

一般財団法人 油脂工業会館

第49回表彰

油脂産業優秀論文

最優秀賞

日本の農業に対する油脂産業の貢献

光合成細菌による油粕発酵分解を起点とした植物工場リステージ

花王株式会社

まき まさたか
牧 昌孝

すがの いくお
菅野 郁夫

にしざわ のぶひろ
西澤 伸広

目 次

はじめに	1
第1章 日本の製油産業の浮沈を握る課題	
1-1 日本の製油産業の停滞原因と将来懸念	2
1-2 「4F」視点で考える植物油粕の高付加価値転換策	3
第2章 日本農業が見据えるべき未来社会	
2-1 変化を先導する産業で在り続けるために	4
2-2 非コモディティ農産物による植物工場リステージの必要性	5
2-3 「最高の味」と「究極の安心」の両立による唯一価値の創出	7
第3章 油粕を起点とした高付加価値農産物栽培システム	
3-1 養液栽培での甘味追求における有機肥料の重要性	7
3-2 ALA(5-アミノレブリン酸)による光合成活動の促進	8
3-3 ALA/光合成細菌/放線菌の融合がもたらす高次効果	9
3-4 高品質農作物の多収に向けた最先端知見	10
3-5 高品質メロンを題材とした実行可能性の検証	11
おわりに	12
参考文献	14

はじめに

「一滴の油、これを広き池水に点ずれば、散じて満池に及ぶとや」

杉田玄白が回想録で語ったと伝えられるこの言葉は、新たな一步を踏み出すことの重要性を、油が散り拡がるさまに喩えて表現したものである。「一滴の油」が池の隅々まで走り広がる様子は、いみじくも、日本「油」脂産業が人々のくらしの各所に速やかに行き届き、発展を遂げていった姿と重なる。

油脂産業の中でも特に製油産業は、一次産業である農業との関連性が密接である。農業で得た植物を原料とし、有用性の高い二次産品に変える。得られた油脂の展開用途は時代とともに多様化し、食品から家庭品・燃料に至るまで今や無数に存在する。

我々は、日本農業と日本油脂産業が将来的に共に成長をしていくために、両産業の日本の強みを最大限に活かした新規事業モデルを構築することを考察した。

今回、両産業を繋ぐ“ブリッジ”として着眼した素材は、植物種子から植物油を得る際に副製される油粕である。油粕は、天然物由来の安心素材であり、良質のタンパク質を多く含むために栄養価が高く、しかも安価であるという特長を有する。現在の主たる用途は家畜用飼料であるが、日本独自の高度発酵技術を導入し、この油粕を高機能かつ安心な農業用肥料に転化することによって、より差別性のある高付加価値農産物の栽培が可能になると考えた。

新規事業モデルを通じて我々が見据えるのは、グローバル農産品市場である。日本農業はこれまで「食糧自給」という問題に向き合い、国内市場へ大きな貢献を成し遂げてきた。これまで培ってきた知恵と経験を、急速に発展していく世界の国々の豊かさ創出にも役立て、貢献の幅を飛躍的に拡大できると考える。

グローバル貢献の実現可能性を検証するにあたり、我々が要諦と睨んだのは、収益性である。近年、戦略的農業システムの1つとして、植物工場と呼ばれる形態が耳目を集めている。しかし、植物工場の実情を調査した報告によれば、多くの事業体で収益性に重篤な課題を抱えていることが明らかになっている。資材のコスト削減だけでは抜本的解決に至らず、やむなく閉業する例も少なくない。そこで、システム自体を高収益構造とすることが重要と判断し、「どんな農産物を、どんな栽培方式で、どの程度の収量で確保し、年間に何回栽培して、幾らで販売するか」という5つの要素により、モデルを具体的に構築し、実現可能性を検証した。

以下、我々が目指す新規事業モデルを「Mutant Agro-System」と称し、日本農

業と日本油脂産業が共に成長していくための方策を提案する。

第1章 日本の製油産業の浮沈を握る課題

1-1 日本の製油産業の停滞原因と将来懸念

日本の植物油生産量の経年推移を図1に示した¹。1960年の42.6万トンから持続的に伸長し、2000年には186.2万トンに到達している。高度成長期からの40年間で4倍以上に成長し、豊かさ創出や産業発展に大きく貢献したと言える。

しかし2000年代から生産量は漸減し、2015年には約169万トンと1990年頃の水準にまで後退した。産業停滞の原因を推し量るにあたり、まず予想したのが、食油摂取量の減衰との関連性である。日本国民一人が一年間に摂取する植物油量(粗食料)を調査したが(図1)¹、2000年以降は減少しておらず、日本国内の植物油需要との直接的相関は薄いと考えた。そこで、原料価格や原料供給に変化が生じた可能性を予想して油種別の生産量内訳を調べた(図2)¹。生産量1位の菜種油は2000年以降も数量が伸びており、植物油トータルの生産量の減少には関与していない。一方、菜種油に次いで生産量が多い大豆油は、約70万トンから40万トン前後まで大きく減少していた。他の油脂種に大きな変化が認められないことから、国内油脂生産量の減少の主たる要因は大豆油だと考えられた。

大豆油に着眼して更に植物油産業を取り巻く状況を調査した結果、近年、驚くほどマクロ環境が変化していることが分かった。最も重要な背景因子として浮かび上がってきたのが、搾油副産物である大豆油粕の国際流通事情である。

油粕とは、油糧作物から溶剤抽出や蒸熱圧搾により油分を取り出した後に得られる褐色固体である。大豆油粕は主に家畜用飼料(約8割)として、菜種油粕は主に農業用肥料として利用されている。日本エネルギー経済研究所の報告するマテリアルフローによれば、菜種種子100Kgから菜種粗油36Kgと菜種油粕54Kgが、大豆100Kgからは大豆粗油17.3kgと大豆油粕65.9kgが得られる²。植物油粕は副産物と位置づけられてはいるが、生産量は食油の1.5倍～約4倍に及び、金額ベース(=単価×販売量)で考えると食油以上の売上規模となる³。

近年、この植物油粕の流通事情に大きな変化が起きている。中国からの輸入量が増大し、2009年を境に国産油粕の流通量を輸入量が上回る状況となった(図3)⁴。中国はかつて世界的な大豆生産国であったが、輸入自由化政策により世界一の大豆輸入国へと転身した。沿岸地域に拠点を構える世界的搾油メーカーが、圧倒的

規模で食油生産／油粕生産を展開し、近隣諸国へも輸出展開している³。日本国内の大豆油生産量が減少し始めた時期と、中国が大豆輸入国へと転身した時期はほぼ同一と見られることから、大豆油粕の国際的な流通構造変化が日本の搾油メーカーの生産性低下を引き起こし、国産大豆油粕の出荷停滞へ繋がったと推測する。実際に韓国や台湾では、中国からの輸入植物油に市場を席卷され、国内の搾油メーカーはほぼ全て撤退をしている状況である³。油粕輸入量が増加した日本が韓国・台湾と同じ道筋を辿らないようにするためにも、付加価値の高い油粕利用を考えていく必要がある。

1-2 「4F」視点で考える植物油粕の高付加価値転換策

植物油粕の長所を活かす研究には多くの報告例がある。バイオマスの再資源化の戦略議論手法である「4F」 「Food(食料)/Feed(飼料)/ Fuel(燃料)/Fertilizer(肥料)」に倣って(図4)⁵、植物油粕の再資源化／高付加価値化の方向性案を整理した。

(a) “Food(食料)”としての有用性

一般的な植物由来資源と比較し、植物油粕は良質なタンパク質を多く含む(粗タンパク量は、菜種油粕が約37%⁶、大豆油粕が48%⁷)。このタンパク質の持つ栄養学的価値を人類の食文化発展に利用する多様な産業活動が、日本では既に行われている(図5)⁸。豆腐・豆乳の製造や食品加工分野(味噌・醤油等)はその代表例である⁹。また、植物油粕から抽出・精製したタンパク質は食肉用調味料などに活用されている。

(b) “Feed(飼料)”としての有用性

家畜・家禽・養殖魚等の生育に必要な良質なタンパク質源として大豆油粕が広く用いられている。BSE発生で肉骨粉の使用が制限される中、大豆油粕の飼料としての重要性は増していると言える。

ただし、国産の植物油粕と輸入品の植物油粕とでは、飼料としての品質は差がないと言われており³、国産植物油粕の高付加価値化は難しいと考えられる。

(c) “Fuel(燃料)”としての有用性

菜種油粕の燃焼材としての可能性を議論した報告がある¹⁰。木質系バイオマスの発熱量が一般に4800kcal/Kg程度とされる中、菜種油粕は5100kcal/Kgとそれを上回るが、突出して高いわけではないため燃料としての有用性は高くない。

(d) “Fertilizer(肥料)”としての有用性

菜種油粕が昔から肥料として活用されている理由は、その成分組成にある。農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)の資料によると、植物油粕は、他の植物由来資源と比較して窒素・リン酸・カリの含有率が高く、有機態窒素の無機化特性の指標となる C/N 比が小さい。つまり、肥料としてのポテンシャルが非常に高い¹¹。

加えて、微量成分の含有量にも注目すべき特長があり、Mg・Ca・硫黄のような多量元素や、ホウ素・マンガン・亜鉛・銅などの微量元素をバランスよく含む(表 1 および表 2)。“農芸化学の父”と称される Justus Freiherr von Liebig(1803-1873)が提唱した「リービッヒの最少律」によると、植物の生育には図 6 に示す計 16 種の元素が全て必要であり、いずれかの元素が不足すると成長が滞る¹²。植物油粕は必須 16 元素をバランスよく含有し、有機質肥料としての有用性が高い。

しかし、一度に多量施肥すると土壤中で酪酸等の有機酸を発生し、発芽障害や生育阻害・連作障害を引き起こすという課題がある。これを回避するため、少量施肥やぼかし肥(予め発酵させた後に施肥する方法)が用いられるが、これらの方法は窒素の損失が大きい。植物油粕を用いる意味そのものが失われており、本末転倒である¹³。

以上、植物油粕の高付加価値化の方向性を「4 F」視点で模索した結果、Food/Fertilizer の 2 視点で、独自価値を生み出せる可能性が見えてきた。特に Fertilizer 分野では、油脂産業界の技術を組み合わせることで油粕の新しい価値を生み出せる可能性があると考えた。それが本論文の主題である「光合成細菌による油粕の有用肥料への変換」である。

第 2 章 日本農業が見据えるべき未来社会

2-1 変化を先導する産業で在り続けるために

図 7 左に日本の農業産出額の推移を示す¹⁴。高度成長期には 100 兆円を超えていたものの年々減少し、最近では GDP に占める農業の割合が 1%未満となっている。最盛期と比較して農地面積は 24%減、農業従事者は 79%減。また、耕作放棄地は東京都の 1.8 倍に相当する 39 万 ha にも拡大している。

