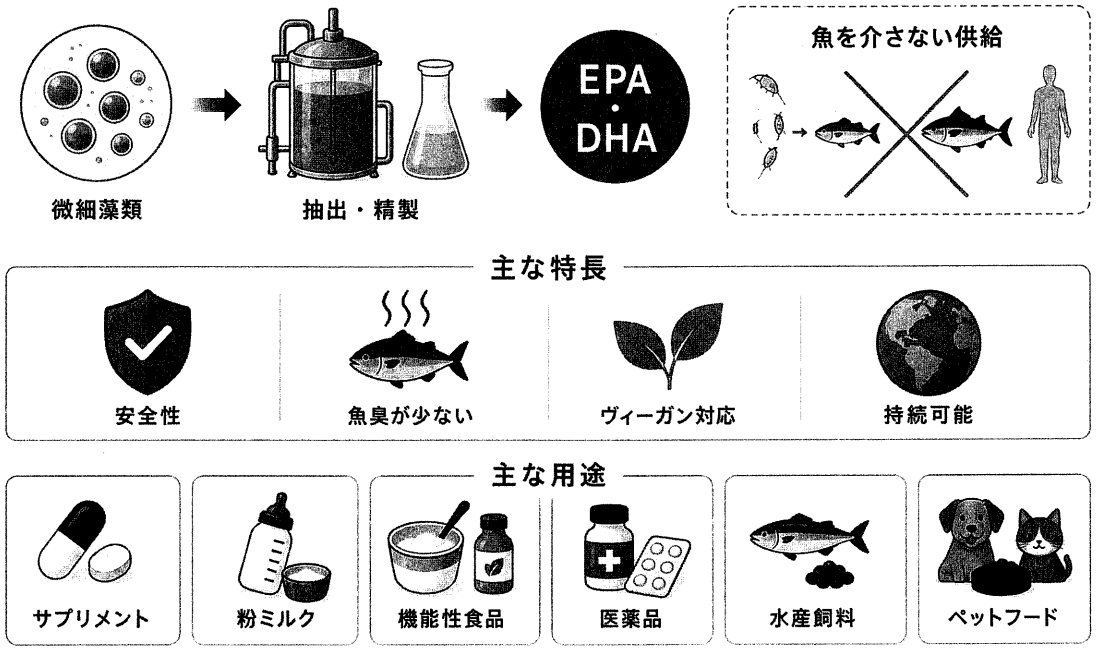


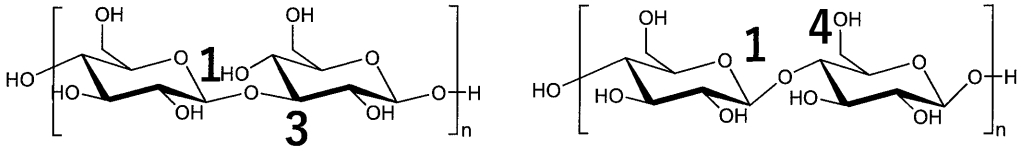
図2　微細藻類由来オメガ3の生産概念

微細藻類を利用し，乳児用調製粉乳，サプリメント，機能性食品，水産飼料など幅広い用途向けにオメガ3原料を供給している。

商業生産で利用される代表的な微細藻類としては，従属栄養培養系では *Schizochytrium* 属（シゾキトリウム属），*Crypthecodinium* 属（クリプテコディニウム属），独立栄養培養系では *Nannochloropsis* 属（ナンノクロロプシス属）などが挙げられる。これらは種ごとに脂肪酸組成が大きく異なり，*Schizochytrium* 属および *Crypthecodinium* 属は DHA を高濃度に蓄積することから DHA 生産に広く利用されている。一方，*Nannochloropsis* 属は EPA 含量が高く，EPA 生産の主要な原料藻類として注目されている。近年では培養技術や育種技術の進展により，生産性や脂質含量の向上が進んでおり，用途に応じた藻類の選択と開発が活発に行われている。

