

海藻(養殖昆布残滓)によるエネルギー生成と そのためのネットワーク構築に関する研究

STUDY ON THE POSSIBILITY OF APPLYING METHANE FERMENTATION TECHNOLOGY TO AQUACULTURE KELPS AND CREATING A NEW ENERGY INDUSTRIES NETWORK

浅川典敬¹・広島基²・松井徹³・本松敬一郎⁴・長野章⁵

Noritaka ASAKAWA, Motoi HIROSHIMA, Toru MATSUI, Keiichiro MOTOMATSU
and Akira NAGANO

¹正会員 (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

²株式会社データ設計 (〒103-0023 東京都中央区日本橋本町2-8-12)

³株式会社東京ガス 技術研究所 (〒230-0045 横浜市鶴見区末広町1-7-7)

⁴水博 北海道大学大学院水産科学研究院 (〒041-8611 北海道函館市港町3-1-1)

⁵正会員 工博 はこだて未来大学 (〒041-8655 北海道函館市亀田中野町116-2)

Effective utilization of unused biomass has been an ever increasing subject of research in Japan. However, the use of the biomass resources originating from fishery by-products/waste has been rather limited compared to those originating from agriculture and livestock industries. This is at odd with the importance of fishery industry in Japan. We identify the following three issues in achieving an effective utilization of unutilized biomass resources. The first is the need for the technology of energy conversion to be adjusted to biomass resources originating from rural areas. The second is further improvements of the fermentation technology of biomass resources. The third is the creation of a network (industry symbiosis) among the suppliers of biomass resources, their recyclers (the operators of gasification plants), and the waste managers of fermentation residues.

This paper is concerned with experiments were conducted to study the possibility of applying methane fermentation technology to seaweed waste/byproducts at the region (Hakodate city). It is expected that the liquid byproducts from the gasification process can be used for growing seaweeds on rocky shore denudation. we investigated the feasibility of the creation of a network based on industry symbiosis involving fisheries, fishery processing, agriculture, live stock, and sewage sectors.

Key Words : Biomass, aquaculture kelp, methane ferment, industries network, rocky-shore denudation

1. はじめに

省資源・省エネルギー, 循環型社会の形成, 低炭素社会の構築などが求められている中, 全国各地でバイオマス利活用に関する試み・事業化が進められている. バイオマス利活用は環境保全に対する効果以外に農山漁村の活性化や新たな産業と雇用の創出の効果が期待されている. しかしながら, 水産系バイオマスに関する利活用は進んでいないため, 今後漁港, 漁村などで発生するバイオマスの利活用が求められる. バイオマスの利活用の課題は, 地域に即した対象バイオマスとバイオマス変換技術のマッチング, 及び継続的なバイオマスの利活用に必要な技術改良とバイオマス利活用に関わるネットワークの構築にあると考えられる. ここでは, 水産系バイオマスとして, 地域に特徴的な昆布残滓, 水産加工残

渣, 及び漁村で発生する汚水処理汚泥などを選定した上で, メタン発酵によるエネルギー回収とメタン発酵残渣の農林水産業での液肥利用を想定し, 昆布残滓単独と他のバイオマスと混合した場合のそれぞれのメタン発酵特性, バイオマス利活用の継続に必要なとなるネットワーク構築の可能性について研究したものである.

2. 研究の流れ

研究の流れは図-1 のように行った.

まず, 地域に即した対象バイオマスとして函館圏での水産系廃棄物調査を行った. そしてそのうち昆布, 魚腸骨及び水産系バイオマスの補完材料として利用が考えられる下水汚泥の成分調査を行った.

