

財団法人 油脂工業会館

第44回表彰

油脂産業優秀論文

審査委員特別賞

東日本大震災からの復興に貢献する油脂産業

地の利を活かした
微細藻類バイオマス・エネルギー産業への挑戦

花王株式会社

おかの てつや
岡野 哲也

ほんま ゆういち
本間 祐一

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 第1章 被災地の現状と行政の復興グランドデザイン | |
| 1-1 被災地の現状 | 1 |
| 1-2 行政の取り組み | 2 |
| 1-3 仙台市の取り組み | 3 |
| 第2章 微細藻類バイオマスの現状と課題 | |
| 2-1 微細藻類バイオマスの現状 | 4 |
| 2-2 微細藻類バイオマスの課題 | 4 |
| 第3章 微細藻類バイオマスによるエネルギー産業創成の提案 | |
| 3-1 バイオリファイナリー（残渣の高度利用） | 5 |
| 3-2 微生物の活用 | 5 |
| 3-3 地の利を活かした製造プロセスコストの低減 | 6 |
| 3-3-1 宮城県、福島県での取り組み提案 | 7 |
| 3-3-2 岩手県での取り組み提案 | 7 |
| 3-4 実現に向けたロードマップ | 9 |
| 3-5 コスト試算 | 9 |
| 3-6 新たな雇用の創出 | 10 |
| 3-7 世界への貢献 | 10 |
| おわりに | 11 |
| 参考文献 | 12 |

はじめに

人類史上4番目の大きな地震であった東日本大震災は、その後発生した津波によって未曾有の被害をもたらした。日本政府の復興対策本部の発表（2012年7月11日）では、死者1万5,867人・行方不明者2,906人、全壊・半壊した住居数37万戸余り、避難・転居者数34万4,171人であり、その被害の大きさは16年前に発生した阪神・淡路大震災をはるかに超えるものとなった（図1）。特に津波被害の大きかった東北沿岸地区では、14万～20万人の方が自らの住居と同時に職を失った。¹⁾ それだけに被災者にとっては、住居の確保と共に、産業復興による新たな雇用創出がきわめて重要である。その際、被災した3県（宮城・福島・岩手）を含む東北地方が高齢化と人口減少という、日本国が抱える問題を先取りしてきた地域である点を考慮する必要がある。さらに、福島第一原子力発電所の事故による放射能汚染は、最終処理の完了までに1世代以上にもわたる時間を要する恐れがあり、原子力発電所の安全性が問われている。日本政府は、2012年7月に電力不足による停電を避けるために大飯原子力発電所3号、4号機の再稼動を実施したが、首相官邸前では20万人規模の抗議活動が行われており、エネルギー問題は早急な対策が必要である。

こうした課題を解決する為には、被災地の将来を見据えた大きな取り組みに対し、集中的に人・モノ・金を投下すべきである。そこで筆者らは、行政が掲げる復興のグランドデザインを取り入れ、油脂産業界がイニシアチブを持って貢献できる案件として、「微細藻類バイオマスによるエネルギー産業の創成」を提案する。藻類からオイルを採取し燃料を生産する考え方は、過去多くの提案がなされてきているが、採算性など様々な課題があり未だ実現できていない。今回、筆者らは被災地の有効資源を使い、複数の技術を組み合わせて微細藻類を徹底的に有効活用することで採算性を高め、被災した東北3県に微細藻類バイオマスによるエネルギー産業を5年以内に立ち上げることを提案する。

第1章 被災地の現状と行政の復興グランドデザイン

1-1 被災地の現状

復興を考えるにあたり、まず被災地が抱えている現状の課題を理解する必要がある。筆者らは、震災から5ヵ月後（2011年8月）と1年4ヵ月後（2012年5月）に被害の大きかった陸前高田と釜石を訪問した。震災以降、各種メディアが連日のように被災地の状況を報道していたので、ある程度は現状を理解していたつもりであった。しかし、被災地で目の当たりにしたその光景は、全ての建物が流され破壊され見渡す限りガレキと化しており、筆者らが想

像していたよりもはるかに酷い状況であった。被災地では、インフラの早期復旧のために、関連企業の方が長期滞在し、仮設住宅では多くのボランティアの方が活動していた。その甲斐あって徐々に町も整備されて復旧が進み、活気が戻ってきているように見えた。しかし地元の方に話を聞くと、新たな難しい問題に直面している事がわかってきた。

今の被災地には、地元の若者は殆どいないのである。被災地では、復旧の為に土木作業の求人は非常に多いが、それ以外の仕事がなくなっているため、地元の若者は職を求めて都市へ流出している。総務省の統計によると、被災した45市町村の人口は、震災以降6万5千人が減少しており（死亡、行方不明者1万9千人を含む）、約4万5千人が震災以降に移転しており、そのうち80%が30代以下である²⁾（図2）。東北は震災前から高齢化と人口減少の問題を抱えており、特に被災地では今回の震災によって若者の人口減少が急速に進み、今や超高齢化地域になっている。この状況で被災地を震災前の状態に復旧させても、超高齢化問題が解決されない限り本格的な復興は難しい。我々が考えるべき被災地の復興は、「持続可能な社会を創成すること」であり、その為には新たな産業創成による若者の雇用創出が必要である。それも一企業が出来る程度の小さい規模ではなく、行政を巻き込んだ大規模な取り組みを推進しなければ意味がない。また、復興であるのだからスピードが必要であり、せめて今後5年以内に実現可能な取り組みにしなければならない。その実現のためには、行政の掲げる復興のグランドデザインを十分に理解し、これに添った形で油脂産業界として貢献すべきテーマを考え、人・モノ・金を集められる取り組みにする必要がある。

1-2 行政の取り組み

行政が目指す被災地復興は、復興庁の前身である「東日本大震災復興構想会議」にて、復興のグランドデザインの骨子として4つの基本方針が示されている^{3) 4)}（図3）。

- 1) 次世代を見据えた国際競争力のある「地域産業」の再生
- 2) 地域資源を活かした「東北らしい」社会の再生
- 3) 未来につながる新しい「産業基盤」の再生
- 4) 「東北の発信」と体制の整備

短期的には復興に向けた街づくりを早急に進める必要があり、津波で被災した沿岸地域においては住居を内陸部や高台に移転させ、海岸に近い平野部では農地や産業を設置する方針が示されている。これにより海岸近くの平野部では、新たな産業に活用できる広大な土地が整備されることになる（図4）。

行政は、この土地に自然、バイオマス・エネルギーを中心とした『スマートビレッジ構想』を検討している。これは、バイオマス発電（木質バイオマス、家畜排泄物）や太陽光発電、小

水力発電、風力発電など、様々な発電を組み合わせることで、被災地をエネルギー生産拠点とする構想である（図5）。

しかし実現には問題も多く、最大の課題は電力発電コストが高いことである。日本政府が設立したエネルギー・環境会議のデータ⁵⁾をまとめたものを図6に示す。主力の火力発電（LNG、石炭、石炭混燃）に比べて、木質燃料は2～3倍、太陽光発電のメガソーラーに至っては3～5倍もの発電コストになる。比較的lowコストである風力発電や地熱発電も様々な課題を抱えている。風力発電は、風の赴くままに発電するため発電量が大きく変動し、現状は電力会社が火力発電所の出力を調整してこの変動分を吸収している。電力会社は不安定な風力発電を電力網に組み込むことで電力の品質が低下することを懸念している。また、地熱発電は、温泉の多い東北では昔から利用されているが、源泉の枯渇による温泉街への影響が懸念され、熱源の大部分が国立公園の敷地内にあるため自然破壊につながるうえ、過去に開発段階で事故が多発したこともあり、地元の反対が強く普及が進まない状況である。

1-3 仙台市の取り組み

こうした背景のもと、仙台市経済局では震災復興策として、近年注目されている「微細藻類バイオマス」によるバイオディーゼル燃料の製造を検討している⁶⁾（図7）。従来の油糧作物としてはパームやヤトロファなどが主流であるが、これらに比べて微細藻類は圧倒的に高いオイル収量が見込めることから、グリーンダイヤとも呼ばれ、世界中の研究機関で開発が加速している^{7) 12)}（図8、9）。日本においては、2010年に筑波大学の渡邊信教授らのグループによって高効率で炭化水素を作り出し細胞内に溜め込む事ができる「オーランチオキトリウム」が発見されており、仙台市は筑波大学と東北大学と連携して共同開発をスタートさせ、仙台近郊の南蒲生浄化センターの排水を利用して今後3～4年かけて実証実験を行う予定である⁶⁾。

このように行政の目指す、被災地における『スマートビレッジ構想』に対して、微細藻類バイオマスによる実現可能性は高く、新産業として構築できれば、新たな雇用創出に繋がる。原発事故による放射能被害を受けている被災地から、新たなエネルギー産業を実現させていくことの意味合いも大きい。これこそ油脂産業界がイニシアチブを持って貢献すべき領域であろう。

第2章 微細藻類バイオマスの現状と課題

2-1 微細藻類バイオマスの現状

微細藻類バイオマスは、先に述べた通り陸上生物と比べてオイルの生産量が10倍以上と高収率が見込まれる点に加え、以下のような利点がある。

- 1) 陸上植物と比較して、高いCO₂固定化能を有する
- 2) 硫黄分を含まない
- 3) 種によって、様々な油種を生産可能

実用化のためには、低コストでオイルを製造し、油脂・炭化水素の含有量が高く、培養速度の大きい優良種を見出すことが必要になる。現在実用性の観点から、前述したオーランチオキトリウムのほか、ボトリオコッカス、シュードコリスチスの3属種が注目されている^{8) 9) 10)} (図10)。

