

# いわき市におけるバイオマスエネルギー賦存量の推計

## Estimation of biomass energy reserve in Iwaki City

丹野 淳・今井 晴子・鈴木 啓仁・高橋 知輝

福島工業高等専門学校都市システム工学科

TANNO Jun ,IMAI Haruko,SUZUKI Keito and TAKAHASHI Tomoki

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Civil and Environmental Engineering

(2021年9月6日受理)

In order to estimate the amount of biomass energy available in Iwaki City, the amount of biomass resources was determined using statistical data, and the amount of methane gas generated from biomass resources was determined through literature surveys and experiments. As a result, the biomass reserve of the whole city was 1.27 million ton/year. The biomass energy obtained from this biomass was estimated to be 513,000 GJ/year for heat use and 182,000 GJ/year for electricity use. This study has provided useful information for the effective use of biomass resources in Iwaki City.

**Key words:** Amount of biomass resources, Amount of energy generated, Estimated amount of biomass  
Local biomass resources

### 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、一極集中型のエネルギーインフラシステムは、災害時に脆弱なシステムであることが明らかとなった。2012年には、再生可能エネルギーの固定価格買取制度が制定され、バイオマス資源から得た電力を一定価格で売電できるようになり、エネルギーの多様化が進んだ。今後も巨大地震の発生が想定される中で、自立分散型のエネルギーインフラシステムの構築が必要となったことを受け、2016年に閣議決定されたバイオマス活用推進基本計画<sup>1)</sup>では、地域で発生したバイオマス資源を利用し、地域分散型の自立したエネルギーを確保することが防災面からも有効であるとされている。バイオマスエネルギーの重要性が高まっている中で、エネルギーの利用方法として、メタン発酵で発生したメタンガスを用いた発電方法が注目されている。メタン発酵技術を社会実装するにあたり、バイオマス資源量やメタンガス発生特性の把握、地域全体でのバイオマス利活用計画などを策定する必要がある。福島県では、福島県バイオマス活用推進計画<sup>2)</sup>を策定し、県全体におけるバイオマス発生量を公表しているものの、市町村ごとの発生量は公表されていない。また、いわき市独自のバイオマス資源量に関する調査も行われていないのが現状である。

そこで本研究では、いわき市を対象にバイオマス資源量の算出、バイオマス資源の性状分析やガス発生量の実験を行い、バイオマスエネルギー賦存量の推計を行った。

### 2. 推計方法

#### 2.1 推計の基本事項

バイオマスエネルギー量を推計するにあたり、地域に存在するバイオマス資源量の算出が必要である。これまで、バイオマス資源量を調査した統計データはほとんどなく、市町村単位で資源量推計<sup>3)</sup>が行われているが、推計に用いられているデータが古く、現在の自治体におけるバイオマス資源量の実態を十分に反映できていない。農林水産省<sup>4)</sup>では、バイオマス構想実現のためにバイオマス賦存量の推定方法を公表し、各自治体はこの推定方法をもとに、バイオマス資源量調査を独自に実施している。本研究では、文献調査で得られた推計方法を用いて、工業系や農業系などの廃棄物の実態を示した統計データを活用し、いわき市におけるバイオマス資源量の推計を行った。なお、今回の推計では、現存するバイオマス資源を最大限利用できると仮定した場合の理論値である賦存量として算出した。対象とするバイオマス資源は、農林水産省で公表しているバイオマス構想策定マニュアル<sup>4)</sup>や福島県バイオマス活用推進計画<sup>2)</sup>などを参考に

しながら、Table 1 に示す9種類とした。地域で入手できたバイオマス資源に対しては、性状分析や室内実験によるガス発生量などの基本データを算出し、入手できなかったバイオマス資源については、文献から基本データを入手した。

2.2 賦存量およびバイオマスエネルギー量の推計手順

推計手順として、まず、Table1に示す推計方法によりバイオマス資源の賦存量を推計した。次に、バイオマス資源における有機物量を示す指標である強熱減量

(Volatile Solids : VS) を測定した。次に、バイオマス資源ごとのメタンガス発生量を算出し、最後に、Table2に示す推定式を用いて、メタン発酵による熱利用と電力利用を想定したバイオマスエネルギー賦存量を推計した。