次にバイオマス利活用に必要なエネルギー変換技術として、函館圏での水産系バイオマスのメタン発酵試験を行った。そして、エネルギー発酵試験結果から実用化への可能性を検討した。メタン発酵においてはメタン発酵後の消化液と呼ばれる廃液の処理が最大の課題になることは知られているが、このメタン発酵後の残滓の利用を検討するため、その成分を調査した。

バイオマスの利活用においては、材料の供給及びメタン発酵後の消化液の処理のために他分野の産業とのネットワークの構築が必要であり、これらはとりもなおさずメタン発酵施設の課題ともなる。これらを検討した後、メタン発酵から出てくる消化液の液肥としての肥料化が可能かどうかの検討を行った。もう一つの課題であるバイオマスの発生の時期的な偏在についての検討を行った。

以上の検討を行い、水産バイオマスネットワークと循環システムの構築の提案を行う。

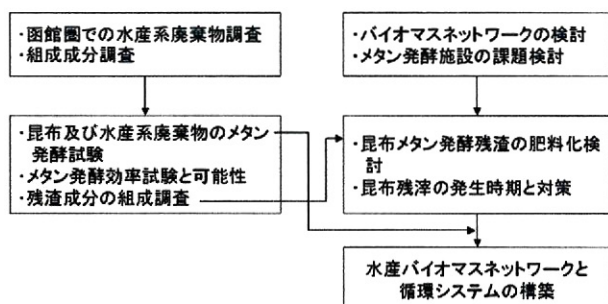


図-1 研究の流れ

調査)。また、天然昆布の生育の障害になる雑海藻の駆除により20トン/年ほど海藻廃棄物が発生している（平成17年試算）。これらの廃棄物がバイオマスのエネルギー変換の材料となる。また、水産加工廃棄物として魚腸骨が1～2万トン/年と推定されるが、ほとんどがフィッシュミールの原料として利用されていた。表-1では、廃棄物処理場へ搬入された量737トン/年を計上している。ホタテの貝殻や重金属が含有されていて問題になるホタテのウロやイカゴロについては、少量であることや、飼料などに利用されておりここでは取り扱わない。現在、昆布残滓のガニアシと呼ばれる部分は、陸上で堆肥化処理されている。このガニアシより大量にでている葉先部分は海中に残されたままである。

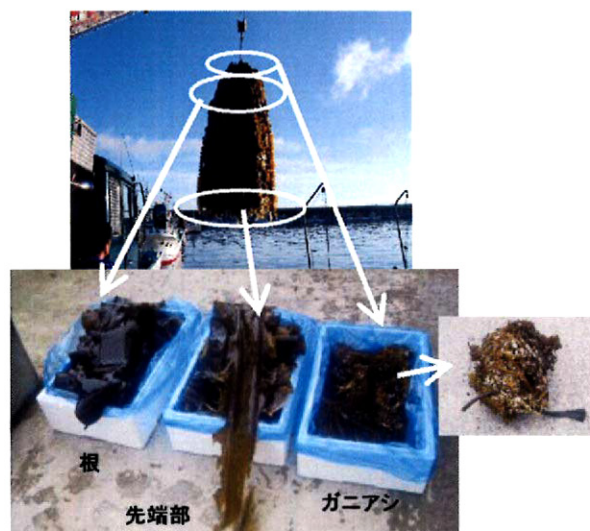


図-2 昆布の部位

3. 研究の内容

(1) バイオマス発生状況と性状の把握

養殖昆布の生産地である函館市では、養殖ロープに固着している昆布の根（ガニアシ）を2,686トン/年排出している。養殖昆布には一年で製品にする促成栽培の昆布、天然昆布と同じように2年栽培する二年昆布がある。おもに促成栽培の昆布では、乾燥場で乾燥する場合、葉長が2m以上あると乾燥吊し作業が迅速に行えないこと、又乾燥しても品質の等級が落ちることから、2mで先端部分は引き上げ時に海中に切り落としている。この引き上げない切り落とし量が8,057トン/年であると推定されている（平成17年