この背景には 3 つの要因があると推測される(図 7 右)。1 つ目は「生産環境の変化」で、労働者の高齢化、担い手不足、気候変動・自然災害、エネルギーコス

トの高騰、政策転換などである。2 つ目は「流通環境の変化」である。迅速な輸送手段が発達して遠隔地からも新鮮な商品が届くようになり、産地間の品質差は僅かとなって、“旬”の時季に限らずに一年を通じて農産物が市場に出回る。一部作物では供給飽和が定常化し、価格下落を引き起こしていると推察される。また、ボーダーレスという意味では、国外からの農産物流入の動向も軽視できない。各国との FTA 締結の議論が進行して輸入障壁が引き下げられると、国産農産物の消費の場が一部奪われることになる。日本農業は、工業分野などと同様、国内市場だけでなく海外市場まで見据えて、次世代農業システムを構築せねばならない時期に来ていると言える。3 つ目は「消費者の変化」である。日本国内では、あらゆる市場で二極化が進行している。汎用商品は価格が重視される一方、高付加価値品と認めたものに対しては出費を厭わない傾向にある。農産物市場でも、特に健康や美容に関連する高付加価値品が出現している。味の良さや外観の秀逸性に加えて、健康状態を整えたり疾病を予防したりする農産物が生み出され、ブランド名を冠して高価格で販売されるようになった。また、商品品質の中で、「安心・安全」がますます重要になってきている。

農業は、こうした数々の環境変化に向き合い、課題解決に取り組んできたが、複数の課題が相互に絡み合っており、抜本的解決には相当な時間を要すると予想される。その間にまた新たな環境変化が起こり、このままでは、日本の農業が「変化を先導する産業」ではなく、「変化を後追いする産業」でしかなくなると懸念している。

日本農業が変化を先導する産業で在り続けるために最も重要なことは、これまでに獲得してきた高度な技術と幅広い知見・経験という強みを最大限に活用しながら、ボーダーレスな未来市場に向けて独自価値を持った農産物を生み出していくことである。そこで我々は、それを実現するための方策として、日本農業が伝統的に培ってきたノウハウを最大限に利用できる植物工場に着眼し、養液栽培形式による新しい農産システムの構築を着想した。

2-2 非コモディティ農産物による植物工場リステージの必要性

日本国内の植物工場数は、2009 年の農地法改正や、農林水産省が主導するプロジェクト（例：次世代施設園芸導入加速支援事業）等の後押しにより、増加の一途を辿っている¹⁵。植物工場業界が活況であること（図 8）の背景には、栽培技術や品種改良技術など、ソフト面の資産を最大限に活用しつつ、新たな土地や設備・

担い手の条件などの制約なく農業を開始できるという点が挙げられる。例えば、自動車会社が、自社工場の排熱を利用してパプリカ生産に乗り出し、将来的には国際的な販売網を利用して海外展開を目論んでいることも報じられている。矢野経済研究所の調査によると、今後も植物工場の野菜生産額は伸長する見込みであり、2015年から2025年の10年間で約3倍になると予想されている¹⁵。

植物工場のメリットとしては、「周期的に安定した生産が可能（4定：定時・定量・定質・定価格）」「土地を選ばない(都市部や汚染土壌地域などでも実現可能)」「自然災害や気候変動の影響を受けにくい」「土壌を使用しないために、土壌由来の農作物汚染がない」「土耕栽培でよく見られる連作障害がない」などが挙げられる。

一方で、最も大きな課題は、採算性である。イニシャルコスト(施設・装置)やランニングコスト(光熱費・人件費等)が嵩み、収益を確保できていない事業者が多いことが調査からわかっている¹⁵。健康への関心が高まる中で植物工場だからこそ生産可能な機能性野菜(低カリウムレタス・高リコピントマト等)の栽培例も増えているが、事業収益を本質的に好転させる程の売上増大には至っていない。生産システムの効率化を通じた各事業者のコスト削減努力や、新規産業が軌道に乗るまでの過渡期間を支援する国や自治体からの補助金などで、採算を確保している状況である。「植物工場システムを導入しさえすれば、明るい未来が広がる」という楽観的なものではない。

海外では植物工場システムで大きな成功を収めている国があることはよく知られている。代表例はオランダである¹⁶。オランダは、国土面積が日本の1割ほど(415万ha)であるが、農産物の輸出額はアメリカに次ぐ第2位の893億ドル(日本の約28倍)である。国の主導で大規模な植物工場施設を建設し、大学などの研究機関を併設して最先端の品種改良技術やIT技術を積極的に投入しながら、トマトやパプリカ・花卉などの特定品種を大量に栽培し、単価を安く抑える戦略が奏功している。生産された農産物は、先進的な流通網に乗って、いち早く欧州各地の市場に運ばれる。まさに、農業を二次産業的に設計して成功した好例である。

では、これに倣い、トマトなどの果菜類を大規模施設で集約的に栽培すれば、日本も成功できるであろうか。我々の答えは否である。オランダと日本では、周囲を取り囲む海外諸国の市場環境が異なる。東アジア地域には中国という巨大農業国が存在する。日本が先端技術を注ぎ込んでトマトやレタス・パプリカといった植物工場野菜に機能性・高品質感を賦与し、独壇場を築こうとしても、中国の大量生産農業による追随を受け、コモディティ市場に埋没してしまうであろう。

従って、日本における植物工場では、非コモディティ農産物での新市場開拓にチャレンジする必要がある。

今回、我々がゴールとしたのは、「日本にしか実現できない高付加価値農産物を低コストで生産し、国内／海外に、安定的に供給できる農産システムの構築」である。従来型植物工場の最適化ではなく、大胆に、植物工場のリステージを狙うものである。

2-3 「最高の味」と「究極の安心」の両立による唯一価値の創出

日本にしか実現できない高付加価値農産物とはどんなものか。これまで日本農業は、肥えた舌を持つ日本社会向けに追求を重ね、「味覚体现」の強みと、微に入り細を穿つ「安心」への配慮で、他国には真似できない農産物を数多く生み出してきた。宮崎県のマンゴー「太陽のタマゴ」、青森県や山形県、岩手県の最も糖度の高いリンゴ「世界一」、熊本県や愛媛県のデコポン「SUMO」など世界に誇れるものが多い。

そんな中で今回、我々は夕張メロンに代表されるメロンに着眼した。メロンは、植物工場での養液栽培が可能な作物でありながら、植物工場品はまだ殆ど流通していない状況にあり、今後の発展可能性を秘めている。日本国内では誰もが認める高級果実で、近年一部の海外市場で名声を獲得し始めており、特に中東地域では、日本のハウス栽培メロンが現地富裕層を対象に日本国内以上の高値で販売されている(図9)¹⁷。これまでの輸出相手国であった香港・台湾などのアジア諸国への輸出も増加している。もしもメロンが「最高の味」と「究極の安心」を両立した栽培方法で生産できれば、国内外の市場を見据えた画期的な植物工場リステージとなるであろう。

第3章 油粕を起点とした高付加価値農産物栽培システム

3-1 養液栽培での甘味追求における有機肥料の重要性

植物が成長するためには窒素、リン酸、カリ、マグネシウムといった元素が必要である。土耕栽培では、土壌がその元素の供給元となるが、養液栽培では培養液がその役割を担う。培養液は、硝酸カルシウム・硝酸カリウム・リン酸アンモニウム・硫酸マグネシウム等の無機肥料を特定の比率で混ぜて調整されている。

代表的な果菜の養分吸収比を考慮して各種無機肥料の配合率を決めた標準的な「園試処方」や、作物品種ごとに最適な養分比が設定された「山崎処方」が知られている(図 10)¹⁵。

無機肥料は水溶性が高いために植物に吸収されやすく即効性に優れ、コスト面でも有機肥料より有利である。土耕栽培で過剰に施肥をすると土壤障害を引き起こすが、養液栽培ではその心配もなく、無機肥料を有効に利用することができる。

一方、「最高の味」を実現するには、生育中にいかに多くの糖質やアミノ酸を植物内に蓄えさせるかが課題であり、必要な栄養素を植物に与える上で有機肥料がとても大切である。愛媛大学の福山は、溶液栽培におけるメロンの甘味は「糖分含量」ではなく「アミノ酸含量」に由来するという報告をしている(表 3、表 4)¹⁸。NFT(薄膜流水式)で栽培されたメロンの糖度(Brix 値)と糖類(フルクトース/グルコース/スクロース)およびアミノ酸との関連性を調べたところ、メロンの甘さは総アミノ酸量と高い相関関係があることが分かった。アミノ酸が味覚に大きな影響を与えることは、醤油・味噌・納豆・鰹節など古来より人智が獲得してきた技術でよく知られているが、メロンの甘さにも関係があるとは驚くべきことである。「最高の味」を目指す上でアミノ酸が重要であり、そのためには有機肥料が有効であると考えた。さらにその肥料の種類、与え方などアミノ酸を植物に効率的に蓄えさせる技術が確立できれば、独自性・差別性の源泉となると考えた。

3-2 A L A (5-アミノレブリン酸)による光合成活動の促進

アミノ酸をメロン内部に効率よく蓄えさせるにはどうすればよいか。植物は、根から吸収した無機養分を炭水化物(糖)と反応させることでアミノ酸を生合成する¹⁹。アミノ酸の原料となる炭水化物(糖)は、光合成で作られる(図 11)。つまり、「根からの養分吸収」と「光合成による炭水化物取得」の2つがアミノ酸蓄積に重要である。

植物の光合成の速度は、光の強さと明確な相関を有する¹⁵ことから、植物工場における光エネルギーの強化が有効であるが、エネルギーコストの増大による収益性悪化が懸念される。そこで、光合成を活発化させる他の手段を模索した。

光合成の主体は、葉緑体に含まれるクロロフィルである。クロロフィルが増加すると、植物の光合成を発動する“エンジン”が増強する。図 12 に示すように、クロロフィルは、グルタミン酸を出発物質として、5-アミノレブリン酸(A L A)

およびポルフィリン誘導体を経由しながら多段階合成されることが知られている。これに関してコスモ石油株式会社の田中らは、一連の合成反応の中でALA合成が律速段階であることを報告している²⁰。それだけでなく、外部からALAを与えることでもクロロフィル合成は加速され、光合成が活発化するという知見も見出している。以上の知見をもとに我々は、「ALA投与による光合成活動の促進」を通じて、メロンの甘味増強のためのアミノ酸量の増大を実現できると確信した。

3-3 ALA／光合成細菌／放線菌の融合がもたらす高次効果

油粕を出発原料としてALAを多量に含む液肥を生産するために、微生物を活用した高度発酵技術に着目した。

近年、様々な分野でALAの有効性研究が進められている(表5および図13)²¹。医療やエネルギーなどの末端用途開発と並んで研究が深められているのが、発酵テクノロジーを駆使した生産技術分野である。数ある報告の中で、光合成細菌という微生物がALAの大量産生に効果的であるということがわかった。光合成細菌は、田んぼの土壌や水、池や沼の泥などに多く存在する細菌で、光エネルギーを用いて無機硫黄化合物や有機物を分解する作用を持ち、污水浄化等に寄与する¹⁹。この光合成細菌を油粕と混合して適切な環境下で発酵させることにより、クロロフィルの前駆体であるALAを多量に含んだ液肥が製造可能と考えられる。