3.4　バリューチェーンと川上・川下プレーヤー

微細藻類由来オメガ3のバリューチェーンは，原料供給，オメガ3製造，最終製品利用の各段階から構成される。川上では，従属栄養培養に必要なグルコースなどの糖原料を ADM や Cargill などの農業・食品大手が供給している。また，大型発酵槽，遠心分離機，乾燥設備，フォトバイオリアクター（PBR）などの生産設備は，バイオプロセス機器メーカーによって供給されている。さらに，高生産性藻株の開発や知的財産の確保は各社の競争力の源泉となっている。



パラミロン　　セルロース

図3　パラミロンとセルロースの化学構造（数字はグルコース炭素の番号）

表1　パラミロンとセルロースの比較

	パラミロン	セルロース
結合様式	β-1,3-結合	β-1,4-結合
集合様式	三重らせん構造	ジグザグのシート構造
生産速度	8～10時間（倍加速度）	多くは年単位
天然での存在状態	マイクロ粒子，純度ほぼ100%	多くはリグノセルロース（複合体）
抽出/生成プロセス	常温常圧下の温和な反応	機械粉砕/高温下での過激な反応
高分子鎖長	ほぼ均一	不均一

徴である。この「長さがそろっていること」が高分子材料化学の観点から非常に重要である。例えば，パラミロンにアシル基を付加することで熱可塑性を付与できるが，「長さがそろっている」ために一本一本のパラミロン高分子が加熱下でほぼ同じ熱挙動を示し，結果として非常にシャープな温度範囲で融解/固化する熱可塑性樹脂となる。

工業生産の観点からのパラミロンの主な長所として，(1) ミドリムシは硬い細胞壁を持たないことから，細胞からのパラミロンの抽出が容易であること，(2) パラミロンは不純物を含まないため，複雑な精製プロセスが不要であること，さらに (3) パラミロンはミドリムシの乾燥細胞重量の70重量%かそれ以上に蓄積されるため高生産性であることが挙げられる。

3.5　パラミロンベースの有機材料素材

以下，パラミロンを出発原料とする有機材料素材について紹介する。本稿の副題にあるように，これまでナノファイバーから接着剤まで，多岐に渡る素材開発に取り組んできた。一見，出口イメージが発散しすぎ，と思われるであろう。これは筆者のひとり（芝上）が2010年にパラミロンベースのものづくり研究開発を開始した当時から念頭に置いていた，ミドリムシの培養からパラミロンベースの材料創成に至る「一気通貫のバイオものづくりスタイル」の確立とその社会実装のためにも多種多様な産業分野が参入できるように，できるだけ多くの出口イメージの設定を試みてきたためである。本稿では字数制限もあることからそのうちいくつかについて紹介するにとどめる。詳しくは本稿末に掲載の文献を参照していただきたい。

1.2 餌料として利用される主な海洋性微細藻類

日本国内における餌料用微細藻類の本格的な探索は，戦後1950年代に海産動物の種苗生産研究と並行して始まった。以来，70年以上にわたる先人らの多大な努力により，現在広く利用されている餌料種が整備されてきた。海洋性微細藻類が餌料として利用されるためには，①給餌対象が消化できること，②必要な栄養素を含むこと，③簡便・安価・大量に培養できること，④種苗に対し攻撃性・毒性を示さないこと，⑤形態や大きさが適当で捕食可能であること，⑥水質を悪化させないこと，といった生理学的，形態学的，そして生産培養面での幅広い諸条件を満たすことが求められる。そのため，現在，生物餌料として実用的に利用可能な海洋性微細藻類は，世界的に見ても10〜20種程度に留まっている[1,2]。これは，微細藻類全体の種数が20万種を超えると推定されていること，そして近年養殖対象種が急激に多様化していることなどの背景を踏まえると，極めて少数限定的な運用であると言える。

現在，ジーンバンク事業では，これまで国内外から収集された11属17種の餌料用微細藻類を配布対象株として登録している（表1）。以下では，その中でも我が国において特に利用頻度が高く，餌料種としての重要性が高い7分類群について，分類学的位置付け，餌料特性，および主な利用場面を概説する。

