



沖縄産微細藻類 OPMS30543株の商業生産・事業化に関する研究

金本, 昭彦

(Degree)

博士 (科学技術イノベーション)

(Date of Degree)

2021-03-25

(Date of Publication)

2022-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8094号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008094>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

(論文題目)

沖縄産微細藻類 OPMS30543 株の
商業生産・事業化に関する研究

2021年1月

神戸大学大学院 科学技術イノベーション研究科

(氏名) 金本 昭彦

目次

サイエンス・テクノロジー関連用語集（出現順）	1
ビジネス関連用語集（出現順）	6
第1章 序論	9
1.1 はじめに	9
1.2 研究背景	13
1.3 生物資源ビジネス	14
1.3.1 生物資源ビジネスの歴史とテクノロジーの変遷	14
1.3.2 微細藻類ビジネスの現状と将来	22
1.4 ベンチマーク企業分析 株式会社ユーグレナ	24
1.4.1 技術戦略	26
1.4.2 事業戦略	27
1.4.3 知財戦略	34
1.4.4 財務戦略	34
1.5 イノベーション・アイデア	35
1.5.1 技術的特徴	38
参考文献および引用	42
第2章 先端研究	43
2.1 テーマの背景	43
2.2 材料と方法	44
2.2.1 使用した微細藻類株とラボスケール培養	44
2.2.2 フコキサンチン分析方法	46
2.2.3 屋外培養における培養方法	47
2.3 実験および結果	47
2.3.1 パプロバ株のスクリーニング	47
2.3.2 最適培地の検討	48
2.3.3 培養条件の検討	50
2.3.4 培地中の窒素源および炭素源の検討	51
2.3.5 屋外大量培養に向けた培養器の検討	52
2.4 考察	54
参考文献および引用	58

第3章 技術戦略	61
3.1 ベンチスケール生産	61
3.1.1 ベンチスケール生産設備構築	61
3.1.2 ベンチスケール生産の検討	66
3.1.3 回収、原料化検討	68
3.1.4 生産フローの設計	69
3.2 製品化の検討	71
3.2.1 安全性試験	71
3.2.2 機能性評価	73
3.2.3 フコキサンチンの安定化の検討	75
3.3 実施体制	77
参考文献および引用	78
第4章 事業戦略	79
4.1 外部環境分析	79
4.1.1 PEST分析	79
4.1.2 5フォース分析	85
4.2 内部環境分析	87
4.2.1 業界マップとバリューチェーン分析	88
4.2.2 VRIO分析	89
4.3 ビジネスモデル	91
4.4 事業化検討	93
4.4.1 事業形態検討	93
4.4.2 BtoC商品設計コンセプト	95
4.4.3 BtoC商品設計	96
4.4.4 競合商品の調査	98
4.4.5 販売ストーリーおよび世界観	101
4.4.6 パッケージ案	103
4.4.7 販売戦略	104
4.4.8 事業化スケジュール	110
参考文献および引用	111
第5章 知財戦略	112

5.1 特許戦略.....	113
5.2 意匠（デザイン）戦略.....	115
5.3 商標戦略.....	115
参考文献および引用.....	117
第6章 財務戦略.....	118
6.1 パプロバ BtoC 事業における財務計画.....	118
6.1.1 原価計算.....	118
6.1.2 販売単価設定.....	119
6.1.3 損益計算書作成における前提条件.....	123
6.1.4 損益計算書.....	125
6.1.5 培養水量 200 トンに増設した場合のシミュレーション.....	128
6.2 自社商品開発・ライセンス事業における財務計画.....	132
6.2.1 財務計画の前提条件.....	132
6.2.2 損益計算書.....	133
6.2.3 貸借対照表.....	138
6.2.4 キャッシュフロー計算書.....	140
6.2.5 自社商品開発・ライセンス事業の価値評価（DCF 法）.....	140
6.2.6 考察.....	142
6.3 アライアンス戦略.....	143
6.3.1 OP 社の提供価値.....	143
6.3.2 純資産法に基づいた企業価値評価.....	146
6.3.3 結論.....	149
6.4 持続可能で強固なビジネスモデルの構築.....	150
参考文献および引用.....	152
第7章 結論.....	153
謝辞.....	157

サイエンス・テクノロジー関連用語集（出現順）

用語	意味
ライブラリー	海洋生物、陸上生物、微生物、微細藻類などの生物資源コレクションの集合体と定義する。具体的には、生物資源そのものの他、有機溶媒で抽出して得られたエキス、分画して得られた分画物、精製して得られた化合物についてもライブラリーに含まれる。
合成生物学的手法	合成生物学とは、生物を設計する、作製する、操作することで生命の理解を深めたり、有用物質を生産する新規生物を創生することを研究する学問である。合成生物学的手法とは、その分野の研究成果を用いて有用物質生産を行う手法を意味する。
カロテノイド	カロテノイドとは黄、橙、赤色などを示す天然色素の一群である。微生物、動物、植物などからこれまで750種類以上のカロテノイドが同定されている。たとえばトマトやニンジン、フラミンゴやロブスターの示す色はカロテノイド色素による着色である。
フコキサンチン	フコキサンチン (Fucoxanthin) は分子式 $C_{42}H_{58}O_6$ で表され、非プロビタミンA類のカロテノイドの一つであり、キサントフィルに属しアレン構造、エポキシドおよびヒドキシル基を有している。フコキサンチンは、褐藻やその他の不等毛藻に存在して茶色-オリーブ色を呈するとともに、葉緑体において光合成の補助色素として機能している。フコキサンチンは可視光線のうち主に青色 (400 nm - 500 nm) の波長域を吸収し、450 nm 付近に吸収極大を持つ。特に、褐藻類中のカロテノイドの大部分がフコキサンチンである。
ω3 脂肪酸	ω3 脂肪酸または、n-3 脂肪酸 (n-3 fatty acid) は、不飽和脂肪酸の分類の一つで、一般にω3位 (脂肪酸のメチル末端から3番目の結合の意味) に炭素-炭素二重結合を持つものを指す。 人間の栄養学でω3脂肪酸の必要性について注目されて始めたのは1970年代から1980年代からであり、摂取基準が示さ

	れるのは 2000 年以降となる。栄養素の研究の中でも比較的新しいものである。アルファリノレン酸はヒトの体内で合成できない必須脂肪酸であり、そこから合成されるドコサヘキサエン酸 (DHA) は神経系の機能に関わっている。
EPA	EPA (エイコサペンタエン酸) は、 ω 3 脂肪酸の一つ。必須脂肪酸でごく稀にチムノドン酸とも呼ばれる。5 つのシス型二重結合をもつ 20 炭素のカルボン酸であり、青魚に多く含まれている。医療用医薬品としては閉塞性動脈硬化症、高脂血症治療薬で利用されている。また健康食品にも DHA とともにサプリメントとして用いられている。
DHA	DHA (ドコサヘキサエン酸) は青魚に多く含まれている多価不飽和脂肪酸で、体内では EPA (エイコサペンタエン酸) からつくられ、脳や神経組織の機能を高める働きがある。脳は脳内に入れる成分と入れない成分を選別するが、DHA は脳内に入ることができ、神経細胞を活性化させ記憶力や学習能力を向上させるという報告がある。
GABA	γ -アミノ酪酸または 4-アミノ酪酸 (IUPAC 名 4-aminobutanoic acid) は、アミノ酸のひとつで、主に抑制性の神経伝達物質として機能している成分である。脳内の興奮を鎮め、平常心を保つ手助けをしてくれる癒しの存在である。また、血圧降下作用もあることから、高血圧から引き起こされる脳卒中などの予防にも効果があるとの報告がある。
ヒドロキシプロリン	ヒドロキシプロリンは、プロリンの γ 炭素原子にヒドロキシ基が結合した構造をしている。コラーゲンの主要な成分であり、プロリンとともにコラーゲンの安定性を担っている。
原生生物	原生生物とは、生物の分類の一つ。真核生物のうち、菌界にも植物界にも動物界にも属さない生物の総称である。もともとは、真核で単細胞の生物、および、多細胞でも組織化の程度の低い生物をまとめるグループとして考えられたものである。本論考では、例えばゾウリムシのような生物を指す。
コンタミネーション	特に科学実験の場における汚染のこと。「実験汚染」「実験室汚染」「試料汚染」などの訳語があてられる場合もあるが

	定訳はなく、そのままコンタミネーションとして、あるいは略してコンタミと呼ばれることが多い。ここでは、原生生物などの混入を意味する。
フォトバイオリクター	微細藻類を含む光合成を行う生物を、光エネルギーを利用して培養する装置であり、広義には商業用に広く用いられているオープンポンド、レースウェイポンドもフォトバイオリクターに含まれる。本論考では上述の開放系の培養システムを含まない、閉鎖系の培養システムを指す。
ベンチスケール	研究室で作製するものをラボスケールとし、工場レベルのものをプラントスケールとすると、ベンチスケールはプラントに行くまでの試作スケールのことを指す。
サプリメント	サプリメントとは、栄養補助食品とも呼ばれ、ビタミンやミネラル、アミノ酸など栄養摂取を補助することや、ハーブなどの成分による薬効が目的である食品である。ここでは、タブレットやソフトカプセルなどに加工されたものを指す。
シスト	シストとは、動物、植物、菌類いずれであれ、生活史の一部で、一時的に小さな細胞体や幼生が厚い膜を被って休眠状態に入ったような状態になるときに、それを指している言葉である。 被囊・囊子・包囊などと訳される。単細胞の場合も、多細胞の場合もある。
フェオフィオルバイド	クロロフィルの分解産物であり、光過敏症の原因物質である。
クロロフィル	光合成の明反応で光エネルギーを吸収する役割をもつ化学物質。葉緑素ともいう。
スプレードライヤー	原液を瞬時に粒子にすることが可能な乾燥装置。原液を乾燥室内のノズル(ノズル方式)またはディスク (ロータリーアトマイザー方式) により微粒化し、単位体積あたりの表面積を増大させながら連続して熱風を接触させることにより瞬間的に乾燥・造粒を行い、粒子を製造できる装置。
健康食品 GMP 認証	GMP とは、Good Manufacturing Practice の略で「適正製造規範」という。GMP は原料の受入れから最終製品の出荷に至るまでの全工程において、「適正な製造管理と品質管理」を

	<p>求める。厚生労働省「健康食品」の安全性確保に関する検討会はその報告書（平成 20 年 7 月公表）で、事業者による自主点検結果を第三者が認証する民間主導の制度確立を提言した。公益財団法人日本健康・栄養食品協会が認証している制度である。</p>
ISO22000	<p>ISO 22000 は、『食品安全マネジメントシステム—フードチェーンに関わる組織に対する要求事項 (Food safety management systems - Requirements for any organization in the food chain)』の国際標準規格である。安全な食品を生産・流通・販売するために、HACCP システムの手法を、ISO 9001 (品質マネジメントシステム規格) を基礎としたマネジメントシステムとして運用するために必要な要求事項を規定している。</p>
レギュレーション	<p>一般的にカタカナ語の「レギュレーション」は、規則、規制、制限や禁止事項といった意味で使われる。</p> <p>「ルール (rule) 」にも同じような意味があるが、こちらには法規や法令という意味はない。「レギュレーション」は、「ルール」よりも、法的で公的な意味合いが強い言葉である。</p>
変異原性試験	<p>別名 AMES (エームズ) 試験と呼ばれ、物質の変異原性を評価するためのバイオアッセイ試験法である。カリフォルニア大学バークレー校の ブルース・エイムズ教授らにより 1970 年代に開発されたため、エームズ試験の名がある。変異原性物質には発癌性物質 (イニシエーター) でもあるものが多いため、エームズ試験は発癌性予測の意味でも実施されている。ただしエームズ試験陽性物質と発癌性物質は重ならない部分も多い。</p>
急性毒性試験	<p>動物に被験物質を単回経口投与した後、症状を 7~14 日間程度観察することで、急性毒性症状の発現と用量との関係性を調べる方法である。ヒトにおける過剰摂取時の影響を予測するために用いたり、反復投与試験の設計のための予備材料として用いる。通常は、50、300、2000 mg/kg の被験物質を、</p>

	<p>症状発現に応じて段階的に投与していくことで、半数致死量 LD50 がどの範囲にあるかを調べる。食品の場合はさらに高用量で試験をすることもある。</p>
反復投与毒性試験	<p>数段階の用量の被験物質を、2週間、1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月、9ヶ月、12ヶ月などの期間にわたり、毎日動物に投与することで、被験物質を繰り返し摂取したときに生じる毒性変化を調べる。</p>
育種	<p>育種とは、生物を遺伝的に改良することであり、一般的な言葉の品種改良とはほぼ同じ意味である。しかしながら、生物学では品種とは同じ生物種内の分類に使われる用語であるため、育種という用語は新品種育成と新種育成を含めた意味で使われる。</p>
ゲノム編集	<p>ゲノム編集とは、部位特異的ヌクレアーゼを利用して、思い通りに標的遺伝子を改変する技術である。部位特異的ヌクレアーゼとしては、2005年以降に開発・発見された、ZFN、TALEN、CRISPR / Cas9を中心としたものがある。</p>
賦形剤	<p>賦形剤とは、医薬品や農薬などの取扱いあるいは成形の向上や服用を便利にするために加える添加剤。錠剤では、乳糖やデンプンがよく用いられる。</p>

ビジネス関連用語集（出現順）

用語	意味
バイオエコノミー	バイオマス（生物資源）やバイオテクノロジーを大いに活用しながら、合わせて経済成長の実現を目指す経済活動全般もしくは考え方。
ブレークスルー	発見や発明を梃子にして、従来であれば不可能とされていた事象を科学や技術上の進歩等により解決すること。
イノベーション	イノベーションとは、従来にない新しい発想や技術により、新たなアイデアやプロダクトなどを生み出すこと。本論では、科学技術上のブレークスルーを梃子に新しい製品やサービスを産み出し、それらを通じて社会的または経済的価値を創造することとして定義する。
OEM	ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURING (MANUFACTURER) の頭文字をとった言葉で、委託を受けて他社のオリジナル製品を生産することを意味する。
BtoB	企業が企業に向けて製品やサービスを提供すること。
BtoC	企業が個人消費者に向けて製品やサービスを提供すること。
IR	INVESTOR RELATIONS の略で、企業が株主や投資家向けに経営状態や財務状況、業績の実績、今後の見通しなどを広報するための活動を指す。
事業ポートフォリオ	ポートフォリオとは、一般的に自分のスキルや実績を周囲に伝えるための作品集という意味で使われる。ビジネスシーンでは、事業の組み合わせ、製品の構成などを指す言葉として用いられる。 事業ポートフォリオという場合は、企業が利益を生み出している事業を組み合わせで一覧化したものを指す。
バリューチェーン	事業活動を機能ごとに分類し、どの部分（機能）で付加価値が生み出されているか、競合と比較してどの部分に強み・弱みがあるかを分析し、事業戦略の有効性や改善の方向を探るための考え方のこと。ひとつの製品が顧客のもとに届くまでには、さまざまな業務活動が関係する。

