料とする場合には，廃棄物の定義，原料収集方法やバイオエネルギー原料として利用しない場合の利用または処理方法など新たな評価項目を加える必要があるだろう(11)。

2 点目として，地域振興・林業振興との関係を挙げることができる。日本において各地でバイオエネルギーの取組を行っている背景には，林業の衰退，過疎や限界集落への歯止めといった，林業振興，地域振興を背景として実施されている場合が多い。特に日本は国土の 70%が森林で覆われ，木質バイオマスについては豊富に賦存する。かつては林業で素材生産が盛んに行われていた地域においても，現在は価格の安い輸入材に押され多くの地域で素材生産は減少している。結果として，山林が適切な管理がなされないまま放置され，鳥獣害や台風などの自然災害の発生原因にもなっている。このような状況の中，バイオエネルギーへの利用を行うことで林業を再構築し，さらには山林を適切な管理へつなげようという意図は，多くの取組で共通するところである。したがって，日本では地域振興や林業振興にどのように結びつくかという点もバイオエネルギーの持続可能性評価で非常に重要な評価視点と言える。これらの指標は社会分野の指標として新たに加えるべきである。

最後 3 点目に，エネルギー安全保障，エネルギー源の多様性の重要性を指摘できる。2011 年 3 月の東日本大震災を契機としたエネルギー供給の停滞や福島第 1 原子力発電所での事故を契機に，原子力発電からの脱却やエネルギー供給を一極集中型から分散型への転換，再生可能エネルギーへ転換という主張が目に付くようになってきた。その際，原子力に代わるエネルギー源として，太陽光や風力といった再生可能エネルギーとともにバイオエネルギーも取り上げられている。太陽光発電や風力発電は，天候や風向きに大きく影響される変動型の再生可能エネルギーであるのに対し，木質をはじめとするバイオエネルギーは安定的に供給が可能な非変動型再生可能エネルギーである。これらエネルギー源の特性を

考慮し，最適なエネルギーミックスを達成することが現在の日本には求められている。このうち，既存の GBEP 持続可能性指標で考慮されているエネルギー安全保障関連の指標は，指標 22 エネルギー多様性，指標 23 バイオエネルギー供給のための社会資本および物流と，指標 24 バイオエネルギー利用の容量と自由度の３つの指標である。これら３つの指標はどれも日本のバイオエネルギー供給の持続可能性評価にも重要であり，不可欠な指標と考えられる。日本では，これらの指標をより深く掘り下げて持続可能性の評価を行うことが求められる。特に指標 19 のエネルギー多様性では，国全体のエネルギー供給に占める割合を指標化しているが，この他大規模なエネルギー供給施設から小規模な施設までの規模の多様性，バイオエネルギーの中でも木質バイオマスから家畜ふん尿の利用までの原料の多様性，薪やチップといった直接燃焼からバイオマス発電までの利用形態の多様性など，さらに深く踏み込んだ持続可能性評価も重要と考えられ，日本においてバイオエネルギーの持続可能性を考慮する際には，これらの点にも十分配慮する必要があると考える。

（２）日本特有の課題

バイオエネルギーの持続可能性評価を行う上で，検討しなければならない日本特有の問題としては，2 点挙げられる。1 つにバイオエネルギーの取組の多様性を挙げることができる。先に多様性の評価が重要である点を指摘したが，日本のバイオエネルギーの利用は，薪や木炭など古くから行われている熱利用から始まり，林地残材や建築廃材のチップ燃料化，家畜ふん尿からのメタンガスなど，非常に多岐に渡る。さらに，規模の面からも，多くが非常に小規模な施設でエネルギー供給範囲も農家１戸のみといった自己完結型の非常に小規模なものから，地域全体に熱供給を行う大規模なものまで非常に多様性がある。前述のとおり，GBEP の持続可能性指標は国または地域を対象とした評価を想定しているため，これらの多様性の高い取組をいかに集計し，マクロ指標にするのかという点は，日本の場合他国よりも重要な課題と言える。

２点目に，輸入されるバイオマスまたはバイオエネルギーに関して，注視すべきという点である。日本ではエネルギーの大部分を輸入に依存しており，バイオエネルギーに関しても，原料または現物の状態で輸入されることが多くなっている。2010 年度の目標として，輸送用燃料に 200 万 KL（原油換算 50 万 KL）のバイオ燃料を導入することが掲げられており，このうち 84 万 KL（原油換算 21 万 KL）を石油業界が供給することとなっていた。石油業界では，北海道の２か所のバイオエタノール製造事業所からの供給分 3 万 KL（原