植物工場にて、メロンに養分を投与する際には、発酵液からALAだけを単離したALA水溶液を施肥するのではなく、光合成細菌と混合している状態のまま施肥することを考えている。なぜなら、下記のように光合成細菌そのものも植物の栽培に重要な役割を果たしうるからである。

- ①植物の根周辺で有機物が分解されると、低級脂肪酸/アミン/硫化水素等の有害物質が多量生成し、根からの養分吸収を阻害することが知られているが、光合成細菌は、代謝により有害物質を分解し、植物の生育環境を改善する(図14)¹⁹。
- ②光合成細菌は、菌体内にビタミン/アミノ酸/色素などを豊富に含む(表6)。それらの成分は作物の体内に直接取り込まれ(図15)、葉や果実の色味や栄養価等を改善させる¹⁹。
- ③光合成細菌は増殖速度が非常に速いが、その光合成細菌をエサとし、放線菌という別の土壌微生物のはたらきが活性化される。放線菌は、ストレプトマ

イシンなどの抗生物質(図 16)を産出する有用微生物で、放線菌のはたらきが活発化すると、植物の生育を阻害する拮抗微生物のはたらきを抑制できるため農薬が不要になる¹⁹。(植物工場では病害発生がしばしば大きな課題となる。一度発生すると、設備全体が汚染され、事業的に大打撃を被る。)

④光合成細菌は、人・動物・環境に対して、非常に安全である。過剰使用しても問題はなく、副作用も認められない¹⁹。

このように、光合成細菌を利用したALA産生/放線菌活性化は、高品質メロンを養液栽培形式で生産する上で有用である。「日本農業界と日本油脂産業界を跨ぐブリッジとなる」ことに加え、安心・信頼という価値の獲得にも貢献できる。

3-4 高品質農作物の多収に向けた最先端知見

前節では日本しか実現できない高品質・高付加価値として、光合成細菌の発酵技術による「味」と「安心感」に言及したが、多収体制の構築も重要な課題の一つである。近年、東京都町田市にある中小企業が「町田式水耕栽培システム」と呼ばれる全く新しい栽培方式を考案した。静岡県温室メロンは、一株につき果実一個だけを実らせて栄養分を凝縮する高品質化手法を取っているが、町田式システムでは、驚くべきことに1株当たり40個のメロンを収穫することが出来る²²。

町田式水耕栽培システムの概要を図17に示した。従来の水耕栽培槽は、培養液が対角線方向に流れるよう設計されていた。水槽の中央に位置する株から徐々に根が伸び始めるが、水流が一方向であるため、根は下流に向かって一様に延びていく。一定の繁茂状態に達すると、周縁部の根には養分や酸素が十分に届くが、繁茂した中央付近の根にはそれらが行き届かなくなる。このことによって根と地上部の成長が停滞してしまい、果実の高品質化が難しくなるばかりか、病害発生が起りやすくなる。町田式は、水槽内の水の流れを制御した。図17下のように四隅から中央に向かってカルマン渦を含む水流を発生させると、ゆらぎを含んだ多方向水流によって根が四方へと拡張し、養分と酸素を効率よく取り入れられる状態が維持される²³。発明者の大浩研熟株式会社では、「システム改良によってメロンの糖度は徐々に高まっているが、クラウンメロンや夕張メロン等の高級メロンに匹敵するようなBrix値にはまだ到達できていない」と報告している。この養液栽培方式に、本論文で提案する植物油粕/光合成細菌/ALA/放線菌の技術を融合することで、高糖度・安心・高収量の3要素を兼ね備えた戦略的な農産

物生産システム「Mutant Agro-System」を構築することができるだろう。

3-5 高品質メロンを題材とした実行可能性の検証

新たな農産物生産モデル「Mutant Agro-System」の収益性について、検証を行った。参考としたのは、三菱総研が「あおもりモデル」に関して調査報告したコスト試算方法である²⁴。トマトの養液栽培を想定して太陽光利用型の1haクラスの植物工場を建設した場合の収益計算結果である。メロンも、トマトと同様に比較的強い光を必要とするためにこの算出方法や試算額を参考にすることにした。

(a) 単位面積当たりの収穫個数

町田式水耕栽培では、メロン一株の枝が約2m四方に広がる。一株当たりの収穫数は40個である²²ことから、1平方メートル当たりの収穫数は10個となる。年間収穫回数が4回であることから年間の単位面積当たりの収穫個数は40個と計算される。これに対して、土耕栽培では、幅1mのベルト状敷地にて約50cm間隔で栽培されるため1平方メートル当たりの収穫個数は2個、年間の単位面積当たりの収穫個数は8個になる。町田式水耕栽培システムを採用した本モデルは、従来の土耕栽培の5倍の生産効率を有する(図18)。

(b) 1haあたりの年間出荷量

農林水産省の野菜生産出荷統計によれば、土耕栽培を採用している静岡県の温室メロンの年間出荷量は、1haあたり27.2トンと計算された。(a)より、本モデルは単位面積当たりの収穫量が土耕システムの5倍であることから、年間収穫量(総量)を、1haあたり136トンと見込むことができる(図19)。

(c) 事業収益

東京都築地市場のHPでアールスメロンの品目取扱実績を調査したところ、月毎に変動はあるものの平均して約1,000円であることが分かった。(b)で算出した出荷量から、年間収入は約1.36億円となる。その他の費用(建設費/経費/減価償却:三菱総研の試算と同額に設定)を差し引くと、単年で4,600万円の利益が確保できるという結果が得られた。初期投資額は大きいものの、高価格果実を高収量で得られる「Mutant Agro-System」であれば、収益性を確保できることが検証できた(図20)。

おわりに

本論文では、日本の農業と油脂産業がともに成長していくことを目標に掲げ、高価格帯で販売できる品種を高収量で収穫する新たな植物工場システム「Mutant Agro-System」を提案した。本システムは、コモディティ農産物の高効率生産を営む既存の植物工場とは目的を異にしており、ボーダーレスな世界経済の中で日本農業が独自の地位を獲得するための活路を切り拓く戦略的有効策になり得ると我々は考えている。

武器として利用したのは、日本が古来より磨き上げてきたバイオテクノロジーの技術であった。光合成細菌による発酵処理を受けた油粕は、大量のALAへと形を変える。特殊な水耕栽培槽に導入されたALAは、健やかに繁茂した根から速やかに吸収され、植物体内の光合成活動を最大限に活性化する。これにより、農産物の甘味増大と高収量化の両立が実現するのである(図 21)。

本論文では、養液栽培の具体例としてメロンを取り上げたが、適用可能品種は狭きに留まらない。イチゴやブドウは、アミノ酸によって食味が向上し、且つ養液栽培方式で生育が可能な農作物の好例である²⁷⁻²⁸。オランダの成功例より、輸出型農業においては栽培品種を他国が追随できないものに絞ることが肝要と推知されるが、その観点で言えば、メロン・イチゴ・ブドウの3品種で甘味秀逸な果実を安定輸出できたならば、日本は世界的な高級果実産出国として十分な名声を獲得するであろう。

最後に、本システムが更なる進化を遂げた場合の日本農業の発展可能性について述べる。本論文では、液肥生産の出発原料として油粕を選択したが、将来的には油粕以外の植物由来素材にも発酵技術を適用したいと考えている。植物由来素材として我々が着眼しているのは、野山に豊富に生育する草木である。山間地に恵まれた日本国土が産出する無限の植物資源を、微生物の力で有用素材へと転換し、植物工場システムの多拠点化／高収益化に役立てたい。窒素源を多く含む油粕とは異なり、木材や稲わら等のリグノセルロース系植物は容易には資源化しない。しかし、食糧と競合しないこれらを食物生産に役立てることは、持続可能な社会を実現していく上で非常に有意義である。この考えから、日本の微生物利用研究に、より一層の進化を期待する。その扉が開かれた時には、過疎が進む山間地域から資源を得て、地方都市近郊の植物工場で高付加価値農産物を生産し、地方空港を拠点として国内外への流通ルートを構築できるであろう。日本の地方都市で踏み出す日本農業の一步が、世界中の人々の“食”に彩りを加える。冒頭で

記した杉田玄白の言葉に、日本農業の未来がしっかりと重なることを我々は願っている。

参 考 文 献

- 1) 農林水産省, “食料需給表”, 知ってる? 日本の食糧事情,
<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/>, 2017/7/25
- 2) 平井晴己、永富悠、中西哲也、洪起源、姜京善, 「日本におけるバイオディーゼル導入について」, 『IEEJ』 6, 1-77, 2008
- 3) 八木浩平, 「我が国における大豆粕フードシステムの構造遷移」, 『フードシステム研究』, 71-81, 2015
- 4) 日本植物油協会, “油粕(ミール)の利用”, 植物油の道 -植物油の生産から消費まで, http://oil.or.jp/kiso/seisan/seisan07_01.html, 2017/7/25
- 5) 羽賀清典(農研機構), “有機廃棄物のリサイクル及びバイオマス利用”, 公益社団法人 日本技術士会,
https://www.engineer.or.jp/c_topics/000/attached/attach_116_1.pdf, 2017/7/25
- 6) 齋藤三四郎ら(株式会社J-オイルミルズ), 菜種ミールの製造方法, 特許第3970917号, 20017/7/25
- 7) Wikipedia, “大豆油粕”, Wikipedia
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A7%E8%B1%86%E7%B2%95>, 2017/7/25
- 8) 日本植物油協会, “こんなところでも大活躍! 植物油のパワー”, 日本植物油協会, http://www.oil.or.jp/info/25/25_1.html, 2017/7/25
- 9) 横山勉(日本技術士協会), “脱脂大豆は“ダイズカス”に非ず”, Food Watch Japan, http://www.foodwatch.jp/secondary_inds/soybeanclmn/30241, 2017/7/25
- 10) 遠田幸生(秋田県産業技術総合研究センター)、濱野美夫(秋田県立大学), “ナタネ油粕のバイオマス燃料化及びその燃焼灰からの高濃度リン酸資源活用技術”, 科学技術振興機構,
https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/10/1033/kitatohoku5.pdf, 2017/7/25
- 11) 中村真人、柚山義人、森淳、山岡賢(農研機構), “成分調整家畜ふん堆肥製造用添加資材の選定のための成分特性一覧”, 農研機構,
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2006/nkk06-37.html>, 2017/7/25