マーケティング	マーケティングとは、企業などの組織が行うあらゆる活動のうち、「顧客が真に求める商品やサービスを作り、その情報を届け、顧客がその価値を効果的に得られるようにする」ための概念である。また顧客のニーズを解明し、顧客価値を生み出すための経営哲学、戦略、仕組み、プロセスを指す。
ブランディング	ブランディングとは、ブランドに対する共感や信頼などを通じて顧客にとっての価値を高めていく、企業と組織のマーケティング戦略のひとつ。ブランドとして認知されていないものをブランドに育て上げる、あるいはブランド構成要素を強化し、活性・維持管理していくこと、また、その手法をいう。
プロモーション	プロモーションは、コミュニケーションの一部であり、製品、サービスに対する意識や関心を高め、購買を促進するメッセージのことを指す。通常、プロモーションの手段としては、広告、販売促進のインセンティブや褒賞、WEB サイトやEメール、販売員、PRなどが用いられ、最近ではSNSを用いたプロモーションが活発化している。
SNS	広義には、社会的ネットワークの構築ができるサービスやウェブサイトであれば、ソーシャル・ネットワーキング・サービスまたはソーシャル・ネットワーキング・サイトと定義される。この為、電子掲示板も広義的にはSNSに含まれることがある。狭義には、SNSとは人と人とのつながりを促進・サポートする、「コミュニティ型の会員制のサービス」と定義され、これらのサービスを提供するウェブサイトも含まれる。SNSの主目的は、個人間のコミュニケーションにある。
導出、ライセンスアウト	導出およびライセンスアウトとは、自社で取得した特許権やノウハウ等を他社に売却したり、使用を許諾したりすることをいう。
ライセンスイン	ライセンスインとは、他社が持つ特許権やノウハウ等に対し、対価を支払って自社に導入することをいう。
EC サイト	EC サイトとは、自社の商品やサービスを、インターネット上に置いた独自運営のウェブサイト販売するサイトのことで

	ある。ECとはELECTRONIC COMMERCE（電子商取引）の略である。
ランディングページ（LP）	ランディングページ（LANDING PAGE/LP）とは、検索結果やWEB広告などを経由して訪問者が最初にアクセスするページのこと。広義の意味では、訪問者が最初に着地（LANDING）するページはすべてランディングページとなるが、WEB広告の分野では、そのなかでもとくに購入や問い合わせなど、訪問者のアクションを誘導することに特化した商品・サービスの紹介ページのことを指して「LP」と呼ばれている。
アライアンス	複数の異業種企業が、互いの利益を上げる、業務を拡大させる、新規事業を立ち上げる、といった目的で、業務提携を交わす経営スタイルのこと。
マイルストーン（収入）	受託開発や共同開発において、開発段階毎に設定する目標のこと。ここでは、目標を達成した際に得られる収入のことを指す。
ロイヤリティ（収入）	特定の権利を利用する利用者が、権利を持つ者に支払う対価のことで、主に特許権、商標権、著作権などの知的財産権の利用に対する対価をいう。本論考では、利用者が生産株、特許権およびノウハウを使用して事業活動を行なった場合、あらかじめ設定した比率（売上もしくは利益に対する割合）で対価を支払うことを指す。

第1章 序論

1.1 はじめに

生物資源を利用したビジネスには、医薬、食品、化粧品、化成品、環境・エネルギー分野と幅広く手がけられてきた歴史がある。中でも、医薬品および食品分野においてその歴史は古く、人間活動へ大いに貢献してきた。歴史的に利活用されてきた生物資源の多くは陸上の生物資源であるが、世界中で陸上生物資源を用いた研究開発が活発であったこともあり、近年は新しいシーズが発見される確率が低下しつつある。

そこで、未だ手付かずの部分が多い海洋生物資源に注目が集まるようになってきた。この状況を踏まえ、海洋調査会社に勤務していた筆者が、海洋生物資源の有効利用をミッションとして2006年2月にオーピーバイオファクトリー株式会社（以下、「OP社」という）を創業した。

創業当初は、海洋調査で培ったサンプリング技術および漁師や漁協とのネットワークを活用して、沖縄を中心とした海域で海洋生物資源を収集し、それらを用いて抽出物を作製してライブラリーを構築し、製薬、食品、化粧品、化学、環境系の企業にシーズ探索源として販売する事業を行っていた（①ライブラリー構築・販売事業）。ライブラリーとは、海洋生物、陸上生物、微生物、微細藻類などの生物資源コレクションの集合体のことをいう。具体的には、生物資源そのものの他、有機溶媒で抽出して得られたエキス、エキスを分画して得られた分画物、分画物を精製して得られた化合物についてもライブラリーに含まれる。しかし、ライブラリー販売だけでは付加価値が低く、事業の拡大成長が困難であると判断したため、製薬企業や食品企業出身の研究者を雇用し、シーズ探索をサービスとして提供する事業を開始した（②化合物探索受託事業）。現在のOP社の主な収益源は、この化合物探索受託事業である。

図1-1に生物資源ビジネスのバリューチェーンとOP社事業の位置付けを示す。バリューチェーンについては、第4章事業戦略で詳細を示すが、生物資源を利用したビジネスバリューチェーンの上流では、まず生物資源を収集するところから始まり、それらから有用シーズを探索するために抽出物を作製する。そして、収集した抽出物ライブラリーを用いて、有用シーズ探索を行う。最終的に活性本体の精製・同定を行い、その後、商品化に向けて有用シーズの大量生産法の検討を行い、原料生産に入る。そして、下流では商品企画を立てて、商品を製造し、販売するためにマーケティングおよびプロモーションを行い、一般のお客様に販売、届けることとなる。このバリューチェーンを上流、中流、下流に分類すると、OP社の事業活動は上流に位置する。



図 1-1 生物資源ビジネスのバリューチェーンと OP 社事業の位置付け

表 1-1 は、生物資源ライブラリーを保有して事業を行っている（いた）企業の一覧である（情報を入手できた企業に限る）。OP 社のように海洋に特化して探索受託を行うビジネスモデルの企業は国内には他に存在せず、海外に現在アクティブな企業が 1 社あるのみである。ここに挙げた OP 社を除く 7 社において、現在もライブラリーを活用した事業を継続している企業は 4 社で、残りの 3 社については、事業活動を中止しているか、既に売却済み、または発見した医薬シーズの開発に特化しているかのいずれかである。

表 1-1 ライブラリードリブンで事業を行なっている（いた）企業例

社名	国	対象	ライブラリー種類	ビジネスモデル	対象領域	現在に至る経緯・状況
オービーバイオファクトリー	日本	海	<ul style="list-style-type: none"> 海洋生物 微生物 微細藻類 植物 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー販売（抽出物、分画物、化合物） 受託スクリーニング スケールアップ受託 	医薬、食品、化粧品、化学、環境	—
ニムラ・ジェネティック・ソリューションズ	日本	陸	<ul style="list-style-type: none"> 植物 微生物 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー販売（抽出物、分画物、化合物） 共同研究 	医薬	現在は活動していない
ハイファジェネシス	日本	陸	<ul style="list-style-type: none"> 微生物 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー販売（抽出物） 	医薬、食品、化粧品、化学、環境	規模は小さいが事業は継続中
MerLion Pharmaceuticals	シンガポール	陸	<ul style="list-style-type: none"> 植物 微生物 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー販売（抽出物、分画物、化合物） 共同研究 受託スクリーニング 	医薬	ライブラリーは国の機関に移管し、現在は自社で発見した抗生物質シーズの開発に特化
AnalytiCon Discovery	ドイツ	陸	<ul style="list-style-type: none"> 微生物 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー販売（抽出物、分画物、化合物） 	医薬、食品、化粧品、化学、環境	バイオエコノミー企業の BRAIN のグループ会社となっている 順調に活動中
PharmaMar	スペイン	海	<ul style="list-style-type: none"> 海洋生物 	<ul style="list-style-type: none"> 自社開発（創薬） 	医薬	抗がん剤を上市し、製薬企業として活動中
BioMar	スペイン	海	<ul style="list-style-type: none"> 微生物 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー販売（抽出物、分画物、化合物） 受託スクリーニング スケールアップ受託 	医薬、食品、化粧品、化学、環境	順調に活動中
Nereus Pharmaceuticals	アメリカ	海	<ul style="list-style-type: none"> 微生物 	<ul style="list-style-type: none"> 自社開発（創薬） 共同研究 	医薬	売却済み、売却先では抗生物質シーズの開発を実施中

ここで、小規模な事業を継続しているハイファジェネシスと、医薬品の上市に成功し、製薬企業に成長した PharmaMar を除いて、事業を順調に継続している企業に注目してみる。

まず、スペインの BioMar のビジネスモデルは、海洋微生物ライブラリーを構築し、それを活用して受託スクリーニングを請け負い、発見したシーズについて生産プロセス検討およびスケールアップ受託を行うというものである。次に、ドイツの AnalytiCon Discovery は、陸上植物および微生物由来のライブラリー販売で成功した企業であるが、現在は、BRAIN というバイオエコノミー系の企業のグループ会社となっており、BRAIN の機能を利用することで発見されたシーズの生産までを請け負っている¹⁾。バイオエコノミーとは生物資源やバイオテクノロジーを大いに活用しながら、併せて経済成長の実現を目指す経済活動全般もしくは考え方である。ここでポイントとなるのは、これらの「生き残っている」2社は、自社もしくは関連企業との共同での探索活動により発見されたシーズを商業規模に持ち込むための生産プロセスとスケールアップに関する検討、および生産機能を保有しているということである。

OP社は、化合物探索受託事業において、探索プラットフォームを用いて、クライアントニーズに寄り添ったきめ細やかな受託サービスを提供することをモットーとしている。その点がクライアントに評価され、受託事業においては高いリピート率をもって事業を継続できている。一方で、発見したシーズの生産プロセス検討や実生産については、基本的にクライアント側に依存しており、これらのシーズの中には①生産技術の不足、②生産性の低さから、そこがバリューチェーン上のギャップとなり、物量が確保できず開発が進まないといったものが少なからず存在している。従って、上述したライブラリードリブンで現在も事業を継続している企業の例からも、上述の①および②の問題を解決してバリューチェーン上の下流に繋げることがOP社の今後の事業成長にとって非常に重要な要素であると考えている。さらに、下流に繋いで最終的に一般の消費者まで届けるには、マーケティング力を持ち、販売力を持つ企業とのアライアンスを活用すべきであると考えている。

そこで、このアイデアについてベンチマーク企業として選定した株式会社ユーグレナの事例分析によって検証を行った結果、このアイデアは妥当であると推定された。

OP社は多様な生物資源ライブラリーを保有しており、そこから生まれる多様なシーズが陥るギャップに対応する必要がある。

今回の研究テーマに用いる素材である OPMS30543 株（以下、「パプロバ」という）は、有用な成分プロファイルを有しており、シーズとしては非常に優秀であるが、従来の方法では生産できない、商業利用できない種として認識されていた株である。しか

し、これに対して予備検討を加えた結果、生産技術や生産方法を工夫することで「生産できない」という問題をクリアできそうであることが判明した。その工夫とは、フォトバイオリアクター（以下「PBR」という）と呼ばれる光を効率よく照射する工夫がなされた微細藻類専用の閉鎖型の培養装置を用いることである。このPBRの技術は近年劇的に進歩しており、これまで大量培養が困難であった微細藻類の大量培養が可能としつつある。微細藻類培養分野における技術的なブレークスルーである（PBRについての詳細は1.5.1 技術的特徴の項を参照）。

そこで、今回の研究では、パプロバをモデルケースとして、これまで生産技術の不足で商業活用できなかった素材を、PBRを用いて培養することで活用可能とした成功例として実証し、上述の「①生産技術の問題で商業化できない問題」の解決策の実例として示すことにした。その結果、世界で初めてパプロバの高密度大量培養に成功し、この成功をベースに健康補助食品原料開発および最終製品開発を進め、事業化のための財務戦略まで検討を行い、近日サプリアタイプの最終商品をもってBtoC事業を開始できる状態にある。ただし、これはユーグレナの例に近く、生産技術の問題で商業化できなかった微細藻類が大量培養できるようにしたということに限られる問題解決である。そこで、もう一つの問題である「②生産性の低さによって開発不能となる問題」を解決する必要がある。この問題を解決することによりOP社が保有する多様な生物種が生産する化合物で、その生産性が低く活用できないものへの適応が可能となると考えられた。パプロバの例でいえば、パプロバが生産する有用成分であるフコキサンチンという色素がそれにあたる。その解決手段として考えられたのが、近年劇的に技術が進歩している合成生物学的手法（合成生物学的手法についての詳細は1.5.1 技術的特徴の項を参照）の活用である。

そして、この2つの問題を解決することをもって生物資源ビジネスにおけるバリューチェーン上のギャップを解消し、さらにバリューチェーン上の下流に位置する企業とのアライアンスを組み合わせることで、最終消費者へと続くバリューチェーンをつなぎたいと考えている。これが実現すれば、OP社が保有する多様な未利用生物資源の利活用促進につながると考えている。これが、筆者が考えるイノベーション・アイデアである。

そして、本研究における実証結果をもってOP社の事業成長の基盤となる新しいビジネスモデルの検討・構築を行いたい。

1.2 研究背景

OP社の事業戦略上、前項で説明したバリューチェーン上のギャップを埋めることが重要ミッションである。ギャップを埋められることを実証可能で、かつOP社の実事業への貢献度が高い素材として、微細藻類が考えられた。微細藻類は、ユーグレナの成功例もあり、近年健康補助食品、化粧品系の企業からの注目度は高いが、大量培養できない株がほとんどである。そこで、OP社が保有している約1,000株の微細藻類コレクションの中から、今回のテーマに合う株の選定を行い、パブロバを見出した。

パブロバは、フコキサンチン（海のカロテノイドと言われている海藻類が生産するカロテノイドの一種）を高生産する能力を有し、単位重量あたりの含有量はコンブやワカメの180倍以上である。

フコキサンチンは、健康食品市場において、アスタキサンチンに続くカロテノイドとして大きく注目されている²⁾。しかし、①生産量が非常に少なく量が得られない、②非常に高価格（600-3,000万円/kg）であることが原因で利活用が遅れていたが、近年、中国産をはじめ、安価な海外産原料が流通しはじめ、利用が活発化してきている。OP社がパブロバの開発を検討し始めた当初は、そのフコキサンチンの高生産性からフコキサンチンを精製・販売することを目標とするところであったが、その時点でフコキサンチンはコモディティ化が進行したため、価格競争面で厳しい戦いとなることが予想され、商品化を断念した。一方で、パブロバは、フコキサンチンの他に ω 3脂肪酸の一種のEPAも高生産し、アンチエイジング機能が期待できる成分（食物繊維、カルシウム、GABA、ヒドロキシプロリン）も多く含んでいる上に、アミノ酸、ビタミン、脂質等の栄養バランスが良いという特徴を併せ持つことから、微細藻類における競合種（スピルリナ、クロレラ、ユーグレナ）と比較して、大きく差別化ができ、かつ、昨今の健康食品業界のニーズに合った、新素材であると考えられた。

そこで、パブロバをフコキサンチンに訴求しつつ、この株が持つフコキサンチン以外の成分的特徴を付加価値として捉え、藻体そのものを摂取するタイプのアンチエイジング系の健康補助食品として開発することにした。