各水産バイオマスの組成は表-1に示すとおりである。ガニアシの概略性状は、含水率85wt%、灰分25.1wt%、窒素含有率2.7wt%-dry、高位発熱量13,800kJ/g-dryであった。昆布の他の部位より灰分が多く、特に洗浄処理しない貝殻付きでは、固形分及び灰分が非常に多い。魚腸骨の概略性状は、含水率68.2wt%、灰分8.3wt%、窒素含有率8.7wt%-dry、高位発熱量26,200kJ/g-dryであった。その他、函館市内では、家畜排せつ物、生ごみ、牛乳工場加工残渣、下水汚泥などが発生しているが、堆肥や飼料として利用されているものが多かった。

表-1 函館圏で発生している海藻系廃棄物とその組成((社)マリノフォーラム¹⁾)

種類	部位	昆布・魚腸骨の組成										函館市での廃棄物としての発生量(トン)
		含水率 wt%	固形分 wt%	元素分析C wt%-dry	元素分析H wt%-dry	元素分析N wt%-dry	元素分析S wt%-dry	計算値O wt%-dry	灰分 wt%-dry	高位発熱量 kJ/g-dry	GODcr mg/l	
二年昆布	先端	84.5	15.5	33.8	7.7	1.4	1	40.5	15.7	13,200	129,435	
	根部分	77.4	22.6	33.3	11.8	1.3	1.5	29.5	22.7	15,700	235,500	
促成栽培	先端	75.5	24.5	34.5	8.8	1.1	0.7	41.9	13	13,500	241,086	8,057
	根部分	80.4	19.6	33.8	12.8	1	0.5	31.9	19.8	13,600	187,833	
	ガニアシ貝付き	67.8	32.2	26.6	3.1	2.3	1.1	34.4	32.6	5,580	104,821	2,686
	ガニアシ貝なし	85.1	14.9	32.2	9.4	2.7	1.4	29.2	25.1	13,800	162,500	
雑海藻												20
魚腸骨		68.2	31.8	53.3	13.9	8.7	0.9	14.9	8.3	26,200	401,555	737
濃縮汚泥(下水)		99.4	0.6	43.3	11.5	7.4	1.8	19.8	16.3	19,300	13,300	

(2) メタン発酵試験の実施

函館圏で発生する海藻でメタン発酵試験を行った。実験は次の7種類において行った。ガニアシ、二年昆布葉先、促成栽培昆布葉先、二年昆布葉体根元、促成栽培昆布葉体根元、魚腸骨、下水汚泥（図-3）を対象としたメタン発酵パッチ試験を行った。

前調整として、魚腸骨、ガニアシ、二年昆布葉先、促成栽培昆布葉先、二年昆布葉体根元、促成栽培昆布葉体根元に、それぞれ固形分が5%になるように希釈水を加え、ジューサーミキサーで破砕するという前調整を行った。なお、下水汚泥は含水率が99%と高かったため、前調整は行わなかった。この7検体について、メタン発酵をさせるために、それぞれ可溶化処理を行った。ここでは、酸生成菌を含む可溶化種菌を加え、約30℃で2日間静置培養を行った。メタン発酵では有機物の加水分解～有機酸生成～バイオガス生成が行われる。この可溶化処理では、主に有機酸生成までを行っており、このようにそれぞれの反応に適した条件で処理を行うことで、発酵効率を上げることができる。メタン発酵は、メタン発酵種母を入れたバイアル瓶にそれぞれの可溶化処理済液を加え、上部を窒素置換した後キャップをし、恒温槽（55℃）内に14日間設置した。図-4 に装置の概要を示す。14日後、バイアル瓶上部のガス組成を測定し、発生したメタンガス、二酸化炭素ガス量を計算した。表-2 及び図-5 にそれぞれの前発酵処理済液から発生したバイオガス発生量を示す。本試験で全ての原料からバイオガスの生成が見られた。