油換算 7500KL）を除き，残りは全てブラジルなどから輸入されたバイオエタノールを加工の上，国内で流通させている。GBEP の持続可能性指標においても，当該国が輸入するバイオエネルギーについては，原産国での影響も評価できるよう工夫がなされている。特にエネルギーの輸入割合が高い日本では，輸入する原産国での原料作物またはエネルギー自体の生産について，持続可能性を確保するように配慮することが求められるだろう。

７．GBEP 持続可能性指標の今後の課題

次に，GBEP の持続可能性指標自体が有する課題について言及する。これについては，一部 GBEP 内での持続可能性指標策定段階でも議論されているものを含むが，今後検討すべき課題は大きく４つ挙げることができる。まず，この指標をどのように政策に活用すべきかという点である。GBEP の持続可能性指標は，今後の方向性や限界点を示すものでも基準や法的義務を負わせるものでもなく，あくまで自発的な利用を意図している（GBEP (2011)，p.11)。GBEP では持続可能性指標の主な利用者層を政策立案者とその他利害関係者（policy-makers and other stakeholders）としており，それぞれのバイオエネルギー部門が持続可能な発展の国家目標を達成すための一助となることを意図して持続可能性指標を策定しているのである（GBEP(2011)，Acknowledgements)。このことから，GBEP 自らが持続可能性指標を用いて何らかの国際的な枠組みを提供したり基準を作ったりすることはなく，各国の政策担当者がこの指標を政策に何らかの形で活用することを期待していると言える。したがって，持続可能性指標を用いてどのように政策に活かすかは，それぞれの国または地域の政策担当者にゆだねられているのである。しかし，各国で独自にバイオエネルギーの持続可能性を追求するだけなら国際的合意を経た GBEP 持続可能性指標の存在意義は大きいとは言えない。このため，各国でこの指標をいかに政策に活用するか，そして，GBEP 自身が各国に対して持続可能性指標の活用を促進していくかが今後の課題として挙げられる。

第 2 の課題として，国・地域による特有の事情をいかに反映させるかという点である。日本のバイオエネルギーを取り巻く事情を考慮して検討した結果は前節で説明したが，これと同様の検討は利用する各国で独自に行われるべきことである。GBEP の持続可能性指標はこれを用いて各国のバイオエネルギーを比較することは目的としていないことから，国または地域の事情を反映させ，それぞれの政策担当者が利用しやすいように改変する自

在性を有すると言える。また，例えば，一国で生産されるバイオエネルギーA と B のうち，A は非常に持続可能性に配慮した生産方法を採用しているが，一方の B は持続可能性の低い生産方法が採られているとしよう。このような場合，国全体としては評価が平均化され，評価の善し悪しが上手く表れないという問題がある。これは国や地域を対象としたマクロ的な評価の際に生じる特有の課題であり，その解決方法としては，それぞれのエネルギー種ごとに評価を行ったり，地域を細分化した評価を行ったりする必要がある。しかしながら，その一方で，あまりに地域特有の事情を反映させると，国際的な合意を得た GBEP の持続可能性指標自体の意義が失われ，その国・地域だけにしか適用できない独自の持続可能性指標と化してしまう。このことから，国または地域特有の事情を GBEP の持続可能性指標にどの程度反映させるべきなのか，またどの程度反映させられるのかという点についても検討が必要と思われる。

第 3 に，時間軸の問題である。バイオエネルギーの生産技術は日々進歩し，一時点での持続可能性評価がその後長期に渡って同じ評価であることは少ない。したがって，GBEP の持続可能性指標によるバイオエネルギーの持続可能性評価も一時点で行うだけでなく，定期的・継続的な再評価が求められる。この再評価をどのような期間で行うべきなのかについては，GBEP のレポートでも触れられていない。著者としては，すくなくとも数年おきに持続可能性評価を再度行うことが望ましいと考えている。一方で，持続可能性は長期的な視点に立った評価が求められることが多く，あまりに短期的な評価を繰り返すことが本当の意味での持続可能なバイオエネルギーの生産に結びつくのかといった疑問も残る。この問題については，今後実際に GBEP の持続可能性指標が各国において適用され，データの取得やバイオエネルギー生産の状況変化の経過などを総合的に判断して検討すべき課題である。

