

未利用海藻の飼料原料化調査

Feasibility Study on Creating a Business in the Solitary Islands
using Seaweed Supplement for Livestock



中 田 真 一	Shin-ichi Nakada	①
上 田 浩 三	Kozo Ueda	②
竹 田 昌 弘	Masahiro Takeda	①
三 木 正 夫	Masao Miki	③
鈴 木 啓 一	Keiichi Suzuki	④

あ ら ま し

離島地域における新産業の創出を目的として、未利用海藻であるノコギリモクを対象とした飼料化事業の可能性を調査した。調査は島根県隠岐の島町で実施し、海藻採取に要する時間、乾燥・粉碎に必要なエネルギーの原単位および未利用海藻の飼料としての効果、原料供給の安定性等の検証を行った。コア技術となる衝撃式粉碎乾燥法は長期保存可能な海藻粉末を従来の半分のエネルギーで製造でき、家畜への給餌効果では、ばらつきはあるものの豚の免疫力向上と鶏の卵黄濃化が確認された。また採取した場所の海藻再生も確認できたことから、未利用資源の有効活用と離島地域における新産業創出の可能性が見出された。

Abstract

A feasibility study was conducted at Oki-island in Shimane prefecture concerning an eco marine business on solitary islands. About 300kg of seaweed can be collected in only one hour. The total energy needed to dry and powder the seaweed was reduced by 55% using the Kinetic Disintegration System in place of the system currently in use. Seaweed powder was fed to pigs to observe its effects on improving immunity. It was also fed to chickens to observe color changes in the egg yolks. Although there were some uneven results, the levels of IgG in pigs were increased. And, the color of the egg yolks became slightly redder. In addition, seaweed regeneration was observed at the place where the seaweed had been gathered. These results show the possibilities of a new business on solitary islands.

1. 緒 言

日本は29,751kmもの海岸線を有しており、この長さは米国の約1.5倍、中国の約2倍に相当している。そしてこの海岸線には多様な生態系が形成されており、中でも海藻は重要な役割を果たしている。その反面、時化などによって浜辺に打ち上げられて悪臭を放つとともに景観悪化の要因となり、漂流時には船舶航行を阻害するなど海岸線を有する自治体の悩みになっている。また食用として加工される海藻も、変色した葉先や根などの切除部分や、養殖の段階において間引いた

もの、硬化して商品とならないものは大量に廃棄されるため、これらの有効活用が望まれている。

大学や企業、国の研究機関等では、このように廃棄物となった海藻をバイオマス資源と位置付けてエネルギー転換の研究開発が進められているが、コスト面や収集量の問題で早期の実用化(有効利用)は難しい状況にある。

一方、海藻にはミネラルや繊維質、アミノ酸といった有用な成分が含まれており、古来より健康的な食品として広く認知されている。人間が食さない海藻でも家畜へ給餌している事例は多くあり、既に国内でもノルウェー産やフィリピン産の海藻(粒状や針状の製品)が家畜の飼料用として、160～300円/kg程度で販売されている。採卵鶏の飼料に海藻粉末を配合することで卵に海藻成分のヨード(ヨウ素)を移行させたヨード強化卵「ヨード卵光」(日本農産工業、商標登録番号、

① Hitz日立造船(株) エンジニアリング本部 開発センター

② Hitz日立造船(株) エンジニアリング本部 開発センター 博士(理学)

③ スチールプランテック株式会社 営業本部 地球環境ビジネス推進室

④ 東北大学 大学院農学研究科 教授 博士(農学)

第4544957号)は有名である。加えて日本近海産の食用海藻には抗癌活性が認められたことも報告されていることから⁽¹⁾、海藻をエネルギー転換するよりも高い価値が備わった製品に変換する方がメリットは大きいと思われる。