- 12) 横山和成監修, 『図解でよくわかる土壌微生物のきほん 土の中の仕組みから、土づくり、家庭菜園での利用法まで』, 誠文堂新光社, 2014年
- 13) 塩崎尚朗編, 『肥料便覧 第6版』, 農文協, 2008年
- 14) 農林水産省, “生産農業所得統計”, 統計情報,
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/, 2017/7/25
- 15) 古在豊樹監修, 『図解でよくわかる植物工場のきほん 設備投資・生産コストから、養液栽培の技術、流通、販売、経営まで』, 誠文堂新光社, 2014年
- 16) エペ・フューヴェリンク編著 中野明正・池田英男他監訳, 『トマト オランダの多収技術と理論 100トンどりの秘密』, 農山漁村文化協会, 2012年
- 17) 在オマーン日本国大使館, “オマーンで人気の日本産マスクメロン”, 在オマーン日本国大使館,
<http://www.oman.emb-japan.go.jp/japanese/150816-2.htm>, 2017/7/25
- 18) 福山寿雄(愛媛大学), 「土耕との比較でみた各種養液栽培メロン果実の形状ならびに糖, アミノ酸含量と食味評価」, 『生物環境調節』, 28(2)61-69, 1990
- 19) 佐々木健・佐々木慧著, 『光合成細菌 採る・増やす・とことん使う 農業、医療、健康から除染まで』, 農山漁村文化協会, 2015年
- 20) 田中徹(コスモ石油株式会社), 「5-アミノレブリン酸(ALA)含有高機能性肥料(PKV)の開発」, 『月刊 技術士』, 2 12-15, 2006
- 21) 佐々木健・佐々木慧・竹野健次(広島国際学院大学), 「光合成細菌の農業、環境、医療、健康分野への応用と将来」, 『生物工学会誌』, 94 146-156, 2016
- 22) 東京都産業労働局, “放射状ゆらぎ水流の水耕栽培槽「町田式水耕栽培槽」”, 東京都産業労働局,
<http://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.jp/chushou/shoko/sougyou/trial/list/h26/07/>, 2017/7/25
- 23) 大浩研熱株式会社, 「水耕栽培槽」, 『公開特許公報』, 特開 2013-118843
- 24) 三菱総合研究所, “あおもり型植物工場ビジネスモデルの構築に向けた調査研究業務報告書”, 三菱総合研究所,
http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/shoko/chiikisangyo/files/h23_shokubutsukoujou_houkoku.pdf, 2017/7/25
- 25) 東京都中央卸売市場, “市場統計情報(築地・アールスメロン)”, 東京都中央卸売市場,
http://www.shijoutokei.metro.tokyo.jp/asp/searchresult2.aspx?gyoshucd=1&smode=10&s=2017|3|2017|5|0|4|n|n&hinmoku_flg=true, 2017/7/25

- 26) 静岡県温室農業協同組合クラウンメロン支店 袋井市農業振興会 静岡県農林技術研究会, “温室メロンの秘密大発見”, 袋井市ポータルサイト内, <http://www.city.fukuroi.shizuoka.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/37/merondokuhon.pdf>, 2017/7/25
- 27) 一般社団法人日本水耕栽培推進協議会, <http://hp-japan.org/index.html>, 2017/9/11
- 28) 田村史人、藤井雄一郎, 「底面給液及び培養液循環を組み合わせた養液栽培法がブドウ ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ の新梢生長、果実品質および収量に及ぼす影響」, 『園学研』, 83-88, 2003

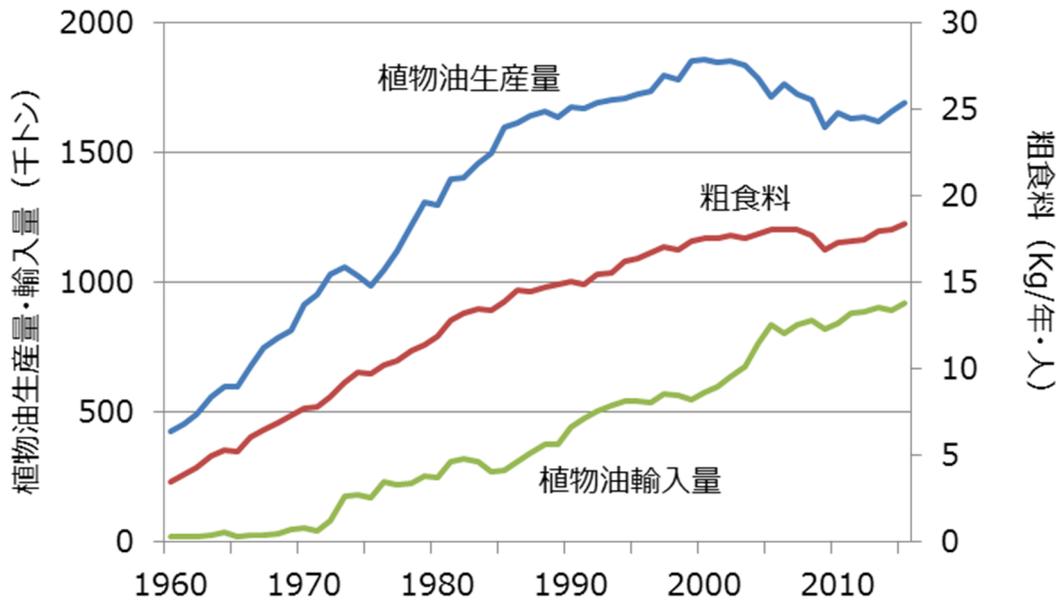


図 1 植物油生産量・輸出量の経年推移（出典：農林水産省「食料需給表」より）

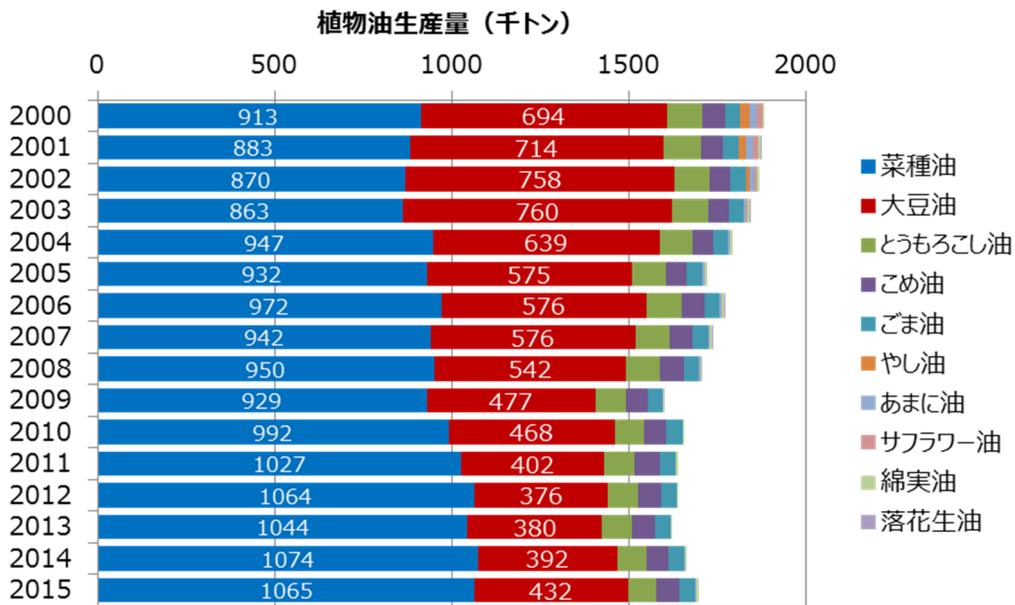


図 2 油種別生産量の経年推移（出典：農林水産省「食料需給表」より）

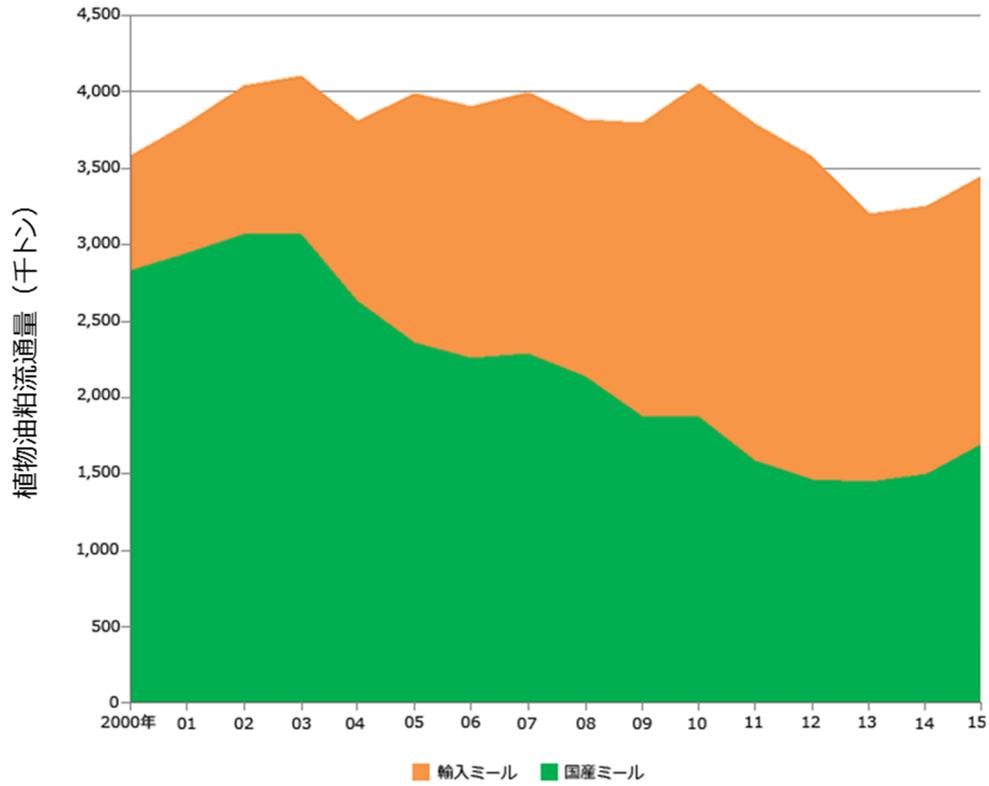


図3 植物油粕の輸入量の経年推移 (出典：植物油協会HPより)

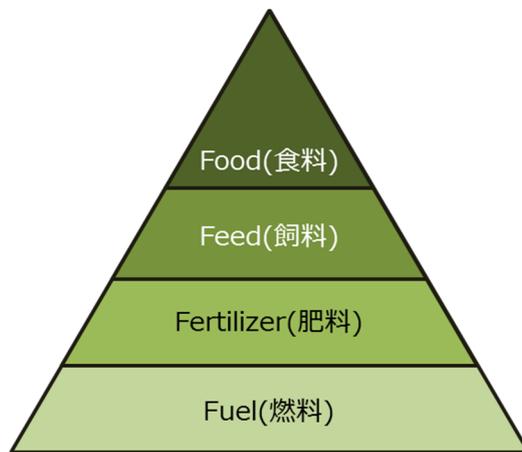


図4 バイオマスの再資源化における4視点 (出典：農研機構HPより)