ボトリオコッカス・ブラウニイ (*Botryococcus braunii*) は古くから研究されており、藻体乾燥重量の約70%という極めて高いオイル産生効率を有し、年間30~40万トン/haという驚くべき生産効率を示す種が見出されたという報告もなされている^{9) 11)}。しかしながら増殖速度が遅く、増殖を十分に屋内で行ってから太陽光を使いオイル産生を屋外で行う必要があるなど、運用面での課題が指摘されている¹⁰⁾。

一方、シュードコリスチス・エリプソイデア (*Pseudochoricystis ellipsoidea*) は前述のボトリオコッカスに比較して、増殖速度が極めて速く、軽油相当の直鎖炭化水素鎖を有するオイルを産生するが、オイル産生効率が低いという課題を有する¹⁰⁾。

また、近年、藻体量に対するオイル産生効率が50~80%を示すことや、年間1万トン/haという高いオイル生産効率を示すと同時に、従属栄養性で光合成を行わないため屋内・屋外にかかわらずどこでも培養可能というユニークさで異彩を放っているのが前述のオーランチオキトリウム (*Aurantiochytrium limacinum*) である^{6) 9)}。これらの他にも、ユーグレナ (ミドリムシ) など、魅力的な微細藻類種が実用化にむけて研究されているが、それぞれに一長一短があるのが実情である。

2-2 微細藻類バイオマスの課題

このように、関連する研究もユニークで年々深化はしているものの、化石燃料と比較して極めてコストが高いため、産業として独り立ちする目処は立っていない¹⁰⁾。現在、最も高収量で期待されるオーランチオキトリウムでさえ、オイル収量を50%とするとオイル単価は57

0円/ℓ となり、軽油の約6倍のコストになる試算である。したがって、単に微細藻類からオイルを採取するだけではなく、①バイオリファイナリー（残渣の高度利用）と、②地の利を活かした製造プロセスコストの徹底的な低減が必要になる。次章ではこの2点にフォーカスし、東北地方と結びついた油脂産業としての可能性を考察することとする。

第3章 微細藻類バイオマスによるエネルギー産業創成の提案

3-1 バイオリファイナリー（残渣の高度利用）

微細藻類の育成は、コスト面から安価な Open Ponds 方式、またはコンタミネーション防止や蒸散防止、そして効率的で安定的な光合成促進によってオイル生産を安定化できる Photobioreactors 方式のいずれかで運用される^{9) 12)}。現状では、効率的な搾油を行う理由で、いずれの方式も回収藻体の細胞壁を物理的に破壊するため、搾油後に藻体残渣が生じ、この残渣にはタンパク質や糖類が多量に含有されている。したがって、これらを高度に利用して使い尽くす、いわゆるバイオリファイナリーを進めることがコスト低減に有効であると考える^{9) 10)}。現在、バイオリファイナリーの検討例として、高付加価値を有するビタミン類などの生理活性物質の抽出や肥料および家畜飼料への転用、ペレット化して燃料にすることが挙げられているが、いずれもコストを大きく下げることができず実用化には至っていない。

3-2 微生物の活用

ここで筆者らは、技術的には微細藻類バイオマスの延長線上に位置する“微小生物体”（いわゆる狭義の微生物）のオイル産生に目を向け、これらを効果的に組み合わせて限られたバイオマスを徹底的に使い切ることでオイルを効率的に生産するシステムの構築を検討した。“微小生物体”とはバクテリア類（細菌）や真菌類（カビ；糸状菌、酵母）を指し、これらがオイル産生を行う報告は少なく、ゆえに微細藻類ほど広く深い検討は行われていない。以下、バクテリア類（細菌）や真菌類を「微生物」と記す。

バクテリアや真菌は40～50分に1回分裂され、微細藻類（速い種で約5～10時間に1回分裂）と比較して圧倒的な成長スピードが魅力であり、更に光合成を必要としないため、材質にこだわらない縦型のコンパクトなタンクで培養が可能である。しかしながら、最も大きな課題として、これらの生物体は従属栄養性のため、対象微生物のエサとなる培地が必要になる点が挙げられる。培地の成分としては菌体を増やすためのタンパク質、更に炭素源となる糖質が必須だが、オイルを得るためにコストをかけて有機物類を与えるという矛盾を持つシステム

になる点や、繊細な温度を管理する点で二の足を踏む状況が予想される。

さて、ここで搾油後の微細藻類残渣に係わるバイオリファイナーに目を向けてみよう。搾油後の微細藻類残渣は前述の通り、大きくはタンパク質および糖質から構成され、まさしく培地成分のそれと一致する。すなわち、この残渣を培地へ再利用することにより、バクテリアや真菌を用いたオイル産生における大きな課題の解決が可能となる。(図11、12) 微細藻類の乾燥重量を占める30～50%程度のオイルを搾油後、残りの50～70%の残渣を培地成分としてバクテリアや真菌を培養し、最小限のコストで更にオイルを搾り取るのである。

ここで培養対象となりうるバクテリアや真菌として、炭素数C8からC10程度の中鎖脂肪酸を効率よく産生する種が見出されており (*Lipomyces* 属、*Rhodospiridium* 属、*Vibrio* 属、*Mortierella* 属等)^{13) 14)}、中には微細藻類と同等の30%～50%程度のオイル産生(乾燥重量比)を示す酵母もある上に、酵母種を選択すれば、バイオエタノールを産生させることも可能となる。

本微生物を用いた搾油シミュレーションを行ってみると、例えば、乾燥微細藻類から50%搾油し、50%の残渣を全て2段階目のバクテリアや真菌に活用した場合、ここで用いる種を50%程度の優れたオイル産生効率を有するものに設定することで50%+(50%×50%)=75%程度まで搾油効率を向上できる。この条件において、単純計算でもオイル換算で380円/ℓまでコストダウンが可能となるが、これらの微生物搾油プロセスに際して、微細藻類のような強烈な細胞壁破壊が不要な点や、微細藻類の5～10倍という培養スピードを考慮した生産の高効率化(回転率向上)も秘めており、更なるコストダウンも期待できる。

本提案を用いる場合、第1段階目のオイル産生に用いる微細藻類種や、その培養手段は問わない。すなわち、その場所・環境に適したものを選択し、そこから排出される第2段階目の微生物培養用培地となる微細藻類残渣さえあれば適用できるシステムとなっている。現在検討されている種々バイオリファイナーの例に比較しても、「徹底的に生産物をオイルに対象を絞って事業化する」という一貫性のある魅力的なシステムといえよう。

残渣を環境に負荷をかけずにオイルへ変換して使い切るという、これまでに無い超効率的なオイル産生システムの構築は、これまでの技術の蓄積がある微細藻類を利用したシステムをより効率的に活用するためにも大きな意味を持つと考える。

3-3 地の利を活かした製造プロセスコストの低減

微細藻類から効率的にオイルを得るためには、微細藻類が生育しやすい環境、広大な土地の確保、油分採取の低コスト化などを総合的に考えなければならない。藻類の成長には、温度・光・CO₂が不可欠な因子であるが、東北においては特に温度への考慮が重要である。東北の

冬は寒さが厳しく、図1-3のとおり比較的温暖な地域である宮城県や福島県の沿岸であっても、12月～3月の平均気温は5℃を下回る。例えば前述のオーランチオキトリウムは、培養温度が15℃なら6時間、20℃なら4時間で2倍に増え、温度変化は±10℃以下の制御が必要とされており、温度条件がオイルの収量に大きく影響する。¹⁵⁾

つまり、東北での微細藻類バイオマス事業の実現には、温度制御が鍵となる。そこで我々は、発電所の廃熱を利用することを提案する。宮城県と福島県の沿岸には、4ヶ所の火力発電所、東北内陸には6ヶ所の地熱発電所が稼働している(図1-4)。この廃熱を有効利用することで、最適な温度条件で微細藻類を育成し、高収率にオイル製造を実現させるのである。

3-3-1 宮城県、福島県での取り組み提案

宮城県には、仙台市の沿岸部に仙台火力発電所と新仙台火力発電所があり、福島県南相馬市には相馬共同火力発電所、原町火力発電所、双葉郡には広野火力発電所があり、原町火力発電所を除く4つの火力発電所が震災から復旧して現在稼働している。これらの周辺の農地は、津波による塩害や放射能汚染の問題で、農地としての利用は困難な状況であり、広大な土地が放置されている。これらは、東北でも随一の長い日照時間に加え、比較的温暖な土地であり、微細藻類の生育環境に適している。東北最大都市の仙台近郊で生産するオイルの地産地消が可能となる点も含め、微細藻類バイオマス事業の創成に魅力的な地域といえよう。さらに、火力発電所で発生するCO₂を微細藻類の育成に利用し、CO₂の固定化も同時に実現できるメリットも大きい。これは行政の推進する『スマートビレッジ構想』の一環としてすぐに取り組めるため、前述のバイオリファイナーと組み合わせて早期立上げを提案する。

3-3-2 岩手県での取り組み提案

東北地方は日本の中でも火山が多く、ゆえに地熱資源が極めて豊富なことで知られ、事実、八幡平市の松川地区では日本初の商用ベース発電が行われている¹⁶⁾。

一方、本発電所に程近い八幡平市松尾地区には、これも火山の賜物というべき「硫黄」を採掘していた松尾鉱山(既に閉山)が存在する^{17) 18)}。松尾鉱山はかつて東洋一の硫黄鉱山であったが、石油精製から得られる安価な回収硫黄が市場を席卷するにしたがって採算悪化を辿り、1972年に完全閉山している。しかしながら閉山後の鉱山跡からは硫黄化合物が雨水や地下水に溶け込むことによって硫酸性の強酸性水となり、付近を流れる北上川の支流、赤川に流出し鉱毒問題を引き起こすことになる。