そこで当社は平成22年度より、離島における新たなエコビジネスの創出を目的として、島根県隠岐の島町、島根県水産技術センター、東北大学、島根大学の協力を得ながら海藻の飼料化事業の可能性調査を実施し、継続的な雇用創出と環境保全を伴ったシステムを確立しようと試みている。本報ではこれまでの調査において得られた知見を報告する。

2. 海藻飼料原料化の状況

2.1 これまでの状況 我が国には古来より海藻を食する習慣があり、国民はこれらの海藻類が体に良いといったイメージを共有している。学術分野においてもさまざまな研究が行われており、食料自給率向上や生産性の向上という観点から、畜産物の繁殖能力、抗病性、肉卵の品質などの改良を課題とした研究は数多く行われてきている⁽²⁾。しかし、

- ・原料の収集コストが不明確
- ・収集、運搬、粉碎、乾燥など、飼料原料化のための製造コストが高い。
- ・家畜への飼料添加給与効果が定量的に評価されていない。
- ・海藻の供給(量、採取時期)が不確定。

といった問題により、経済性ある事業として成立するまでには至っていない。本調査では、これらの課題を解決すべく、①コスト面、②効果面、③普及面の3点に重点をおき、科学的な評価を進めるとともに、低コスト型の海藻微粉末化手法、持続的な藻場の増殖手法を開発することで地域の実情に合わせた、地産地消型の海藻利活用事業を構築したいと考えている。

2.2 ノコギリモクについて 海藻は多種多様あるが、ワカメやヒジキ、アカモクといった柔らかく消化しやすい海藻は食用として利用されている。しかしノコギリモクのような硬く風味が無い海藻は食用には適していない。過去に隠岐の島町が実施した藻場の現況把握調査では、このノコギリモクを中心とした藻場が広く分布していることが報告されており、日本沿岸域にも大量に分布していることも分かっている⁽³⁾。本調査ではこのノコギリモクを未利用資源として定義し、利活用について検討した。

褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科ホンダワラ属のノコギリモクは多年生の海藻で、本州の東北地方の太平洋岸を除いた地域と九州および四国に分布しており、日本海沿岸のホンダワラ藻場の代表的な構成種となっている⁽⁴⁾。初期の生長が緩慢で群落の形成には数年を要するものの、磯焼けが日本各地で進行する傾向にある中で、形態上の理由でウニ類の食害を受けにくく、

さらに近年の水温上昇に伴って増加傾向にある。また植食性の魚類(アイゴなど)の嗜好性が低いことなどの特徴から、比較的大規模な群落が維持されており、資源的には安定していると考えられる。

3. 海藻飼料製造技術

3.1 原単位の把握 事業化を前提とした場合、収集コストと収集可能量は重要な要素となる。そこで海藻の採取に要する時間と一人当たりの海藻採取可能量を把握するために、隠岐の島町内の漁業従事者の協力を得てノコギリモクの採取に要する時間の計測と、天日乾燥の効果を調べた。

採取量の測定は平成23年に、天日乾燥試験は平成22年、23年の計2回実施した。採取にはサザエ漁に使用する船外機船(20ft)を利用し、3名が乗船して内2名が海面に漂流している海藻を捕集した。1時間で採集できた量は約620kgとなった。天日乾燥は曇天下(平成22年)と晴天下(平成23年)で実施した。平成22年度は2時間程度の天日乾燥(6月上旬、気温15-20℃、湿度約65%、曇り)で採取時の水分が80-85%であった海藻が約50%まで減少することを確認した。H23年度は正午から約18時間の天日乾燥(6月上旬、気温15-25℃、湿度60-69%、晴天)によって、20-23%まで減少して620kgの海藻が天日乾燥後は約160kgとなった(写真1)。



写真1 ノコギリモクの天日乾燥状況

ノコギリモクが漂流・漂着するのは初春から夏の約4ヵ月間であり、この期間の気候を考慮した場合、海藻は簡易な天日干しによって当日中に少なくとも水分50%程度まで乾燥させることは十分に可能であると判断できる(雨天時除く)。さらに時間を費やせば20%程度までの乾燥も容易に出来ることが分かった。