2.3 バイオマス資源の性状分析とメタンガス発生量の算出

2.3.1 バイオマス資源と性状分析

回分実験の対象としたバイオマス資源は、既往文献でメタンガス発生量がほとんど報告されていない木くず、廃菌床、もみ殻とした (Fig.1) 。なお、木くず、廃菌床は、APHA Standard Methodsに基づき、強熱減量を測定した。その他のバイオマス資源については、文献で得られたメタンガス発生量および強熱減量を用いた。

2.3.2 回分実験

回分実験とは、バイオマス資源のガス発生量や最適前処理条件などを検討するために、大量の試料を同時に実験することができる手法である。Fig.1に示すように、バイオマス資源と種汚泥を投入したバイアル瓶を恒温振とう機に設置して実験を行った。

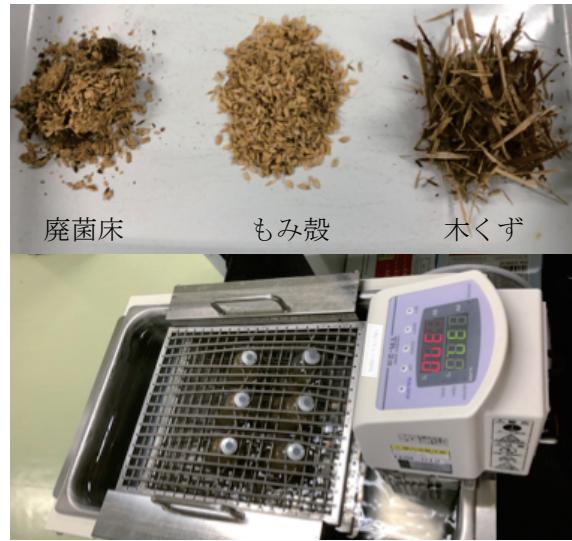


Fig.1 Samples and experimental equipment

2.3.3 性状分析および回分実験手順<sup>14)</sup>

実験室で稼働しているメタン発酵装置から採取した種汚泥80mLとブレンダーで粉碎したバイオマス資源をバイアル瓶に入れ、実験を行った。バイオマス投入量は、FM比が0.25-0.5になるように調整し、バイアル瓶の気相部を窒素ガスでページ後、速やかにブチルゴム栓とアルミ製金属蓋で密栓した。その後、バイアル瓶を37.0°Cの恒温振とう機に設置し、120 rpmで30日間程度振とうさせた。実験期間中は、ガス生成量およびガス組成を測定した。ガス生成量は、ゴム栓にガラスシリンジを差し込むことで計測し、ガス組成 (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) はTCD式ガスクロマトグラフにより測定した。

Table 1 Method for estimating biomass content

			参考文献
廃棄物系 バイオマス	家畜排泄物	1頭(羽)あたりの年間ふん尿排出量(トン/頭(千羽)/年) × 飼養頭羽数(頭(羽))	4), 5)
	木くず	全県の木くず量(トン/年) × (市町村の木材・木製品製造業の生産額 / 全県の同生産額)	6), 7)
	廃菌床	きのこ(菌床栽培)生産量(トン/年) × 廃菌床発生源単位	8), 9)
	食品廃棄物	全県の食品廃棄物量(トン/年) × (市町村の食品製造業の生産額 / 全県の同生産額)	6), 7)
	生ごみ	市町村のごみ処理量(トン/年) × 生ごみ割合	10)
	下水汚泥	いわき市下水汚泥等活用事業資料より、各浄化センターの濃縮汚泥量を引用	11)
未利用系 バイオマス	果樹剪定枝	市町村別の果樹栽培面積(ha) × 剪定枝発生率(トン/ha/年)	5), 12)
	稲わら	福島県農林水産部資料より、稲わら発生量(トン/年)を引用	13)
	もみ殻	福島県農林水産部資料より、もみ殻発生量(トン/年)を引用	13)

Table 2 Estimation of biomass energy content

熱量 (GJ/年) = 賦存量 × VS (%) × メタンガス発生量 (m <sup>3</sup> /kg-VS) × メタン発熱量 (GJ/m <sup>3</sup> ) × ボイラ効率
電力量 (GJ/年) = 賦存量 × VS (%) × メタンガス発生量 (m <sup>3</sup> /kg-VS) × メタン発熱量 (GJ/m <sup>3</sup> ) × 発電効率
VS : 強熱減量