岩手県は1982年より大規模な中和施設を建設・稼働させ、今なお24時間年中無休で毎

分約20トンもの坑廃水を年間約5億円もかけて中和処理してから赤川に放流している¹⁷⁾。これは未来永劫続く、岩手県にとっては終わりなき「希望の見えない事業」といえよう。

このように、放置されている松尾鉱山跡ではあるが、広大な土地と採掘跡の地下坑の存在、さらには5km以内に松川地熱発電所を始めとした豊富な地熱資源が存在する。最新の報告ではNEDO主導で鉱山跡からわずか1km足らずの地区で岩手八幡平地熱発電所（仮称）の計画が進められている（2013年度運転開始目標）（図15、16）^{19) 20)}。これらの施設から温熱をパイプラインで松尾地区まで移送して空調に有効利用することで、北東北の厳しい気候であっても外気の影響を受けず、さらには坑内培養を採用することで、微生物の大量培養という工程をクローズな状態で行うことも可能になるため、微細藻類や微生物類を生育できるシステムを構築するにふさわしいと考える。

最後に、地熱資源の活用に加えて、松尾地区で微細藻類オイルや微生物オイルの製造が適切である決定的な理由、および運用方法の提案を以下に述べる。ここでは発想を逆転し、厄介者たる「硫酸酸性水」を有用物へ変換、そして地域の再生まで含めた微細藻類・微生物バイオマス産業の創成に係わる提起をおこなう。

現状、実際の中和工程では、2008年度実績ベースで年間約6,400トンの「炭酸カルシウム」が使われ、結果として、約8,700トンもの石こうを主とした中和産物が生成し、近くの貯泥ダムに貯留・放置されている¹⁸⁾。

微細藻類バイオマス事業において、搾油工程の「脱水・乾燥工程」がコストに大きな影響を及ぼす。脱水・乾燥手法の一つに、塩類を用いた化学的脱水工程の導入が有効であり、特に脱水作用の強い「芒硝（硫酸ナトリウム）」を用いるのが良い。しかし、山深い松尾地区まで比較的高価（60円/kg；標準市価ベース²¹⁾）、かつ重くかさばる芒硝を運び込むのは現実的でない。

ここで、現在の中和剤である炭酸カルシウムを炭酸ナトリウムに変更し、無限に湧き出る硫酸酸性水を中和することで、乾燥剤となる芒硝を大量に作る事が可能になる。化学量論的にシミュレートすると、中和に必要な炭酸ナトリウムは現在使用されている炭酸カルシウムとほぼ同量の年間約6,800トンで済み、そこから中和によって約9,000トンの芒硝が生成する。炭酸ナトリウムは標準市価ベースで50円/kg²¹⁾と炭酸カルシウムの20円/kg²¹⁾と比較し2.5倍の中和剤コスト増となるが、6,800トン×50円/kgの価格（3億4千万円）で9,000トン分の芒硝（5億4千万円）が自動的に、かつ使用するその場で作り出せる魅力は大きい。さらに特筆すべき魅力的な中和副生成物として、3,000トンものCO₂の生成を挙げることができる。3-3-1項の火力発電所の有効利用で触れたとおり、CO₂は言わずと知れた微細藻類の重要な成長エネルギー源であり、高濃度・高純度のCO₂を絶えず供給できるメリットは計り知れないものがある。

以上、松尾地区は被災地と同じ東北地方にありながら、その有効な自然資産を利用しきれず、むしろ「悪」の部分のみクローズアップされてきた地域であるが、震災・津波で大きな被害を受けた地区と同様に、広大な土地を活用できないという同じジレンマを抱えた地区と言えよう。両地区とも新規産業の創成という大きなチャレンジにおいて、地域の自然特性を大いに利用することで、産業が根付き、人が集まり大きく発展し、そして地域の元気ひいては日本の元気へと良い連鎖を生む原動力になると同時に、世界に誇る日本の技術力を示すことができる象徴的な事例になるものと考えられる。

3-4 実現に向けたロードマップ

微細藻類バイオマスによるエネルギー産業の創成・実現に向けたロードマップを図17に示す。前述の3-1から3-3項で論じた各々の提案はそれぞれが独立することなく、東北被災3県の中でその地域性・地の利を十分に生かしながら事業化に向けてアクションを取ることが極めて重要である。

第一に、前述のとおり微細藻類バイオマスの研究は各所で精力的に取り組まれているが、東北における産業創成へ速やかに結びつけようとするならば「待ったなし」の状況であり、もはや個々で小ぢんまりと研究の進行を競っている状況ではないと言えよう。今こそ有力で実現性の高いものを選定し、大胆で思い切った国家予算投入のもと、向こう2年以内に室内ラボレベルの検証から、小さいながらも実地検討段階へ確実に前進させる必要がある。

そして第二に、現状、荒廃している八幡平市松尾地区の旧鉦山整備についても、同地区で既に進行している地熱発電事業と開発を包括的に行うという、実用化に向けた期日の短縮化に繋がる方策を採らなければならない。本提言を確実に前進させるためには、早急に産-学-官の連携体制の整備を進め、3年以内に事業モデルが仮稼動すれば、5年後以降の本格事業化が見えてくる。

3-5 コスト試算

これまでの論点を踏まえコスト試算を行った。現在、搾油前の乾燥微細藻類はおおよそ285円/kgと試算されている¹⁰⁾。今回の提案を用い、まず〔1〕東北地方の地の利を生かした徹底的な製造プロセスの低減を組み合わせることで、旧松尾鉦山の活用による設備費▲80円、搾油費（芒硝利用：乾燥に係る費用）▲20円、培養に係わるユーティリティ費や培地費など▲15円の合計115円の低減が試算され、乾燥微細藻類費は170円/kgに大きくコストダウンが見込まれる。さらに、新規提案する〔2〕バイオリファイナリーやそれを活用した微

生物のオイル産生システムを導入することで、オイルは約200～230円/kg（170～195円/l、比重0.85とする）までコストダウンが可能となる。加えて、微細藻種の最適化やバイオリファイナリーに用いる微生物種の最適化や産生能力を向上させるべく遺伝子組み換えを施すことで、軽油の100円/lまで近づくと予想される（図18）

日本だけでなく、世界中で研究開発が進行している微細藻類バイオマス事業はオイルを生産するコスト構造から一進一退しており、実現までの道のりは険しいと言わざるを得ない。特に日本は世界的に見ても、有力な微細藻類の選定や、搾油に係わる技術力は高いレベルを持ちながらも、思い切った資金投入に二の足を踏む状況が続いている。今回の提案である、「微生物への二次利用を前提にしたバイオリファイナリーの活用」と「地の利を活用」という組み合わせは、被災地である宮城県、福島県、岩手県において、微細藻類バイオマスによるエネルギー事業実現化へのハードルを大きく下げることができると確信している。

3-6 新たな雇用の創出

ここでは、我々が目指す「微細藻類バイオマス事業」における、ビジネススキームと新たな雇用創出について述べる。本事業は、宮城県仙台地区、福島県相馬地区、岩手県八幡平地区の3拠点から開始させる。宮城県と福島県では、隣接する火力発電所から排出されるCO₂と廃熱を微細藻類の育成およびオイル製造に活用し、生産したオイルは全て火力発電所の燃料として使用する。3-3-1項で示した現在稼動している4ヶ所の火力発電所で使用される重油の全量を微細藻類バイオマス由来のオイルに置き換えると、年間90万トンのオイルが必要となる。岩手県においては40万トンのオイルを製造し、製造したオイルは暖房用の灯油と農作機械用の重油に分離して一般消費者向けに販売する。岩手県の世帯あたりの灯油消費量は1,100l/年であり、本プロジェクトにより八幡平市、盛岡市を含む4市4町1村（25万世帯）の100%を補うことができる。3拠点で計130万トンのオイル製造および販売を想定すると、本事業に関係するだけでも3,000名以上の新たな雇用創出が見込まれる。さらに、CO₂の排出量を抑制できるため地球温暖化にも貢献し、近い将来、国内外でのCO₂排出権取引制度が本格導入されると、新たなビジネススキームの構築が考えられ、その雇用創出への影響は非常に大きなものとなる。

3-7 世界への貢献

世界的に見て、新興国の人口増加と経済発展により、これからエネルギーは大いに不足する。それ故に、福島第一原子力発電所の事故があったにも関わらず、世界規模での「原子力発電所

の建設ラッシュ」は進み、2012年現在の427基に対して2025年には760基まで増設される予定である²²⁾ (図19)。特に、中国、インド、ロシア、米国が積極的であり、アラブ首長国連邦などの産油国までも原発建設に乗り出している。各国が原油資源に依存しないエネルギー源を確保したいという強い欲求が、原発の抱えるリスクへの懸念を吹き飛ばしているのだろう。

今こそ日本は東日本大震災からの復興を旗頭に、世界に先駆けて「微細藻類バイオマスによるエネルギー産業を創成」し、それをパッケージ化した事業化モデル・システムを各国に輸出することで、世界の原発建設を抑制できる可能性を生み、世界貢献に繋げるべきであろう。そのために、東北の実施拠点を「新エネルギー経済重点支援特区」と定め、国家戦略として集中的に人・モノ・金を投資して開発スピードを加速させたい。具体的には、参画企業には税制優遇措置を適用して人と技術の提供を促し、さらには東北大学と岩手大学をエネルギー産業の人材育成拠点と位置づけて取り組むことで、将来にわたってバイオマス・エネルギー産業を発展させられると考える。

おわりに

「最大の危機こそ、最大のチャンス」と言うには、あまりにも被災地の現状は深刻である。政府は2014年3月までに復旧活動を完了させる方針を示しており、これは確実に滞りなく進めて欲しいところであるが、復興ビジョンについて、絵に描いた餅を提示することは復興の助けどころか短期的には阻害要因にすらなりかねない。今、現在の被災者に提示すべきことは10年先の姿ではなく、3～5年先の実現可能な姿であり、そこに到達するための現実的な道筋であることを強調する。油脂産業界がイニシアチブを取り、行政と連携して産官学が一体となって『スマートビレッジ構想』を実現させ、東北にエネルギー産業の一大拠点を構築するべく、新しい枠組みや特区の導入といった大胆な取り組みを推進すべきである。

