北海道におけるバイオエネルギーの利用可能量の推計とその推進策の提案 －牛ふん尿と林地残材に着目して－

田中　慧悟[1]・古市　徹[2]・石井　一英[3]・翁　御棋[4]

[1]非会員　北海道大学修士　工学院工学研究院（〒001-0018札幌市北区北18条西2丁目1-21）
E-mail: tanaka@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp
[2]正会員　北海道大学教授　工学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp
[3]正会員　北海道大学准教授　工学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp
[4]正会員　北海道大学助教　工学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
E-mail: weng@eng.hokudai.ac.jp

持続可能な社会実現のための手段としてバイオマスのエネルギー（以下，バイオエネルギー）利用の普及が期待されている．特に北海道に大量に賦存する家畜ふん尿や林地残材のエネルギー利用の推進は，北海道のみならず全国のバイオエネルギーのシェア向上に大きく寄与する．しかし，既存のバイオエネルギー利用可能量の推計では，賦存量ベースでの推計が大半であり，現実に利用可能なバイオエネルギー量とはなっていない．よって本研究では，より現実的な仮定を想定し，北海道における牛ふん尿と林地残材のバイオエネルギー利用可能量の推計を行い，北海道でのバイオエネルギーシェア向上の可能性を示すと共に，特にシェアの高い地域に対して，地域エネルギーとしてのバイオエネルギー利用推進策を提案した．

Key Words : *Renewable energy, biomass, available bionergy amount, cow manure, forest residue*

1.　研究背景と目的

21 世紀環境立国戦略が 2007 年 6 月に閣議決定され，「低炭素社会」，「循環型社会」，「自然共生社会」の 3 つの社会の統合化により「持続可能な社会」の形成を目指した様々な取り組みが進められている．その一つとして，カーボンニュートラルの特性を持ち，枯渇性化石燃料を代替する再生可能エネルギーとしてのバイオマスのエネルギー（以下，バイオエネルギー）利用の推進がなされている．

このための推進施策として「全量買い取り方式の固定価格買取制度（FIT）」も掲げられ 2012 年 7 月から施行された．また 2009 年 7 月には「エネルギー供給構造高度化法」が成立，同年 9 月には「バイオマス活用推進基本法」も施行されており，バイオエネルギー利用のための基盤が供給サイド，需要サイドの両面から整備されつつあり，　今後，全国的にバイオエネルギーの導入に向けた取り組みが進んでいくと考えられる．特に，北海道は，全国一の酪農畜産地域であることから，廃棄物系バイオマスである家畜ふん尿が大量に排出されている．さらに，北海道の森林面積は日本の森林の 4 分の 1 を占めており，未利用バイオマスである林地残材の賦存量も多い．このことから，このような地域特性を持つ北海道におけるバイオエネルギー利用の推進を進めることが重要であり，ひいては，全国の再生可能エネルギーの利用率の向上に大きく寄与する可能性があると考えられる．

今後，バイオエネルギー利用を事業として推進し，普及するにあたり，地域においてバイオエネルギーがどの程度利用可能であるか明らかにする必要がある．しかしながら，NEDO などによる既存の各バイオマスのエネルギー利用可能量の推計 [1]では，その大半が賦存量ベースでの推計であり，実際に利用可能なバイオエネルギー量には必ずしもなっていない．バイオエネルギー事業を構築するためには，インプット，アウトプット，変換技術，事業主体（事業採算性），及び地域特性を考慮をする必要があり [2]，以上を考慮し想定されたより現実的なシナ

リオに基づいて，地域ごとのバイオエネルギー利用可能量を算出する必要がある．そして，この利用可能量を一つの目標とし，想定されたシナリオを現実的なものにするための施策を講じる必要がある．また，このようなバイオエネルギー利用可能量や想定シナリオを示すことは，一般市民のバイオマス利用に関する意識向上にもつながるものと考えられる．

そこで，本研究の目的は，北海道に大量に賦存する牛ふん尿と林地残材に着目し，

1)北海道でのバイオエネルギー利用可能量を推計し，導入効果としての北海道ベースでのエネルギーシェアを明らかにする，そして

2)特に，シェアの高い地域に着目して，地域エネルギーとしてのバイオエネルギー利用推進策を提案する．

2. 国内および北海道のバイオエネルギー利用の現状

(1) 国内・道内のエネルギー及びバイオエネルギー利用の現状

a) 最終エネルギー消費量

2009年の全国の最終エネルギー総消費量は14,394,320 TJ(原油換算で376,814万kL)で，その内訳は電気3,359,378 TJ (23%)，熱7,631,975 TJ (53%)，輸送用燃料3,402,967 TJ (24%)となっている．

b) バイオエネルギー利用

2005年度のバイオエネルギー利用量は廃棄物・バイオマス発電が原油換算で252万kL，バイオマス熱利用が142万kLである．また，新エネルギー合計で1160万kLであり，最終エネルギー消費量に対するバイオエネルギー利用の割合は0.1%である．