パブロバを健康補助食品として開発することは、その含有成分面での有用性を示し、ブランディングし、知名度を向上させる上で非常に有効であると考えている。また、ユーグレナが健康補助食品領域で成功した例があるため、パブロバも同様に消費者へのアピールが容易であると考えられた。一方で、健康補助食品は、使用する藻体が大量に必要となることが課題となる。そこで、パブロバをまずは健康補助食品としてブランディングし、知名度を向上させたいうえで、商品化においては、付加価値が高く、少量で製品

化が可能な、例えば化粧品分野でのパブロバ抽出物の活用を進めてゆきたいと考えている。

パブロバはハプト藻 *Pavlova* 属の一種で、新種に分類される可能性が高い（現在、琉球大学理学部の須田教授により同定作業が進んでいる）。*Pavlova* 属の商業利用例としては、*Pavlova lutheri* が二枚貝用の餌料として水産関係機関で培養、利用されている。しかし、一般的に *Pavlova* 属を含むハプト藻綱の種は安定的に高密度で大量培養することが困難と言われている。よって、パブロバを健康補助食品として商業利用するにあたっては、本株に適した大量培養方法を確立し、安定的に生産できるようにすることが絶対条件となる。そこで、パブロバの基本的性状、特性を把握し、既存の技術と新規に研究・開発した技術を組み合わせて、その特性をコントロールして大量培養手法を確立することを筆者の先端研究テーマとした。

そのうえで、事業戦略、知財戦略および財務戦略を詳細に検討した上でビジネスプランを立案し、パブロバの事業化を推進し、バリューチェーンの上流から下流を次ぐことによって価値を生み出すことができることを、パブロバを例に実証する。

そして、パブロバ事業を皮切りに、有用なシーズではあるものの、これまで未利用であった生物資源を継続的に事業化する持続可能で強固なビジネスモデルを構築したいと考えている。

1.3 生物資源ビジネス

1.3.1 生物資源ビジネスの歴史とテクノロジーの変遷

生物資源を利用したビジネスは、医薬、食品、化粧品、化成品、環境・エネルギー分野と幅広く手がけられてきた歴史がある。中でも、医薬品および食品分野においては、その歴史は古く、人間活動へ大いに貢献してきた。

生物資源を用いた医薬品開発（天然物創薬）の歴史を振り返ると、古くは中国の前漢時代（紀元前 202 年～紀元 8 年）に、最古の医学書とされる「黄帝内経」が編集され、その中で、医学に加えて生物資源を活用した薬学的内容も詳細に記されているなど、中国天然物関連医薬の歴史は非常に古い。また、インドの伝統医学である「アーユルヴェーダ」は約 5000 年の歴史を持つと言われている。

更に、西洋では、ギリシャのヒポクラテスがヤナギの葉や樹皮を鎮痛剤として用いたという記録が残っている。

このように、世界各地において伝統的に天然物が医薬品目的で利用されてきたが、中でも植物は古くから使われてきた。しかし、それらは精製品ではなく、抽出物や乾

燥物が主に用いられてきた。その後、19 世紀に入り、化合物の精製技術の発展により、精製品（化合物単品）での医薬品が登場してきた（表 1-2）。

表 1-2 植物由来の医薬品例

	由来	名称	対象疾患	発見年	国	発見者	製薬会社
植物	ケシ <i>Papaver somniferum</i>	モルヒネ	鎮痛剤	1804	ドイツ	フリードリヒ・ゼルチュルナー	—
植物	キナ (<i>Cinchona pubescens</i>)	キニーネ	マラリア	1820	ドイツ	—	—
植物	キツネノテブクロ (<i>Digitalis L.</i>)	ジギトキシン	心不全	1875	フランス	オスヴァルト・シュミーデベルク	—
植物	ヤナギ	アスピリン	鎮痛剤	1897	ドイツ	フェリックス・ホフマン	バイエル
植物	タイハイヨウイチイ (<i>Taxus brevifolia</i>)	バクリタキセル (タキソール)	抗がん剤	1971	アメリカ	—	プリストル・マイヤーズ
植物	クソニンジン	アルテミシニン	マラリア	1972	中国	屠呦呦	サノフィ
植物	ニチニチソウ (<i>Catharanthus roseus</i>)	ビンブラスチン	抗がん剤	—	—	—	—

1928 年に、イギリスのアレクサンダー・フレミングによって青カビからペニシリンが発見され³⁾、感染症治療に革命をもたらした。ペニシリンの発見は、20 世紀最大の発見の一つとされており、科学技術ブレークスルーを起こした重要な例の一つである。更にこの後、「種間競争のために、他の菌を殺す物質を作っている菌が他にもいるはず」という考えの下、微生物からの抗生物質探索が世界で活発化した。表 1-3 に微生物由来の代表的な医薬品の例を挙げる。

表 1-3 微生物発酵産物から発見された医薬品例

	由来	名称	対象疾患	発見年	国	発見者	製薬会社
微生物	放線菌 (<i>Streptomyces griseus</i>)	ストレプトマイシン	結核	1943	アメリカ	セルマン・ワクスマンら	—
微生物	放線菌 (<i>Streptomyces caespitosus</i>)	マイトマイシン	抗がん	1955	日本	秦藤樹ら	協和発酵キリン
微生物	放線菌 (<i>Streptomyces kanamyceticus</i>)	カナマイシン	抗菌	1957	日本	梅澤 濱夫	Meiji Seika ファルマ
微生物	糸状菌 (<i>Tolypocladium inflatum</i>)	シクロスポリン	免疫抑制	1970	スイス	—	ノバルティス
微生物	放線菌 (<i>Streptomyces avermitilis</i>)	イベルメクチン	腸管糞線虫症駆虫薬	1979	日本	大村智ら	MSD (メルク)
微生物	糸状菌 (<i>Coleophoma empetri</i>)	ミカファンギン	抗真菌	2002	日本	藤江昭彦ら	藤沢薬品工業 (現アステラス)

日本発の天然物由来の医薬品の中には、世界で最も多く販売されたとされる医薬品があり、それが、商品名「メバロチン」として販売されているロバスタチンという化合物である。ロバスタチンは、当時製薬会社である三共にも所属していた遠藤章博士が約 6,000 株のカビ・キノコのライブラリーから発見した。その生産菌は京都の米屋から分離した青カビであるとのことである。

この化合物を最初に医薬品に仕上げたのはアメリカの製薬会社であるメルクであるが、この化合物は紛れもなく日本人が日本の微生物を使って発見した化合物である。本発見も科学技術ブレークスルーを起こした例といえるであろう。

その他、有名な例としてタクロリムスという化合物がある。この化合物は、1984 年、藤沢薬品工業 (現アステラス製薬) の研究チームにより筑波山の土壌細菌 (ストレプトマイセス・ツクバエンス) より分離された。1993 年 5 月に肝臓移植時の拒絶反応抑制剤として認可され、後に腎臓、肺、骨髄などの移植に用いられた。さらにアトピー性皮膚炎、重症筋無力症、関節リウマチ、ループス腎炎へも適応が拡大された。

この医薬品タクロリムスは臓器移植に大きく貢献しており、現在でもグローバルで年間 1,800 億円以上の売上高を成し、アステラスの全売上の 14%を担っている。本医薬品も科学技術ブレークスルーを起こしたと言えるであろう。

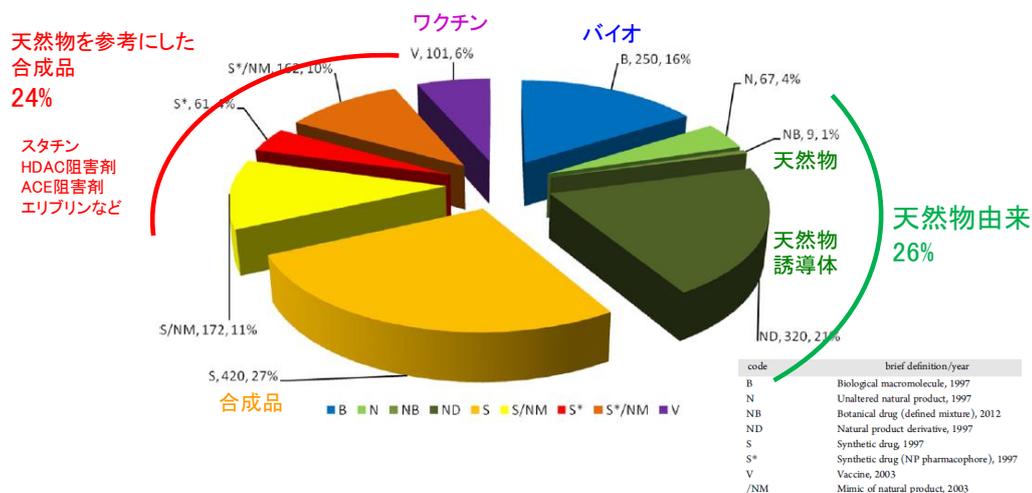


図 1-2 過去 30 年間に上市された新規構造の医薬品の由来

J. Nat. Prod. 2016, 79, : 629-661 ⁴⁾より引用した図を筆者が改変

図 1-2 は、過去 30 年間に上市された新規構造の医薬品の由来を示したものである。天然物およびその誘導体は 26 % を占め、さらに天然物に関連する化合物を含めると 50% を超える。このように多くの上市薬において、天然物は創薬シーズとして活用されている。

これまで天然物からは、ペニシリンに始まり、前出の高脂血症治療薬のメバロチン、免疫抑制剤のタクロリムスなど様々な画期的新薬が世に送り出されてきた。

中分子化合物を含む複雑な化学構造とユニークな生物活性を持つものが多い天然物は、今もなお新薬創出源として期待されている。しかし、1990 年代から国内外の製薬企業が天然物創薬から撤退することが顕著になった。

その理由としては、以下の 3 つが考えられる。

- ① これまで扱ってきた陸上サンプルは、通常の方法では新規化合物の発見が以前に比べて困難になっており「やり尽くした感」があること
 - ② 合成化合物よりも物量確保に時間と手間がかかる天然物が、短期間で成果を求められる創薬環境の下では敬遠されがちであること
 - ③ その結果として、天然物創薬の費用対効果を疑問視する企業が増えていること
- ①に挙げた「やり尽くした感」については、サンプリングの対象を海洋に向けることで新規で活性の良い化合物が発見される可能性が向上すると考えられる。しかし、海洋生物資源に対しては、製薬会社の研究者が独自でアクセスすることは困難であるため、これまで敬遠されてきた。

筆者が創業した OP 社は、海洋調査会社で培った技術に基づいて海洋生物資源ライブラリーを構築し、創薬ソースとして提供を行なっている。OP 社のビジネスを通じてこれまで簡単ではなかった生物資源へのアクセスが容易になったため、多くの製薬会社に利用されている。これまで、自社での研究開発において、海洋から得られた微生物から、新規母核構造を持った抗真菌活性を有した化合物が得られたことから、探索対象を海洋にシフトすることの有用性の確認もできている。

海洋生物資源から開発された医薬品例を挙げると、海綿というスポンジ状の海洋生物から得られた化合物をヒントに化学合成し、抗がん剤として上市した例がある。エーザイが開発したハラヴェンという医薬品である。この化合物は、海綿から得られたということもあり、その現存量の少なさから生物自体を収集して量を得ることが困難で、また、構造が非常に複雑であることから、長年化学合成も成功できずにいた化合物である。このように、海洋生物由来の化合物は、活性は非常に良いが構造が複雑で物量を得ることができないものが多いが、エーザイは海綿の一種であるクロイソカイメンから発見された化合物を化学合成（35 ステップ）して大量生産し、上市（2010 年）にこぎ着けた。通常、製薬会社が行う化学合成工程は 3 ステップ - 4 ステップ程度であるところ、ハラヴェンの場合はかなりステップ数が多い。通常なら困難を極めて開発が頓挫するはずであるが、ハーバード大学の岸教授が合成経路を発見したことにより大量合成が可能となった⁵⁾。この成功例は、化学合成分野の科学技術ブレークスルーであるといつてよいだろう。ただし、最初に化合物が発見されてから 24 年後の上市であった。

このように依然として良い化合物が発見されはするものの、その生産量の低さから物量生産において頓挫するものが多い状況が続いていたが、近年ブレークスルーが生まれている（図 1-3）。それが、合成生物学的手法である。ゲノム編集や DNA 合成技術および AI（人工知能）やオートメーション（自動化技術）と、それらを統合化するための IoT やクラウド技術等を包括したデジタルプラットフォームを用いて短期間で安定的に目的とする化合物を生産することが可能になりつつある。

(従来法)

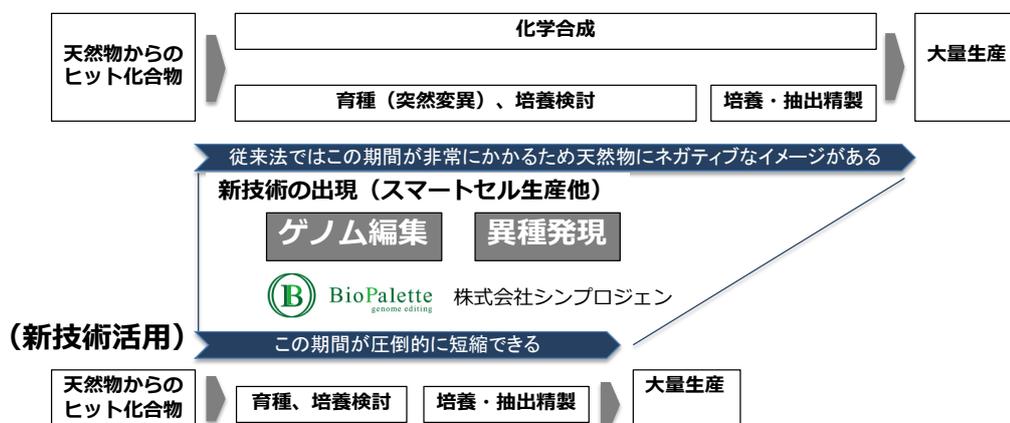


図 1-3 合成生物学的手法を用いた新しい物質生産

新技術（合成生物学的手法）が活用できれば、上述のハラヴェンの例で説明したようなヒット後に時間と手間がかかる天然物のネガティブ要因が払拭される可能性が高まると考えている。

海洋生物由来の複雑な構造をもった化合物も新生産技術の活用により、生産が容易になるはずである。よって、今後、創薬分野において天然物に再び大きなトレンドが来ると予想している。また、創薬分野に限らず食品、化粧品、化学、環境・エネルギー分野でも大きな変化が起こるだろう。

OP 社などによって発見される、希少だが有用な化合物の活用可能性が格段に向上し、再び天然物資源への注目度が高まることを期待している。

次に、食品分野の歴史を振り返ってみたい。日本では、古くから発酵文化が育まれ、生物資源の機能を活用した食品が多い。発酵を用いた食品とその歴史を以下に簡単にまとめる。先に記した微生物を活用した創薬も、発酵文化が根本にあったために大成功したのだといってよいだろう。