以上の結果から、漁業従事者1名が約1時間程度で約310kg(水分80%)の海藻を採取することができ、同日中に約124kgの粗乾燥した海藻(水分50%)に変換できることが明らかとなった。この粗乾燥した海藻を数十円/kgで売却できれば、回収時の燃料費を差し引

いても漁業従事者にとっては副業としてのメリットがあると思われる。

3.2 乾燥粉碎プロセス 海藻を飼料原料として商品化するためには、長期間保存できることが必須条件となる。そのためにはカビの繁殖や腐敗が起こらないように水分を15%以下にまで乾燥させなければならない。

天日干しによって水分を50%まで数時間で粗乾燥できることが確認されたことから、50%の海藻を15%まで低減させ、さらに粉末にするためのエネルギーを調べた。

試験にはスチールプラントック（株）が保有するKDS（Kinetic Disintegration System）装置を用いた。KDS技術は、木質から下水汚泥まで広範囲な処理対象物に対応できる技術であり、従来技術である加熱＋粉碎方式に比べて省エネルギーであることを特徴としている（図1）（表1）。



図1 KDS（粉碎・乾燥機）

表1 KDS-S2の仕様

名称	KDS(S-2)
形式	衝撃式粉碎乾燥機
能力	10kg/h
駆動方式	Vベルト電動機駆動
電動機	7.5kw
回転バー数量	4本
主要部材質	SS400

一般的な乾燥機は熱風等の熱源を利用して直接または間接的に対象物を熱に晒すことによって水分を気化（蒸発）させる方式を採用しているが、KDSは高速回転する羽根（回転バー）と対象物を衝突させることによって対象物内の水分を物理的に飛散させて乾燥（脱水）する（図2）。対象物中の水分を蒸発させることなくミストとして気層へ移行させるため、気化熱を必要とせず、低エネルギーで乾燥できる。また対象物が木質等の有機物である場合、回転バーとの衝突時に対象物自体が粉碎されるため、乾燥と粉碎が同時に行える。

本調査では、KDS技術が湿潤状態で粘性を有するノコギリモクの乾燥・粉碎に対応可能か、必要とする

前処理法、エネルギー使用量等を把握することにより、前処理も含めたシステム全体を検討した。

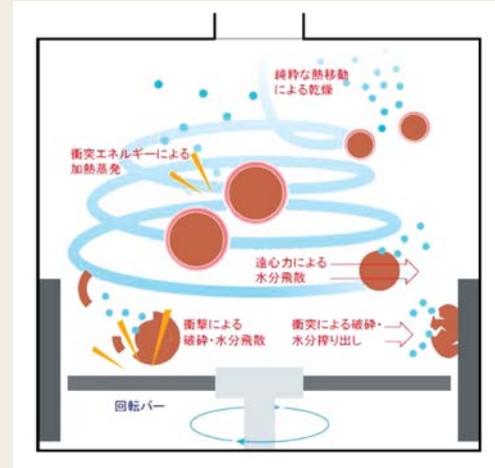


図2 KDSの原理

3.3 粉碎乾燥試験結果 試験には、3.1の天日で粗乾燥したノコギリモク（水分20-23%）を用いた。KDS装置へ投入するための前処理として、簡易な農機具（稲藁裁断機等）によって150-200mm程度に長さを揃えた。

今回使用した試料は水分（20-23%）が想定値（約50%）を大きく下回っていたため、処理量を増量（10kg/h→30kg/h）して運転した。装置から排出された海藻粉末を均等混合して水分を測定したところ、平均水分は約10%、平均粒径は約100 μ mとなった（写真2）。