東北が震災から素晴らしい復興を遂げて、世界の脱原発を先導し、安全・安心な社会の実現に貢献することを期待する。

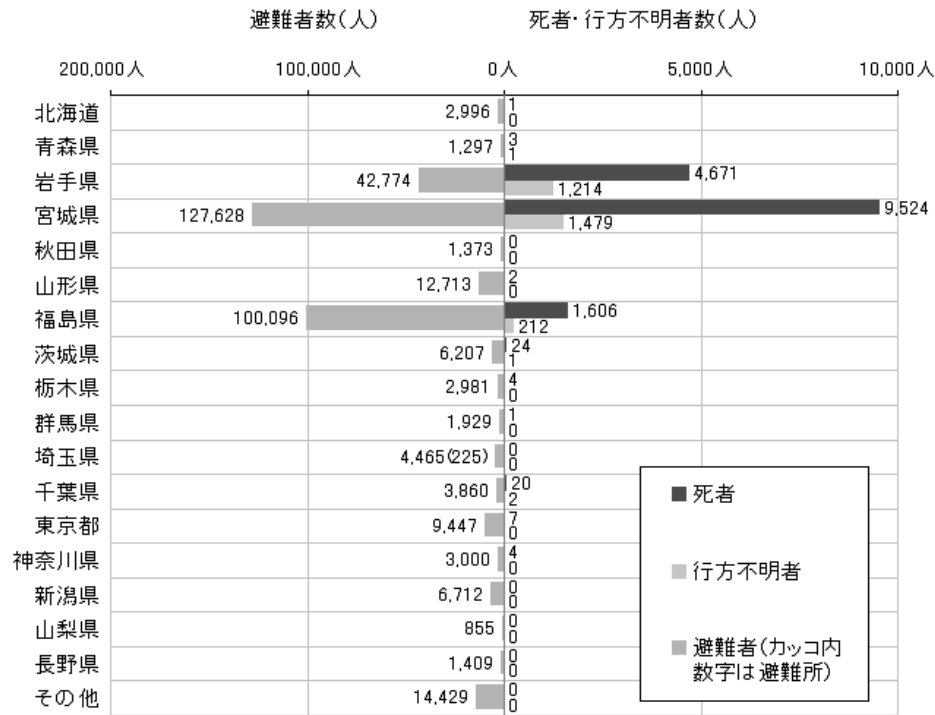
参 考 文 献

- (1) 株式会社 日本総合研究所 「大震災の雇用への影響と対応策」
- (2) 総務省統計局 「東日本大震災の人口移動への影響」 2011年7月
- (3) 東日本大震災復興構想会議 「復興への提言 ～悲惨のなかの希望～」
- (4) 経済産業省東北経済産業局 「産業復興アクションプラン」 2011年7月
- (5) エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会
「コスト等検証委員会報告書」 2011年12月13日
- (6) 仙台市経済局 「仙台市の震災復興策の方向性」 2011年10月
- (7) エネルギー研究会「藻類からのバイオ燃料生産」 2008年11月4日
- (8) 彼谷邦光, 「微細藻類オイルの化学」, *Microbiol. Cult. Coll.* ,
26(1), 1-10(2010)
- (9) 宇野博志, 「バイオマス資源としての微細藻類」, 三井物産戦略研究所レポ
ート, 2011年
- (10) 蔵野憲秀ら, 「微細藻類によるバイオ燃料生産」, *デンソーテクニカルレビ
ュー*, 14, 59-64(2009)
- (11) 2011年度IHIプレスリリース, “藻類バイオ燃料の研究開発合同会社
の設立 ～燃料生産能力が最も高い藻の開発に成功、実用化を目指す～”,
www.ihico.jp/ihico/press/2011/2011-7-07/index.html, 2012年7月5日参照
- (12) 「藻類バイオ燃料の商業化」, NEDO海外レポート, 1066, 33-41(2010)
- (13) 株式会社つくば研究支援センター, 「平成21年度戦略的基盤技術高度化支
援事業「中鎖脂肪酸産生微生物の探索と抽出油脂の食品及び燃料への利用」
研究開発成果等報告書」, 関東経済産業局, 2010年
- (14) 京都大学微生物科学寄附研究部門HP, “研究概要－微生物油脂の大量生産
系の開発”, <http://www.microbial.kais.kyoto-u.ac.jp/project4.html>,
2012年7月5日参照
- (15) 石油エネルギー技術センター JPEC レポート P6-7
- (16) 経済産業省東北経済産業局HP “ようこそ東北の地熱発電所へー松川地熱発電
所”, www.tohoku.meti.go.jp/s_shigen_ene/geo/matsukawa . , 2012年7月
5日参照
- (17) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構HP, “JOGMECの活動－公
害防止－旧松尾鉱山新中和処理施設の運営管理”,
www.jogmec.go.jp/jogmec_activities/mp_control_metal/matsuo_mine/index.html,

2012年7月10日参照

- (18) 「休廃止鉱山公害防止事業の新たな方向性—国民経済的負担の軽減を目指して—(中間報告)」, 休廃止鉱山鉱害防止対策研究会・経済産業省, 2010年
- (19) 八幡平市ほか, 「平成20年度地熱開発促進調査進捗報告資料 松尾八幡平地域」NEDO平成20年度第2回地熱開発促進調査委員会, 2009年
- (20) 地熱エンジニアリング株式会社ほか, 「平成22年度地熱開発促進調査進捗報告資料 松尾八幡平地域」NEDO平成22年度第2回地熱開発促進調査委員会, 2011年
- (21) 化学工業日報社「2011年版15911の化学商品」
- (22) 日経BP社「未来予測レポート2013-2015 エネルギー編」 P7

東日本大震災の被害者数 (全国) 避難者 344,171人 死者 15,867人
 うち避難所 225人 行方不明者 2,909人



(注) 死者・行方不明者数2012年7月11日現在、避難者数(親戚宅、仮設・公営住宅を含む)7月5日現在
 (資料) 警察庁(死者・行方不明者数)、東日本大震災復興対策本部(避難者数)

出典 警視庁 東日本大震災復興対策本部 2012年7月11日

図-1 東日本大震災の被害者数

被災地人口6万5千人減 45市町村、8割は30代以下

関連トピックス ▶ 原子力発電所

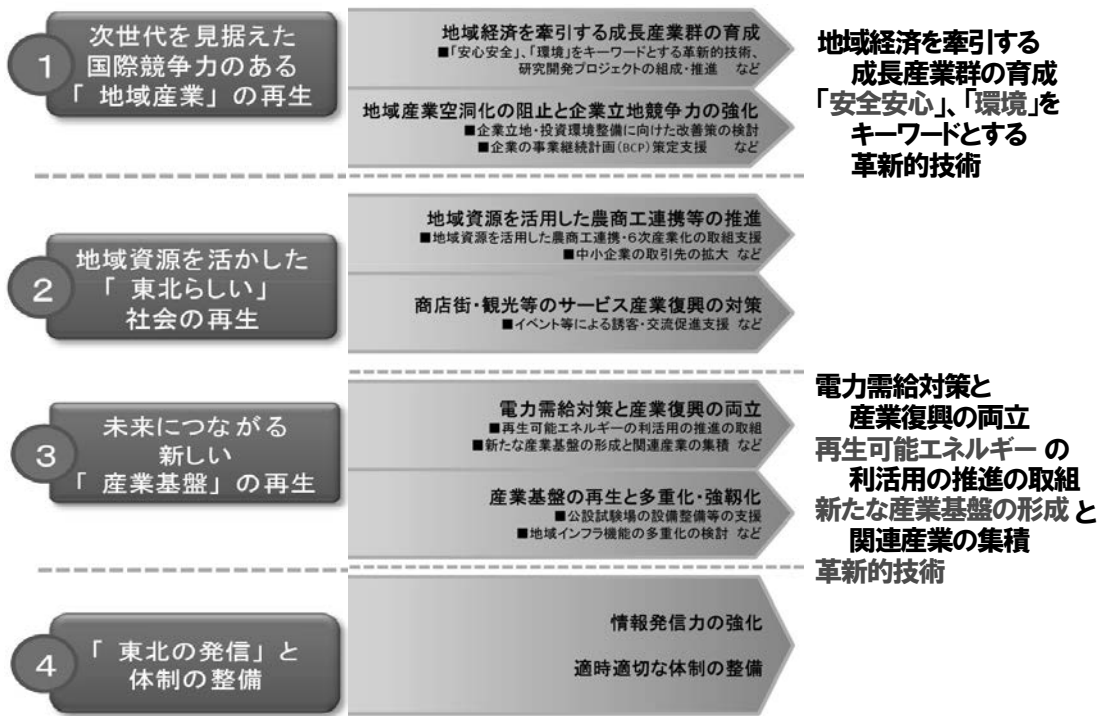
東日本大震災後、岩手、宮城、福島の3県の沿岸部と原発事故の避難が続く計45市町村の人口減が6万5千人に達したことが分かった。うち8割近い4万9千人を30代以下の世代が占めた。将来推計人口の2020年の水準まで若年層の流出が進んだ地域もある。震災後10カ月がたっても雇用の回復が遅れているためとみられ、被災地の再生にも深刻な影響を与えそうだ。

岩手、宮城両県の沿岸27市町村、福島県の警戒区域と周辺の18市町村、計45市町村について、住民票に基づく人口を昨年3月と同12月で世代別に分析した。減少には震災による死者も含む。役場の被災などで前年の資料が得られなかった宮城県南三陸町と福島県飯舘村、楡葉町、広野町の4町村を除き、前年と比較した。