表1 ジーンバンク事業における餌料用微細藻類の登録株一覧

種および株名	配布実績に基づいた主な給餌対象
Chaetoceros neogracilis	貝類，甲殻類
Chaetoceros sp.	貝類，甲殻類
C. calcitrans	貝類，甲殻類
C. ceratosporum	貝類
Skeletonema costatum	貝類
Phaeodactylum sp.	甲殻類
P. tricornutum	甲殻類
Navicula ramosissima	貝類，棘皮類
Tisochrysis lutea	貝類，甲殻類，棘皮類
Isochrysis galbana	貝類，甲殻類，棘皮類
Diacronema lutheri (*Pavlova lutheri*)	貝類，甲殻類，棘皮類
Dunaliella tertiolecta	甲殻類，棘皮類
Ulvella lens	貝類，棘皮類
Tetraselmis sp.	貝類（親貝を含む），棘皮類
T. tetrathele	貝類（親貝を含む），棘皮類
Chlorella sp.	餌料用動物プランクトン
Nannochloropsis sp.	餌料用動物プランクトン

表2　三つの企業実例にみる『どこで藻類を使う理由が立つか』の整理

実例	既存事業の制約	商品としての採用理由	事業として成立した要因
AlgaEnergy の農業事業	圃場差が大きく，単発の効果だけでは再購入につながりにくい	既存の農業評価軸での優位性	既存販売網と現場説明の仕組みに乗せた
当社ガルデリアの貴金属リサイクル事業	低濃度・強酸性で，ベースメタルなどの共存成分を含む系ではリサイクルが困難	強酸・低濃度条件での回収性能と選択性	既存技術と比較して独自の優位性を持っていた
Corbion 社の omega-3 供給事業	海洋由来 omega-3 で品質・供給条件が読みづらく，餌を適時変更するため養殖工程に職人技が必要になる	規格化された omega-3 の安定供給	既存の調達ストレスを緩和した

し，監査対応，説明資料の修正といった周辺コストも増える。これに対して，発酵由来の藻類 DHA は，規格化された品質，トレーサビリティ，必要に応じた LCA や調達背景の説明可能性を一体で提示しやすい。顧客が求めているのは成分の珍しさよりも，供給の確からしさや，品質の再現性，監査や説明責任への対応のしやすさである。

この事例では，企業にとっての「なぜ藻類か」は，単独の性能指標だけでは決まらない。既存販路，供給基盤，品質保証体制の中に組み込まれてはじめて，藻類由来原料は安定した事業になる。逆に言えば，藻類単体の優位性が多少あっても，顧客企業の既存運用に乗らない形では採用されにくい。ここでも，藻類ありきではなく，既存事業の中でどの条件を改善できるかを先に見る必要がある。

2.6　企業の藻類ビジネス立ち上げで共通して現れる論点

三つの事例には，企業における藻類ビジネスの立ち上げで繰り返し現れる論点がある。以下では，それを三点に分けて整理する。

2.6.1　藻類を使う理由が立つか

企業が最初に見るべきなのは，藻類で何が作れるかではなく，既存事業のどこに制約があるかである。販売量の伸び，採用用途の広がり，粗利，歩留まり，供給安定性のどれを改善したいのかが曖昧なままでは，藻類の強みも定まらない。全量バイオマス利用，立地の自由度，耐酸性，品質一貫性といった特徴は，それ自体では採用理由ではなく，既存素材より有利になる条件が見つかった際に初めて意味を持つ。万能素材として扱うのではなく，「この条件なら藻類を使う理由が立つ」と言える場面まで落とし込めるかが第一の論点である。

2.6.2　作り続けられるか

第二の論点は，採用理由が立ったとして，それを規格内で作り続けられるかである。微細藻類では，培養だけでなく，濃縮，脱水，抽出，精製，規格化，保管，物流までを含む工程全体で再