メタン発酵では有機物が消化され、一部がバイオガスとして気相へ抜けていく。そのため、発酵液中の有機物量は減少する。有機物量の指標としては、CODcr等が用いられるが、嫌気性のメタン発酵では、発酵過程で消費された（減少した）CODcr量とメタンガス発生量に下記の理論式が成り立つ。

$$\text{CODcr消費量 (g)} = \text{メタンガス発生量 (ml)} / 0.35 \quad (1)$$

そこで、(1)式よりCODcr消費量を求め、投入したCODcr量のうち、どれだけメタンガスとして消費されたかを求めることにより、原料の発酵のし易さを比較できる。

本試験で用いた原料は、有機物量（CODcr量）が

ことなるため、上記により、CODcr消費率を計算し、それぞれの原料のメタン発酵の状態を比較した。発酵実験開始後14日後の結果を図-5 に示す。昆布の葉の部分に関しては、部位や生育年数によらず、消費率は70-80%であった。消費率が非常に高いと言われる生ゴミが80-90%であり、昆布は生ゴミに若干劣る程度の、メタン発酵し易い原料の一つであると考えられる。ガニアシの消費率はやや低く50%程度で、魚腸骨と同程度で、下水汚泥に比較すると高かった。貝殻付き及び洗浄後のガニアシとも、昆布に比べると分解しにくい成分が含まれると考えられ、発酵し難いと言う結果になっているが、一般にメタン発酵の原料として用いられている下水汚泥に比べると値が高いことから、メタン発酵可能な原料であると考えられる。図-6 は、実験開始14日後にいたるバイオガス発生量（ml）を示している。いずれの材料も4日後にはほぼ定常状態になっている。14日の後の発生量（ml）から(1)式を適用し、図-5 を得ている。



図-3 メタン発酵原料

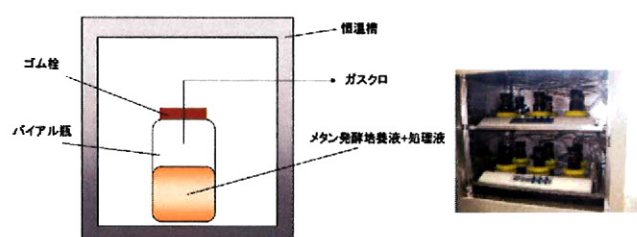


図-4 メタン発酵試験装置

表-2 メタン発酵試験結果

	昆布(先端)	昆布(根)	促成昆布(先端)	促成昆布(根)	ガニアシ	魚腸骨	下水汚泥
メタン発生量(ml)	46.5	47.2	48.9	51	35.3	38.4	29.5
投入量(ml)	4	4	4	4	8	3	9
COD(mg/L)	42,533	45,400	48,400	43,733	23,567	67,500	21,100
CODcr消費率	0.78	0.74	0.72	0.83	0.53	0.54	0.44

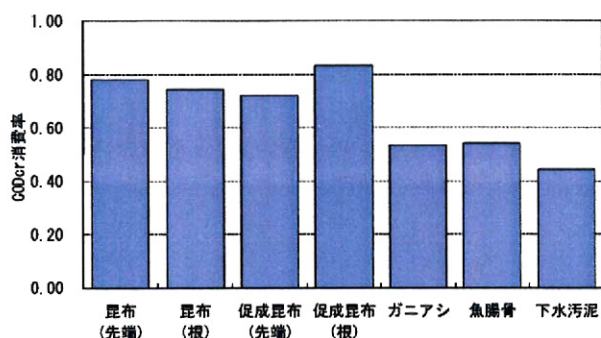


図-5 メタン発酵試験結果

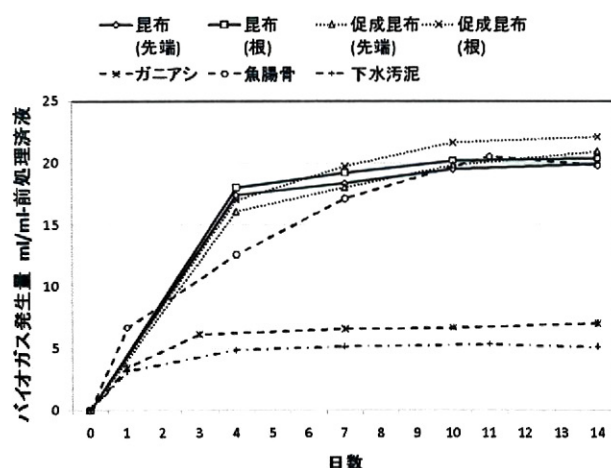


図-6 メタン発酵試験 (発酵速度)