45市町村の減少率は約2%。このうち41市町村の減少幅を前年と比べると10倍強に達していた。

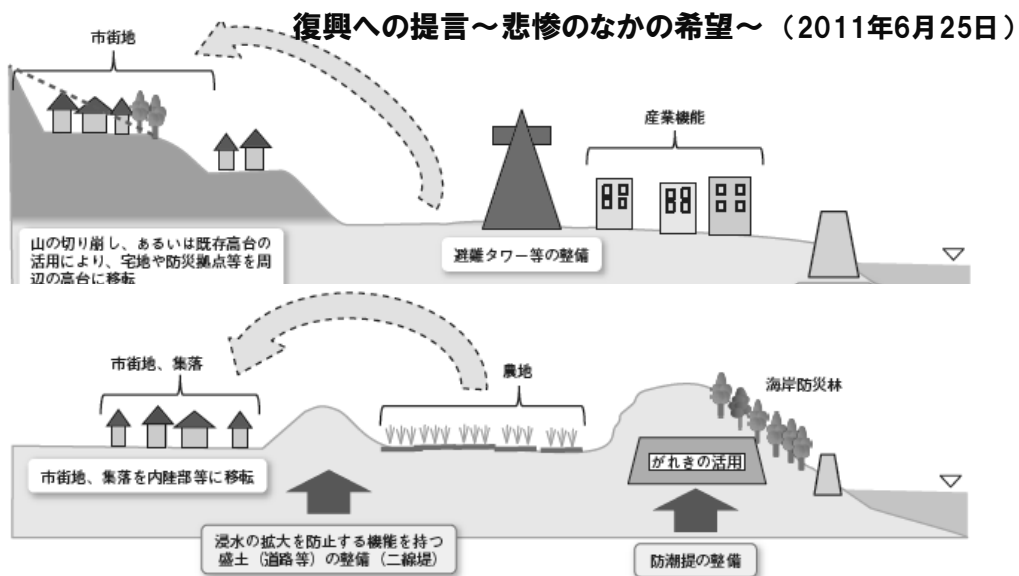
出典 朝日新聞デジタル 2012年1月10日

図-2 被災地の人口流出



出典 東北経済産業局 産業復興アクションプラン 2011年7月

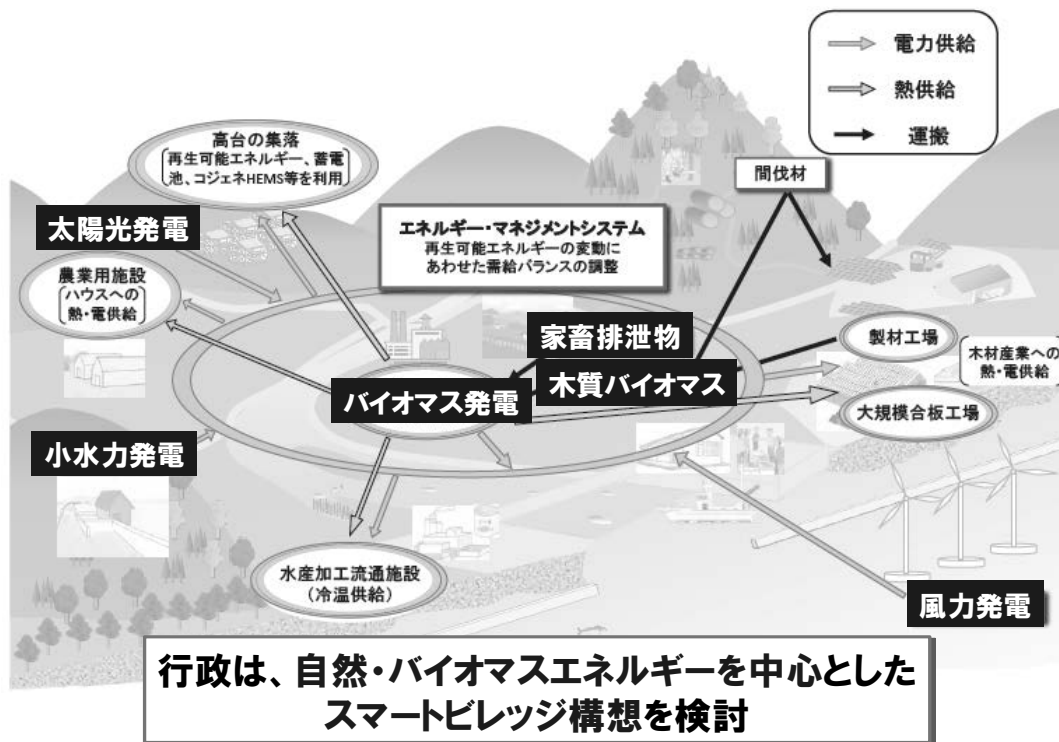
図-3 中長期的な取り組み



住居は内陸部や高台に移転、低地には農地や産業、官庁などを設置

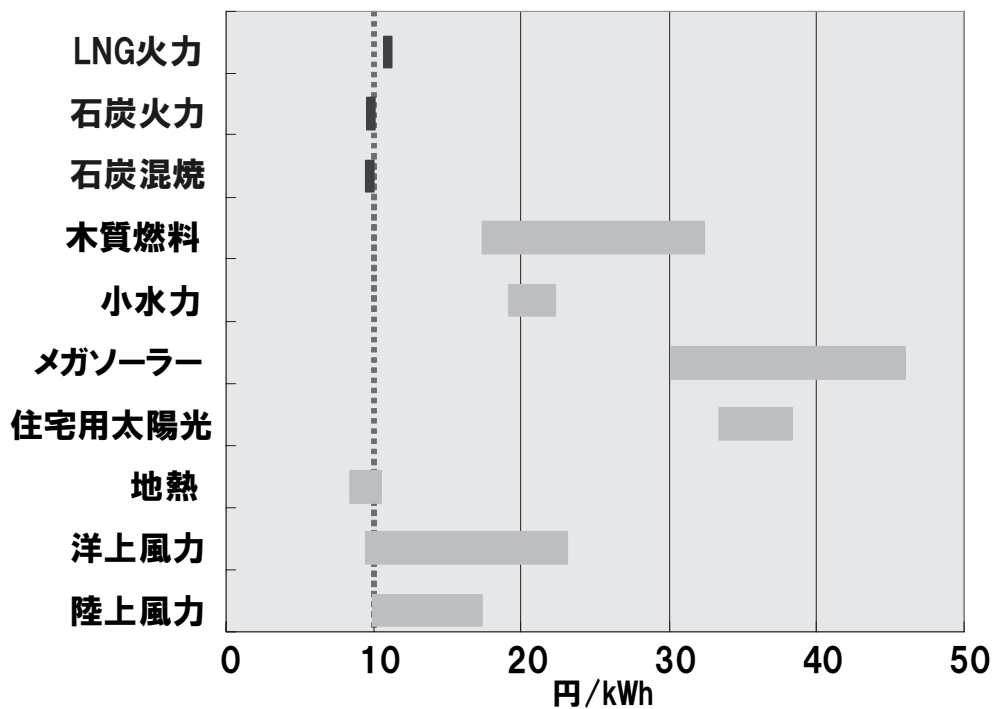
出典 内閣官房 日本大震災復興構想会議
 復興への提言 平成23年6月

図-4 復興にむけた街づくり



出典 内閣官房 日本大震災復興構想会議
復興への提言 2011年6月

図-5 中長期的な取り組み



注) 石炭火力、LNG火力は設備稼働率80%の場合

出典 コスト等検証委員会報告書 エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会 2011年12月13日

図-6 各種発電のコスト



南蒲生(がもう)浄化センター



※南蒲生浄化センター

仙台市の汚水の約7割の下水(日平均で約32万m³)を処理する下水処理場

<オーランチオキトリウム>

2010年に筑波大学教授の渡邊信らのグループが
高効率で炭化水素(スクアレン)を産生し、
細胞内に溜め込むことを発見

2011年に筑波大、東北大、仙台市で共同開発を締結
下水処理施設「南蒲生浄化センター」の排水を利用し、
3~4年かけて実証実験を行なう

出典 仙台経済局「仙台市の震災復興策の方向性」 2011年10月

図-7 仙台市の藻類プロジェクト

| 原料の種類 | 面積収量 (kl/ha/yr) | 出典 |
|---|--------------------|----|
| 大豆 | 0.4 | 1) |
| 小麦 | 0.7 | 1) |
| 大麦 | 0.9 | 1) |
| ひまわり | 1.0 | 2) |
| 菜種 | 1.2 | 2) |
| グレインソルガム | 1.3 | 1) |
| 米 | 1.6 | 1) |
| サツマイモ | 1.8 | 1) |
| ジャトロパ | 1.9 | 2) |
| とうもろこし | 2.1 | 1) |
| ジャガイモ | 2.8 | 1) |
| テンサイ | 3.9 | 1) |
| さとうきび | 5.2 | 1) |
| オイルパーム | 5.9 | 2) |
| 藻 (10 g/m ² /day at 15% TAG) | 11.2 | 2) |
| 藻 (50 g/m ² /day at 50% TAG) | 93.5 | 2) |