(2) 道内のエネルギー及びバイオエネルギー利用の現状

a) 最終エネルギー消費

2009年度の北海道における最終エネルギー総消費は761,165 TJ (原油換算で1,994万kL)である．また，その内訳は，電気148,186 TJ（約20%），熱557,637 TJ (約73%)，輸送用燃料55,341 TJ (約7%)である．全国のデータと比較すると，北海道では熱の消費割合が高い．これは，積雪寒冷地である道内では暖房などに消費されるエネルギーが多いことによるものと考えられる．

b) バイオエネルギー利用

北海道の2008年度におけるバイオエネルギー利用実績は原油換算で約2万KLである．その内訳はバイオマス発電が1.1万KL，バイオマス熱利用が0.9万KLである．また，2010年度におけるバイオマスのエネルギー利用目標は9万KLで，その内訳はバイオマス発電で2.9万KL，バイオマス熱利用で6.1万KLである．また，北海道の最終消費エネルギー量（1,994万KL）に対する再生可能エネルギー利用は7.4%であり，バイオエネルギー利用は0.1%である．

3. 対象バイオマスとその利活用シナリオの想定

(1) バイオエネルギー利用可能量推計の考え方

図-1 に本研究で用いたバイオエネルギー利用可能量の考え方を示す．バイオマス利活用システムを構築するためには，インプット，アウトプット，変換技術，事業主体（事業採算性），及び地域特性を考慮する必要がある[2]．以下に**図-1** に基づき，本研究で想定した対象バイオマスとその利活用シナリオについて示す．

また，バイオエネルギー利用可能量推計に当たっては，北海道を対象とするが，北海道レベルなのか，あるいは市町村レベルといった空間スケールと，現時点なのか，あるいは将来を想定するかといった時間スケールも考慮する必要がある．以下に，空間スケールとタイムスケールの考え方についても記す．

(2) インプット

インプットである対象バイオマスを決定するために，①バイオマスの賦存量，②エネルギーポテンシャル，③現状の利活用状況，及び④環境面を考慮した利活用の必要性を考えることにした．

a) バイオマスの賦存量とエネルギーポテンシャル

図-2 に北海道における各バイオエネルギーの賦存量を熱量に変換したものを示す．賦存量ベースで考えると，総量は237,614 TJとなる．北海道の地域特性を考慮すると，酪農業が盛んであり，大量の牛ふん尿が排出される．特に乳用牛のふん尿が39%を占めている．次に，肉用牛ふん尿と豚ふん尿がそれぞれ18%を占めている．次に林地残材が12%を占めており，家畜ふん尿と林地残材で87%を占めていることになり，これらのバイオマスが推計対象の候補となる（以下，推計対象候補バイオマスとする）．なお，廃材，食品廃棄物，生ごみ，下水汚泥の割合は相対的に低く，また稲わら，麦わらの割合も相対的に低かった．

b) バイオマスの性状と現状の利活用状況

上記の推計対象候補バイオマスである乳用牛ふん尿，肉用牛ふん尿，豚ふん尿，林地残材に絞って議論する．牛を飼養している酪農家とは異なり，養豚業者は草地を所有していないので，豚ふん尿は，現時点で処理（リサイクル）設備で適正に処理・資源化（堆肥化，バイオガス化）されている場合が多いことから，豚ふん尿は対象から外すこととした．また，肉用牛ふん尿は，乳用牛ふ

ん尿とは異なり含水率が低いため堆肥化に適していることから，含水率の高いスラリー状のふん尿を対象としているバイオガス化によるエネルギー利用は困難である．よって，肉用牛ふん尿も除外することにした．

最も割合が高かった乳用牛ふん尿は，牛の飼養形態によって性状が大きく異なる．スタンチョン方式は，搾乳牛を 1 頭ずつ収容するストールと呼ばれる区画につないで飼養する方式であり，主に飼養頭数 60 頭規模の中規模酪農家で採用されている．排出されるふん尿は，大量の敷料と混合した状態で搬出されるため固形物割合が多く，そのほとんどが堆肥化され農地還元されている．一方，フリーストール方式は，囲いの中に搾乳牛を群れで放し飼いする飼養方式であり，主に大規模農家を中心として採用されている方式である．また，排出されるふん尿は液状であるスラリーとして排出される．一般にスラリーは，スラリー溜に一時保管され自家草地に散布される場合がほとんどだが，その散布時の悪臭が地域の生活環境に影響を及ぼしている例が少なくない．生活環境面を考慮すると，バイオガス化（メタン発酵）による適正処理と資源化が望ましいと考えられる．また，北海道において牛ふん尿は酪農地帯である道東地域に集中して存在しており，さらに酪農家の経営の大規模化が進んでいることから，今後スタンチョン方式からフリーストール方式へ切り替える農家が増えていくものと考えられる．

以上より，本研究では，スラリー状で排出される乳用牛ふん尿を，推計対象バイオマスとすることにした．

次に，ふん尿以外の推計対象候補である林地残材に関して説明する．林地残材は林内に小規模で分散して発生することから，収集・運搬コストなどの問題によって現在はほとんど利用されないまま残置されている．林地残材の利用可能量を検討するにあたって賦存状況を検討すると，林地残材は伐採木材の集材方法によってその賦存場所や賦存状況が異なることが分かった．

一般に，**図-3** に示すように，木材の集材方法は大きく全木集材，全幹集材，短幹集材に分けられ，その集材方法によって林地残材が存在する場所が異なる．

全木集材の場合は，伐採した立木を林内からそのまま重機で山土場まで牽引し，枝払いした後に用材の形に切り分けて林外へ搬出する方法であり，端材や枝条等の林地残材は土場に集積される．全幹集材は，伐採した立木を林内で枝払いした後に山土場まで重機で牽引し，用材の形に切り分けて林外へ搬出する方法で，端材は土場に，枝条は林内に集積される．そして，短幹集材は，立木を林内で枝払い・切り分けまで行い，林内作業路網上を通行する運搬機械で用材を山土場まで運び林外へ搬出する方法で，端材は枝条は林内に集積される．