3. バイオマスネットワーク構築可能性の検討

(1) 全国バイオマス利活用事業調査

全国のバイオマス利活用施設の内、メタン発酵施設の設置数(概数)を表-3 に示す。

表-3 メタン発酵施設数

メタン発酵施設の種類	施設数(概数)
下水処理場(汚泥消化槽保有)	316
し尿処理場(嫌気性消化方式)	86
汚泥再生センター	16
家畜排せつ物処理施設	70
食品廃棄物処理施設	46
食品工場廃水処理施設	44
合計	約600

これらの施設の多くは単一のバイオマスを対象としており、また、バイオマス発生源とメタン発酵施設、メタンガスなどの利用場所が同一敷地内か、距離が近い場合が多い。さらに、施設数が最も多い下水処理場やし尿処理場、汚泥再生センターは、地方自治体の責務として設置された施設である。した

がって、これらの施設ではバイオマスの利活用を事業として継続することが比較的容易である。

しかし、今回の研究テーマのように水産系バイオマス等の一次産業で発生するバイオマスを中心として、製造業や市民生活で発生する汚泥なども広域的に協同で有効利用を図る場合は課題が多く、バイオマス利活用事業の継続性の要件として、主に以下の項目が重要と考えられる。

(2) バイオマス情報の共有

原料バイオマスと変換された製品需要の安定的な確保において、バイオマス発生源(供給者)と一次産業従事者等の利用者を結びつける仕組み、介在する利活用技術とのマッチングが重要であり、バイオマスの発生と製品需要に関する諸情報(量、質、場所、時期等)、及び利活用技術動向に関する情報を包括的に管理し、情報提供するシステムが必要と考えられる。

(3) 継続的な技術開発・改良

バイオマス利活用プラントの適切な運転管理を行うためには常に改善・改良を意識した事業継続が求められる。利活用プラントの日々の運転管理を通じて得られた不具合点などの情報を受け、技術提供側の大学や研究機関、プラントメーカー、単体機器メーカーなどが参画して改善案の検討と実施を行っていく必要があると考えられる。

以上より、バイオマス利活用事業の継続には、バイオマス供給と利用を行う一次産業や二次産業などの従事者、バイオマスの収集運搬業者、大学や研究機関、利活用技術に関する専門企業、地元企業、自治体などが協力して取り組むことが必要であり、さらにはバイオマスの利活用を通じた循環型社会の形成、低炭素社会の実現などを広く市民にアピールし、バイオマス利活用事業に対する理解と環境意識の向上を図るために、NPO、市民ボランティア、主婦、学生、シルバー世代等の参画と協働も重要であるため、これらの関係者や所属する組織・団体等が参画する地域バイオマスネットワークを構築することが必要と考えられる。これらのネットワークがないとバイオマスの供給が効率よく行われなとか、特に水産物バイオマスでは時期的に偏在するので、供給されない時期における代替バイオマスなどを考えておく必要がある。また、メタン発酵によるバイオマスの利用は必ず消化液の処理の問題が発生し、その処理のネットワークを持っておかなければバイオマスメタン発酵は実現しない。図-7 にバイオマスネットワークの構想を示す。