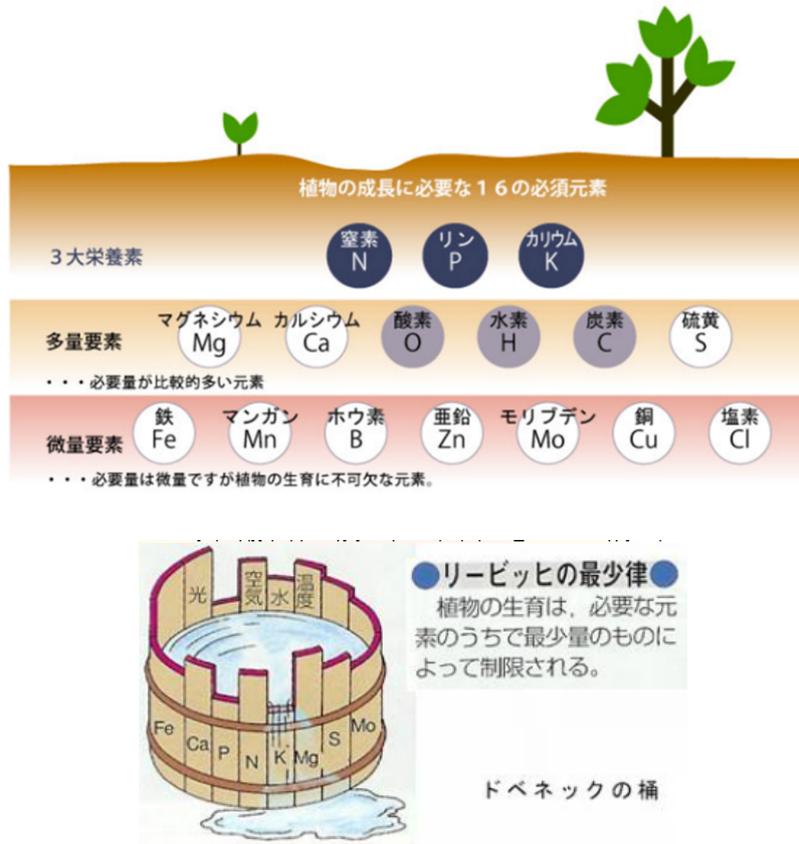


図6 植物の成長に必要な16元素（出典：株式会社チャームHP、啓林館HPより）

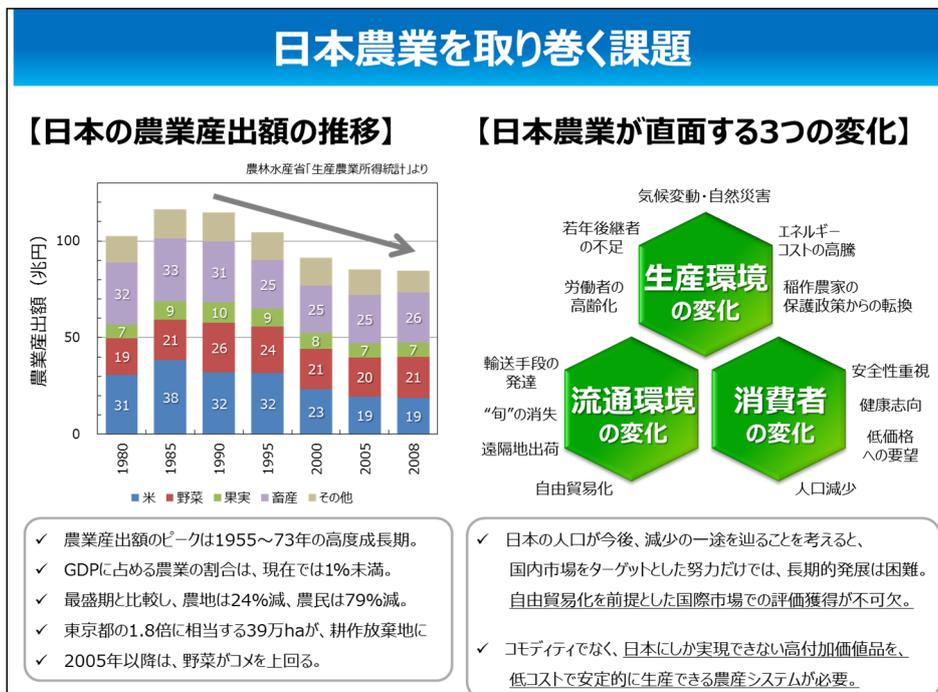
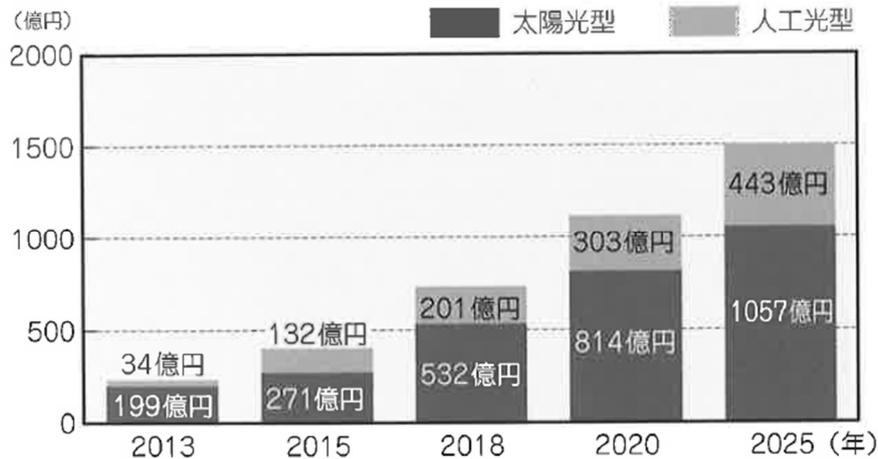


図7 日本農業を取り巻く課題（出典：農林水産省「生産農業所得統計」より）

国内植物工場での野菜生産額予測



(資料：矢野経済研究所調査、2013)

図8 植物工場における今後の野菜生産額予測 (出典：植物工場のきほんより)

市場性

◆日本産メロンの名声

在オマーン日本国大使館
Embassy of Japan in the Sultanate of Oman

オマーンで人気の日本産マスクメロン

2015年8月16日掲載

日本の高級マスクメロンは、オマーンの富裕層に大変人気があります。主に贈答用です。

オマーンで一般的に食されるメロンはあっさりとしていて、しっかりと歯ごたえがあります。その一方、日本産マスクメロンは、その名の通り、麝香（マスク＝“musk”）のように芳醇な香りと甘み、とろけるような舌触りが特徴です。

これが、日本産マスクメロンが「**食べるダイヤモンド**」として、オマーンの富裕層に好まれている所以なのでしょう。

日本食が世界中で人気であるように、メロンをはじめ、手間暇かけて生産される日本産の果物も世界で脚光を浴び始めているようです。

在オマーン日本国大使館 HPより

◆メロン出荷実績(2016年)

	数量 (t)	金額 (千円)	FOB価格 (円/Kg)
世界計	353,200	332,307	937
香港	288,960	267,866	927
台湾	16,886	12,361	732
シンガポール	16,662	10,097	606
タイ	14,132	13,044	923
オマーン	315	4,200	13,333
UAE	170	530	3,118

農林水産省 貿易統計より

◆中東を拠点としたブランディング

“食べるダイヤモンド”
未体験の味・香り・食感

ラグジュアリー・ギフト
贈る人と受け取る人が
“非日常”の幸せをシェア

認知獲得のためのプロモーション案
 (a) 中東を拠点とするエアラインの機内食で提供
 (b) ラグジュアリーホテルのレストランで提供
 (c) パーティのケータリングサービスで提供
 (d) 現地ミシュラン獲得レストランで提供

図9 日本産高級メロンの海外での市場性 (出典：在オマーン日本国大使館HP他より)

養液栽培の培養液処方(例)

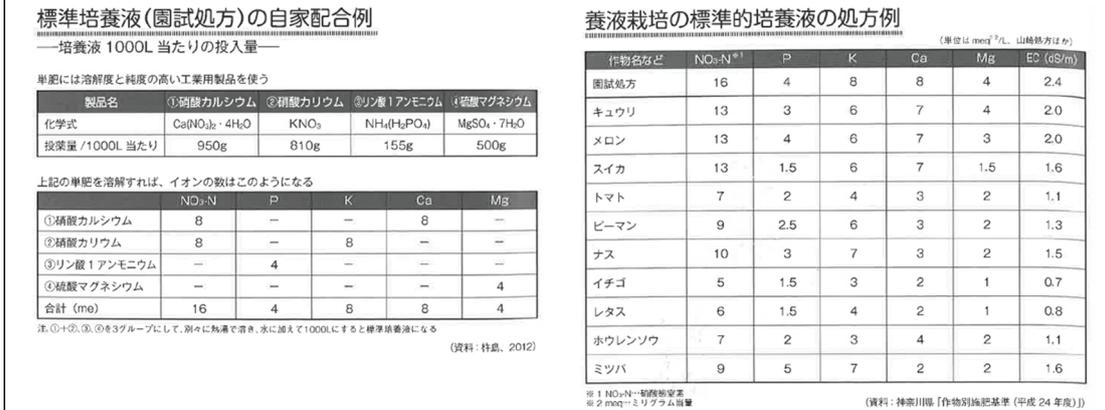


図 1 0 養液栽培の培養液処方例 (出典: 植物工場のきほんより)

光合成・呼吸と物質代謝の関係

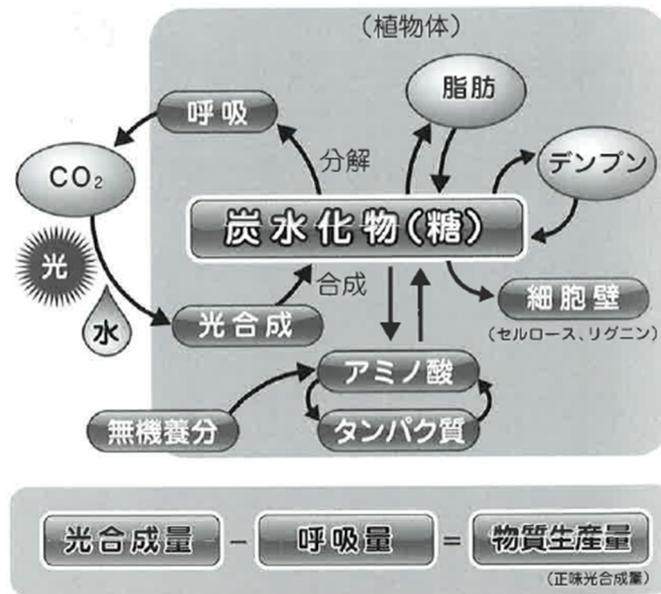


図 1 1 光合成と物質代謝 (出典: 植物工場のきほんより)