以上のことから，土場に集積された林地残材は現段階でコスト面から見ても利用しやすい林地残材であると考えられる．一方，林内や集材路に集積する林地残材は現段階ではコスト面で集材することは難しいが，将来的に収集・運搬技術の低コスト化や高効率な技術が確立された場合，利用可能になるものと考えられる．よって，林地残材も本研究の推計対象バイオマスとした．

⑶ アウトプット

アウトプットは熱及び電気に変換した後の熱量及び電気量を，乳用牛ふん尿及び林地残材のバイオエネルギー利用可能量とし，各地域でのエネルギー需要は十分に存在すると仮定した．

⑷ 変換技術

小規模分散型であり，現段階において実用レベルの技術を想定した．乳用牛ふん尿はバイオガス化を想定した．一方，林地残材は，端材部分はペレット化を，枝条部分はペレット化は困難なので，チップ化を想定した．

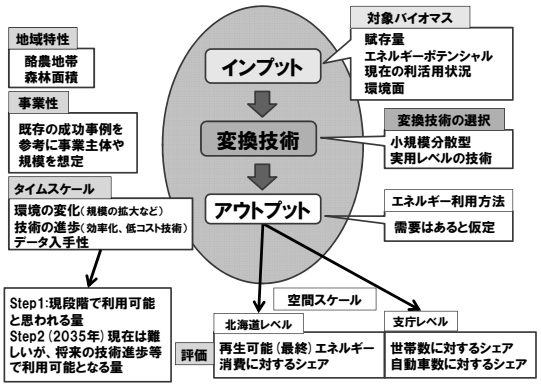

図-1 バイオエネルギー利用可能量の考え方

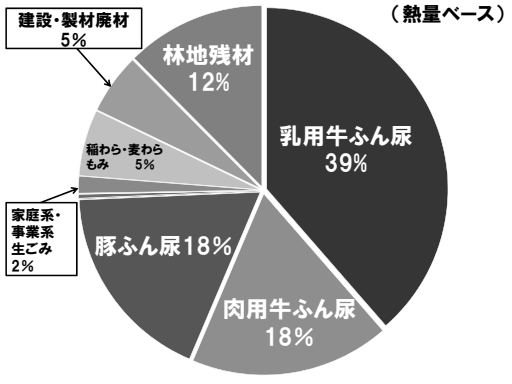

図-2 北海道におけるバイオエネルギー賦存量

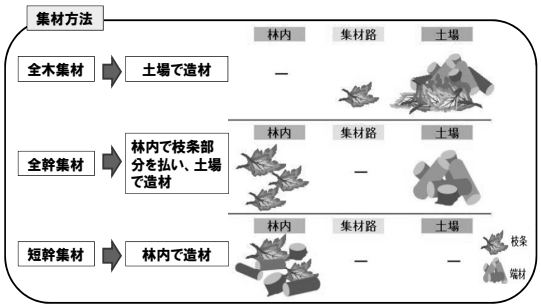

図-3　集材方法別の林地残材の賦存場所

⑸ 事業性

バイオガス化施設に関しては，現状ではエネルギー買取価格が低いことや，施設のイニシャルコストが高いこと等から，個人経営の酪農家がバイオガス化施設を所有し運営することは困難であることから，複数の農家のふん尿を資源化する集中型バイオガス化施設を想定することにした．集中型バイオガス化施設は，鹿追町の例のように，液肥の利用が可能であれば十分に採算性がとれる事業になりうる．

一方，ペレット化は足寄町でのペレット事業を参考に，公共施設や公共温泉施設などの大口利用者を確保することにより，集材コストも含め十分に事業性が成り立つ．また，チップ化も同様に重油の価格高騰等により，今後，重油ボイラーをチップボイラーに変換する施設が増加すると予想される．

⑹ 地域特性

前述したように，北海道では酪農が盛んであり，家畜ふん尿の排出量が多く，また森林面積が広いことから林地残材が大量に賦存すること．また，寒冷地であり，暖房などによる熱需要が多いといった北海道の地域特性を考慮し，インプットやアウトプットに関する影響要因として考慮した．

⑺ タイムスケール

将来の技術の進歩や社会の変化を考慮し，現在のバイオエネルギー利用可能量（現段階で十分利用可能と思われる量，(Step1），将来（2035）年のバイオエネルギー利用可能量（現段階では難しいが，普及策等の実施により利用可能となる量，(Step2）の 2 段階で推計を行った．なお，各計画の目標年次などデータの入手可能性から 2035 年を設定した．牛ふんスラリー及び林地残材それぞれに対するタイムスケールの考え方は後述する．

⑻ 空間スケール

各推計対象バイオマスにおいて，データの入手可能性等を考慮し，また次節の評価レベルも考慮して，北海道レベルと支庁レベルにおいて，それぞれバイオエネルギー利用可能量を推計した．

⑼ 評価

北海道レベルでは，再生可能エネルギーやバイオエネルギーの普及が目標となるため，最終エネルギー消費量，及び再生可能エネルギー量に対するバイオエネルギーのシェアで評価することにした．