写真2 海藻粉碎乾燥物

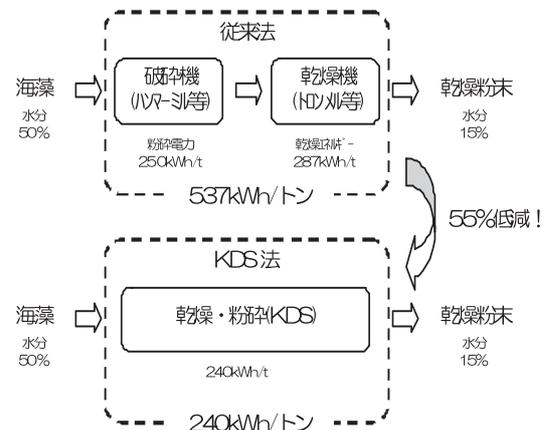


図3 従来技術とのエネルギー比較

また、前年度（平成22年度）に実機レベルの装置（S-6型）で粉碎乾燥したときのデータを基にエネルギー消費量を試算したところ、従来方式である「粉碎工程」+「乾燥工程」のエネルギー消費量に比べて約55%低減できることが分かった。（図3）。なお試験では海藻が回転バーに固着することなく、粉碎・乾燥が行えた。

3.4 海藻の給餌効果 海藻粉末の家畜への給餌効果を確認するために、KDS装置で製造した海藻粉末を用いて鶏・豚への給餌試験を実施した。

（鶏への効果）生後130日の採卵鶏（レイヤー）の飼料にノコギリモクの粉末を0%（対照区）、3%、5%添加して、60日間与え続けた。60日目以降に産んだ卵を生卵、ゆで卵に分けて卵黄の色度を測定したところ、僅かではあるが濃化(赤っぽくなる)が確認された（表2）。特に生卵の卵黄はゆで卵よりも濃化具合が高かった。

これは褐藻類であるノコギリモクに含まれるカロテノイド（黄～赤色の色素）が鶏卵へ移行したことが影響しているものと思われる。市販されている鶏卵は黄身の色が濃い（赤っぽい）方が高値で販売される傾向にあり、養鶏業者の中には濃化を促進させるために高価なパプリカの抽出液等を飼料に添加している事例もある。

本来、卵黄の黄色は飼料中に含まれるトウモロコシの色素に大きく影響されるが、トウモロコシ価格の高騰と農水省による飼料米利用の促進により、卵黄が淡化傾向となり養鶏業者の悩みとなっている。

海藻粉末を飼料の一部に添加することによって鶏卵の価値が向上する可能性が見出されたことから、平成23年度は、肉質と鶏卵のヨウ素量向上、脂肪酸組成の変化を調査して、さらなる製品価値の向上を把握する予定である。

表2 鶏への給餌結果

明度と色度	海藻添加割合		
	0%	3%	5%
生卵			
L	70.36±1.00	67.49±0.37	67.00±0.59
a	-1.99±0.14	-1.05±0.10	-0.10±0.19
b	57.97±0.82	57.63±0.91	56.45±0.98
ゆで卵			
L	86.47±0.25	85.69±0.43	86.67±0.33
a	-5.62±0.13	-4.75±0.14	-4.74±0.27
b	57.95±0.93	58.95±1.31	63.53±1.64

※L, a, b 表色系で、L は明度、a は赤方向、b は黄方向を表す

（豚への効果）共同研究者である鈴木らは、これまでにノコギリモクと同じ褐藻綱ヒバマタ目に属するアスコフィラム・ノドサム（ノルウェー産）を豚の飼料に添加して給与することにより、血中のIgAやIgGなどの液性免疫を高める効果があること⁽⁵⁾、末梢血サイトカイン遺伝子発現量から液性免疫のみならず細胞性免疫を強化している可能性を見出している⁽⁶⁾。そこで、ノコギリモクにおいても同様の効果を期待して豚に対する給餌試験を実施した。