### 3.1 バイオマス資源の賦存量

いわき市におけるバイオマス賦存量をTable3に示す。バイオマス資源の合計賦存量は約127万トン/年であった。賦存量割合が最も高かったのは下水汚泥であり、全体の8割以上を占める結果となった。次いで、家畜排泄物、稲わらという結果になった。下水汚泥や畜産排泄物などを対象としたメタン発酵施設は国内で多数稼働している<sup>15)</sup>実績があるため、メタン発酵施設の導入を検討する際には、下水汚泥などの賦存量の多いバイオマス資源を積極的に用いることが有効であると考えられる。さらに、バイオマス資源の調査対象範囲を広げることで、利用可能な賦存量割合が把握でき、自治体独自のバイオマス活用計画の策定に役立てられると考える。

Table 3 Amount of biomass in Iwaki City

バイオマス資源		賦存量 (トン/年)	賦存量 割合
家畜排泄物	牛	2880	0.23%
	豚	49854	3.92%
	鶏	20889	1.64%
木くず		780	0.06%
廃菌床		1127	0.09%
食品廃棄物		11517	0.90%
生ごみ		17060	1.34%
下水汚泥	初沈汚泥	766062	60.16%
	余剰汚泥	369380	29.01%
果樹剪定枝		118	0.01%
稲わら		28512	2.24%
もみ殻		5148	0.40%

### 3.2 バイオマス資源の性状分析とメタンガス発生量

まず、木くず、廃菌床、もみ殻の性状分析として、強熱減量を測定した結果、57.9%、61.7%、66.0%であった。次に、経過時間における累積メタンガス生成量をFig.2に示す。バイオマス資源のメタンガス生成量は、種汚泥からのメタンガス生成量を差し引いて算出した。木くず、廃菌床、もみ殻のメタンガス生成量はそれぞれ、7.9mL、131.5mL、15.7mLであった。廃菌床については、経過時間とともに、メタンガス生成量が順調に増加した一方で、もみ殻と木くずは、微増となる結果であった。この理由として、木くずなどのバイオマス資源はリグニンなどの成分から構成されており、難分解性であることから、メタンガス生成量も低くなったと考えられる。

VSあたりのメタンガス発生量をTable 4に示す。回分実験の結果をもとに算出した木くず、廃菌床、もみ殻のVSあたりのメタンガス発生量は、0.01 m<sup>3</sup>/kg-VS、0.19 m<sup>3</sup>/kg-VS、0.03 m<sup>3</sup>/kg-VSであった。既往文献<sup>16)</sup>では、廃菌床のメタンガス発生量は0.29 m<sup>3</sup>/kg-VSと報告されていることから、本実験で得られたデータは妥当であると考えられる。また、バイオマス資源ごとのメタンガス発生量を算出したことで、バイオマス資源の混合処理を検討する際の基礎データとしても活用できると考える。メタンガス発生量は、廃棄物系バイオマス資源よりも未利用系バイオマス資源の方が全体的に低い結果となった。これはメタンガス生成量と同様に、剪定枝やもみ殻などは、リグニンで表面が覆われており、難分解性物質であることから、メタン発酵の分解率が低くなったと考える。このような分解率の低いバイオマス資源をメタン発酵の原料として活用する場合には、前処理技術などを導入し、分解しやすいような性状に変える必要がある。

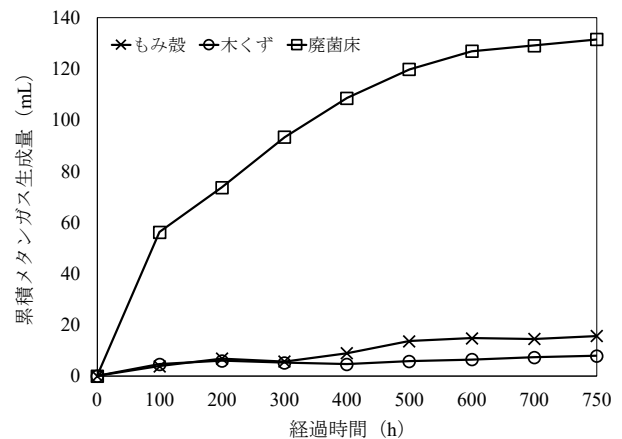


Fig. 2 Cumulative methane gas production over time

Table 4 Amount of methane gas generated per VS

バイオマス資源		メタンガス発生量 (m <sup>3</sup> /kg-VS)	VS (%)	参考文献
家畜排泄物	牛	0.26	13.5	17), 18) 19), 20)
	豚	0.28	8.7	
	鶏	0.46	8.3	
木くず		0.01	57.9	実験
廃菌床		0.19	61.7	実験
食品廃棄物		0.84	7.4	17), 21)
生ごみ		0.84	7.4	17), 21)
下水汚泥	初沈汚泥	0.52	0.9	17)
	余剰汚泥	0.38	2.7	
果樹剪定枝		0.11	72.5	22)
稲わら		0.20	81.5	23)
もみ殻		0.03	66.0	実験