一方，支庁レベルでは，地域分散型のエネルギー源としての化石燃料の代替率向上を目標として評価することにし，詳細は5章のケーススタディーで検討することにした．

4. 乳用牛ふん尿と林地残材によるバイオエネルギー利用可能量の推計

⑴ 乳用牛ふん尿スラリー

図-4 に乳用牛ふん尿（スラリー）のバイオエネルギー利用可能量の推計方法を示す．インプットは，Step1（現在）と Step2（2035 年）のフリーストール農家で排出される乳用牛ふん尿スラリーとし，前述したように今後大規模酪農家がフリーストールの飼養形態への転換が進むことから，経産牛 100 頭以上飼養する酪農家ではスラリーとしてふん尿が排出されるものとして，発生量を推計することにした．また，前述したように，変換技術はバイオガス化を想定した．アウトプットは CHP（Combined heat & power）による熱・電気の同時回収を想定し，各変換効率を考慮し算出された熱量，電力量をバイオエネルギー利用可能量とした．

a) 対象農家と飼養頭数

本研究ではフリーストール方式の農家のうち，大規模農家である経産牛 100 頭以上飼養フリーストール農家を対象とした．なお，北海道の酪農統計データ [3]において，120 頭以上の酪農家における詳細な飼養頭数の把握は困難であったため，120 頭以上の酪農家においては，最低限の頭数として一律に経産牛 120 頭として推計することにした．次に，経産牛 120 頭飼養の場合の用途別乳用牛飼養頭数の推計方法について説明する．育成牛の飼養頭数は北海道の酪農統計データ [3]より，各支庁別の乳用牛総飼養頭数と経産牛飼養頭数から各支庁別育成牛割合を算出して推計した．また，搾乳牛，乾乳牛割合は，H22 年度北海道畜産統計より，北海道全体における搾乳牛と乾乳牛の飼養頭数から割合を求め，その値を各支庁に適用した．H22 年度の北海道における経産牛飼養頭数は 479,600 頭で，内訳は，搾乳牛飼養頭数 407,000 頭，乾乳牛飼養頭数 72,600 頭であり，割合は搾乳牛 0.85，乾乳牛 0.15 となった．以上より，各支庁における経産牛 100 頭

表-1 乳用牛ふん尿バイオエネルギー利用可能量の計算式とパラメータ

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
フリーストール農家総飼養頭数	C	頭/year	=Ca+Cb+Cc+Cd	
搾乳牛飼養頭数	Ca	頭/year		
乾乳牛飼養頭数	Cb	頭/year		
未経産牛飼養頭数	Cc	頭/year		
育成牛飼養頭数	Cd	頭/year		
フリーストール農家スラリー発生量	S	t/year	=Ca*Ha+Cb*Hb+Cc*Hc+Cd*Hd	
用途別乳牛ふん尿排出原単位				
搾乳牛	Ha	t/頭・year	21.5	4)
乾乳牛	Hb	t/頭・year	13	4)
未経産牛	Hc	t/頭・year	13	4)
育成牛	Hd	t/頭・year	8.9	4)
バイオガス発生量	M1or M2	m^3/year	=S*G M1:step1, M2:step2	
バイオガス発生率	G	m^3/t	25	6)
バイオエネルギー利用可能量	E	MJ/year	=Eh+Ee	
回収熱量	Eh	MJ/year	=M*J*ηh	
回収電気量	Ee	MJ/year	=M*J*ηe	
バイオガス発熱量(メタン濃度=60%)	J	MJ/m^3	22	6)
CHP熱回収効率	ηh	%	60	6)
CHP発電	ηe	%	30	6)

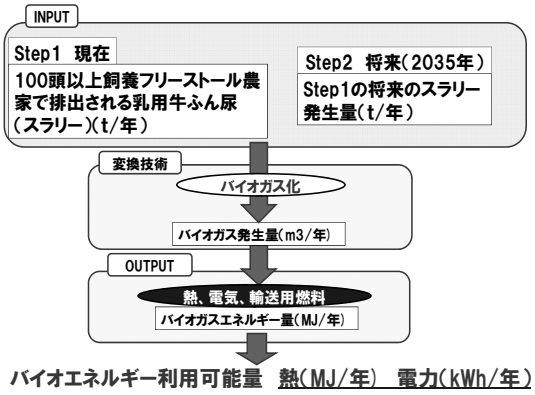

図-4 乳用牛ふん尿（スラリー）のバイオエネルギー利用可能量の推計方法

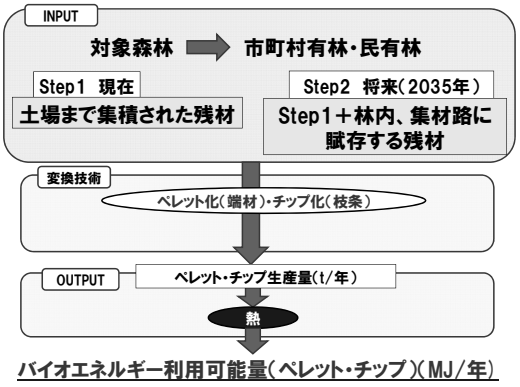

図-5 林地残材のバイオエネルギー利用可能量の推計方法

以上飼養フリーストール農家における用途別乳用牛飼養頭数を推計した.