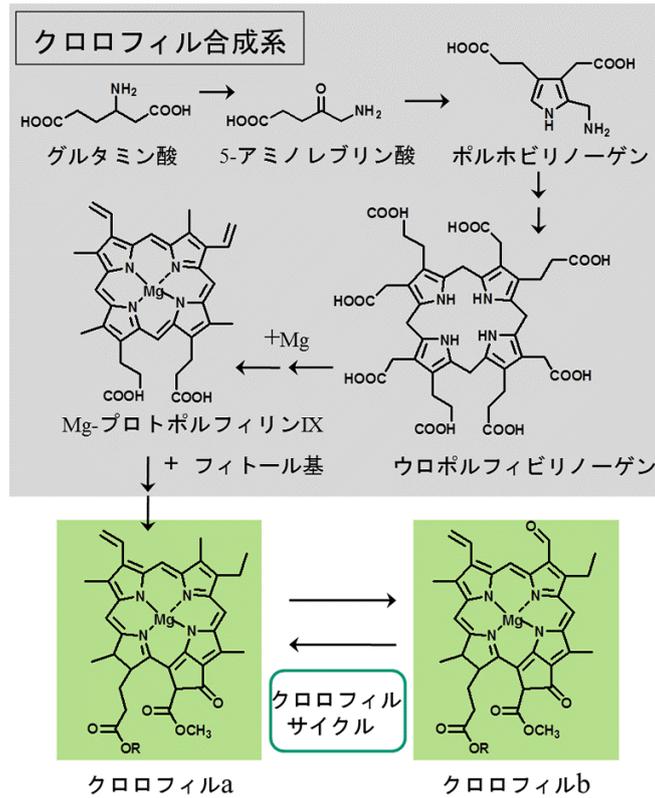


図 1 2 生体内でのクロロフィルの合成経路（出典：農研機構HPより）

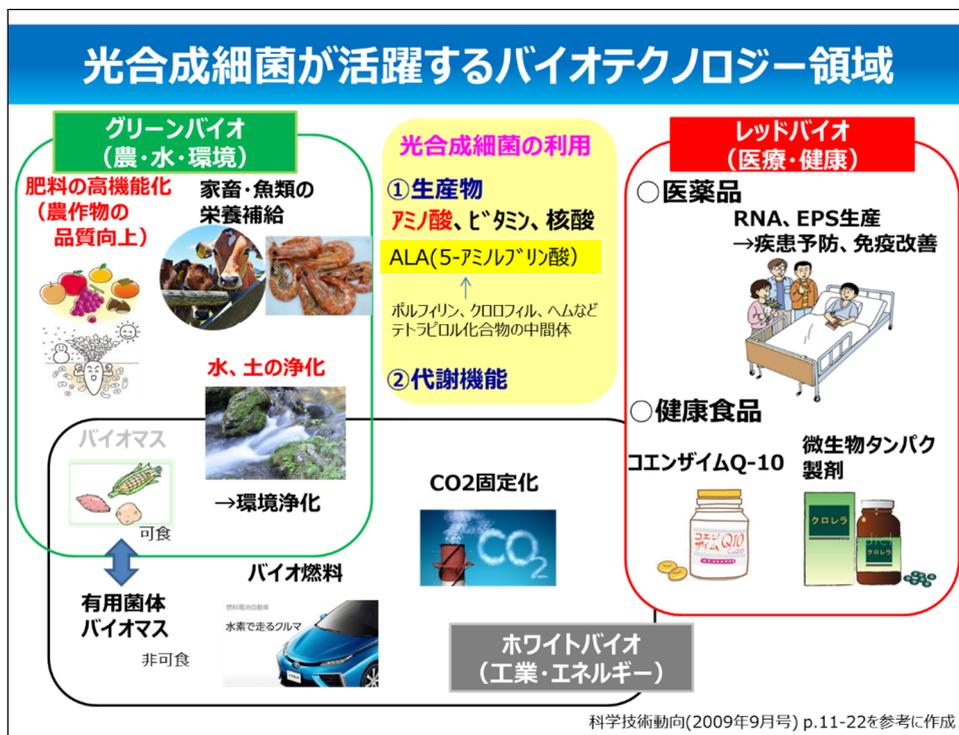


図 1 3 光合成細菌が活躍するバイオテクノロジー領域（出典：科学技術動向より）

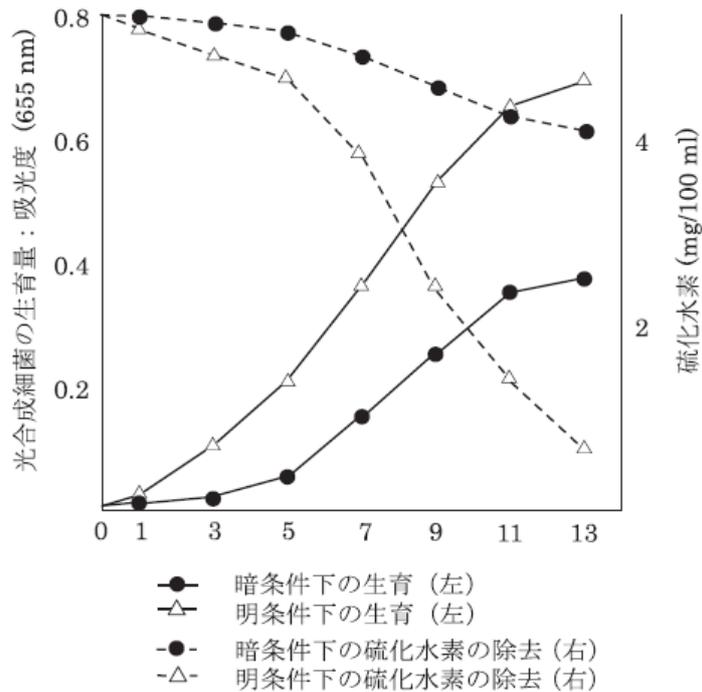


図 1 4 光合成細菌 (*Chromatium sp.*) の生育と硫化水素の除去 (出典: 生物工学より)

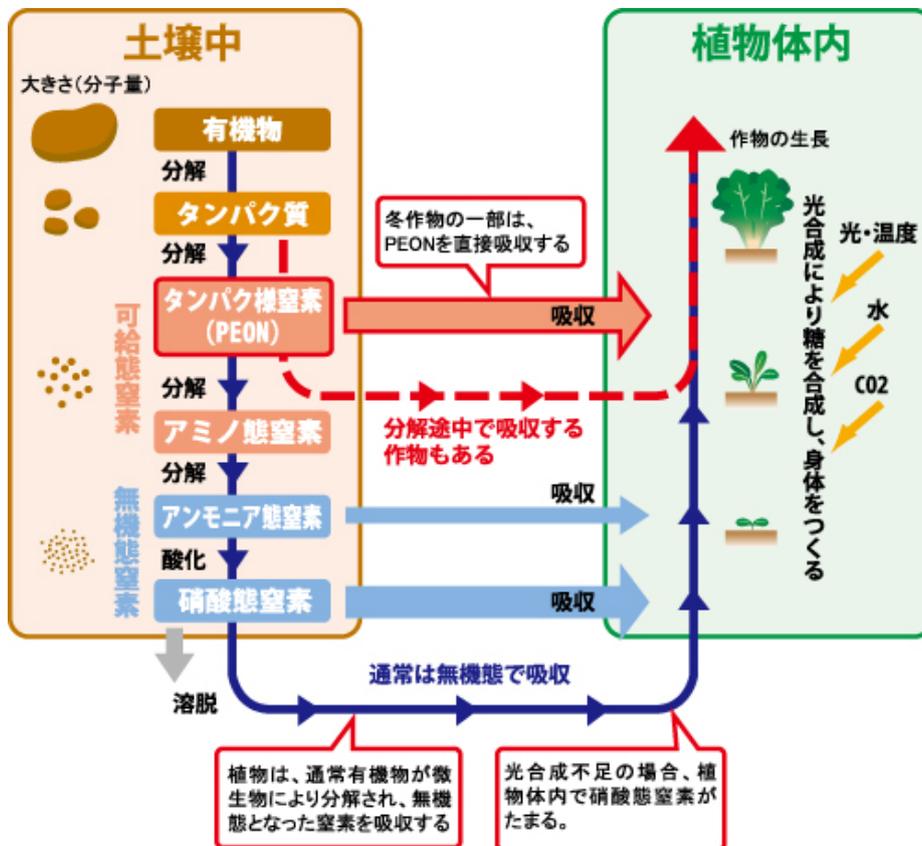


図 1 5 有機物の分解プロセスとPEON吸収 (出典: ヤンマーHPより)

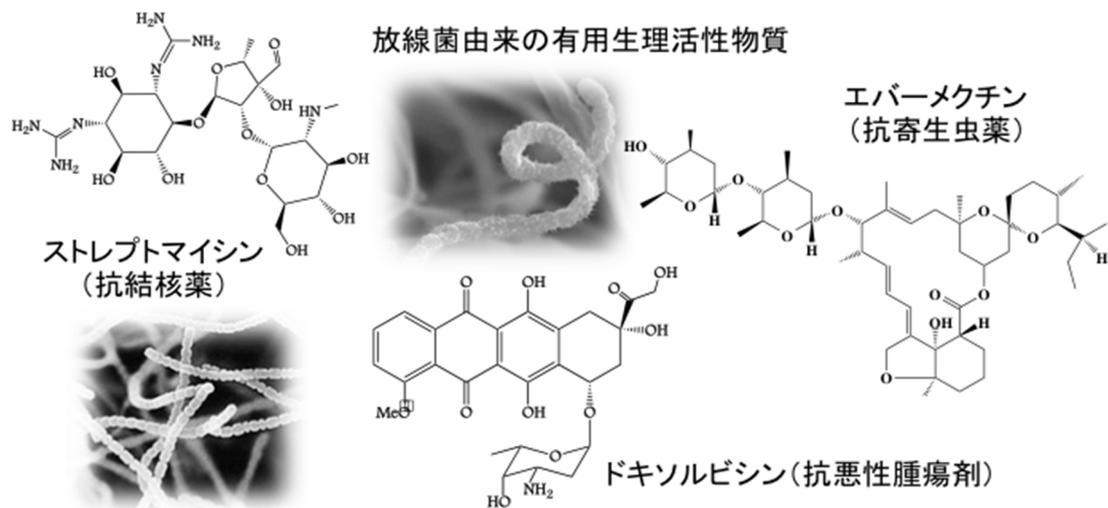


図 1 6 放線菌由来の有用生理活性物質 (出典: 信州大HPより)