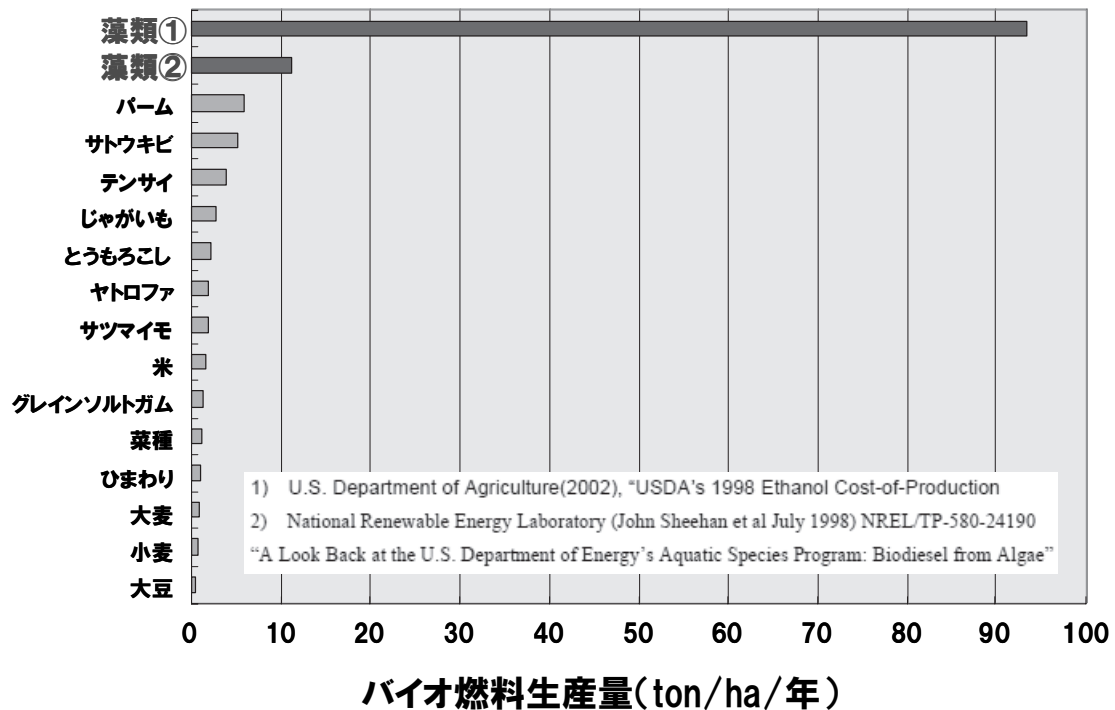
1) U.S. Department of Agriculture(2002), "USDA's 1998 Ethanol Cost-of-Production

2) National Renewable Energy Laboratory (John Sheehan et al July 1998) NREL/TP-580-24190

"A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae"
(TAGs) : 藻のオイル分はtriacylglycerolsの形態をなし、重量比60%の高TAGの藻がNRELの
研究で見出されている。

出典 エネルギー研究会 藻類からのバイオ燃料生産 山崎博 2008年11月

図-8 バイオ原料種と面積収量



藻類は圧倒的に高い収量が見込まれる

出典 エネルギー研究会 藻類からのバイオ燃料生産 山崎博 2008年11月

図-9 油糧作物の可能性

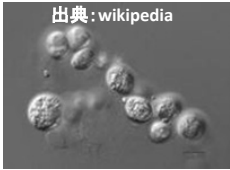
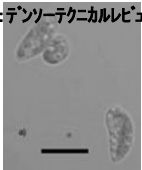
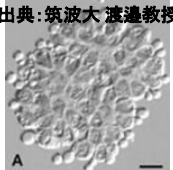
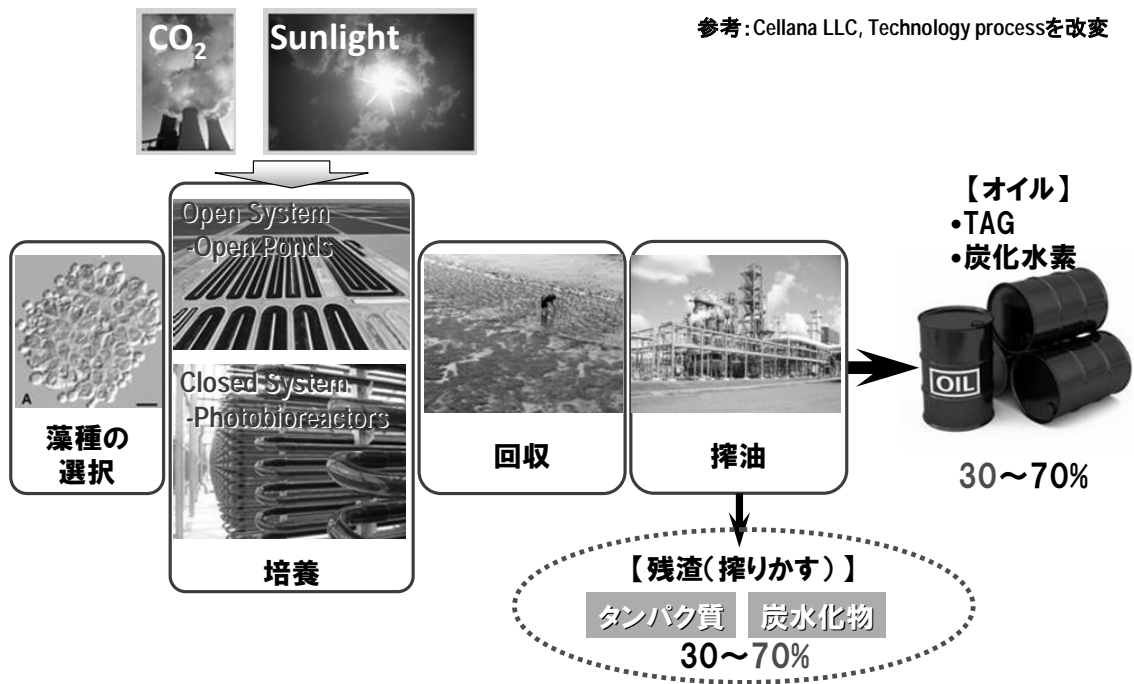
| オーランチオキトリウム | シュードコリスチス | ボトリオコッカス |
|---|---|--|
| 油分:50~77% 光合成を行わない 餌が必要 | 油分:30% 光合成を行う(CO2固定) | 油分:25~75% 光合成を行う(CO2固定) 淡水 |
| <p>出典:wikipedia</p>  <p><i>Aurantiochytrium limacinum</i></p> <p>従属栄養性藻類 マングローブ林より分離 周囲の有機物を吸収し、 スクアレンを産出</p> <p>生産効率はボトリオの10倍 年間1万トン/haと試算 筑波大渡邊教授が主導</p> | <p>出典:デンソーテクニカルレビュー</p>  <p><i>Pseudochoricystis ellipsoidea</i></p> <p>増殖速度が早い 8~9時間で細胞数が2倍 温泉地より分離。 蓄積している直鎖状炭化水素の 炭素鎖数が17-20 と軽油相当</p> <p>慶応大学、デンソー</p> | <p>出典:筑波大 渡邊教授</p>  <p><i>Botryococcus braunii</i></p> <p>水中で無数の細胞が塊を作り、 細胞と細胞の間に重油相当 (炭素鎖数30以上)の直鎖状 炭化水素など種々のオイルを産出 油を何度も収穫が可能?</p> <p>生産効率:30~40万トン/ha 0.5円/Lまで生産コスト低減と試算 IHI、榎本藻</p> |

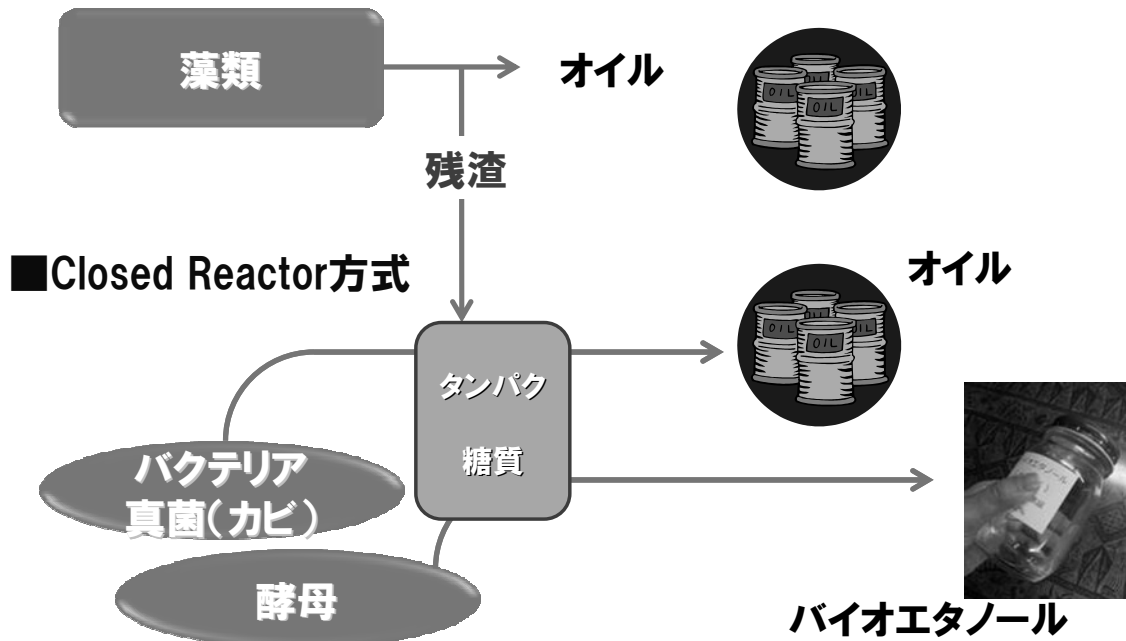
図-10 有力な藻類3種



微生物(バクテリア、酵母、真菌)の培地成分として活用へ

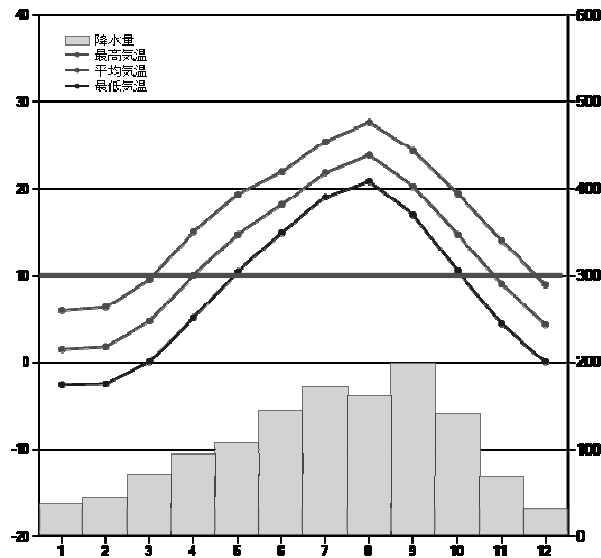
図-11 藻油搾りかすの二次利用(バイオリファイナリー)