表 1-4 発酵を用いた食品の歴史

食品名	歴史	利用されている微生物
味噌	6世紀の仏教伝来の頃と同じ時期に大陸から伝わった。大豆や小麦などの穀類に塩を加えて漬けた「穀醬」（こくびしお）がルーツ	麹カビ (<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Aspergillus sojae</i>)
醤油	味噌からしたたる「たまり」が液体の調味料として独立していった。この偶然の産物が「醤油」の原型とされている	麹カビ (<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Aspergillus sojae</i> , <i>Aspergillus tamarii</i>)
酒（日本酒）	歴史は非常に古く、米を原料として作られた酒については、713年の大隅国風土記に口噛み酒について716年の播磨国風土記に麹カビを用いた酒についての記述が残っている	口噛み酒は、唾液中の酵素でデンプンを分解し、自然に生息している酵母でアルコール発酵するもの、一方麹カビを用いるものは、麹カビでデンプンを分解し、酵母でアルコール発酵させるというもの

食品分野において日本における科学技術ブレークスルーの代表例は、味の素であろう。

1908年(明治41年)、東京帝国大学教授の池田菊苗教授が昆布のうま味成分の本体がグルタミン酸ナトリウムであることを発見した⁷⁾。そして、味の素の創業者である二代 鈴木三郎助がグルタミン酸ナトリウムの工業化に成功した。これが世界で始めて市販された「うま味調味料」である。昆布で見つかった成分をまずは化学合成し、その上で化学合成法を発酵法に置き換えて大量にかつ安価に製造できる方法を確立したという点で、科学技術ブレークスルーおよびイノベーションの代表的な例である(表1-5)。

表 1-5 味の素の製造法の変遷

製法	歴史	問題点等
初期：グルテン加水分解法	<ul style="list-style-type: none"> ● 小麦などに含まれるタンパク質であるグルテンを取り出す ● グルテンに塩酸を加えて反応させてグルタミン酸を作る ● グルタミン酸に水酸化ナトリウムを加えて中和させ、グルタミン酸ナトリウムを作る 	<ul style="list-style-type: none"> ● コストがかかる
第二世代：石油を原料とした化学合成法	<ul style="list-style-type: none"> ● 石油を精製して、プロピレンを取り出す ● プロピレンを原料にしてアクリロニトリルを作る ● アクリロニトリルを化学処理して、グルタミン酸ナトリウムを作る 	<ul style="list-style-type: none"> ● 不純物の問題 ● 風評的な問題
第三世代：発酵法	<ul style="list-style-type: none"> ● グルタミン酸生産菌を用い、廃糖蜜（サトウキビもしくはトウモロコシやキャッサバから砂糖を搾り取った残滓）あるいは米などを栄養源として与え発酵させてグルタミン酸を得る 	<ul style="list-style-type: none"> ● コスト面、風評面共に問題なし ● 現行法

甘味料の分野においても科学技術ブレークスルーが確認できる。その代表としてトレハロースの例を以下に挙げる。トレハロースは、従来酵母を培養し抽出する製法が

採られていたが、それでは1 kgあたり数万円と高価になってしまうため、一部の化粧品・試薬にしか使用されていなかった。そのため、各種の製造法の開発が競われていたが、1994年に岡山のデンプン糖化メーカーである林原の丸田和彦らが、従来不可能といわれていたでん粉からの安価な大量生産法を確立し、その翌年より、従来の約100分の1の価格である1 kgあたり数百円での販売を実現した。これにより、一気に甘味料が世に認知され、利用され始めた⁷⁾。

近年は、香料や人工甘味料など、食品・化粧品分野において、国内外問わず合成品を天然物に転換する動きが活発化している（図1-4）。

IFF to acquire Frutarom in \$7.1bn deal to create global flavors and natural ingredients empire

By Elaine Watson

07-May-2018 - Last updated on 07-May-2018 at 18:43 GMT



大手（世界のbig4）の香料会社がnaturalフレーバーの会社を最近8,000億円で購入した例

Stevia outshines aspartame as high intensity sweetener of choice in global new product launches in 2017

By Elaine Watson

30-Mar-2018 - Last updated on 30-Mar-2018 at 14:55 GMT



人工甘味料においてステビア（天然物）がアスパルテーム（合成品）の売上を抜いた例

図1-4 Natural 指向を裏付ける実例

出所：foodnavigator-usa.com⁸⁾より引用

OP社のクライアントにおいても食品、化粧品業界で特に天然物指向が強いことを受け、同分野（OP社では非製薬分野で分類）の企業からの天然成分探索案件の受注量が堅調に増大している（図1-5）。

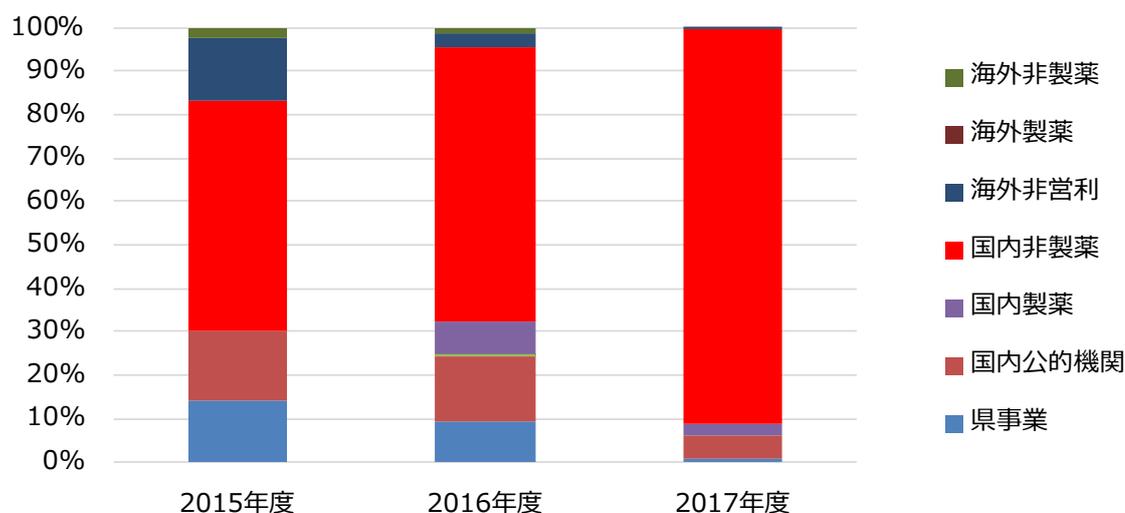


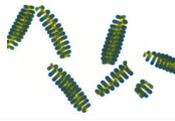
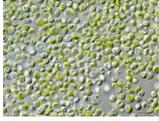
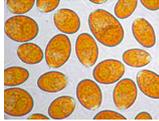
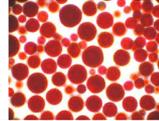
図 1-5 OP 社の 2015 年度から 2017 年度のクライアント事業分野構成

OP 社が事業を行なっている沖縄の地は、生物の多様性が高く、健康食品、機能性食品および化粧品を開発する上で、クライアントからの期待が大きい。OP 社が保有する生物資源の中でも微細藻類については、多様性に加えて手付かずの部分が多く、最近のユーグレナ社の成功例の好イメージも加わり、新規素材として食品・化粧品業界からの期待が非常に大きくなっている。

1.3.2 微細藻類ビジネスの現状と将来

新素材として大いに期待されている微細藻類であるが、一方で、世界的にみても商業化に成功している種は非常に限られている（表 1-6）。その要因として、大量培養の困難さが挙げられる。

表 1-6 商業生産規模で培養に成功している微細藻類種

	スピルリナ	クロレラ	ユーグレナ	ドナリエラ	ヘマトコッカス
種名	<i>Arthrospira sp.</i>	<i>Chlorella sp.</i>	<i>Euglena gracilis</i>	<i>Dunaliella bardawill</i>	<i>Haematococcus pluvialis</i>
写真					
培養方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外レースウェイ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外円形ポンド 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外円形ポンド ・ 閉鎖リアクター方式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外レースウェイ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外レースウェイ ・ 閉鎖リアクター方式 
培養特性	高塩分、高いpH環境	増殖が非常に早い	酸性に強い	高塩分	コンタミに弱い
用途	健康食品、食品色素	健康食品、化粧品	健康食品、化粧品	健康食品、化粧品 β-カロテン原料	健康食品、化粧品 アスタキサンチン原料
企業名 (国内)	DIC	サンクロレラ、 クロレラ工業	ユーグレナ、 神鋼環境 ソリューション	日建総本社	富士化学

有用性が確認された種をいかに安価に確実に大量に生産できるかが、微細藻類ビジネスにおけるブレークスルーの、第一の最も大きなハードルである。安価に大量に生産するには、オープンポンド方式が圧倒的に有利であるが、一般的に原生生物などのコンタミネーションのリスクが大きい。現在、屋外培養に成功している種は、①特殊な環境下で培養可能なスピルリナ、ユーグレナ、ドナリエラ、②成長が早いクロレラという培養時の環境に特徴を持った種に限定されている。微細藻類については商業利用できている種は上述した数種に限られ、これまでは、有用な成分を生産しているにも関わらずほとんどの種が利用できずにいた。

近年、微細藻類の大量培養方法に技術革新が起こり、PBR と呼ばれる閉鎖型の培養装置が登場した。PBR の構造は、ガラスチューブ型、プラスチックバック型、ファーマンター方式など様々であるが、PBR の登場により、これまで有用な成分を生産しているがコンタミネーションに弱く大量培養が困難とされていた株の培養が可能になってきている。

PBR で商業生産を行なっている例としては、アスタキサンチン原料としてのヘマトコッカスの培養が有名である。

表 1-7 培養方式の違いによるメリット、デメリット

培養方式	メリット	デメリット
オープンポンド 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大量培養、生産が容易 ● 設備の拡大が容易 ● 導入コスト、運転コストが低い 	<ul style="list-style-type: none"> ● コンタミが発生しやすい ● コンタミ防止策が必要 ● 天候の影響を受ける
閉鎖系リアクター 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生産量コントロールが可能 ● コンタミの無い高品質産物が得られる ● 高濃度培養が可能 ● 多様な株に対応 	<ul style="list-style-type: none"> ● 導入、運転コストが高い

この閉鎖系リアクターの活用が、今回研究対象としたパブロバの事業化においてキーファクターとなることは間違いない。パブロバは、有用な含有成分構成を持っているが、コンタミネーションに非常に弱いため、従来のオープンポンド方式では生産できない。

表 1-7 に従来のオープンポンド方式と閉鎖系リアクターにおけるメリットとデメリットを示した。オープンポンド方式は、設備の導入コストが安く、拡大生産が容易であるというメリットはあるが、使用する株の環境耐性（高 pH や高塩分下など）を利用しなければコンタミネーションにより大量培養は失敗に終わる。一方、閉鎖型リアクター（PBR）は、導入コストや運転コストはかかるが、生産量のコントロールが可能で、コンタミネーションが問題にならず、高密度培養が可能となるというメリットがある。コンタミネーションが起らないということは、多様な株に対応可能で、多品目の同時生産に対応できるということである。これにより、生産素材にフレキシビリティを持たせることができるので、市場の動向やニーズに応じて、多品目を同時生産し、速やかに市場に届けることができる。

パブロバにおいては、PBR を利用して事業化可能なことを証明することで、OP 社が保有しているその他の株や野外から分離してくる新規微細藻株のうち、有用な株を大量培養して商業利用できる可能性を広げることにつながると考えている。

1.4 ベンチマーク企業分析 株式会社ユーグレナ

ベンチマーク分析は、優れた競合企業、または別業界の企業事例などを指標にして、良い点、悪い点を比較、分析した上で自社の戦略の検討に生かすことを目的とした手法である。

パブロバ事業は、バリューチェーンの上流から下流をつなぐことによって新たな価値を創造する実証試験という位置付けである。そのため、バリューチェーンの上流から下

流を繋いだ実例を持つ企業をベンチマーク企業とすべきであるが、上流から下流まで網羅している企業で最適な例を見つけることができなかつたため、中流から下流をつないで新たな価値を見出した企業の例として株式会社ユーグレナが最適と判断し、同社をイノベーション・アイデアおよび各種戦略を検討する上でのベンチマーク企業として、詳細に分析を行った。

株式会社ユーグレナ（以下、「ユーグレナ社」という）は2005年8月に東京大学出身の出雲充氏らが設立した東京大学発のベンチャー企業である。創業の経緯は、1998年当時、出雲氏（当時、東京大学1年生、文科三類）が、夏休みにバングラディッシュのNGOでアルバイトした際にあまりに酷いバングラディッシュの子供たちの栄養状態を目の当たりにし、それを改善しようと考えたことにあるとのことである。その後、同大農学部でミドリムシを研究していた鈴木健吾氏（現在研究開発担当執行役員）と出会い、更に福本拓元氏（現在ヘルスケアカンパニー営業担当執行役員）と出会い、この3名で創業した。その後、現在取締役副社長である永田暁彦氏が出資元であった株式会社インスパイアから移籍して、結果この4名が中心メンバーとして活動を開始した。そして、創業して間も無く、それまで困難といわれていた屋外大量培養に成功した。成功の立役者は、石垣島の八重山殖産（当時は共同先、現在は子会社）である。同社が世界で初めてユーグレナの屋外大量培養に成功したことが、ユーグレナの初期の事業において非常に大きなドライブとなった。同社は創業当初から積極的に外部機関（アカデミア、企業）との連携を行なってきた、素材としてのユーグレナというシーズは東京大学発であるが、上述した八重山殖産の件を含め、うまく外部連携（アライアンス）による成果を事業に活用している企業である。後に第4章「事業戦略」でも触れるが、アライアンスは販売戦略、広報活動においても上手く機能しており、それが同社の一番の成功要因だと考えられる。

ユーグレナ社の事業は、大きく二つに分かれている。一つ目は創業当初からのヘルスケア事業で、二つ目は近年開始したエネルギー・環境事業である。エネルギー・環境事業の中心はバイオ燃料事業で、エネルギー・環境事業での収益が立つまでの期間をヘルスケア事業の収益で賄うという戦略を掲げている（図1-6）。



**ヘルスケア事業
(食品、化粧品)**

**エネルギー・
環境事業
(ジェット燃料)**

**今後、第一次産業事業も展開
(エビ養殖や餌料事業など)**



図 1-6 ユーグレナ社の事業構成

出所：ユーグレナ社 IR 資料⁹⁾から引用した資料を筆者が改変

以降、同社の戦略を技術、事業、知財、財務の 4 方向から分析する。

1.4.1 技術戦略

ユーグレナ社は、自ら研究開発型ベンチャーを謳い、研究所を自社に有しているが、実際は足りない機能を徹底して外部の技術をアライアンス、M&A によって取り入れるという方針をとっている。彼らの技術戦略上最も重要な技術革新は、世界で初めてユーグレナの屋外大量培養に成功したということである。大量培養法は、当時はアライアンス先で、現在は子会社となった沖縄県石垣島の八重山殖産の技術者が作り上げたとされている。その他は、ユーグレナが持つ栄養成分の特徴を分析し、59 種類の栄養素を含んでいることや、分類学的に動物と植物の間にいる生物であること、最近ではβグルカンの一種であるパラミロンが含まれていることなど、革新的技術開発とは言い難い研究を外部アライアンス先と共同で実施しているに過ぎないと考えられる。その意味では、商品売るために有用なアピールポイントを增强するための研究開発に注力する、いわゆる「マーケティングドリブン」の研究開発がユーグレナ社の技術戦略であると考えてよいだろう。すべてが徹底してブランディングのための戦略だということである。