b) スラリー利用量

a)で求めた用途別乳牛頭数に，各乳牛のふん尿排出原単位[4]を乗じ，Step1 におけるスラリー利用量を求めた．ふん尿原単位はそれぞれ，搾乳牛 21.5 t/(頭・year)，乾乳牛 13 t/(頭・year)，未経産牛 13 t/(頭・year)，育成牛 8.9 t/(頭・year)を用いた.

c) Step2 のスラリー利用量

北海道の酪農統計データ[3]によると，経産牛 100 頭以上飼養農家 1220 戸のうち，現状のフリーストール導入割合は約 6 割であり，現状の導入数の傾向はほぼ横ばいであるが，今後，酪農家の経営の大規模化が進むと考えられ，それに伴い将来的にはフリーストール飼養に切り替える農家が増加するものと考えられる．鵜川・細山・藤田・安武らの北海道の酪農家数の将来予測[5]では，経産牛 100 頭以上飼養農家数は 2015 年で 1395 戸，2020 年で 1498 戸と予測している．これらの値と 1996 年～2010 年までの実績[3]を用い外挿することにより，本研究では 2035 年における経産牛 100 頭以上飼養農家数を 1700 戸と設定した．ここで，2035 年における各支庁のフリーストール導入割合は現状の割合から変化しないと仮定し，2035 年の経産牛 100 頭以上飼養農家の 6 割(1020 戸)がフリーストール方式であると設定した．また，農家 1 戸あたりの経産牛飼養頭数は Step1 と同様に 120 頭とした．以上の試算条件より，2035 年における各支庁別のスラリー利用量を推計した.

d) バイオエネルギー利用可能量の推計方法

以上の手順により推計された Step1，Step2 のスラリー利用量に，バイオガス発生率，バイオガス発熱量，変換効率を乗じることで熱，電気に変換したバイオエネルギー利用可能量を推計した．計算式やパラメータを**表-1** に示す.

(2) 林地残材

図-5 に林地残材のバイオエネルギー利用可能量の推計方法を示す．インプットは，北海道の市町村有林，民有林を対象森林とし，土場まで集積された残材（Step1）と，Step1 の残材に加え，林内，集材路に賦存する残材（Step2）とした．なお，国有林は森林伐採量が民有林に比べて少なく，森林伐採は森林の保全が目的であるため推計対象から除外した．また，変換技術は，前述したように端材はペレット化，枝条はチップ化とした．アウトプットはペレット，チップによるに熱利用を想定し，ペレット，チップによる熱量をバイオエネルギー利用可能量とした．

a) 道内森林組合に対する FAX によるヒアリング調査

本研究では伐採材の集材方法に着目し，全道の森林組合に FAX によるヒアリングを行った．調査項目は主に

・管理森林面積
・集材方法の割合
・針葉樹，広葉樹伐採材積

とし，調査した集材方法割合に各支庁における伐採材積を乗じることで，林内，集材路，土場に集積された林地残材量を推計した．

表-3 バイオエネルギー利用可能量推計結果

項目	単位	Step 1	Step 2	ケーススタディー	備考
バイオガス発生量	m3/年	37,108,941	47,938,093	35,604,637	3支庁合計値
CHPによる熱回収量	TJ/年	445.3	575.3		
CHPによる電気回収量	Gwh/年	61.8	79.9		
熱回収量の原油換算値	万KL/年	1.17	1.51		
電気回収量の原油換算値	万KL/年	0.58	0.75		
ペレット生産量	t/年	128,575	141,302	72,632	2支庁合計値
ペレット総発熱量	TJ/年	2,417.2	2,656.5	1,365.5	
ペレットの原油換算値	万KL/年	6.3	7.0		
チップ生産量	t/年	160,139	342,840	177,355	2支庁合計値
チップ総発熱量	TJ/年	1,953.7	4,182.6	2,163.7	
チップの原油換算値	万KL/年	5.1	10.9		