第 4 に，GBEP 持続可能性指標の評価に必要な膨大なデータをどのように体系的に整理すべきかという点である。GBEP の持続可能性指標の評価に必要なデータは多岐にわたる。例えば，指標 1 ライフサイクル温室効果ガス排出量の指標推計のためには，第 10 表に掲げたデータを入手または算出することが必要となる。1 つの指標推計するためにこれだけのデータが必要となるため，24 指標全ての評価を行うためには，さらに膨大なデータが必要となる。このような状況に対し，日本の場合，バイオエネルギーに関する国や地方の統計データは非常に限られている。既存の国家統計の中でバイオエネルギーを明示的に取り扱っているものは皆無に等しい。したがって，現時点では日本において体系的に整備され

第10表　指標1 ライフサイクル温室効果ガス排出量の推計のために必要なデータ

指標項目	単位
廃油回収にかかるデータ	
廃食用油回収量(実測値)	t
廃食用油回収量(寺川(2009)での設定値)	t
食用油消費量(寺川(2009)での推計値)	t
廃食用油回収率(実測値からの推計)	%
廃食用油回収率(寺川(2009)の推計値からの推計)	%
BDF製造量	
実測値，容量表示	KL/年
実測値，熱量表示	GJ/年
寺川(2009)での設定値，容量表示	KL/年
寺川(2009)での設定値，熱量表示	GJ/年
BDF製造にかかる温室効果ガス排出量(排出総量)	
廃食用油回収用トラックの走行	t/年
トラックの製造	t/年
BDF製造施設の建設	t/年
BDF製造設備の製造	t/年
BDF製造工程	t/年
BDF消費	t/年
BDF製造にかかる温室効果ガス排出量(BDF熱量あたり)	
廃食用油回収用トラックの走行	kg/GJ = g/MJ
トラックの製造	kg/GJ
BDF製造施設の建設	kg/GJ
BDF製造設備の製造	kg/GJ
BDF製造工程	kg/GJ
BDF消費	kg/GJ
軽油製造にかかる温室効果ガス排出量(排出総量)	
軽油のライフサイクルGHG排出量(well-to-tank)	t-CO_2/KL
BDFに代替される軽油量(容量表示)	KL/年
BDFに代替される軽油量(熱量表示)	GJ/年
軽油製造にかかる温室効果ガス排出量(軽油熱量あたり)	
ゴミ処理上における廃食用油処理	t-CO_2/年
軽油のライフサイクルGHG排出量(well-to-tank)	t-CO_2/年
軽油消費	t-CO_2/年

たバイオマスまたはバイオエネルギー関連統計データが存在しないことから，あらゆるデータを独自に収集する必要がある。バイオエネルギーに関するデータ収集は，GBEP でも持続可能性評価おける重要な課題と認識されており，持続可能性指標のレポートでは，各指標の解説の中に「評価の実現性（Practicality)」という項目を設け，必要となるデータとその入手方法について助言を行っている（GBEP(online1),)。その一方で，例えば指標1 ライフサイクル温室効果ガス排出量と指標 4 大気有害物質を含む非温室効果ガスの排出量のように，指標同士で使うデータが同じ場合もある。このような場合に同じデータを流用できるよう，整理しておくことが求められ，そのためにはそれぞれの指標に必要なデー

タを体系的に整理するツールを用意する必要もあるだろう。これについては，具体的には例えば国連で開発された環境会計ツールである環境経済統合勘定（System of Economic and Environmental Accounting: SEEA）を適用することが考えられる。

８．おわりに

本章では，日本におけるバイオエネルギー生産への GBEP 指標適用の第一歩として，京都市における BDF 生産を取り上げ，GBEP の持続可能性指標を用いて持続可能性評価を行うことで，日本の事例に GBEP 持続可能性指標を適用する際の課題点を抽出し，GBEP 持続可能性指標が有する課題についても言及した。