1.4.2 事業戦略

同社の事業コンセプトの根幹は図 1-7 に示すように、価格が高い順から Food（食料）、Fiber（繊維）、Feed（飼料）、Fertilizer（肥料）、Fuel（燃料）の各分野へ展開することを目的に、ミドリムシを生産するとしている。

培養技術の更なる向上・開発によって、原料の低コスト化を図り、価格が高いものから低いものへと展開していく方針である。

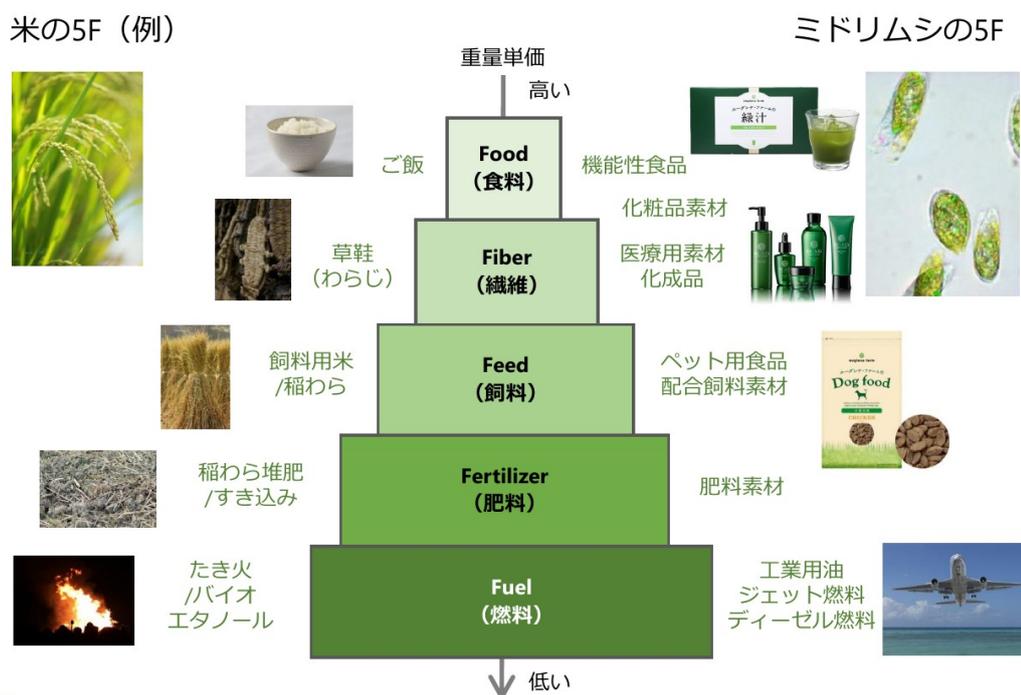


図 1-7 ユーグレナ社の事業コンセプト

出所：ユーグレナ社 IR 資料⁹⁾より引用

先に触れたが、同社の事業戦略の非常に重要なポイントは、外部とのアライアンスを上手く使っていることである。株式上場（2012年に東京マザーズに上場、2014年に東証一に市場変更）後の第三者割当増資で約76億2000万円の資金調達を実施しているが、この豊富な資金をもって積極的なM&Aを行い、生産機能の獲得（八重山殖産の子会社化）、販売チャネルの拡充などを行ってきた。自社で一から開発し販売するよりも、事業機能として足りないものは徹底して外部から入手していく戦略である（図 1-8）。

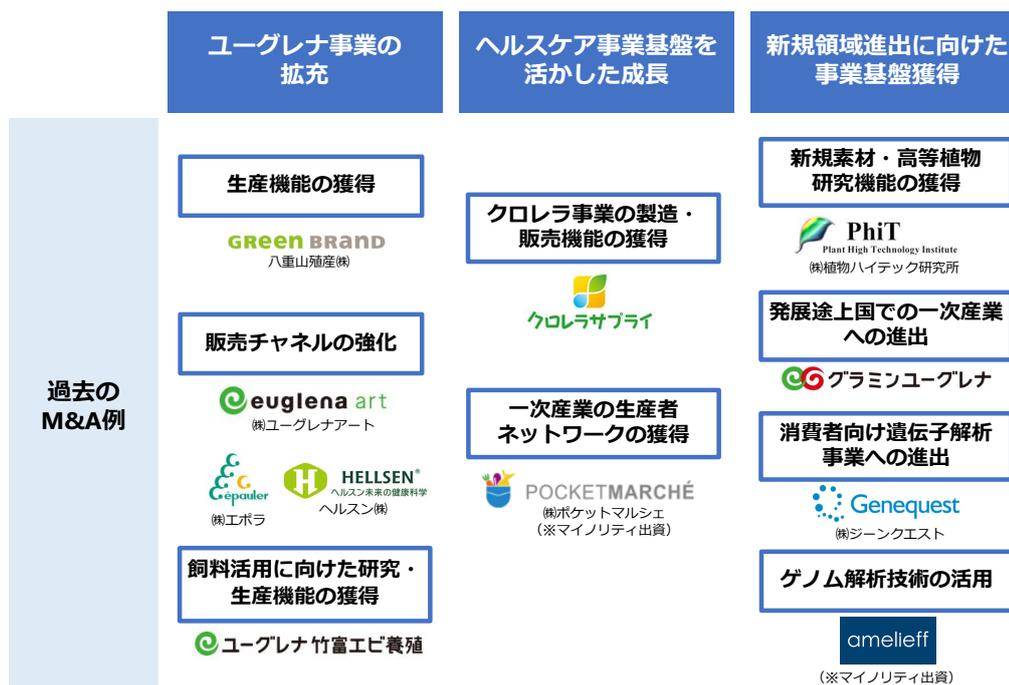


図 1-8 グループ会社一覧

出所：ユーグレナ社 IR 資料⁹⁾より引用



図 1-9 アライアンスパートナー

出所：シェアードリサーチ資料

このように、ユーグレナ社は外部との連携を非常に上手く使って事業を推進しているが（図 1-9）、中でもブランディングと販売戦略に成功の大きな要因があると考えられる。社長の出雲氏が、「事業構想」（事業構想大学院大学出版部）の 2018 年 2 月号¹¹⁾の中で、こう語っている。

『僕は会社をつくる時に色んな大学発ベンチャーを調べて、うまくいっていないところは決定的に「広報」と「知財」が足りないと気づいたのです。大学発ベンチャーは、技術が優れているほど自信過剰になり、広報と知財をおろそかにする傾向にあり

ます。こんなに素晴らしい技術なのだから広報しなくても世の中は気づいてくれるはずだと広報に力を入れない。その結果、誰にも気づかれずに終わってしまう。また、こんなにすごい技術は誰も真似できないだろうと知財を保護しない。大企業のをみくびってはいけません。彼らが本気になれば、3年で何でもできると思ったほうがいい。私はこれまで、世の中の人々にミドリムシについて知っていただくことに一番パワーを使ってきました。もちろんベンチャーが生き残る切り札となる知財も重視しています。お金がない大学発ベンチャーだからこそ、何よりも「広報」と「知財」を大切にしなければいけない。これは私の創業時からの信念です。』

アップル社を創業したスティーブジョブズの有名な言葉に、「いくら素晴らしいものをつくっても、伝えなければ、ないのと同じ」というものがあるが、出雲氏の考えは、これとも通じるものがあり、ユーグレナ社の成功の鍵は、広報活動にあると筆者は考えている。

以下同社のブランディング戦略について検討してみたい。

ユーグレナ社のブランディングにおけるアピールポイントを以下に挙げる。

- 東大発ベンチャーであることの安心感
- 動物性と植物性の両方の栄養成分を併せ持つ
- 59種類の栄養成分
- 細胞壁を持たない、吸収性の良さ
- 石垣島での培養という良いイメージ
- 出雲社長が掲げるキーワード「ユーグレナで世界を救う」という世界観

これらの基本的な特長を広報するために、大手広告会社である電通から出資を受けるとともにパートナー契約を締結している。この電通の広報力がユーグレナの知名度を向上させるうえでの大きなドライブとなったと考えられる。

次に、商標面でのブランディング戦略について検討したい。図 1-10 に、同社が登録している商標を、事業活動の主なトピックスと共に時系列で並べてみた。



図 1-10 登録されている商標の変遷

出所：ユーグレナ社のホームページおよび IR 資料⁹⁾を参考に筆者作成

2006 年の最初の商標登録は「ユーグレナ」であった。設立当初は、虫を連想させる「ミドリムシ（和名）」を使うことを避け、「ユーグレナ」を社名、商標にしていたようである。野菜や木々の緑を連想させる緑色をベースとして、ナチュラル、ヘルシーなイメージを定着させる狙いであったと思われる。

そして、2008 年に伊藤忠と、2009 年に電通とアライアンスを組んでブランド認知向上に努めた。認知がある程度高まったタイミングで、ミドリムシというネガティブなイメージを逆手にとることで、消費者にインパクトを与えるため、2010 年頃から商標に「ミドリムシ」を積極的に使うようにしたのではないかと考えられる。

次に、大手企業とのコラボレーションを利用したブランディング戦略について検討したい。

武田薬品工業株式会社（以下、「武田薬品」という）とは、2013 年からユーグレナを使った健康補助食品開発を共同で行い、2014 年 10 月から食品販売子会社より販売を開始した（図 1-11）。通販サイトで共同プロジェクトであることがアピールされている。

商品のパッケージ裏面にもユーグレナの商標ロゴがプリントされている。

武田薬品食品販売子会社にとっては、「ユーグレナ」および「ミドリムシ」は既に知名度が上がっていたため、ブランドを利用することに価値があると判断したのかもしれない。

しかし、逆に武田薬品食品販売子会社がユーグレナ商標ロゴを使って販売することにより、ユーグレナ社の知名度、信頼性の向上に大きく寄与したと考えても間違いないだろう。

原料供給先、OEM クライアントに、商標ロゴを使ってもらえる戦略は、知名度の低いベンチャーには非常に有効であると考えられる。



図 1-11 武田薬品との連携例

出所：武田薬品の HP より引用

次に、販売面の分析を行いたい。ユーグレナ社は創業からしばらくは BtoB 事業を中心に事業を行っていた。2008 年に伊藤忠と資本提携を行い、伊藤忠への原料供給および OEM を開始している。その後、伊藤忠の販売力が奏功して、2010 年に営業利益が黒字に転換した。その後、2012 年のマザーズへの上場後から直販事業（BtoC 事業）を開始した。直販を開始することによって売上高および粗利益は大幅に増加したが、一方で営業利益率は減少した。

ユーグレナ社は、種としてのユーグレナというより、「ユーグレナ」というブランドを築くことに注力したため、ユーグレナ以外の素材の開発はほとんど手掛けていない。同社の IR 資料には、新たな素材の開発も掲げられてはいるが、未だ商品化には至っていないようである。図 1-12 に現在展開している商品一覧を示す。



図 1-12 展開商品一覧

出所：ユーグレナ社 IR 資料⁹⁾より引用

最近では、ユーグレナ素材を配合した、売れ筋の商品ラインアップ（プロポリス、ローヤルゼリー、オメガ3、麴などを使用）を増やして水平展開を積極的に行なっている。また、新しいサービスとして、ユーグレナ・マイヘルスを立ち上げ、遺伝子検査や、各個人に必要な栄養素の提案など、健康食品購入に導くべく活動を行なっている。

一方、OP 社では、多様なプロファイルを持った素材をシードとして保有しており、新規健康補助食品素材を開発してゆくことが可能である。OP 社では、次々と市場のニーズに合致した素材を送り出すことによって、持続可能で強固なビジネスモデルを構築できるものと考えている。

ユーグレナ社においては、保有資金が潤沢であるため、外部から積極的にシーズを導入し、確立済みの「ユーグレナ」ブランドで製品化し、市場展開することができれば持続可能で強固な事業展開が可能になるのでは考えられる。

ユーグレナ社の事業のうち、ヘルスケア事業とは別の柱として掲げているエネルギー・環境事業は、国内では複数社が藻類バイオ燃料事業に参入している実状がある。藻類から石油に替わるオイルが生産できることは古くから知られており、世界中で多数の企業が研究開発を行なっているが、産業利用において問題となるのはその供給価格である。表 1-8 に国内で藻類バイオ燃料事業に参入している事業者の情報を示す。

表 1-8 国内藻類バイオ燃料参入事業者一覧

微細藻類種類	開発機関	特徴
ボトリオコッカス (<i>Botryococcus braunii</i>)	筑波大学（渡邊教授ら） IHI, ちとせ研究所, 神戸大他	炭化水素であるボトリオコッセンを生産する藻類。増殖速度が遅くコンタミに負ける事が問題であったが、神戸大で開発された榎本藻はその増殖速度の早さからオープンボンドでの培養検討も進んできている。ジェット燃料としての開発を考えている。
オーランチオキトリウム (<i>Aurantiochytrium</i>)	筑波大学（渡邊教授）ら	高度不飽和脂肪酸を高生産する株が見つかった。炭化水素であるスクアレンを高生産する株が見つかっており、大量培養に向けての開発が進行中。
シュードコリスティス (<i>Pseudochoricystis ellipsoidea</i>)	デンソー	軽油成分を生産する能力を持った微細藻類であり、デンソーが開発中である。
ソラリス株（海産珪藻）	J-Power	中性脂質（C16が中心）を高生産する珪藻である。現在NEDO事業などを活用して大量培養に関する検討が進んでいる。
ユーグレナ	ユーグレナ	燃料としては、ジェット燃料に使われるC14以下の脂肪酸を多く生産する特徴がある。

ジェット燃料に適した脂肪酸炭素数はC12-15である。「ユーグレナ」にはC14が多く、ジェット燃料に向いている脂肪酸を生産している。しかし、ジェット燃料をターゲットとするのであれば、C12かC14を生産し、かつ増殖がよい原料であれば、「ユーグレナ」にこだわる必要はないかもしれない。筆者の経験から言えば、ユーグレナよりも脂肪酸の生産性の高い株は存在している。

実際、ユーグレナ社はバイオ燃料の原料として、「ユーグレナ」ではない珪藻（*Rhizosolenia* 属）の遺伝子組替え体の検討も行なっている。（平成20年～NEDO事業；高知大、東大）。

同社は助成金も積極的に利用しており、国内最大級の燃料用微細藻類培養プールを建設、以下の通り実証実験を開始している。経産省（資源エネルギー庁）の補助金を活用した『バイオ燃料用藻類生産実証プロジェクト』である。

研究内容は、木質バイオマス発電所から排出される排ガス、排水や排熱などを微細藻類の培養に必要な二酸化炭素源やエネルギーとして用いることで、バイオ燃料向け微細藻類生産の低コスト化に取り組むというものである。実証は2016年10月より開始し、培養プールはスケールアップを経て2018年には総面積3,000 m²以上の国内最大級の燃料用微細藻類培養プールとなった。

その後、横浜に総額58億円をかけてバイオ燃料製造設備を完成させた（2018年11月）。

さらに、広島において、天ぷら油を使ったバイオ燃料普及に関するプロジェクトも開始している。これは広島県内の家庭や事業者から集めた天ぷら油を上述した横浜の生産設備においてバイオ燃料に加工するというものである。微細藻類のユーグレナか