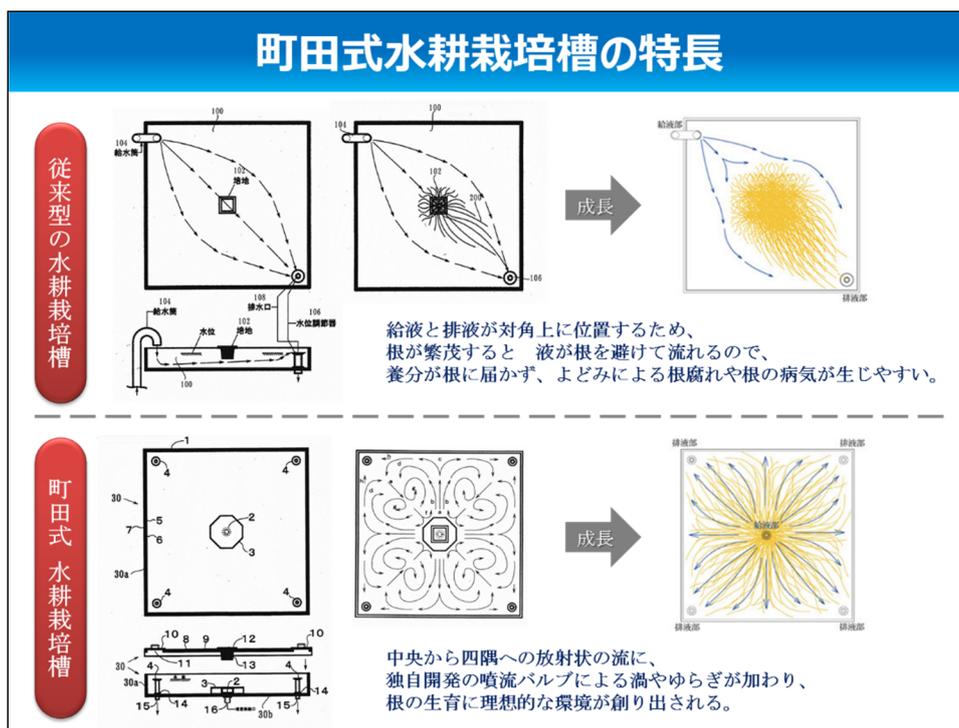


図 1 7 町田式水耕栽培槽の特長 (出典: 大浩研熱株式会社 出願特許より)

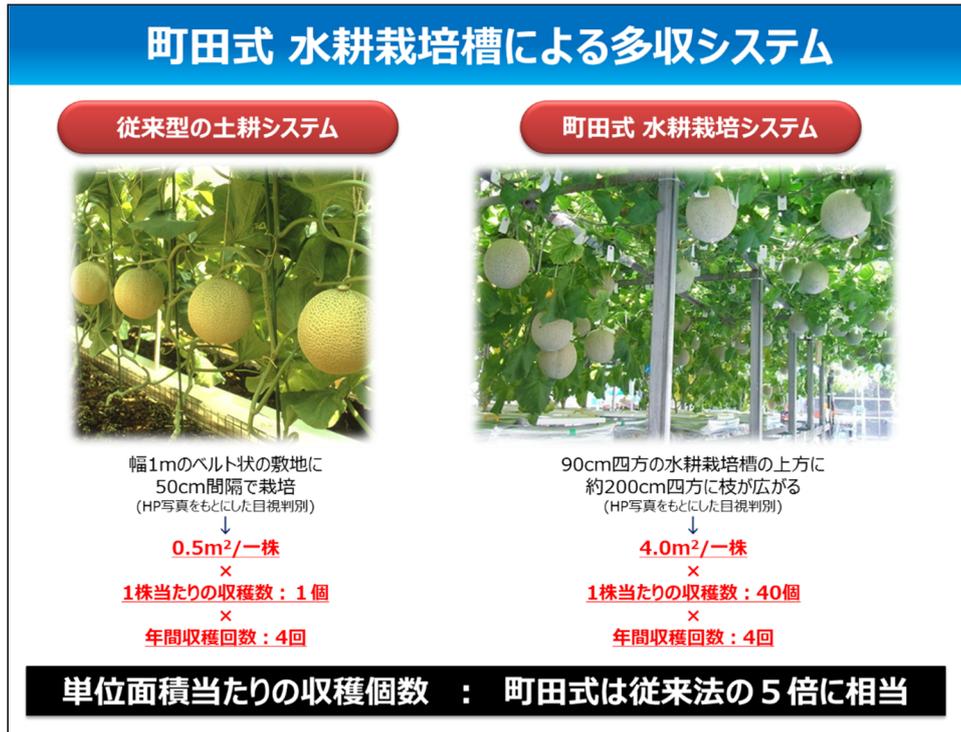


図 1 8 町田式水耕栽培槽の収穫量試算（出典：東京都産業労働局報告等より）

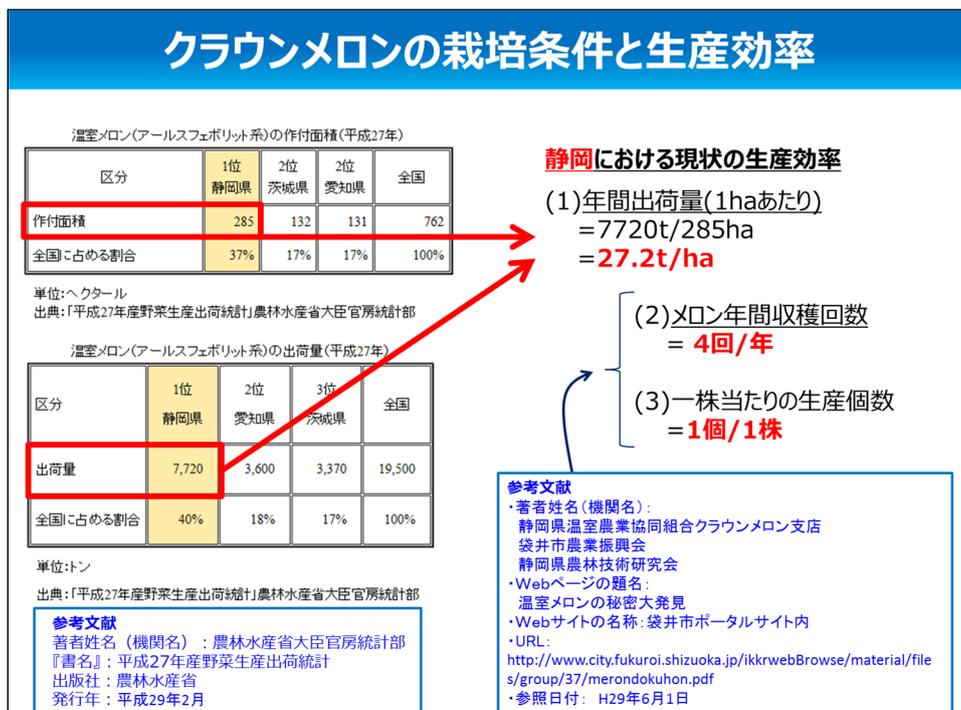


図 1 9 町田式水耕栽培槽の生産効率（出典：東京都産業労働局報告等より）

事業計画書 (三菱総研の植物工場収益計算報告書をもとに試算)			
	三菱総研試算例①	三菱総研試算例②	本提案での試算
適応モデル	② 中小規模地産地消型 ③ 工場排熱利用型 ⑤ 市民参加型	① 大消費地向け型 ② 中小規模地産地消型 ③ 工場排熱利用型	① 大消費地向け型 ② 中小規模地産地消型 ③ 工場排熱利用型
栽培面積規模 光方式	5000m ² クラス 太陽光利用型	1ヘクタールクラス 太陽光利用型	1ヘクタールクラス 太陽光利用型
前提条件	トマト 年産100トン	トマト 年産180~220トン/ha	メロン 年産136トン/ha
建設費	1億~1.5億円	2.6~3.5億円	3.5億円
収入	5000万円/5000m ²	1億円/ha	1.36億円/ha 築地市場におけるアールスメロンの 品目取扱実績(平均価格)をもとに キロ単価1000円で試算
経費	4000万円 パート4人：1000万円 水・光熱：700~1500万円 出荷資材他：2000万円	5500万円 パート8人：1500万円 水・光熱：1700~2500万円 出荷資材他：2000万円	5500万円 パート8人：1500万円 水・光熱：1700~2500万円 出荷資材他：2000万円
減価償却(10年)	1000万円	3500万円	3500万円
単年収益	0万円	1000万円	4600万円

図 2 0 本提案での事業計画書 (出典：三菱総研調査結果をもとに試算)

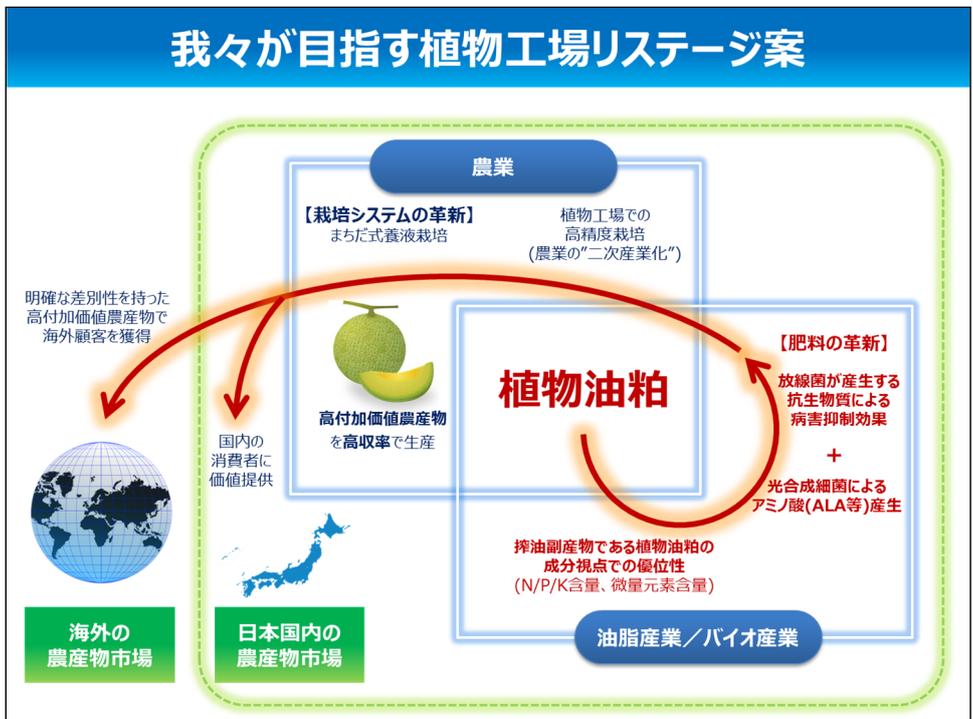


図 2 1 植物油粕を活用した植物工場リステージ案の全体像

表1 各種バイオマスの含有成分の特長 (出典：農研機構HPより)