試験は宮城県内の養豚農家の協力を得て行った。通常の給餌量に対して0.5%相当の海藻粉末を飼料に混

合し、給餌開始日より2週目に羊赤血球を豚に接種して免疫活性を調べた。

羊赤血球接種後のIgG（Immunoglobulin G：抗体を形成する免疫グロブリンの一種。感染の後期に形成される）を測定したところ、バラツキはあるものの、無添加区の豚と比べて高い傾向が示された（図4）。

また鈴木らは、これまでの研究においてワカメの茎部を飼料に添加して豚に給与することで飼料効率を高め、肉の加熱損失率を低下させることによって生産効率と食味性を改善する効果を明らかにしている⁽⁷⁾。

このように海藻粉末を添加した飼料を豚に給餌することで抗病性の向上が期待でき、養豚業における抗生剤の使用量低減や畜産物の価値向上につながる可能性も見出された。

今後は飼育頭数を増量して同様の給餌試験を実施し、免疫向上の調査に加えて肉質や脂肪酸組成の向上効果の確認を予定している。

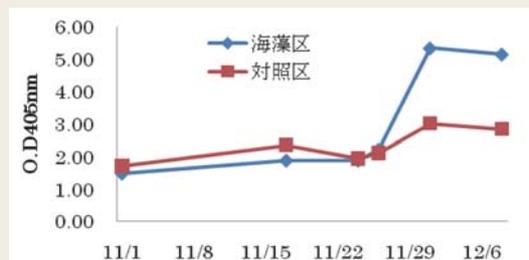


図4 IgGへの海藻添加の影響

3.5 海藻の増殖 原料を漂流海藻だけに依存した場合、収穫量が不安定になることから、計画的な生産は難しい。安定した生産を行うには漂流海藻に加えて生育中の海藻採取も必要となる。しかし、無計画な海藻の採取は生態系破壊につながる。林業では、「山は手入れしなければ荒廃する」、「山林が文明と共存するためには管理が必要」と言われることがある。海藻にも同様の考え方があり、採取のみでなく増殖も行い管理することによって、海藻群落を健全に保持でき、その結果として「稚魚の育成場増加」、「炭素固定」、「景観の保全」といった副次的な効果も期待できる。

そこで隠岐の島沿岸の海域においてノコギリモクを対象とした採取場所の再生状況の観察と増殖について調査した。

採取した藻場の再生については、(株)海中景観研究所の協力を得て隠岐の島沿岸で生育観測を実施した。ノコギリモクは下部の葉・茎・付着器が多年生、上部の葉・中間部の葉・生殖器床・気胞が一年生であるため、一年生部分は例年6～8月に枯死・脱落するが、12月～翌年3月頃にかけて一年生部分が急成長する（写真3）。この毎年入れ替わるノコギリモクの一年生部分を対象として観察した。

藻場においてノコギリモクの一年生部分約4mを15m²のエリアで刈り取り、多年生部分である茎根部1m程度を残して8か月間（平成22年6月～平成23年2月

まで)、追跡観察を行った。その結果、残留茎から順調に新芽が生長し、刈り取った藻場と刈り取っていない藻場はほとんど見分けがつかない程度まで、一年生部分が成長し、藻場が維持されることが確認できた(写真4)。



写真3 ノコギリモク

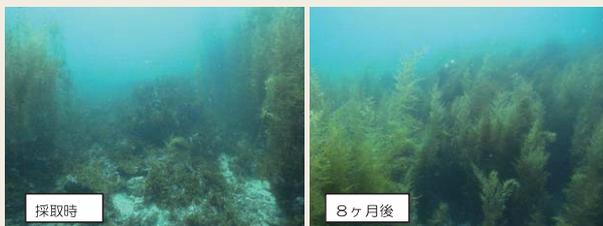


写真4 採取前後の海藻群状況

一年生部分のみの採取によって、ノコギリモクを継続的に採取できることは確認されたが、商業規模で確保するためには、さらなる供給の安定性が必要となる。そこで計画的な採集の一方で、積極的に藻場を増やすことも検討した。鳥根県水産技術センターではこれまでに隠岐の島町の沿岸域において砂場における新たな藻場造成試験を実施しており、砂場に人工的に基質を設置することでホンダワラ類(アカモク、ヤツマタモク)の生育試験に成功している。ノコギリモクの場合、波浪や漂砂などの物理的攪乱の影響が少ない安定した基質に生育する傾向があり、沿岸域での養殖が比較的容易に行えるものと判断できる。そこでノコギリモク養殖の可能性を見出す為に平成23年6月から試験用ブロックを海底に設置して、ブロック表面への孢子付着および海藻の生育を観察している(写真5)。