らのみ燃料を生産するのではなく、バイオ燃料という大きな括りの中での燃料事業を展開する方針であると考えられる。

1.4.3 知財戦略

ユーグレナビジネスで最も重要な、大量培養に関する核心技術についてはクローズド戦略をとっており、知財となる特許は取得していない。そのため、実際にどのような形で培養しているかについてはブラックボックスである。

前述した「事業構想」の2018年2月号の中で、出雲氏は次のように述べている。

『僕は会社をつくる時に色んな大学発ベンチャーを調べて、うまくいっていないところは決定的に「広報」と「知財」が足りないと気づいたのです。こんなにすごい技術は誰も真似できないだろうと知財を保護しない。大企業の力をみくびってはいけません。彼らが本気になれば、3年で何でもできると思ったほうがいい。』

しかし、実際には、ユーグレナ社は、大量培養に関する特許は出願せず、クローズド戦略をとっている。屋外か屋内かの違いはあれ、2017年に神戸製鋼の子会社の神鋼環境ソリューションがユーグレナの大量培養に成功し、製造、販売を開始した。ユーグレナ社が大量培養に関する特許を取得していれば、また違った結果となっていたかもしれない。大量培養以外の知財は、アカデミアなどととの共同で行った結果得られた要素的な成果を知財化しているようである。

商標取得も知財戦略の一環として考えると、同社はかなりの数を取得している。そして、OEM先の武田薬品や小林製薬のパッケージ裏面に同社の商標を掲載させることによって、知名度を相乗的に向上させる策を打っている。このやり方は、ベンチャー企業が知名度を向上させるのに非常に有効な方法だと考えられるため、OP社においても参考にしたいと考えている。

1.4.4 財務戦略

ユーグレナ社は、2012年のマザーズ上場以降、100億円以上の資金調達を行なっている。しかし、2018年9月期第3四半期決算報告では、期末残高が約37億円まで減少している。2018年9月20日付けのIR資料において、「第三者割当による第7回新株予約権（行使価額修正条項付）の発行及びファシリティ契約（行使停止指定条項付）の締結に関するお知らせ」を公表し、約50億円を調達したいとの内容で広報していた。

次にユーグレナ社の時価総額について見てみる。2017年9月期の決算数値は当初目標を下回り、売上高139億円、営業利益9.5億円、当期純利益は7.8億円であった。

ウェルインベストメンツ分析資料で用いられた評価法1を用いて、適正と考えられるPER30倍を採用し、実際の決算数字（当期純利益）を使って評価すると、時価総額は7.8億円×30倍=234億円となる。一方、2018年10月10日現在の株価は769円、時価総額は659億円である。

2018年9月期の業績予想は赤字であること考慮すれば、適正株価に近づいているとはいえ、未だに時価総額は高すぎるのではと考えられる。しかし、これは、市場での期待感を背景に高評価されている結果であり、これをもって企業としての成功と評価しても差し支えはないであろう。

ユーグレナ社は、生物資源ビジネスにおいて中流域に存在する大きなギャップをアライアンスをもって解決し、下流域においても戦略的にアライアンスを駆使して事業を成長させてきた企業である。

次の項ではユーグレナ社の例も参考にして、OP社において、生物資源を活用し、持続可能で強固なビジネスモデルを構築するためのイノベーション・アイデアについて検討したい。

1.5 イノベーション・アイデア

近年バイオエコノミーという概念が注目され始めている。バイオエコノミーとは生物資源とバイオテクノロジーの活用により、経済成長と地球環境対策の両立を図る概念である。

第一次産業革命以降、経済成長を支えてきたのは石炭や石油などの化石資源である。この化石資源の大量消費による負の側面として地球環境が悪化し、近年その深刻さを増している。

持続可能な仕組みでの経済成長が現代社会の重要な課題であるが、その解決策として注目されているのが生物資源の利活用である。エネルギー源を化石資源から再生可能な生物資源に代替するだけでなく、工業製品の素材などに利用することで、化石資源の使用を総合的に減らそうという取り組みである。

OECD（経済協力開発機構）の予測では、2030年のバイオ市場はGDPの2.7%（約180兆円）に成長し、そのうちの約4割をモノづくりに生物資源を活かすインダストリアル・バイオ分野が占めるとされている。ここには、エネルギーだけでなく、食料事情を解決する農業分野、人々の健康に関する問題を解決する機能指向食品や医薬品などの分野など幅広い分野での利活用が含まれている。この予測の背景には、ゲノム（遺伝情報）解析を劇的に効率化、低価格化した次世代および次々世代シーケンサーの出現、AIの発展およびロボット技術の発展によるラボワークの自動化技術の急速な発展、そし

て、ゲノム編集やDNA合成、異種発現技術などの合成生物学関連の分野での目覚ましい技術革新がある。つまり、近年急速に進歩したデジタルテクノロジーとバイオテクノロジーの融合が、生命現象を解明し、生物機能の産業への応用を可能にしたことで、第五産業革命ともいえる時代を迎えつつあるとあってよい。

OP社では、先に示した生物資源ビジネスにおけるバリューチェーンにおける上流領域でビジネスを展開している。自然界に生息している生物資源を収集し、それら生物資源が生命活動の中で獲得した能力を見出し、人間活動に利活用するという事業を行なっている。

図1-13にOP社の既存事業のビジネスモデルを示す。OP社のように生物資源ビジネスにおいて上流域にポジショニングしている会社は非常に少なく、特に海洋生物に着目してビジネスを行なっている企業は国内には存在しない。また、海外に目を向けても1社存在しているだけである。対象領域は医薬、食品、化粧品、化学、環境領域と幅広いが、近年、特に食品、化粧品分野において、これまで原料として使用してきた合成物から天然物に切り替えたいというニーズが顕著である。

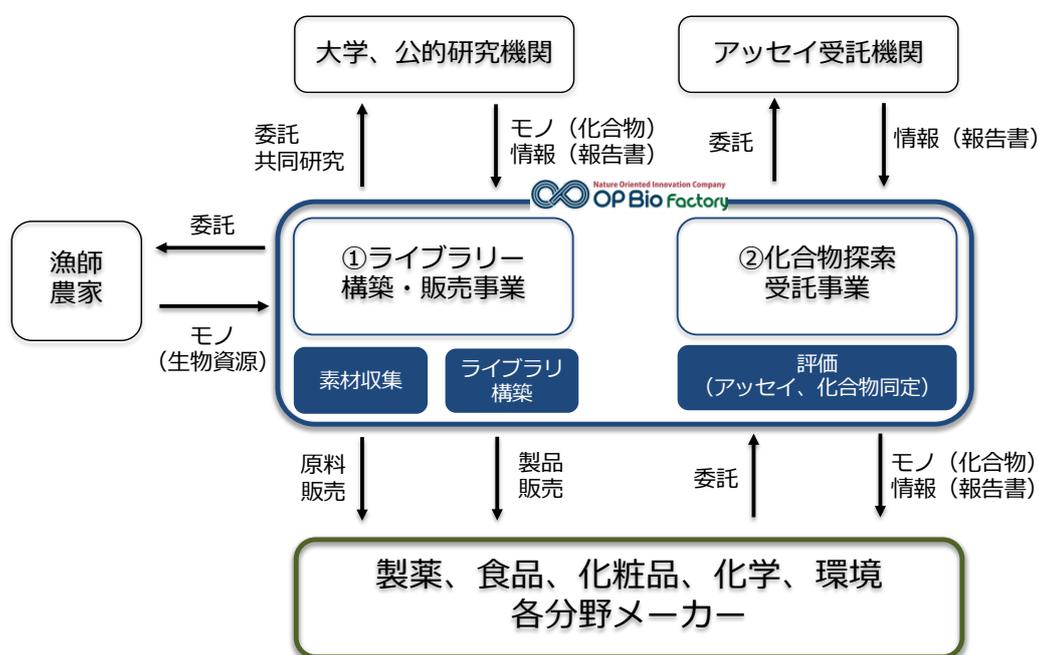


図1-13 ビジネスモデル (OP社既存事業)

化合物探索受託事業において発見される有用シーズは、商業生産に向けて生産プロセスを検討したのち、原料生産のステップに進めてゆくことになるが、ここでシーズの開発が頓挫してしまうことが多い。頓挫の原因を微生物および微細藻類の例で説明する

と、大きく2つに分けることができる。1つ目は、培養自体が難しい場合（生産技術の問題）、そして2つ目は、培養はできるが対象とする化合物の生産量が極めて少ない場合（生産性の問題）である。また、この両方が原因の場合もある。

この2つの問題をクリアできない限り、有用物質を生産している有望株を発見しても事業化フェーズには入れないことになる。そこで、この2つの問題から生じるバリューチェーン上のギャップを埋めて、OP社が持つ多様な生物資源ライブラリーから発見される有用シーズを利活用できる可能性を増大させたいと考えている。更に、ギャップ以降の下流の機能についてはアライアンスを活用することによりバリューチェーンをつなげ、持続可能で強固なビジネスモデルを構築したいと考えている。（図1-14）。

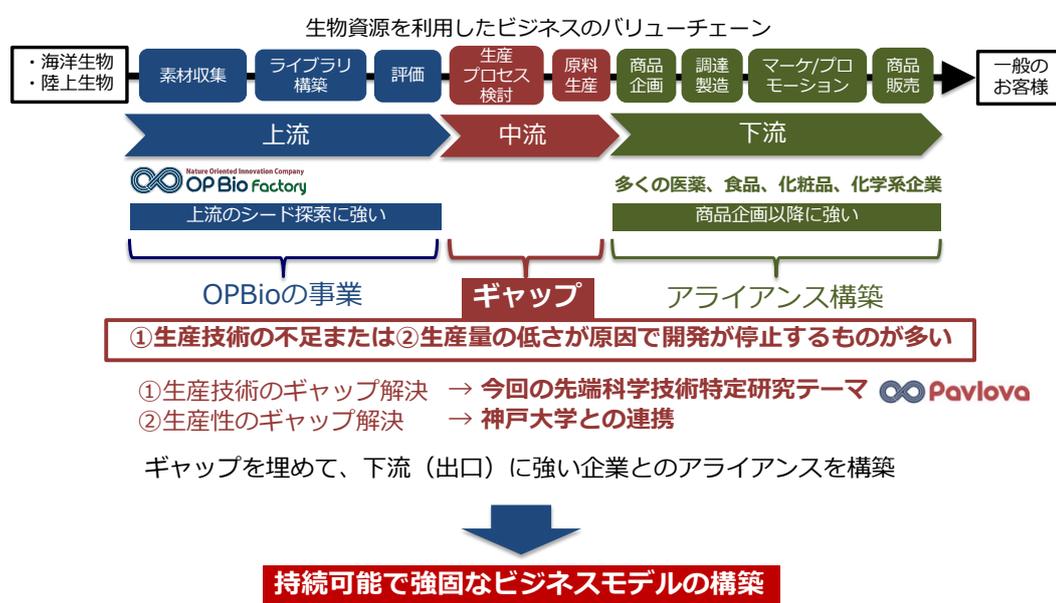


図1-14 イノベーション・アイデア

パブロバは、上述のギャップの1つである生産技術の不足が問題で開発が停止していた株である。本研究においては、微細藻類培養分野におけるブレークスルーであるPBRを利活用することによりパブロバの大量生産を実現し、さらに健康補助食品として販売するために必要となる安全性や機能性の検討に加え、商品化に向けた検討やマーケティングおよびプロモーションの検討、そしてBtoC販売まで行い、これまでは商品化は困難と考えていたシーズの事業化をもってバリューチェーンのギャップを埋めた実績、実例としたいと考えている。

また、2つ目の生産性の問題については、世界的に、そして、神戸大学にて研究が急速に進んでいるゲノム編集やDNA合成、などの合成生物学手法、技術を保有している研

研究室との連携、神戸大学発ベンチャー企業とのアライアンスをもってギャップを解決したいと考えている。

さらに、生物資源ビジネスのバリューチェーンにおける下流（商品企画から販売）に強い企業とのアライアンスを予め結んでおくことにより、社会ニーズおよび企業ニーズに沿った開発が可能となり、開発したシーズの社会実装および最終消費者への提供がスムーズとなり、結果としてアライアンスパートナー各社にとってのベネフィットが最大化できると考えている。

生産技術の問題解決、生産性の問題解決のための合成生物学領域とのアライアンス、バリューチェーンの下流に位置する企業とアライアンスを結び、バリューチェーン上に存在するギャップを埋め、そして、最終消費者につなげるというアイデア、これが筆者が考えるイノベーション・アイデアである。

1.5.1 技術的特徴

①パプロバ の特徴

パプロバは、OP社が保有する1,000株以上の微細藻類ライブラリー（図1-15）について、カロテノイド（フコキサンチン、ゼアキサンチン、アスタキサンチン、ペリデイン等）、 ω 3脂肪酸（DHA, EPA等）の生産性を評価した結果、フコキサンチン、EPA高生産株として発見された株である。

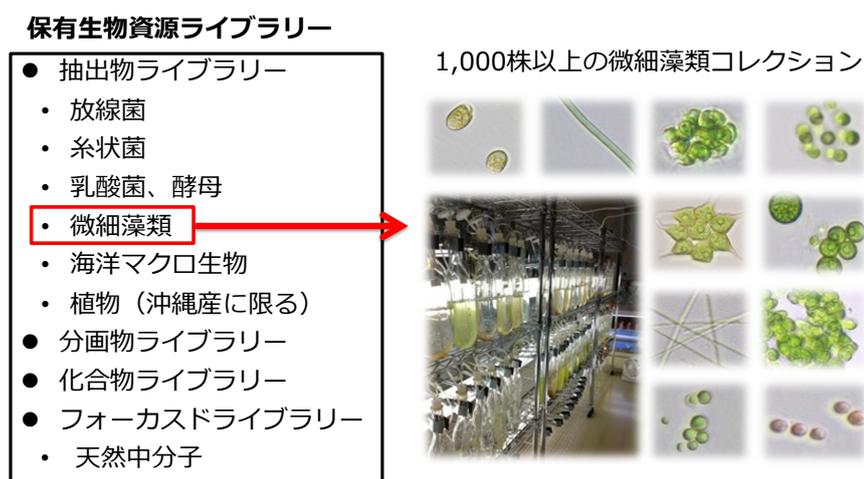


図 1-15 OP 社保有生物資源ライブラリー

更に詳細な成分分析を行なった結果、表 1-9 に示すように、フコキサンチンや EPA 以外にも、アンチエイジング機能が期待できる成分（食物繊維、GABA、ヒドロキシプロリンなど）を含有しており、クロレラ、スピルリナ、ユーグレナとは差別化した展

開が十分可能なポテンシャルを持っていることが分かった。そこで、OP社において、パブロバを新たな健康補助食品素材としての開発を進めることにした。パブロバの場合は、培養方式の問題だけでなく、培養条件（環境条件）や培地組成などについても全く知見が無い状態であったので、新たに検討、決定し、PBRを用いたベンチスケール生産設備を設計、構築し、試験的に販売できる量を確保してゆく計画とした。

更に、本株は食経験が無いため、かつてのユーグレナ素材がそうであったように、健康補助食品として製品化するにあたっては安全性の担保が必要となるので安全性に関する各種検討を行う計画とした。また、製品化を行うには、有効成分の安定性保持なども重要なファクターとなるため、製品の処方に関する検討も行うこととした。