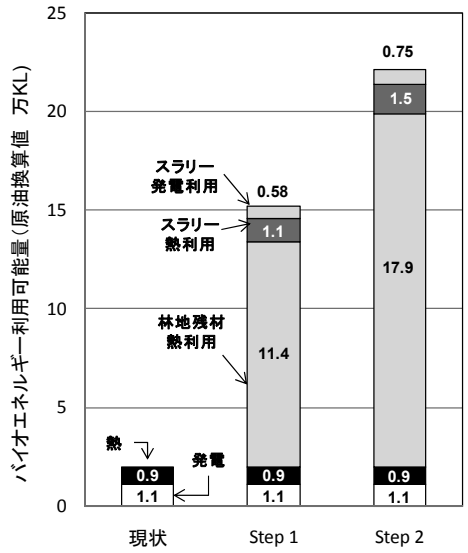

図-6 Step1,Step2 におけるバイオエネルギー利用可能量と現状の実績の比較

表-2 林地残材バイオエネルギー利用可能量の推計式

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
伐採材積	F			
主伐針葉樹	Fa	m³/year	各支庁別ヒアリング値	
間伐針葉樹	Fb	m³/year	各支庁別ヒアリング値	
広葉樹	Fc	m³/year	各支庁別ヒアリング値	
林地残材発生率	S			
主伐針葉樹枝条	Sa		0.23	7)
間伐針葉樹枝条	Sb		0.23	7)
広葉樹枝条	Sc		0.23	7)
主伐針葉樹端材	Sd		0.03	7)
間伐針葉樹端材	Se		0.11	7)
広葉樹端材	Sf		0.11	7)
林地残材発生量	T			
主伐針葉樹枝条	Ta	m³/year	=Fa*Sa	7)
間伐針葉樹枝条	Tb	m³/year	=Fb*Sb	7)
広葉樹枝条	Tc	m³/year	=Fc*Sc	7)
主伐針葉樹端材	Td	m³/year	=Fa*Sd	7)
間伐針葉樹端材	Te	m³/year	=Fb*Se	7)
広葉樹端材	Tf	m³/year	=Fc*Sf	7)
各支庁別集材方法割合	C		Ca+Cb+Cc=1	
全木集材	Ca		各支庁別ヒアリング値	
全幹集材	Cb		各支庁別ヒアリング値	
短幹集材	Cc		各支庁別ヒアリング値	
Step1バイオエネルギー利用可能量	E1	MJ/year	=(Ta+Tb+Tc)*Ca*a*b+(Td+Te+Tf)*(Ca+Cb)*a*c	
Step2バイオエネルギー利用可能量	E2	MJ/year	=(Ta+Tb+Tc)*a*b+(Td+Te+Tf)*a*c	
木材気乾比重	a	t/m³	0.5	6)
チップ発熱量	b	MJ/kg	12.2	8)
ペレット発熱量	c	MJ/kg	18.8	8)

b) 道内森林組合に対するヒアリング調査結果

北海道の森林組合 85 施設のうち 32 施設から回答が得られた（回答率 37.6%）．各支庁別では石狩 5 施設，渡島 3 施設，檜山 2 施設，後志 2 施設，上川 5 施設，留萌 1 施設，宗谷 1 施設，網走 2 施設，胆振 2 施設，十勝 5 施設，釧路 1 施設，根室 3 施設から回答を得ることができ，全 14 支庁の内，12 支庁から回答を得た．各支庁に属する森林組合における集材方法割合の支庁別平均値を算出し，各支庁における集材方法割合とした．また，回答が得られなかった支庁においては，全回答の平均値として全木集材 0.33，全幹集材 0.5，短幹集材 0.16 として計算した．

c) Step1 での林地残材利用量

集材方法によって，林地残材の集積場が異なることから，道内の市町村有林，民有林から発生する林地残材のうち，全木集材で土場に集材された枝条，端材と，全幹集材で土場に集材された端材を Step1 における林地残材エネルギー利用可能量として推計を行った．

d) Step2 での林地残材利用量

Step1 の利用可能量に加え，全幹集材において林内で発生する枝条と，短幹集材における端材と枝条も，集材可能であると想定して，林地残材量を推計した．なお，伐採材積は，将来増加するものと推測されるが推定に不確定要素が多く含まれることから，現状の数値を用いた．

e) バイオエネルギー利用可能量の推計方法

バイオエネルギー利用可能量は推計した林地残材利用量にペレット発熱量，チップ発熱量を乗じたものとした．計算式は**表-2** に示す．

⑶ 結果と考察

a) 北海道ベースによるエネルギーシェアの算出

乳用牛ふん尿スラリーと林地残材の北海道ベースにおけるバイオエネルギー利用可能量は**表-3** および**図-6** に示す結果となった．なお，原油発熱量は，38.2 GJ/KL を用いた．

Step1 における林地残材利用可能量は原油換算で 11.4 万 kL，スラリー利用可能量は熱利用で 1.1 万 kL，発電利用で 0.58 万 kL となり，Step2 における林地残材利用可能量は原油換算で 17.9 万 kL，スラリー利用可能量は熱利用で 1.5 万 kL，発電利用で 0.75 万 kL と推計された．

推計したエネルギー利用可能量は，Step1，Step2共に2章で示した北海道におけるバイオエネルギー利用目標値9万KLを大きく超えることが明らかになった．またstep2では，北海道の再生可能エネルギー利用目標値である193万KLと比較すると約10%を占めることが明らかになった．

表-4 CO_2排出係数

パラメーター	単位	式 または 値	参考文献
電気	$kgCO_2/kWh$	0.378	
灯油	$kgCO_2/MJ$	0.0679	9)
A重油	$kgCO_2/MJ$	0.0693	

b) 林地残材利活用率の向上

推計した林地残材バイオエネルギー利用可能量における林地残材利用量はペレットとチップの総計としてStep1で288,714 t，Step2で484,142 tとなった．北海道における林地残材の年間発生量は977,719 tであることから，この値と比較すると，Step1 では約30%，Step2では約50%利活用したことになり，現在ほとんど利用されていない林地残材の利活用向上に大きく貢献することが明らかになった．

c) CO_2排出削減量

推計した Step 2 のバイオエネルギー利用可能量において，**表-4** に示す排出係数を用いて，CO_2排出削減量を算出した．スラリーは CHP による電力利用で 30,200 t-CO_2，熱利用で 39,865 t-CO_2，林地残材はペレットの熱利用で 180,375 t-CO_2，チップの熱利用で 289,857 t-CO_2 となり，Step2 合計で 540,297 t-CO_2削減可能であることが明らかになった．なお，算出にあたりバイオエネルギーは全量有効利用するものとし，スラリーの CHP による熱は重油，ペレットは灯油，チップは重油代替としてそれぞれのCO_2排出係数[9]を用いて算出した．