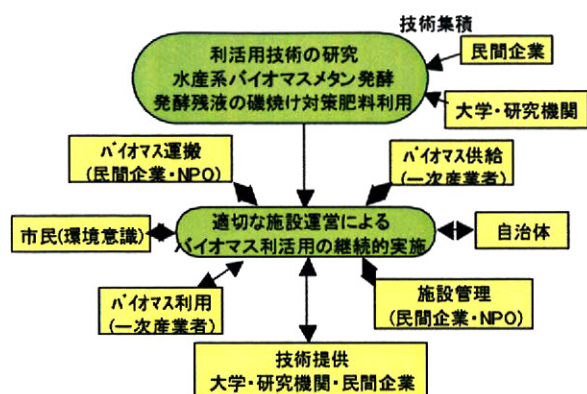


図-7 バイオマスネットワーク構想

4. 各研究の評価と課題

(1) 昆布残滓などのメタン発酵

ガニアシのメタン発生量は若干少ないものの、昆布葉先・根元は家畜排せつ物や汚泥など既にメタン発酵が一般的に行われているバイオマスと同程度であったため、メタン発酵によるエネルギー回収は充分可能であると判断され、メタンガスの利用先として昆布乾燥用燃料等が想定された。また、メタン発酵では発酵残渣である消化液の処理が問題となっている。これに関しては昆布養殖用の液肥としての利用が期待された。従来の化学肥料などの施肥実験研究結果からみて施肥は有効である(図-8)。施肥の有効性を実験した肥料成分と海藻(アオサ)発酵残渣廃液成分を比較したものが表-4である。表-4では実験が異なるので同じ成分構成を比較出来なかったが海藻の肥料となる窒素成分が非常に多いので、発酵残渣も肥料として効果があると考えられる。また養殖昆布の施肥以上に現在沿岸域において問題となっている磯焼け対策への効果があると考えられる。

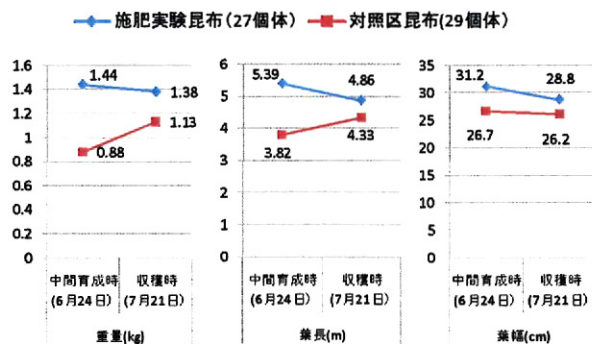


図-8 施肥による昆布の生長効果(米田²⁾)

昆布残滓の発生は主に夏季に集中(図-9)しているため、原料となるバイオマス量の平準化が課題である。対策として、食品加工場残渣、魚腸骨残渣及び下水処理の活性汚泥などの投入が考えられる。それらのメタン発酵試験も昆布以上の発酵ガスが得られ

るので函館のような種々の水産系廃棄物があるところでは平準化は可能である、そのためには、それらを提供するネットワークが必要である。

表-4 海藻メタン発酵残渣の成分と施肥肥料成分(米田²⁾、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)^{3),4)})

	メタン発酵残渣		施肥肥料の化学組成(g/L)
	アオサ	牛乳とアオサ(1:4)	
水分%	-	5.78	
窒素全量(N)%	1.85	4.36	11.2
リン酸全量(P2O5)%	-	1.68	1.6
カリ全量(K2O)%	0.38	0.27	
石灰全量(CaO)%	12.1	14.12	
有機炭素(C)%	11.13	21.83	
C/N	6.02	5.7	
備考			その他鉄、ホウ素、マンガン、ヨードなど微量成分を含む

南かやペリサイクルセンターの月別処理量(16年)