本研究においては、新規の技術開発と既存の有用な技術を組み合わせ、ベンチスケールでの生産フローを構築し、実際に事業化に持ち込む計画とした。

表 1-9 パブロバの成分的特徴

出所：筆者作成（スピルリナ、クロレラ、ユーグレナについてはインターネット上の情報を参照、パブロバについては日本食品分析センターにて分析した結果を引用）

	スピルリナ	クロレラ	ユーグレナ	パブロバ
含有栄養成分数	50 種類以上	59 種類以上	59 種類以上	61 種類以上
アミノ酸スコア	51	54	83	94
タンパク質 (g/100 g)	65.8	58	50.1	46.9
脂質 (g/100 g)	7.5	8.9	21.3	23.8
DHA (mg/100 g)	—	—	100	460
EPA (mg/100 g)	—	—	300	3,760
カロテノイド (mg/100 g)	ゼアキサンチン：98 β-カロテン：185	カロテン：17	ルテイン：数字無し ゼアキサンチン： 数字無し	フコキサンチン：2,000 α-カロテン：24 β-カロテン：105
食物繊維 (g/100 g)	9.5	11.6	報告あるが数字なし	7.2
カルシウム (mg/100 g)	379.2	620	532	956
GABA (mg/100 g)	—	—	報告あるが数字なし	357（発芽玄米の24倍）
ヒドロキシプロリン (mg/100 g)	—	—	—	170（コラーゲンの主要成分）
パラミロン	×	×	○	○

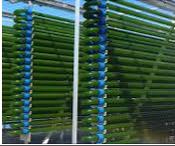
②PBR の特徴

健康補助食品素材の開発では、素材を大量に生産することが必須要件となるが、パブロバの場合は、これまでに高密度大量培養の例がない株であった。近縁種で水産餌

量として使用されている *Pavlova lutheri* の培養に関する情報を調査すると、*Pavlova* 属の株は総じて大量培養困難な部類の株であるといわれている。

そこで、近年技術革新が起こっている PBR（フォトバイオリアクター）方式による培養を検討することにした。表 1-10 に現在報告がある各種 PBR の特徴をまとめた。チューブ型、プレート型、プラスチックバック型、タンク型に大別できる。それぞれ特徴はあるが、すべて閉鎖型であることが特徴で、異種生物の侵入を防ぎ、基本的に多様な種類の微細藻類の高密度培養が可能である。ただし、形状などに違いがあるので、培養目的種の特性、培養スケール、さらに導入コストやランニングコスト、運転時の手間などを総合的に検討して選定していく必要がある。パブロボについては最終的にチューブ横型を選定した。

表 1-10 各種 PBR の特徴まとめ

	チューブ横型	チューブ縦型	プレート型	プラスチックバック型	タンク型
写真					
設置環境	屋内外	屋内外	屋内外	屋内外	屋内
光源	太陽光、人工光源	太陽光、人工光源	太陽光、人工光源	太陽光、人工光源	人工光源、光源無し
材質	ガラス、樹脂	ガラス、樹脂	ガラス、樹脂	プラスチック	ステンレス、ガラス
特徴	<ul style="list-style-type: none"> • Schott社のリアクター用ガラスチューブを使用している装置が多い • スケールアップが容易 • 管内ブラシ洗浄が可能なので掃除が容易 • 循環にポンプを使用するので、細胞へのダメージが若干発生 • ガラス製のチューブを使用していれば耐久性は高い • 完全無菌化は困難 	<ul style="list-style-type: none"> • エアバブルで攪拌を行う方式が多い • 管毎にエア調節が必要で作業が煩雑 • 細胞へのダメージは少ない • 小規模培養向き • ガラス製のチューブを使用していれば耐久性は高い • 完全無菌化は困難 	<ul style="list-style-type: none"> • エアバブルで攪拌を行う方式が多い • リアクター内の掃除がしにくい • ガラス製のプレートを_using_していれば耐久性は高い • 完全無菌化は困難 	<ul style="list-style-type: none"> • エアバブルで攪拌を行う方式が多い • 汚染したらバックを交換すれば良い • 耐久性は低い • 光の透過度がガラスに比べて低い • 完全無菌化は困難 	<ul style="list-style-type: none"> • 完全無菌培養が可能 • 従属栄養型の培養も可能 • 光を外から照射するタイプとタンク内にて照射するタイプがある
導入コスト	高い	高い	高い	安い	高い
ランニングコスト	安い	安い	安い	高い	高い
運転時の手間	少ない	多い	多い	多い	多い

③合成生物学的手法の特徴

神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科には合成生物学的手法をもって効率的に有用細胞および微生物を創出する DBTL サイクルに関連する技術を保有している。DBTL とは Design、Built、Test、Learn の頭文字で、Design とは、データおよび知識ベースを利用した高度な生産細胞、微生物モデルの構築のことをいう。Built は長鎖 DNA 合成やゲノム編集技術を用いたハイスループット細胞・微生物創生のことを

いう。Test とは、高精度オミクスを活用したハイスループット生産性評価のことをいう。最後に Learn とは、AI、IT 技術を活用した機械学習のことをいい、モデルの改変や改良を行うものである。この DBTL サイクルを活用することにより、生産性が低くこれまで活用できなかった化合物を短期間で効率的に生産できる可能性が高まっている。また、変異育種など従来法と DBTL サイクルを併用することにより、さらにその可能性が高まると考えられる。

これらの技術が神戸大学および神戸大学発ベンチャー起業に集積している。OP 社はこれらの組織とアライアンスを構築することによって生物資源ビジネスのバリューチェーン上に存在するギャップを埋められる可能性が増し、結果として、OP 社が保有する生物資源ライブラリーの利活用の可能性が増大すると考えている。

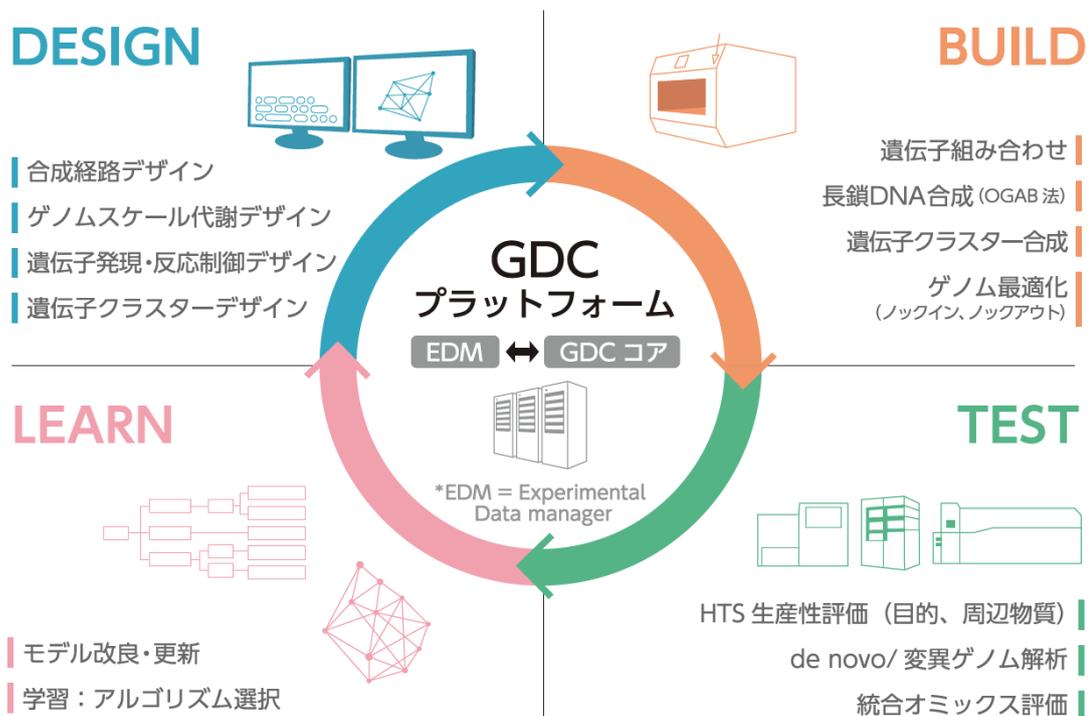


図 1-16 DBTL サイクルの概念図

出所：NEDO「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発プロジェクト キックオフシンポジウム」蓮沼教授プレゼン資料より引用¹²⁾

参考文献および引用

- 1) AnalytiCon Discovery press release
https://ac-discovery.com/wp-content/uploads/PI_BRAIN_ACD_030714_e.pdf
- 2) 特集 カロテノイド 健康産業新聞 第1210号 (2007)
- 3) A. Fleming (1929) On the antibacterial action of cultures of a penicillium, with special reference to their use in the isolation of B. influenzae. Br J Exp Pathol, 10, 226-236
- 4) David J. Newman, Gordon M. Cragg (2016) Natural Products as Sources of New Drugs from 1981 to 2014. J. Nat. Prod. 79, 3, 629-661
- 5) Yu MJ, Kishi Y, Littlefield BA (2011) Discovery of E7389, a fully synthetic macrocyclic ketone analogue of halichondrin B. Anticancer Agents from Natural Products, Second Edition, 317-346
- 6) 味の素株式会社 Web ページ うま味発見から商品化への軌跡-池田菊苗物語
<https://www.ajinomoto.co.jp/company/jp/features/fact/008.html>
- 7) 奇才が引き出す技術力 “夢の糖” トレハロース 《戦うNo. 1技術》東洋経済オンライン (2011)
<https://toyokeizai.net/articles/-/4362>
- 8) foodnavigator-usa (2018)
<https://www.foodnavigator-usa.com/#>
- 9) 株式会社ユーグレナ IR ライブラリー
<https://www.euglena.jp/ir/library/>
- 10) 株式会社シェアードリサーチ リサーチレポート
<https://sharedresearch.jp/ja/2931>
- 11) 事業構想大学院大学 (2018) 「事業構想」2月号
<https://www.projectdesign.jp/201802/media-strategy/004538.php>
- 12) NEDO 「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発プロジェクト キックオフシンポジウム」 蓮沼教授プレゼン資料

第2章 先端研究

生物資源ビジネスのバリューチェーンにおける上流のシード探索において、良好な結果が得られた場合、次に、物量を確保するというステップに入る。この時、生物自体の対象物質生産量の問題もしくは、生産（培養）技術の問題で物量が得られず、先に進まないことがしばしば発生する。この問題を解決するためには、生物自体の対象物質生産能力を増大させるか、生産（培養）技術を新たに創出して解決するということが必要になってくる。OP社の微細藻類ライブラリーの中から見出されたパブロバ（本章では *Pavlova* sp. OPMS30543 と表記）については、生産（培養）技術の不足により研究開発が停滞した種である。そこで、本先端研究においては、基礎的な培養条件の検討やラボスケールにおける生産（培養）技術確立のための検討を行なった。

2.1 テーマの背景

天然色素のフコキサンチンは、その優れた抗酸化特性により、製薬、健康補助食品、化粧品業界から大きな注目を集めている (Peng et al. 2011)。フコキサンチンは、抗ガン (Hosokawa et al. 1999; Kotake-Nara et al. 2001)、抗2型糖尿病および抗肥満 (Gammone and d' Orazio 2015; Maeda et al. 2007)、抗コレステロール (Kawee-ai et al. 2013)、抗炎症 (Shiratori et al. 2005)、抗血管新生 (Sugawara et al. 2006)、抗マラリア (Afolayan et al. 2008)、抗高血圧作用 (Ikeda et al. 2003, Sivagnanam et al. 2015) およびアルツハイマー病 (Kawee-ai et al. 2013) の治療薬への応用の可能性について多くの研究報告が存在する。

褐藻類と珪藻類は、光合成色素としてクロロフィル以外にフコキサンチンを合成する。現在商業利用されているフコキサンチンは *Laminaria* spp. や *Undaria pinnatifida* などの大型褐藻類、そして *Phaedactylum tricornutum* などの珪藻類から抽出精製されたものである (Gayen et al. 2019)。イスラエルの Algatechnologies Inc. は、*P. tricornutum* から製造されたフコキサンチン抽出物である Fucovital™ を販売しており、これは米国食品医薬品局 (FDA) によって認証された初のフコキサンチン食品成分製品である。その他、*Chaetoceros gracilis* や *Odontella aurita* などの珪藻から得られるフコキサンチンも潜在的に産業利用の可能性があると考えられている (Tokushima et al. 2016; Xia et al. 2018)。

褐藻類と珪藻類に加えて、*Pavlova lutheri* などのハプト藻類もフコキサンチンを生成することが確認されている (Hiller et al. 1988; Lananan et al. 2013)。パブロバ属の微細藻類は、珪藻類とは異なり細胞壁がないため (Green 1980)、高い消化吸収率が期待でき、フコキサンチンを抽出することなく、藻体そのものを使用して商品化できる

可能性がある。しかし、これまでパブロバ属おけるフコキサンチン生産に関する定量的な報告は存在しない。一方、パブロバ属の微細藻類は、多価不飽和脂肪酸 (PUFA) を生産、蓄積することが分かっており、*P. lutheri* は、カキなどの二枚貝類の初期餌料として水産養殖分野で一般的に使用されている (Guihéneuf et al. 2013)。その PUFA 収量はランダム突然変異誘発によって増加するという報告もある (Meireles et al. 2003)。

本先端研究では、複数種のパブロバ属の株を用いてフコキサンチン生産量についての評価を行った。その結果、OP社にて分離された *P. sp.* OPMS30543 が生産量が最も多いことが確認された。そこで、*P. sp.* OPMS30543 をフコキサンチン生産事業に使用する候補株として選定し、バイオマス量とフコキサンチンの生産量に影響を与える要因をラボスケールで調査した。また、*P. sp.* OPMS30543 の屋外培養方法の検討については、フォトバイオリアクターやレースウェイポンドなどの培養器を使用して調査したので、その結果について報告したい。

2.2 材料と方法

2.2.1 使用した微細藻類株とラボスケール培養

実験に使用した *P. pingus* NBRC102807 および *P. lutheri* NBRC 102808 は、独立行政法人 製品評価技術基盤機構のバイオテクノロジーセンターより入手した。*P. sp.* OPMS30543 株は、OP社が沖縄本島北部の汽水域から採取した海水から分離した。

各微細藻類株は、人工海水 (Marine Art SF-1、富田製薬、徳島、日本) に、Daigo IMK 培地 (FUJIFILM Wako Pure Chemical Corp.、大阪、日本) または、f/2 培地 (Guillard and Ryther 1962) または、Walne 培地 (Walne 1970) を溶解して培養した (表 2-1)。図表の凡例に特に記載がない限り、培養条件は次のとおりである。

培養容器として、1 L の滅菌ボトルを用い、800 mL の培養液を満たし、光源は白色蛍光灯を用いて 150 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ の光量子強度に調整した。明/暗サイクルは、明 : 12 時間、暗 : 12 時間とし、空気による連続曝気を行なった。

細胞の乾燥重量は、細胞をグラスファイバーフィルターによるろ過で回収し、蒸留水で洗浄後、120 $^{\circ}\text{C}$ で 2 時間乾燥させた後、フィルターの重量を測定し、使用前のフィルター重量との差で求めた。。