京都市の BDF 生産事例への適用から，国および地域レベルでの集計の問題とデータ取得の問題を指摘した。また，日本で GBEP 持続可能性指標を適用する場合，地域振興にいかに貢献しているのかという評価視点を加えること，そしてエネルギーのベストミックスについて何らかの示唆を提供できるようにすべきことを提唱した。これらの点に加え，規模やバイオエネルギーの種類に多様性の高さ，輸入されるエネルギーの評価という日本特有の事情を反映することで，日本におけるバイオエネルギーの事情を考慮したより適用可能性の高い指標となりうるだろう。

最後に，GBEP 持続可能性指標の今後の課題として，政策への適用，国・地域の特有の事情の反映の余地，時間軸の問題，データ整理ツールの必要性の４点について指摘した。これらの点については，今後実際に GBEP の持続可能性指標が各国において適用され，データの取得やバイオエネルギー生産の状況変化の経過などを総合的に判断して検討すべき課題である。また，４点目の統計データを体系的に整理できるツールについては，具体的に SEEA の適用が想定されることを指摘した。

注

(1) 本章は，著者が第１回 GBEP 能力開発に関するワーキンググループ会合（2011 年 11 月 16 日，於：東京）において報告した内容に基づいて執筆したものである。GBEP 会合での著者のプレゼンテーションファイルは GBEP のウェブサイト（http://www.globalbioenergy.org/events1/gbep-events-2011/working-group-on-capacity-building/en/）を参照のこと。

(2) 京都市 BDF 生産の取組の概要については，著者が 2011 年 7 月に行った現地調査とその後の補足調査による情報をもとにしている。

(3) これは運搬料込みの価格である。

(4) 年度ごとに価格交渉しているが，これまで大きな変動はない。

(5) 家庭用廃食用油の回収は，住民がペットボトルなどで持参した廃食用油を回収用ポリタンクへ移して行われる。この方式のほうが単にペットボトルを置いていくよりも会話の機会が増えると思われる。

(6) 寺川（2009）においてもカーボンニュートラルを考慮した値と考慮しない値を算出しているが，ここでは BDF 消費段階の温室効果ガス排出量のうち廃食用油由来の炭素のみを除外している。本研究では，寺川（2009）における廃食用油由来の炭素の算出法が把握できなかったため，BDF 消費段階全ての温室効果ガス排出量を除外した。

(7) 正確には取水量と供給量は異なるが，データ制約の関係から，ここでは便宜的に給水量を取水量とした。

(8) GBEP の持続可能性指標において，TARWR を求める背景として，降水量が極端に少ない中で地下水に依存した原料作物の生産を行うことは，持続可能なバイオ燃料生産とは言えないと想定していることがあり，十分な降雨があり，地下水が潤沢に涵養される状況下においては，推計にあまり大きな意味はない指標と言える。

(9) 京都市（online）に計上されている人件費は本庁勤務の管理職分も含まれているが，他業務と兼務するこれらのスタッフの人件費については，エフォート率で配分しているとのことである。

(10) これら職員は 1 名を除いて嘱託職員という身分であるが，一時的，流動的な雇用形態ではなく長期にわたって安定的に雇用されている状況に鑑み，常時雇用として扱った。

(11) 指標 1 の評価のための基礎情報を提供する「GBEP バイオエネルギーの GHG ライフサイクル分析共通方法論フレームワーク」（GBEP（2009））では，廃棄物をどのように定義したのかについても確認する項目がある。

〔引用文献〕

GBEP (2011) “The Global Bioenergy Partnership Sustainability indicators for bioenergy First Edition”.

GBEP (2009) “Common Methodological Framework for GHG Lifecycle Analysis of

Bioenergy Version 1”.

京都市水道局（online）『京都市水道局ホームページ　京都市水道施設の現状』
http://www.city.kyoto.lg.jp/suido/page/0000008776.html（2012 年 1 月 6 日アクセス）

京都市（2011）『平成 22 年度　廃食用油燃料化施設稼働状況（年報）報告』。

京都市（online）『京都市事務事業評価ホームページ　平成 23 年度評価結果　使用済てんぷら油回収事業』
http://www.city.kyoto.jp/somu/gyokaku/hyouka/siryo/h23/link09/1002011.pdf（2012 年 1 月 6 日アクセス）。

寺川卓志・東野達（2008）「京都市における廃食用油の BDF 利用システムのライフサイクル評価」『エネルギー・資源学会論文誌』29(6)，pp.1-7。

寺川卓志（2009）「京都市における廃食用油リサイクルシステムのライフサイクル評価」『京都大学修士論文』。