5. ケーススタディによるバイオエネルギー推進策の提案

⑴ 乳用牛ふん尿ケーススタディ

a) ケーススタディ対象地域

図-7 に Step2 の支庁別のスラリーバイオエネルギー量を示す．Step2（2035 年）の乳用牛ふん尿エネルギー利用可能量において，特に利用可能量の多かった道東地域（十勝，釧路，根室支庁）をケーススタディ対象とした．

b) 想定するエネルギー利用推進策と算出方法

図-8 に想定するエネルギー利用推進策を示す．3 支庁における Step2 のバイオエネルギー利用可能量を牛ふん尿バイオガス化プラントのインプットとし，バイオガスの精製による Compressed Natural Gas (CNG)を CNG 車の燃料として利用することを想定した．

表-5　乳用牛ふん尿スラリーケーススタディ計算式

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
メタン90%時のバイオメタン量	Mbiom	m^3/year	=M2*0.5/0.9	
Step2バイオガス発生量	M2	m^3/year	35604637 (表-3の推計値)	
精製圧縮前のメタン割合		%	50	
精製圧縮後メタン割合		%	90	6)
精製圧縮後のバイオガス熱量	Hbiom	MJ/m^3	36 (100%メタン発熱量40MJ/m^3)	
CNG熱量	Hcng	MJ/m^3	41.9 (12A相当)	
熱量調整用プロパン熱量	Hpro	MJ/m^3	99	
CNG生産量	D	m^3/year	=Mbiom*(1+(41.9-36)/(99-41.9))	
CNG車のCNG生産量における走行距離	D1	km/year	=D*mile	
CNG1m^3当たりのCNG車走行距離	mile	km/m^3	18.9	10)
乗用車年間走行距離	D2	km/year・台	10000	
CNG車導入可能台数	Q	台	=D1/D2	
2035年の3支庁総世帯数	P	世帯	208000	11)
道東地域1世帯当たりの乗用車保有台数	Car	台/世帯	2	
道東地域乗用車総台数	Cartotal	台	=P*Car	
3支庁の総車両数に占めるCNG車割合	Rcngcar	-	=Q/Cartotal	
CNGプラント規模	Capa	頭	乳用牛1000頭	
Step 2における乳用牛総飼養頭数	Hcow	頭	91686 (Step2における推計値)	
CNGプラント必要導入基数	Nbplant	基	=Hcow/Capa	

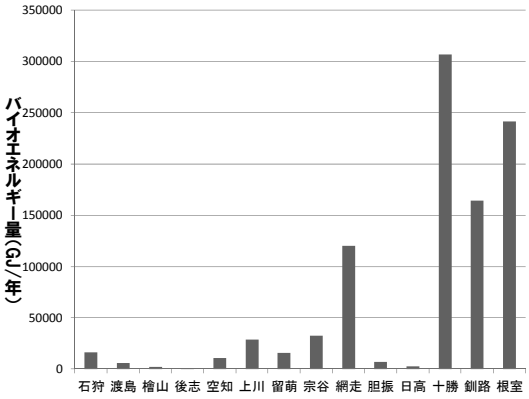

図-7　Step2 における支庁別
スラリーバイオエネルギー量

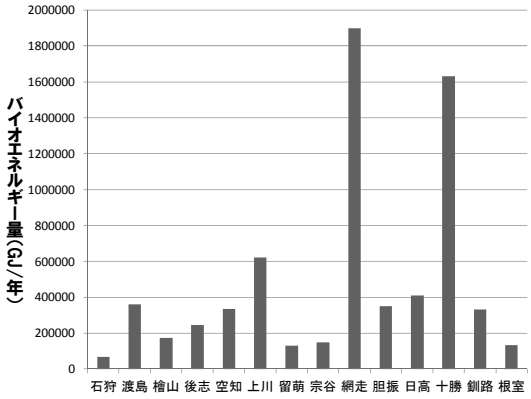

図-9　Step2 の林地残材バイオエネルギー量

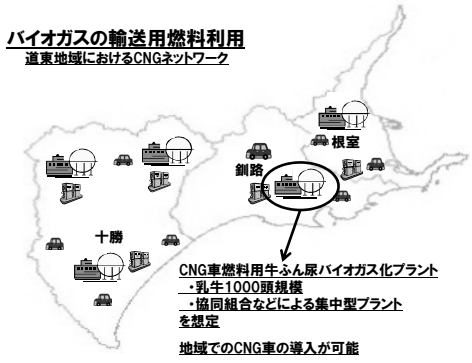

図-8　想定するエネルギー利用推進策

道東地域では大量のふん尿が排出されており，集約型のバイオガスプラントも増えていくものと考えられる．また，「エネルギー供給構造高度化法」や「再生可能エネルギーの全量買取に関する検討」などの制度整備が進むことから，バイオガスを精製ガスとしての利用が今後一層進むものと思われるため，将来のふん尿のエネルギー利用方法として，CHP による熱，電力利用ではなく CNG 車による輸送用燃料利用を想定した．集中型バイオガスプラントは，現状で事業化されている規模を参考に，乳牛 1,000 頭規模の集中型プラントとし，CNG 車導入可能台数及び地域の自動車数に対する CNG 車のシェアなどを試算した．ケーススタディ試算条件及び計算式を表-5 に示す．

c) 試算結果

試算を行った結果，道東地域における CNG 車導入可能台数は約 55,000 台となり，道東の車両数に対しては，13% となることが明らかになった．その際，乳牛 1,000