■Open Ponds or Photobioreactors方式



“使い切る”“環境に負荷をかけない”高効率なシステムの提案

図-12 微生物を使った多段活用による効率的な搾油



出典 気象庁HP

| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 最高気温(°C) | 6.0 | 6.4 | 9.6 | 15.1 | 19.4 | 22.0 | 25.5 | 27.7 | 24.4 | 19.5 | 14.1 | 9.0 |
| 平均気温(°C) | 1.6 | 1.9 | 4.8 | 10.1 | 14.8 | 18.2 | 21.9 | 23.9 | 20.3 | 14.8 | 9.1 | 4.4 |
| 最低気温(°C) | -2.5 | -2.4 | 0.1 | 5.2 | 10.5 | 15.0 | 19.1 | 20.9 | 17.0 | 10.6 | 4.5 | 0.1 |
| 降水量(mm) | 38.5 | 45.0 | 70.8 | 95.5 | 107.4 | 143.8 | 172.4 | 162.5 | 198.1 | 140.0 | 67.9 | 32.2 |

図-13 宮城県沿岸(仙台地区)の平均気温

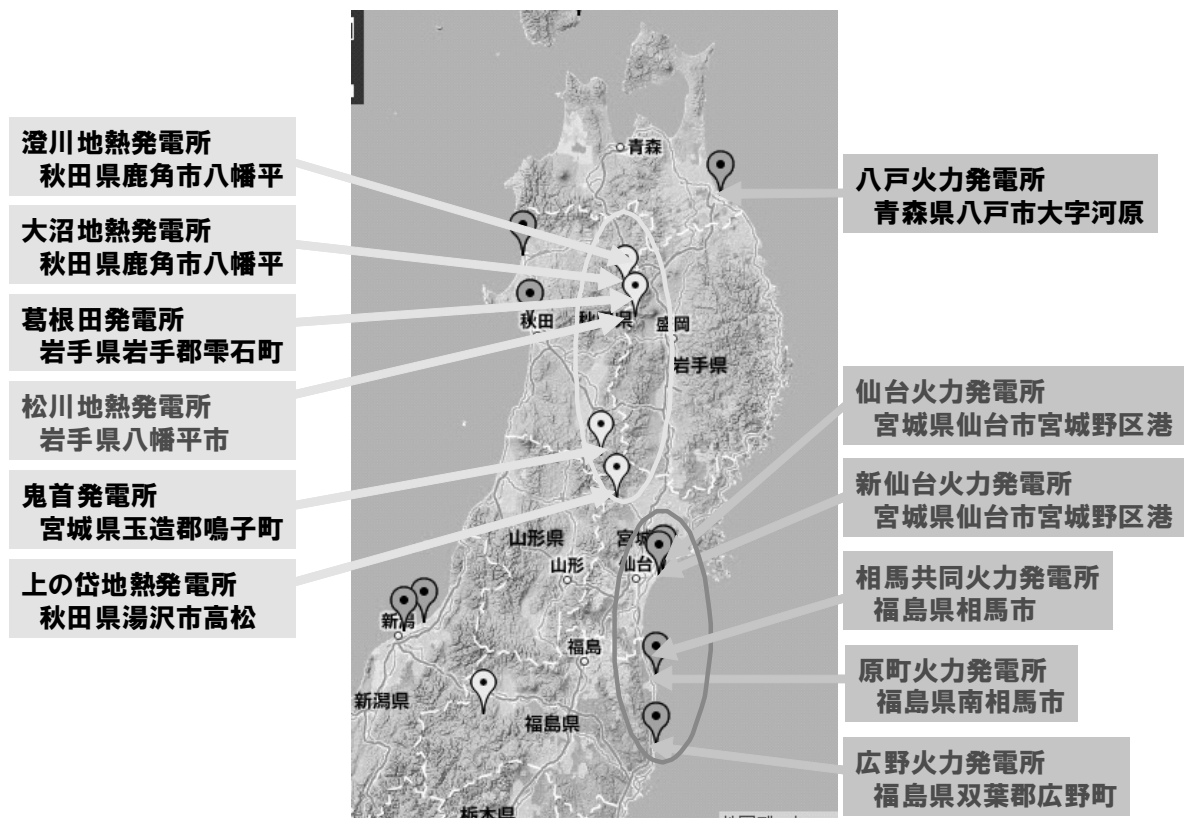
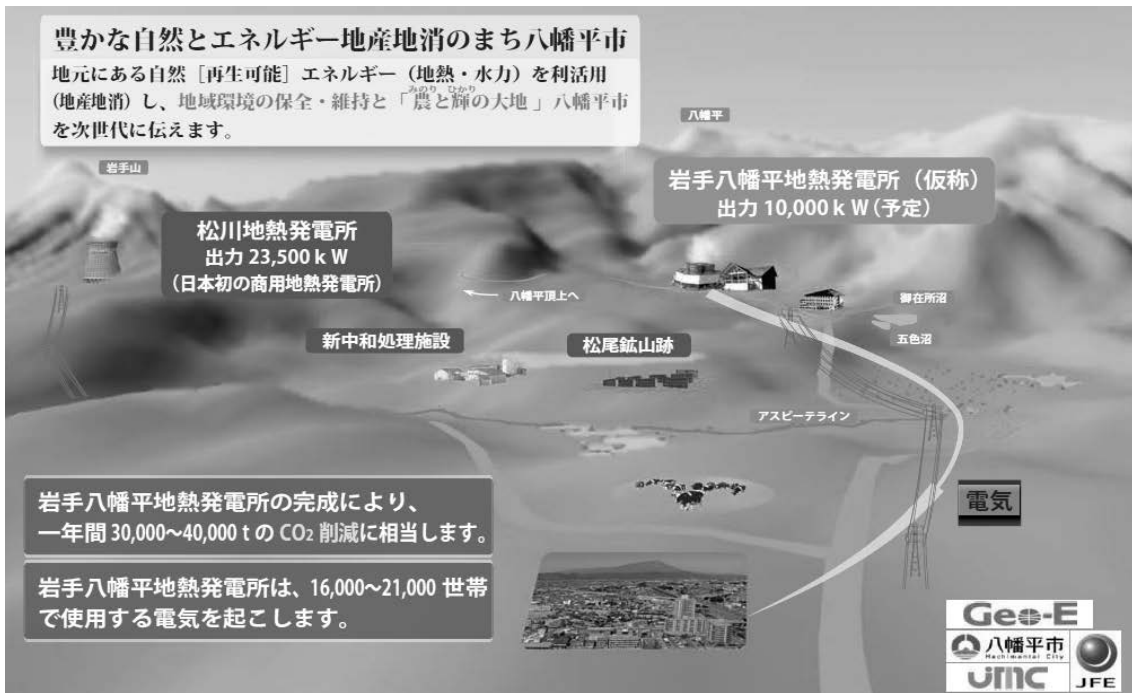
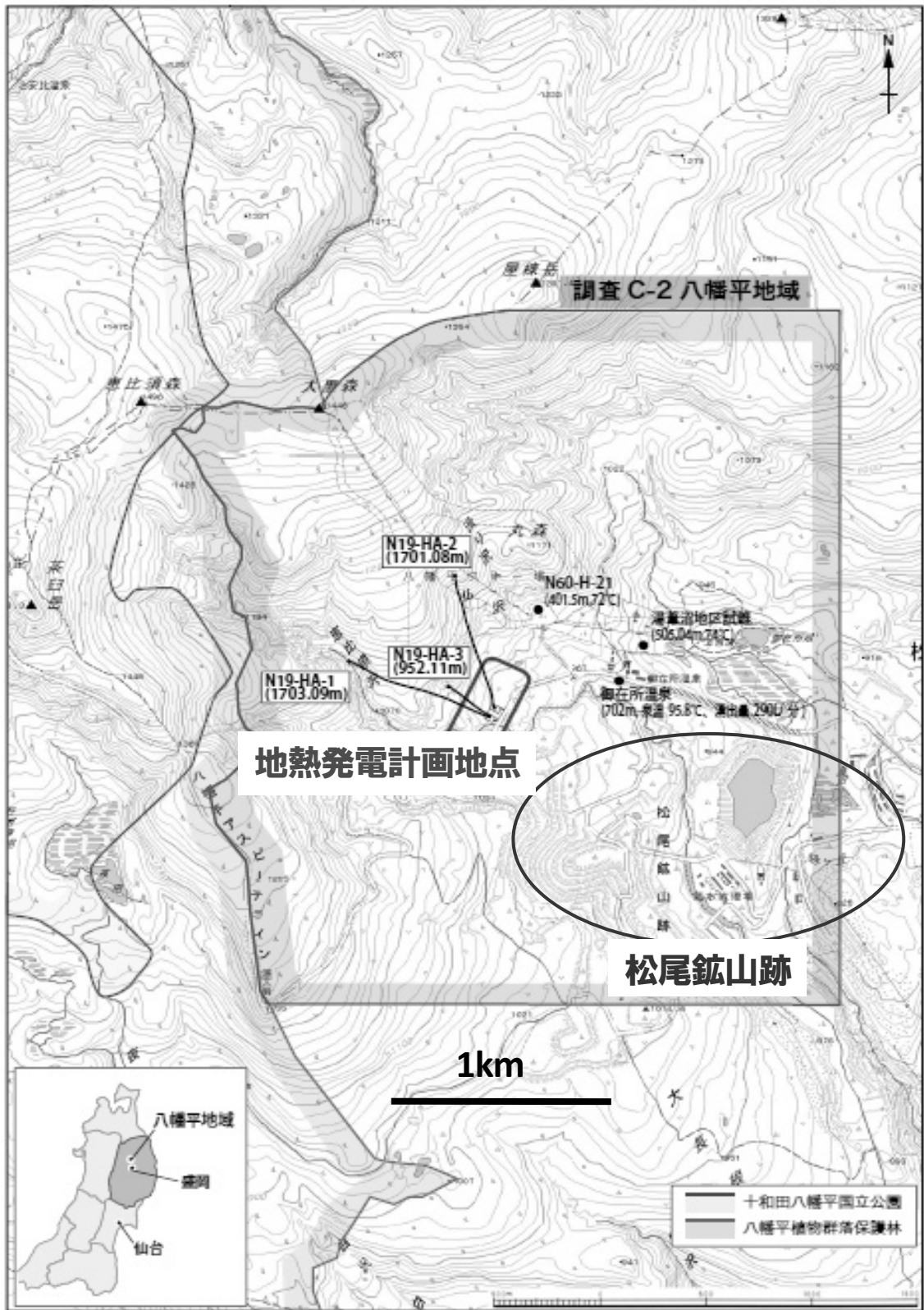