分類	肥料三要素の含有率 N:P ₂ O ₅ :K ₂ O (乾物重量%) (肥料バランスの特徴)	NaCl 濃度 (%)	施用1年後の炭素分解率 (%) (モミガラを基準 とした分解特性)	C/N比 (窒素無機 化特性)	含水率 (%)
モミガラ	0.5:0.1:0.4 (3要素とも少ない)	0.3	38.8 (標準)	69.9	10
ワラ類	0.74:0.3:2.3 (カリが多い)	0.2	47.1 (やや分解しやすい)	60.2	15
ヌカ類	2.8:3.9:1.9 (三成分のバランスがよい)	0.7	80.8 (かなり分解しやすい)	15.4	12
作物副産茎葉類	2.6:0.7:6.0 (リン酸が少なく、カリが多い)	0.5	-	19	81
野草類	1.9:0.7:2.0 (リン酸が少ない)	0.4	-	25.3	81
木質類	0.3:0.07:0.3 (3要素とも少ない)	0.3	-	52.3	20
落ち葉類	0.7:0.1:0.4 (3要素とも少ない)	0.3	-	76.7	26
植物油粕類	6.0:2.2:2.1 (3要素とも多く、特に窒素が多い)	0.1	70.3 (かなり分解しやすい)	8.7	11
食品産業製造粕類	3.4:0.8:0.6 (窒素が多い)	醤油粕 9.3 醤油粕以外 0.1	62.3 (分解しやすい)	10~50	10~80
茶かす	4.3:0.6:0.8 (窒素が多い)	-	-	12.1	8

表2 各種バイオマスの高位発熱量の比較 (出典：農研機構HPより)

	含水率	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	NaCl 濃度	ADF	施用1年 後のC分 解率	C/N 比	(高位) 発熱量	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		MJ/kg	kcal/kg
稲ワラ (水稲)	12.2	37.4	0.86	0.13	1.95	0.30	0.10	0.07	0.2	39.2	54.0	43.7	15.1	3612
バガス	15.5	47.1	0.30	0.052	0.35	0.50	0.081	0.18	0.5	61.4	31.4	155.3	17.3	4124
モミ殻	9.5	34.6	0.50	0.03	0.31	0.0080	0.071	0.13	0.3	54.1	38.8	69.9	14.4	3431
米ヌカ (生)	12.0	40.2	2.69	2.34	1.76	0.03	0.97	0.43	1.1	11.7	82.1	14.9	21.3	5083
カンショツル	87.2	42.7	2.13	0.22	3.0	1.0	0.17	0.12	0.3	-	-	20.1	17.0	4061
ススキ (開花期)	60.5	48.6	0.81	0.42	0.48	0.22	0.11	0.072	0.2	-	-	59.9	17.0	4057
セイタカアワダチソウ	81.1	48.9	1.86	0.26	1.7	1.1	0.17	0.073	0.2	-	-	26.2	17.3	4124
スギ (木屑)	12.6	50.3	0.05	0.0035	0.24	0.077	0.018	0.17	0.4	-	-	103.2	20.3	4858
落ち葉 (さくら)	19.5	52.2	0.70	0.064	0.77	2.3	0.41	0.18	0.5	-	-	74.2	21.2	5064
ナタネ粕	12.3	47.6	6.77	1.25	1.30	0.71	0.53	0.02	0.1	22.1	71.4	7.0	19.2	4592
糖蜜(サトウキビ、国内産)	26.8	36.7	2.10	0.11	3.17	1.19	0.47	0.37	0.9	-	-	17.5	15.0	3576
ビール粕 (生)	74.3	47.7	4.30	0.50	0.04	0.21	0.22	0.01	0.0	19.1	74.6	11.1	20.2	4815
焼酎粕	94.5	45.6	3.78	0.53	-	0.14	-	-	-	-	-	12.1	19.6	4668
トウフ粕 (乾)	8.2	50.4	4.58	0.34	1.20	0.37	-	0.02	0.1	22.5	71.0	11.0	21.5	5125
緑茶かす (神奈川県)	5.01	51.0	5.02	0.36	0.66	0.52	0.16	-	-	-	-	-	20.6	4930

(NaCl濃度)=(Na濃度)×2.54

表3 メロンの甘味(Brix値)と糖含量の相関(出典:生物環境調節より)

Table 3 Sugar content of muskmelons cultivated with various culture mediums.

Culture medium	Item									
	Brix (%)		Fructose (mg/ml)		Glucose (mg/ml)		Sucrose (mg/ml)		Total (mg/ml)	
	Mean	CV (%)	Mean	CV (%)	Mean	CV (%)	Mean	CV (%)	Mean	CV (%)
DFT	13.7 cd*	5.4	12.2 a	22.5	14.1 a	20.6	58.7 bc	30.1	85.0 bc	22.7
NFT	15.6 a	3.4	13.3 a	8.1	14.7 a	8.6	68.3 bc	13.1	96.2 ab	10.3
Rockwool culture	14.0 c	2.3	13.0 a	19.4	14.5 a	15.1	55.8 c	13.5	83.3 c	13.5
Kuntan culture	13.4 d	5.8	13.7 a	15.8	16.0 a	10.1	55.6 c	23.2	85.4 bc	14.6
Soil culture	14.6 b	4.1	13.3 a	13.9	15.1 a	18.2	74.6 a	7.2	103.1 a	4.3

* Duncan's new multiple-range test at 5% significant level.
CV (%): Coefficient of variation.

表4 メロンの甘味とアミノ酸含量の相関(出典:生物環境調節より)

Table 4 Content of free amino acids of muskmelons cultivated with various culture mediums.

Free amino acid	DFT		NFT		Rockwool culture		Kuntan culture		Soil culture	
	Amount (mmol/l)	CV (%)	Amount (mmol/l)	CV (%)	Amount (mmol/l)	CV (%)	Amount (mmol/l)	CV (%)	Amount (mmol/l)	CV (%)
Aspartic acid	5.83 c*	49.8	6.79 b	14.6	5.88 b	33.9	5.55 b	45.7	8.92 a	20.7
Glutamic acid	2.86 a	58.7	2.36 a	49.6	1.90 a	89.1	1.77 a	84.7	1.47 a	99.1
Serine	8.67 a	10.9	9.08 a	7.0	6.48 b	17.4	6.37 b	43.3	9.03 a	18.3
Glycine	37.79 b	18.5	58.62 a	10.9	34.24 b	16.3	34.43 b	18.0	36.39 b	16.2
Histidine	0.91 a	25.8	0.61 c	21.8	0.85 ab	13.7	0.71 bc	26.9	0.85 ab	24.4
Arginine	10.64 b	19.0	15.48 a	16.4	11.20 b	14.9	10.30 b	17.8	4.86 c	23.9
Alanine	15.37 a	19.8	12.02 b	15.5	13.95 ab	10.2	14.53 a	19.8	16.06 a	19.9
Proline	20.70 a	41.0	13.67 b	14.1	14.40 b	9.6	15.10 b	41.9	15.55 b	35.2
Tyrosine	0.32 c	21.9	1.12 b	13.2	1.05 b	24.9	1.14 b	21.0	1.38 a	19.4
Valine	2.20 a	17.1	1.62 c	11.2	1.95 ab	8.8	1.93 ab	21.1	1.70 bc	13.3
Methionine	1.17 b	12.3	1.40 a	11.9	0.94 c	20.5	1.12 b	13.0	1.08 b	8.9
Cystine	0.19 d	63.6	0.72 a	11.8	0.39 bc	59.6	0.54 b	35.6	0.25 cd	9.1
Isoleucine	0.93 a	11.8	0.73 b	11.6	0.58 c	21.7	0.71 b	24.2	0.57 c	21.6
Leucine	0.90 a	10.7	0.57 c	10.2	0.64 c	19.5	0.71 b	12.1	0.57 c	24.3
Phenylalanine	0.83 a	35.4	0.60 b	16.2	0.33 c	41.7	0.41 c	31.7	0.67 b	21.9
Lysine	0.59 ab	15.6	0.38 d	12.5	0.69 a	24.5	0.54 bc	8.8	0.47 cd	34.6
Total	109.90 b	(27.0)	125.74 a	(15.5)	95.47 c	(26.6)	96.92 c	(30.1)	99.80 bc	(30.7)

* Duncan's new multiple-range test at 5% significant level. Ten fruits were used to each plot.
CV (%): Coefficient of variation. Figures in () show the means of CV (%).

表5 5-アミノレブリン酸(ALA)の用途例 (出典：生物工学より)

分野	用途
農業	分解性除草剤, 分解性殺虫剤, 除草促進剤, 植物成長促進剤, 作物収量増量剤, 光合成促進剤, 耐塩性や耐ストレス性付与 低照度での成長と収量促進, 野菜の品質向上と鮮度保持, 作物硝酸減少, リンゴ着色増強, 果物生育収量増加, 砂漠緑化, 花の色改善と枝持ち向上
医用	重金属や薬物毒性診断, ポルフィリン症診断, 癌早期診断, 脳腫瘍治療や癌術中診断, 癌治療 (皮膚, 膀胱, 前立腺, 子宮, 口腔, 十二指腸, すい臓), 痛診断 (胃, 大腸, 肝臓, 食道) 放射線療法の増感, 超音波力学療法や温熱療法, パーキンソン病, 糖尿病改善, 内臓脂質低減, リウマチ治療, 血管腫治療, 糸状菌感染治療, 貧血治療, ヘプタダーゼ阻害剤, 男性不妊治療, 花粉症治療, アトピー改善, アレルギー性鼻炎治療, ニキビ治療, 育毛と脱毛, 日焼け防止, 肌若返り, 老化防止, 健康促進, 運動性向上, *マラリア治療, *薬剤耐性黄色ブドウ球菌治療, *抗癌剤腎症治療 (*動物実験レベル)
その他	ヘム含有酵素生産, ポルフィリンやビタミンB12生産, 動植物組織培養支援, 遺伝子組み換え菌培養支援, 羊毛の育成, 抑制, 鶏, 豚の成長促進, 養魚の寄生虫感染予防, カンパチ, シラスウナギ, アユの成長促進, ベットの腫瘍診断

表6 光合成細菌中のビタミン・色素含有量 (出典：生物工学より)

種類		光合成細菌	酵母 (参考)
ビタミン	B ₂	3,600 µg/100g	2,900 µg/100g
	B ₆	3,000 µg/100g	2,400 µg/100g
	葉酸	2,000 µg/100g	1,700 µg/100g
	B ₁₂	200~2,000 µg/100g	1 µg/100g
	C	20,000 µg/100g	—
	D	10,000 IU	300,000 IU-
	E	31,200 µg/100g	—
色素	細菌性葉緑素	56.1 mg/g	—
	カロチノイド総量	41.7 mg/g	—

平成30年2月21日

〒103-0027 東京都中央区日本橋3-13-11

一般財団法人 **油脂工業会館**

☎東京03(3271)4307 (代表)

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