表-6 林地残材ケーススタディ試算条件

パラメーター	単位	値	参考文献
網走、十勝2支庁のペレット総発熱量	TJ/year	1,365.5	表-3の推計値より
2035年2支庁総世帯数	世帯	283,000	11)
1世帯当たり年間灯油消費量	L/year	1734	12)
灯油発熱量	MJ/L	36.7	8)
網走、十勝2支庁のチップ総発熱量	TJ/year	2,163.7	表-3の推計値より
A重油発熱量	MJ/L	39.1	8)

頭規模のバイオガス化施設を導入した場合，道東地域において約 90 基の施設を導入する必要があることがわかった.

⑵ 林地残材ケーススタディ

a) ケーススタディ対象地域

図-9 に支庁別の Step2（2035 年）の林地残材エネルギー利用可能量を示す．これより，特に利用可能量の多かった十勝，網走の 2 支庁をケーススタディ対象とした.

b) 想定するエネルギー利用推進策と算出方法

2 支庁における Step2（2035 年）の林地残材エネルギー利用可能量をインプットとし，端材はペレット化による家庭用ペレットストーブ燃料，枝条はチップとしてチップボイラー燃料として地域の熱供給を行うことを想定した．ケーススタディ試算条件を**表-6** に示す.

c) 試算結果

試算を行った結果，2 支庁における木質ペレットを全量熱利用した場合，灯油換算で地域の世帯数の 7.6%をカバーできることが明らかになった．一方，2 支庁におけるチップにおいて，55,319KL 分の A 重油を賄うことができ，中小温泉や旅館等の施設で利用が可能であることを示した.

6. 結論

1) 北海道の地域特性上ポテンシャルの高い，乳用牛ふん尿（スラリー）及び林地残材に着目し，北海道でのバイオエネルギー利用可能量を推計し，導入効果としての北海道ベースでのエネルギーシェアを明らかにした．その結果，現状のバイオエネルギー利用量の目標値を超えてバイオエネルギーを利用することが可能であることを示した.

2) 特にシェアの高い地域に着目して，地域エネルギーとしてのバイオエネルギー利用推進策を提案した．酪農が盛んな道東地域に対しては，牛ふん尿（スラリー）のバイオガス化プラントを中心としたCNG車の燃料としての利用，そして林地残材が豊富な十勝・網走支庁に対しては，一般家庭でのペレット利用及び中小温泉・旅館等でのチップボイラの利用を促進することを提案した.

謝辞

北海道各森林組合の関係各位には各種データ・情報の収集にご協力頂いた．ここに記して感謝の意を表する．なお，本研究の一部は H23 年度環境省環境研究総合推進費補助金により行われた.

参考文献

1) NEDO：バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計 http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/about/index.html
2) 古市徹監修，有機廃棄物資源循環システム研究会編著：循環型社会の廃棄物系バイオマス―利活用事業成功のためのシステム化―, 環境新聞社, 2010
3) 北海道庁農政部：北海道酪農・畜産関係資料（2009 年度版）http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/tss/kankeitop.htm
4) 北海道庁：家畜排せつ物の発生量などに関する記録（届出資料）
5) 鵜川洋樹・細山隆夫・藤田直聡・安武正史：北海道酪農の経営規模階層別にみた動向予測， 北海道農研研報第180号, pp48, 2004
6) 財団法人新エネルギー財団編：バイオマス技術ハンドブック～導入と事業化のノウハウ～, オーム社, 2008
7) 酒井明香：木質バイオマスの有効利用に向けて―カラマツの未利用バイオマス量調査―， 光珠内季報 No.133, 2004
8) 北海道庁水産林務部：森林バイオマス事例集 http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/grp/02/biomassjireishu.pdf
9) 環境省：事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（試案 ver1.5）http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/index.html
10) 東京ガス調べ：2006 http://www.tokyo-gas.co.jp/
11) （社）北海道未来総合研究所：北海道 180 市町村の 2035 年の将来推計人口について http://www.hifa.or.jp/pdf/2008transition.pdf
12) 財団法人日本エネルギー経済研究所 石油情報センター：平成 18 年度灯油消費実態調査報告書, 2008

(2012. 7. 18 受付)

PROPOSAL OF UTILIZATION STRATEGIES BASED ON ESTIMATION OF AVAILABLE SUPPLY QUANTITY FOR BIOENERGY IN HOKKAIDO FOCUSING COW MANURE AND FOREST RESIDUE

Keigo TANAKA, Toru FURUICHI, Kazuei ISHII and Yu-Chi WENG

Promotion of bioenergy utilization has been expected to achieve a sustainable society. In particular, since Hokkaido has a large amount of biomass such as cow manure and forest residue, promotion of biomass utilization as bioenergy can contribute improvement of bioenergy share in not only Hokkaido but also whole of Japan. However, past estimation of available bioenergy was based on abundance of biomass and it did not suggest the amount of bioenergy available actually. This study estimated available bioenergy using more realistic assumption for utilization of cow manure and forest residue to show possibility of improving share of bioenergy in Hokkaido. In addition, this study suggested measures for promotion of bioenergy utilization as regional energy for areas where the share of bioenergy was estimated to be high.