図-14 岩手、宮城、福島県周辺の発電所



出典 NEDO 平成 22 年度第 2 回地熱開発促進調査委員会資料 八幡平地域(2011 年 2 月 22 日)

図一 15 八幡平における地熱発電所設置計画



出典 NEDO 平成 22 年度第 2 回地熱開発促進調査委員会資料 八幡平地域(2011 年 2 月 22 日)

図-16 岩手八幡平地熱発電所と松尾鉱山の位置関係

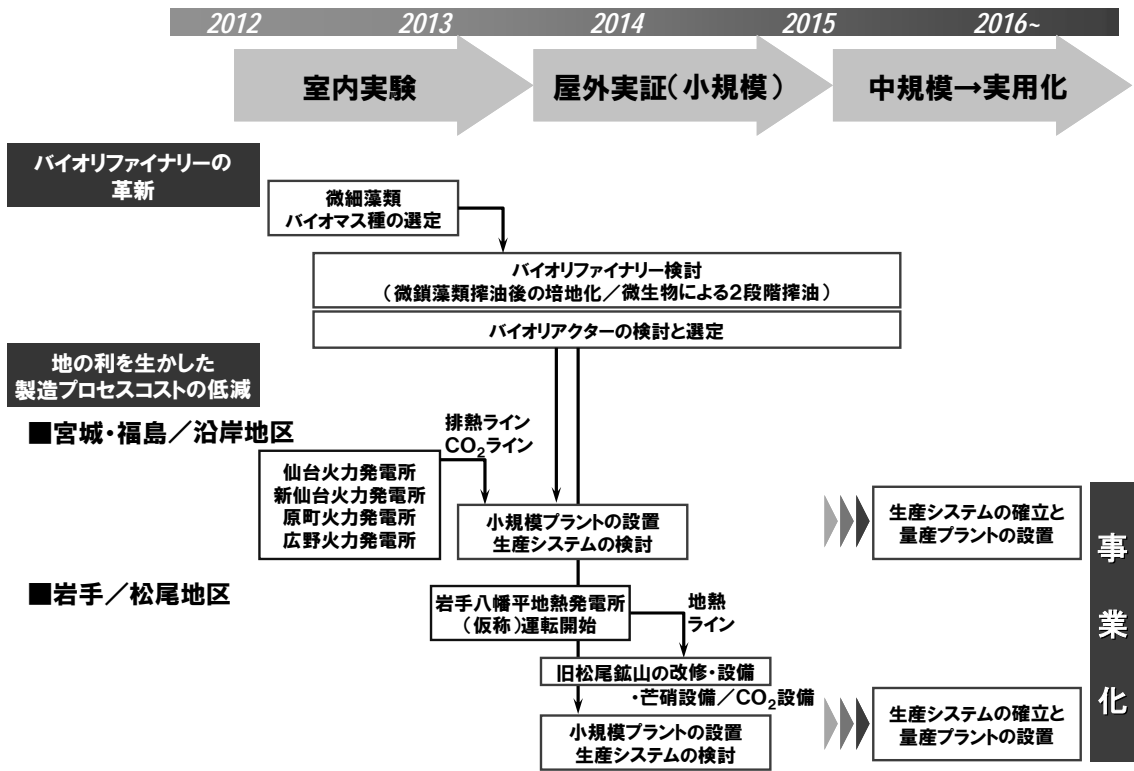


図-17 実用化までのロードマップ

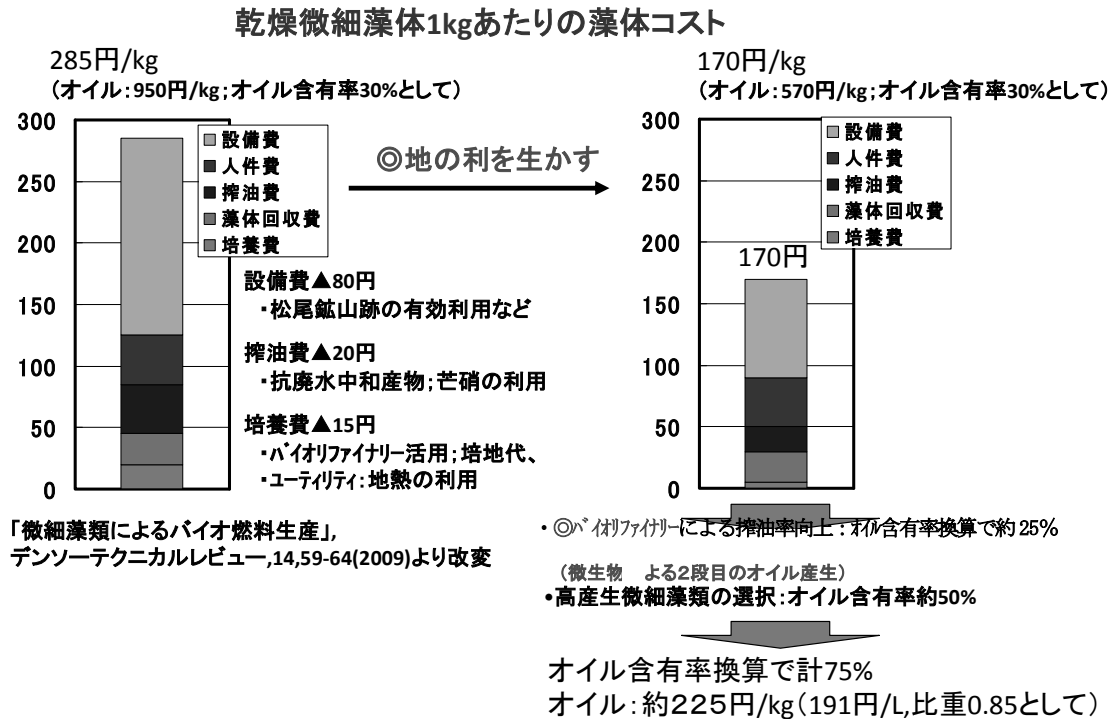


図-18 「微生物」と「地の利」の活用複合化によるコスト試算

原子力発電所建設の今後の見通し

| | 2010年(実績) | | 2012年(実績) | | 2015年 | | 2020年 | | 2025年 | |
|------|-----------|-----|-----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | 出力 | 基数 | 出力 | 基数 | 出力 | 基数 | 出力 | 基数 | 出力 | 基数 |
| 世界 | 38516 | 432 | 38447 | 427 | 43934 | 438 | 55642 | 515 | 85102 | 760 |
| 米国 | 10534 | 104 | 10632 | 104 | 10752 | 105 | 11818 | 114 | 16650 | 150 |
| 日本 | 4485 | 54 | 4615 | 50 | 884 | 8 | 1490 | 12 | 1614 | 13 |
| フランス | 6602 | 59 | 6588 | 58 | 6751 | 59 | 6751 | 59 | 7735 | 67 |
| ドイツ | 2151 | 17 | 1270 | 9 | 1270 | 8 | 794 | 5 | 476 | 3 |
| イギリス | 1195 | 19 | 1172 | 18 | 1172 | 15 | 781 | 10 | 547 | 7 |
| ブラジル | 201 | 2 | 199 | 2 | 299 | 3 | 509 | 5 | 1589 | 14 |
| ロシア | 2319 | 27 | 2419 | 28 | 3526 | 40 | 4922 | 53 | 5152 | 55 |
| 中国 | 912 | 11 | 1195 | 14 | 4525 | 44 | 7645 | 70 | 13145 | 120 |
| インド | 412 | 17 | 478 | 20 | 1008 | 27 | 2108 | 38 | 3978 | 55 |

(万kW、グロス電気出力)

出典 日経BP社「未来予測レポート 2013-2015 エネルギー編」

図-19 世界の原子力発電所建設計画

平成25年 2月21日

〒103-0027 東京都中央区日本橋3-13-11

財団法人 油脂工業会館

☎東京03(3271)4307 (代表)

<http://www.yushikaikan.or.jp>