Table 5 Estimation of biomass energy reserve in Iwaki City

バイオマス資源		賦存量 (トン/年)	VS (%)	メタンガス発生量 ( $\text{m}^3 / \text{kg-VS}$ )	メタン発熱量 ( $\text{GJ} / \text{m}^3$ )	熱量 ( $\text{GJ} / \text{年}$ )	電力量 ( $\text{GJ} / \text{年}$ )	割合
家畜排泄物	牛	2880	13.5	0.26	0.0359	3203	1139	0.63%
	豚	49854	8.7	0.28		39088	13898	7.63%
	鶏	20889	8.3	0.46		25676	9129	5.01%
木くず		780	57.9	0.01		149	53	0.03%
廃菌床		1127	61.7	0.19		4263	1516	0.83%
食品廃棄物		11517	7.4	0.84		23068	8202	4.50%
生ごみ		17060	7.4	0.84		34171	12150	6.67%
下水汚泥	初沈汚泥	766062	0.9	0.52		111976	39814	21.85%
	余剰汚泥	369380	2.7	0.38		120862	42973	23.58%
果樹剪定枝		118	72.5	0.11		302	107	0.06%
稲わら		28512	81.5	0.20		146405	52055	28.57%
もみ殻		5148	66.0	0.03		3305	1175	0.64%

### 3.3 バイオマスエネルギー賦存量推計結果

いわき市におけるバイオマスエネルギー賦存量を推計した結果をTable 5に示す。賦存量の推計にあたり、Table 2に示すボイラ効率および発電効率は、文献調査<sup>24)</sup>より、90%および32%として計算した。

熱利用を想定した場合のバイオマスエネルギー賦存量は約51.3万GJ/年であった。電力利用を想定した場合のバイオマスエネルギー賦存量は、約18.2万GJ/年で、熱利用を想定した場合と比較し、30%程度低い結果となった。これは、熱利用時よりも発電時のエネルギー効率が低いためであると考えられる。また、バイオマスエネルギー賦存量の約4割が下水汚泥、約3割が稲わらという結果になった。稲わらは、廃棄物量が多いため、全量をバイオマス資源として活用することで推計しているが、圃場のすき込みによる土壌還元、堆肥原料への利用などに再利用されているため、各種バイオマス資源の利用可能性を詳細に調査しなければ、推計全体に影響を与える可能性が大きくなることが示唆された。

### 4. まとめ

市町村の統計データや既往文献調査により、バイオマス資源量を推計し、回分実験によりメタンガス発生量を算出し、いわき市におけるバイオマスエネルギー賦存量を推計した。その結果、今回選定したバイオマス資源の資源量は127万トン/年であり、バイオマスエネルギー賦存量は、熱利用を想定した場合は約51.3万GJ/年、電力を想定した場合は約18.2万GJ/年が利用可能であることが明らかとなり、バイオマス資源を有効利用する上で有用な知見を得ることができた。本研究で推計した賦存量は、農林水産省や福島県のバイオマス利活用計画を

参考にバイオマス資源を選定したが、この他にも農業系残渣や廃食用油など様々なバイオマス資源が存在するため、バイオマス資源量の継続的な調査が必要となる。また、バイオマス資源の利用可能量については、全て利用できることを想定した上で推計したが、バイオマス資源はすでに多様な用途に再利用されている。そのため、市内のバイオマス資源の利用可能量調査を実施し、エネルギー源として利用できるバイオマス資源量を把握する必要がある。また、実際にメタン発酵を実施する場合には、メタン発酵施設の立地場所などの検討も必要にあることから、いわき市内の地区ごとのバイオマス資源量の把握も必要である。

メタン発酵技術は、循環型社会や低炭素社会の構築の中核を担う技術である。メタン発酵技術の導入を進めるためには、多様な性質のバイオマス資源を受け入れ、メタンガス発生量を増加させることが重要である。今後は、未利用系バイオマスを対象としたメタン発酵効率向上のための前処理技術の開発が研究課題になると考える。

### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、地元企業の皆様には、バイオマス試料をご提供いただきました。ここに感謝申し上げます。



### 参考文献

- 1) 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画 (2016)  
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-4.pdf>
- 2) 福島県：福島県バイオマス活用推進計画  
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/298460.pdf>
- 3) (株)東大総研：バイオマス情報ヘッドクォーター  
<https://www.biomass-hq.jp>
- 4) 農林水産省：バイオマス構想策定マニュアル  
<https://www.maff.go.jp/kinki/kikaku/biomass/pdf/zenbun.pdf>
- 5) 農林水産省：わがマチ・わがムラ -市町村の姿-  
<http://www.machimura.maff.go.jp/machi/contents/07204/index.html>
- 6) 福島県：令和2年度福島県産業廃棄物排出処理状況確認調査業務報告書  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/442425.pdf>
- 7) 福島県：福島県統計課編『2019年工業統計調査結果報告書』  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/2019kougyou.html>
- 8) 福島県：特用林産関係統計書，福島県における市町村別生産量の推移  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/406118.pdf>
- 9) 松村ゆかり，藤本清彦，高野勉：キノコ廃菌床発生量の推定，日本木材学会大会研究発表要旨集 56,2006.
- 10) いわき市：ごみ処理統計，ごみ排出量の推移  
<http://www.city.iwaki.lg.jp/www/contents/1001000001817/index.html>
- 11) いわき市：下水汚泥等活用事業資料，要求水準書 中部浄化センター編  
<http://www.city.iwaki.lg.jp/www/contents/1573103846154/index.html>
- 12) 澤井徹，梶本武志，本庄孝子，佐野寛，難波邦彦，井田民男，瀧端学，左近孝憲：和歌山県における果樹剪定枝のエネルギー利用—剪定枝の灰分，C/N比および燃焼特性—：一剪定枝の灰分，C/N比および燃焼特性—，環境技術35(12)，pp.916-923，2006.
- 13) 福島県農林水産部：令和元年度水稻・大豆・麦・そばの生産の実態に関する資料  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/437404.pdf>
- 14) 池田聡，神山和哉，北條俊昌，李玉友：下水汚泥処理システムへのバイオガスコジェネレーションと発電排熱による熱処理の導入効果の検討，土木学会論文集 G(環境)，Vol.73，No.7，III\_97-III\_104，2017.
- 15) 野池達也：震災復興に貢献するメタン発酵，再生と利用，第36巻，第4号，pp.6-19，2012.
- 16) 浅野憲哉：地域由来の湿潤バイオマスからの生物学的メタン生成，長野工業高等専門学校紀要(51)，pp.1-2，2017.
- 17) 国土交通省：下水汚泥広域利活用検討マニュアル (2019)  
<https://www.mlit.go.jp/common/001286384.pdf>
- 18) 柚山義人，生村隆司，小原章彦，小林久，中村真人：バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価，農工研技報204，pp.61-103，2006.
- 19) 小松俊哉，笹淵晃洋，姫野修司：乳牛ふん尿とエネルギー作物の混合消化における投入負荷の影響，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol.29，No.7，pp.119-126，2018.
- 20) 北條俊昌，牛啓桂，喬璋，李玉友：高濃度鶏糞のメタン発酵におけるアンモニア阻害と発酵温度の影響，土木学会論文集 G(環境)，Vol.69，No.7，III\_615-III\_621，2013.
- 21) 外内和輝，東森敦嗣，北條俊昌，李玉友：メタン発酵による混合食品廃棄物の減量化とエネルギー回収，土木学会論文集G(環境)，Vol.71，No.7，III\_39-III\_46，2015.
- 22) 利谷翔平，澤柳薫，鈴木一弘，周勝，寺田昭彦，細見正明：河川敷で発生する植物バイオマスの高温乾式メタン発酵特性，化学工学論文集43(4)，pp.224-230，2017.
- 23) E. Dinuccio, P. Balsari, F. Gioelli and S. Menardo : Evaluation of the Biogas Productivity Potential of Some Italian Agro-industrial Biomasses, Bioresource Technology, Vol. 101, No. 10, pp. 3780 - 3783 (2010)
- 24) 押部洋，大阪典子，西川向一，李玉友：事業系食品残渣を対象とした発酵システムの効率性に関する研究，土木学会論文集 G(環境)，Vol.7，No.7，III\_1-III\_10，2015.