写真5 藻場造成試験の状況

本試験で得られたデータを検証することによって将来的には効率よく採取可能な人工藻場の開発に取り組み予定である。

3.6 事業性の検討 正確な流通量は把握できていないが、現在国内で販売されている粒状または乾燥したのみの海藻飼料の市場価格が160～300円/kgであることを考慮すると、経費や利益を差し引いた製造コストは100-200円/kg程度が目安となる。従来品に比べて粉末は家畜体内での吸収性が高いことも期待できるため、同等またはそれ以上の価格で販売できる可能性もある。

海藻の粗乾燥物(水分50%)を500kg/hで粉碎乾燥処理した場合、昼間8時間の運転で約2.4t(水分15%)の乾燥粉末になる。必要とされる海藻採取量を逆算すると約10t/日(水分80%)になる。漁業従事者一人当たりの採取能力を310kg/人と仮定した場合、約32人が必要となる。

採取に適した4月から7月の100日間で採取する場合、約1,000tとなり、過去に隠岐の島町が実施した海藻の仕向け量(安定的に確保できる量)が3,000t/年であった。これに増殖分を加味すると、隠岐の島町内では少なくとも2,3か所に装置が設置できることになる。

既存の海藻飼料と同価格(160-300円/kg)と仮定して500kg/hの装置を設置した場合、年間(4ヶ月間)の海藻粉末生産量は38～71万円/日となり年間38百万円～71百万円程度の売り上げが期待できる。

採取時期の関係で年間の装置稼働日数が100日程度となるため、装置の償却効率を改善するためには、メタン発酵やバイオエタノール、バイオマス燃料といったバイオマスプラントの前処理装置として併用することが望ましい。そうすることでさらに収益の増加が期待できる。

図4に海藻飼料化を事業化した場合の製品の流れと関係者のメリットを示す。海藻を採取する漁業従事者は粗乾燥した海藻を事業者に売却することにより、安定的な所得向上が予想され、若い世代の参画も期待できるようになる。海藻粉末を製造・販売する事業者は畜産農家(農協・商社)に売却することで利益が得られ、畜産農家は海藻飼料によって抗生物質等の使用が低減でき畜産物の差別化・ブランド化が図れる。

また畜産物を食する消費者は化学薬品が低減された安心・安全な食品を得ることができ、自治体は雇用の創出と税収増加が期待できることに加えて海藻増殖による地域における炭素固定、里海再生が実現できる。

現在、国内で流通している家畜の配合飼料は約2500万トンあり、海藻粉末を1%添加するには25万トン必要となる。仮に海藻粉末の価格が200円/kgと仮定すると、500億円/年規模の市場となる。全ての配合飼料に採用されることは難しいと思うが、世界に目を向けるとその何十倍もの潜在市場が存在している。