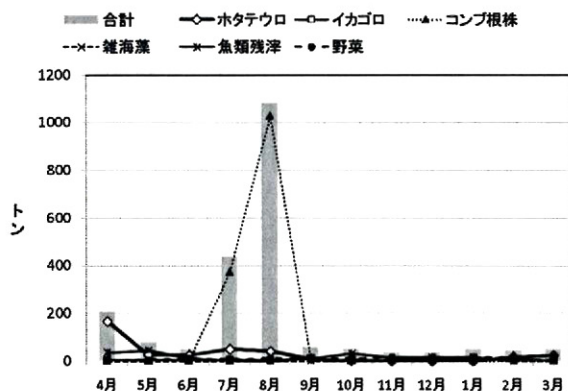


図-9 昆布残滓の発生(函館市南かやペリサイクルセンター)

(2) はこだてバイオマスネットワークの構築

バイオマス利活用事業には多くの産業分野、技術、人、組織などが関係する。その中でも、地元の一次産業従事者、企業、自治体、大学等の研究機関の役割は大きく、商工会議所や漁協、農協、林業組合等が中心となった事業展開が必要であった。このため、これらを中核とする「はこだてバイオマスネットワーク」を構築し、事業の計画から実施、運営、技術改良や応用、市民に対する情報発信・環境教育を行うことは非常に有意義であると判断された。昆布残滓の発生からメタン発酵、廃液の施肥の縦覧列のネットワークが必要である。また、メタン発酵の季節的な平準化のためには、昆布残滓がないときにメタン発酵材料の他分野からの供給が必要であり、水平的なネットワーク構築が必要である。今後は、具体的なネットワーク構築と役割分担を進め、事業化の母体を作り上げていくことが課題である。その概念を図-10に示す。

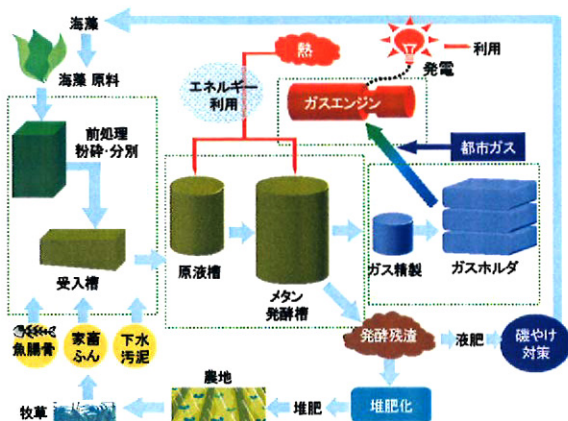


図-10 海藻系バイオマスネットワークと循環システム

5. 主な結論

- ・函館市の代表的な水産物である昆布の残滓他を用いたバイオマス利活用方法の一つとして、発酵試験などの結果からメタン発酵によるエネルギー回収及び液肥生産が有効であると判断される。
- ・生産されたメタンガスは昆布乾燥用燃料として、発酵残渣は昆布養殖用の液肥として、それぞれ利活用が可能であり、昆布養殖の副産物は質を変換して再び昆布養殖に利活用する循環サイクルを確

立することが有効であると判断される。

- ・バイオマス利活用を継続するためには、一次・二次産業従事者、収集運搬業者、利活用技術に関する専門企業、地元企業、大学や研究機関、自治体などの産学官連携が必要であり、さらにはNPO、市民ボランティア、主婦、学生、シルバー世代等の参画と協働も重要である。水産バイオマスの供給の安定化とメタン発酵残渣の処分には、これらを包含したバイオマスネットワークの構築が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) (社)マリノフォーラム：平成 18 年水産系バイオマスの資源化技術開発事業報告書，pp.15-16，2007.
- 2) 米田義昭：貧栄養海域における海そう資源増産のための応用研究，水産学術研究・改良補助事業報告，pp.12-13，1989.
- 3) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：平成 17 年度成果報告書「海産未活用バイオマスを用いたエネルギーコミュニティに関する実証試験事業」，pp.68-71，2006.
- 4) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：平成 18 年度成果報告書「海産未活用バイオマスを用いたエネルギーコミュニティに関する実証試験事業」，pp.71-78，2007.