現在は基礎調査の段階であるが、平成24年度以降に農水省や経産省の実証事業に応募して、隠岐の島に

おける事業性の検証と見極めを行う予定である。

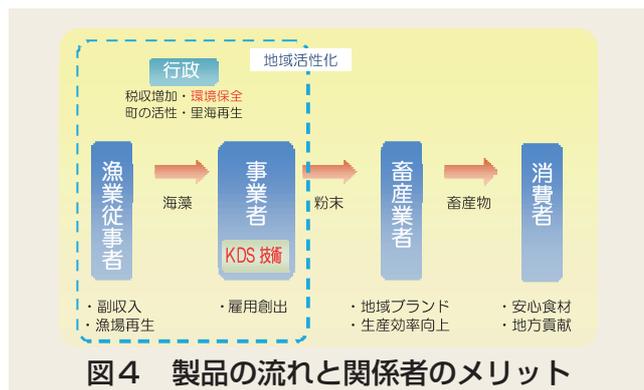


図4 製品の流れと関係者のメリット

4. 結 言

環境問題の要因となっている未利用海藻を対象とした離島における環境保全型の新ビジネスの可能性を調査した。

衝撃式乾燥粉碎技術によって、低コストで海藻粉末が製造でき、家畜の抗病性や鶏卵の濃化に寄与する可能性が示唆された。また海藻を収穫するための時間やコストが把握でき、採取藻場の再生も確認されたことから、海藻飼料化事業の可能性が見出された。

隠岐の島町には人口減少、産業の衰退、高齢化といった日本の離島が抱える諸問題がある。これまでの当社のビジネスは1つの問題が発生すると（隠岐の島では漂着海藻の問題）、それを解決するための手段（焼却・コンポストなど）を提案し、装置を提供することが一般的であった。しかし環境問題の大半は費用を税金で賄うため、財政的要因により設置したもののランニングコストが賄えず装置を放置せざるを得ないケースも多かった。本試みは、1つの問題だけの解決ではなく、他の問題も取り込んで2、3の技術(効果検証)を提案し、これらの技術が相互的に作用することによって地域に見合った新たな価値を創造する。このような提案は企業だけでは成立せず、地元の自治体や大学と共に見出していくことが良い結果につながるものと思われる。

エンジニアリング本部開発センターでは、日本の離島が抱える諸問題を「地域資源」、「環境保全」、「雇用創出」をキーワードにして、Hitzグループが有する技術をアプライすることで未利用地域資源を価値ある資源（製品）に変換し、新産業を創出することを目標としている。本調査はよってその可能性を見出すための試みである。

同様の問題を抱える地域は国内のみならず海外にも数多くあり、本試みが成功した場合は国内外の他の地域への普及は十分に期待できる。この変換技術と継続性ある事業の立案、地元自治体や地元企業と協力した事業展開を進めながら、農林水産分野における環境保全事業（エコ・アグリ事業）のパイオニアを目指したい。

参考文献

- (1) 山本一郎ほか：21世紀の海藻資源、緑書房、1996
- (2) 前多隼人ほか：海藻由来フコキサンチンの脂肪細胞に対する分化調節機能と肥満効果、食品工業、2005、48（8）、1-7
- (3) 海中景観研究所：隠岐の島町沿岸域における藻場等の漁場環境の現況把握調査報告書、2009
- (4) 海の自然再生ワーキンググループ（国土交通省港湾局監修）：順応的管理による海辺の自然再生、2007
- (5) 鈴木啓一ほか：海藻、βグルカン、酵母の飼料添加給与が育成豚の発育、免疫能に及ぼす影響、日本畜産学会会報、2009、80（1）
- (6) Katayama et al：Effect of dietary addition of seaweed and licorice on the immune performance of pigs, Animal Science Journal, 2011, in press
- (7) 鈴木啓一ほか：乾燥ワカメ茎とパン屑添加飼料給与が豚の産肉・肉質に及ぼす影響、日本養豚学会誌、2002、39（2）、66-70

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) エンジニアリング本部
開発センター
上田浩三
Tel : 06-6569-0163 Fax : 06-6569-0197
e-mail : ueda_k@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Engineering Headquarters
Business & Product Development Center
Kozo Ueda
Tel : 81-6-6569-0163 Fax : +81-6-6569-0197
e-mail : ueda_k@hitachizosen.co.jp



中 田 真 一



上 田 浩 三



竹 田 昌 弘



三 木 正 夫



鈴 木 啓 一