また、Daigo IMK 培地の代替窒素源を調査するため、また、生産フェーズに移行した際に費用を減少させるために不必要な成分を調査するため、表 2-2 に示す IMK 改変培地を準備した。本研究においては、代替窒素源の調査結果のみを報告する。

表 2-1 使用培地の構成成分 (mg/L)

1×Daigo's IMK		f/2		Walne's	
NaNO ₃	200	NaNO ₃	75	NaNO ₃	100
Na ₂ HPO ₄	1.4	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	6	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	20
K ₂ HPO ₄	5	-	-	-	-
NH ₄ Cl	2.68	-	-	-	-
Fe-EDTA	5.2	FeCl ₃ · 6H ₂ O	3.16	FeCl ₃ · 6H ₂ O	1.3
Mn-EDTA	0.332	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.18	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.36
Na ₂ -EDTA	37.2	Na ₂ -EDTA	4.4	Na ₂ -EDTA	45
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.023	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.021	ZnCl ₂	0.021
CoSO ₄ · 7H ₂ O	0.014	CoSO ₄ · 7H ₂ O	0.012	CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.02
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.0073	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.007	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.009
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.0025	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.007	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.02
H ₂ SeO ₃	0.0017	-	-	-	-
-	-	Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	10	-	-
-	-	-	-	H ₃ BO ₃	33.6
Thiamine-HCl	0.2	Thiamine-HCl	0.1	Thiamine-HCl	0.01
Biotin	0.0015	Biotin	0.0005	Biotin	0.0002
Vitamin B12	0.0015	Vitamin B12	0.0005	Vitamin B12	0.01

2×Daigo's IMK は、1×Daigo's IMK の各成分を 2 倍量にした。

表 2-2 改変 IMK 培地 (mIMK) の構成成分 (mg/L)

	1×Daigo's IMK	mIMK (NaNO ₃)	mIMK (KNO ₃)	mIMK (CO[NH ₂] ₂)	mIMK (NH ₄ Cl)
NaNO ₃	200	200	-	-	-
KNO ₃	-	-	200	-	-
CO(NH ₂) ₂	-	-	-	200	-
NH ₄ Cl	2.68	-	-	-	200
Na ₂ HPO ₄	1.4	-	-	-	-
K ₂ HPO ₄	5	5	5	5	5
Fe-EDTA	5.2	-	-	-	-
Mn-EDTA	0.332	-	-	-	-
Na ₂ -EDTA	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
CoSO ₄ · 7H ₂ O	0.014	-	-	-	-
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.0073	-	-	-	-
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
H ₂ SeO ₃	0.0017	-	-	-	-
Thiamine-HCl	0.2	-	-	-	-
Biotin	0.0015	-	-	-	-
Vitamin B12	0.0015	-	-	-	-

2.2.2 フコキサンチン分析方法

約 10mg の *P. sp.* OPMS30543 乾燥藻体を 1 mL のアセトニトリルに懸濁し、1 分間ボルテックスで攪拌混合し、その後 10 分間超音波処理をして細胞を破砕した。遠心分離機にて 10,000 *g* で 2 分間処理した後、上澄み液を高速液体クロマトグラフィー (島津製作所、京都、日本) により、逆相カラム COSMOSIL 5C₁₈-AR-II、内径 4.6 mm×150 mm (ナカライテスク、京都、日本) を用いて分析した。分析条件は、カラムオープン温度を 40 °C、0.1 %ギ酸を含む 80 %アセトニトリル水溶液で流量 1 mL/min とした。検出は 450 nm のフォトダイオードアレイ検出器を使用した。フコキサンチンシグナルは、フコキサンチン標準品 (富士フイルム和光純薬株式会社) を用いて作成した検量線を引いて同定および定量を行なった。

2.2.3 屋外培養における培養方法

P. sp. OPMS30543 は、以下の培養器を使用して、自然光の下で培養を行なった。

- 1) 外径 60 mm、厚さ 5 mm のアクリルパイプ PBR
- 2) 外径 114 mm、厚さ 5 mm のアクリルパイプ PBR
- 3) 外径 216 mm、厚さ 5 mm のアクリルパイプ PBR
- 4) 外径 267 mm、厚さ 5 mm のアクリルパイプ PBR
- 5) 外径 450 mm、厚さ 0.1 mm のプラスチックバッグ
- 6) 200 L ポリカーボネートオープンタンク
- 7) 500 L レースウェイポンド

培養には 2×Daigo IMK 培地を含む 50 %濃度の人工海水を用いた。攪拌はパドルで攪拌するレースウェイポンドを除いて空気による曝気を行なった。培養中は、100 % CO₂ を供給して pH を 8 に調整した。

2.3 実験および結果

2.3.1 パプロバ株のスクリーニング

P. sp. OPMS30543 のフコキサンチン生産性を検討するため、*P. pingus* NBRC 102807、*P. lutheri* NBRC 102808 および *P. sp.* OPMS30543 の 3 株を用いて比較検討を行なった (図 2-1a)。3 株は、2×Daigo IMK 培地を含む 50 %海水中で、25 °C にて培養し、バイオマス量 (乾燥重量)、フコキサンチン含有量 (乾燥藻体 1 g あたりのフコキサンチン量) およびフコキサンチン生産量 (培養液 1 L あたりのフコキサンチン量) を測定した。

その結果、バイオマス量は *P. lutheri* NBRC102808 が最も少なく、一方で、*P. pingus* NBRC 102807 においては、培養開始後 12 日目に最大のバイオマス量 (1.54 g-DCW/L) が確認された (図 2-1b)。しかし、同株のフコキサンチン含有量は 3 株中最も低かった (2.06 mg/g-DCW、3 日目) (図 2-1c)。 *P. sp.* OPMS 30543 は、培養開始後 12 日目のバイオマス量は 0.85 g-DCW / L であった。また、9 日目に最大のフコキサンチン含有量である 12.88 mg/g-DCW を示した。フコキサンチン生産量 (バイオマス量とフコキサンチン含有量を乗算して算出) は 9 日目に 9.01 mg/L であり、*P. pingus* NBRC 102807 (2.32 mg/L、12 日目) および *P. lutheri* NBRC 102808 (0.61 mg/L、9 日目) よりも高い値を示した (図 2-1d)。したがって、*P. sp.* OPMS 30543 は、フコキサンチンを高生産する有望な株であることが確認された。

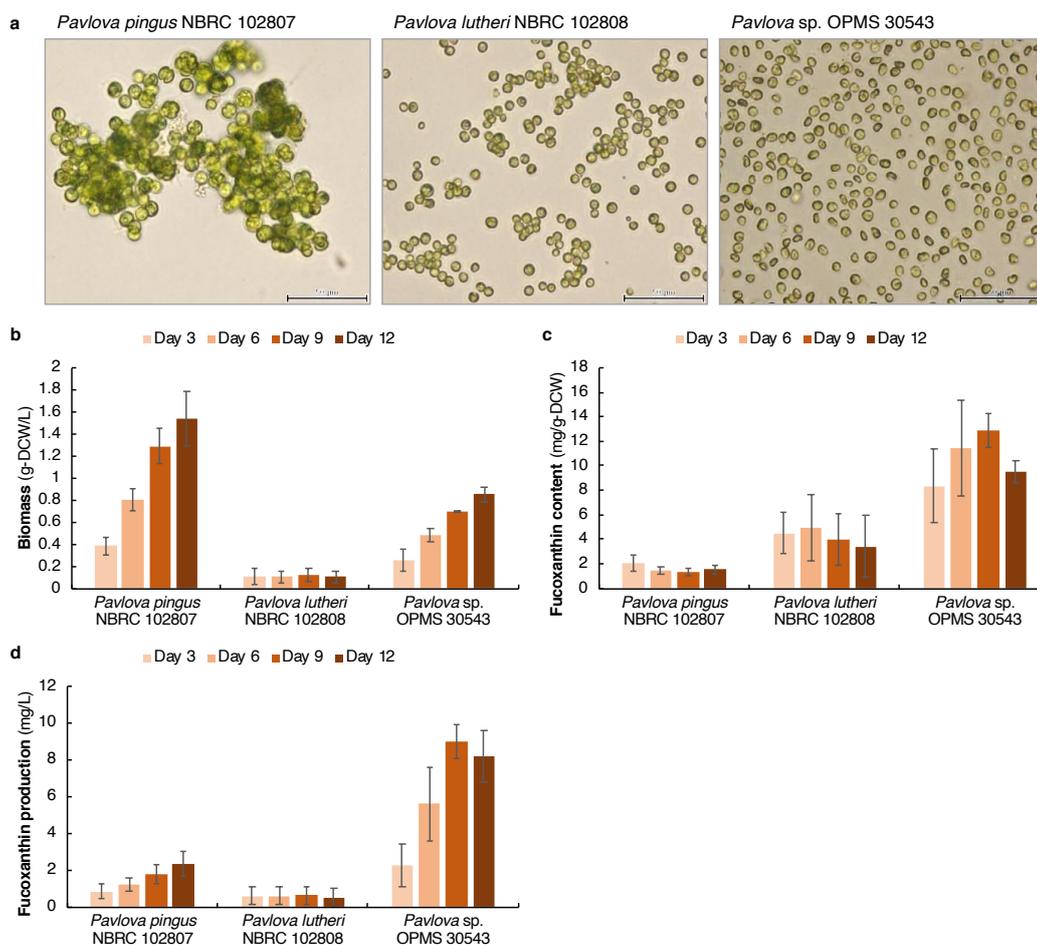


図 2-1 パブロバ属 3 種の増殖およびフコキサンチン 生産性の比較

a パブロバ細胞の顕微鏡観察写真、スケールバー；50 μ m、**b** バイオマス量、**c** フコキサンチン含有量、**d** フコキサンチン生産量

3 回の繰り返し実験の結果を示す。エラーバーは標準偏差を示す。

2.3.2 最適培地の検討

P. sp. OPMS 30543 によるフコキサンチン生産に最適な培地を検討するために、2×Daigo IMK 培地、f/2 培地 (Guillard and Ryther 1962) または Walne 培地 (Walne 1970) のいずれかを溶解した 50 %人工海水中で *P.* sp. OPMS 30543 を培養して、バイオマス量、フコキサンチン含有量およびフコキサンチン生産量を調査した。2×Daigo IMK 培地を用いた 14 日目のバイオマス量は、f/2 培地で 0.55 g-DCW/L、Walne 培地で 0.56 g-DCW/L であった。一方で 2×Daigo IMK 培地においては、先の 2 種類の培地と比較して、より高いバイオマス量である 0.92 g-DCW/L が確認された(図 2-2a)。

2×Daigo IMK 培地で培養した *P. sp.* OPMS 30543 のフコキサンチン含有量は 14 日目で 2.62 mg/g-DCW、f/2 培地では 7 日目で 1.48 mg/g-DCW、Walne 培地では 7 日目に 1.39 mg/g-DCW が確認され、*P. sp.* OPMS 30543 のフコキサンチン含有量が有意に高かった (図 2-2b)。

2×Daigo IMK 培地において 14 日目のフコキサンチン生産量 (1.51 mg/L) は、f/2 培地における生産量 (0.73 mg/L、7 日目) および Walne 培地の生産量 (0.79 mg/L、7 日目) と比較して約 2 倍の生産量であった (図 2-2c)。したがって、これらのデータは、2×Daigo IMK 培地の使用が *P. sp.* OPMS 30543 のバイオマス量、フコキサンチン含有量およびフコキサンチン生産量を最大化するのに最も適していることが示唆された。

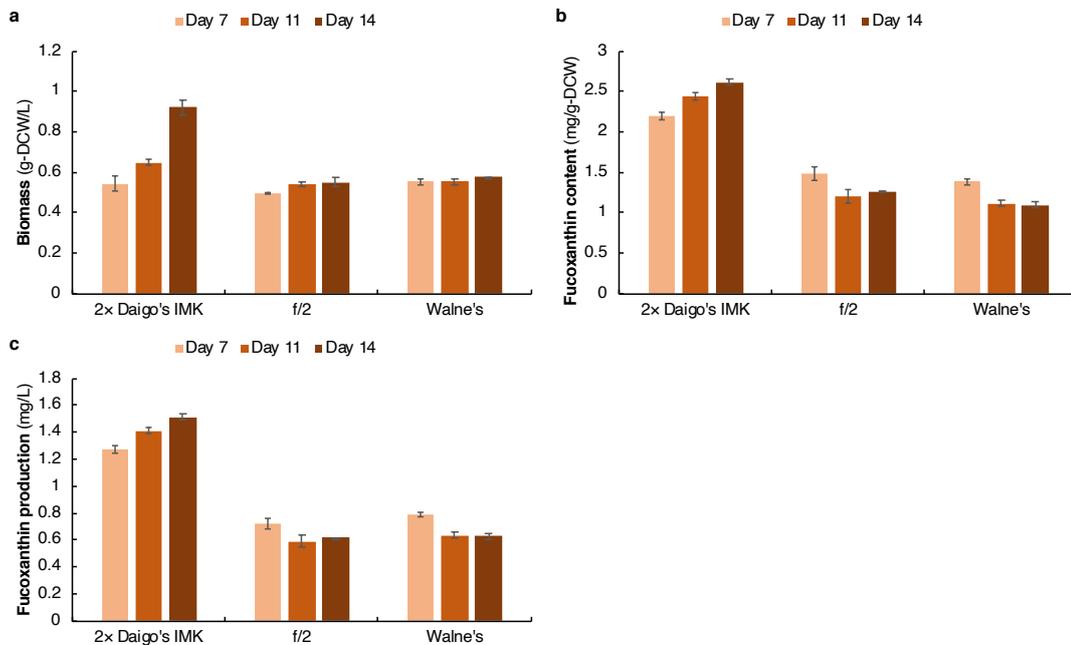


図 2-2 *P. sp.* OPMS 30543 培養における培地の比較

a バイオマス量、 b フコキサンチン含有量、 c フコキサンチン生産量

2×Daigo IMK 培地、f/2 培地および Walne 培地のいずれかを含む 50 %人工海水を 100 mL 入れた 200 mL 三角フラスコにおける静置培養

2 回の繰り返し実験の結果を示す。エラーバーは標準偏差を示す。

2.3.3 培養条件の検討

P. sp. OPMS 30543 のバイオマス生産量を増加させるため、さまざまな培養条件（海水濃度、pH および水温）を設定して調査を行なった。

海水濃度が異なる 2×Daigo IMK 培地入り 50 % 人工海水で *P. sp.* OPMS 30543 培養した結果、海水濃度 0 % では増殖が確認できなかった（図 2-3a）。一方、50 % 海水濃度において最大のバイオマス量が確認された（6.16 g-DCW/L）。

次に pH の変化によるバイオマス量への影響を調査した（図 2-3b）。*P. sp.* OPMS 30543 のバイオマス量は、pH 6 において最も少なく、pH を 8 に調整すると、6 日目に最大のバイオマス量（3.78 g-DCW/L）が確認された。

次に培養水温の変化によるバイオマス量への影響を調査した（図 2-3c）。培養水温を 15-35 °C の範囲で変化させて調査した結果、この温度範囲内においては、*P. sp.* OPMS 30543 は、水温が高くなるにつれてバイオマス量が増加し、35 °C で 6 日目に最大のバイオマス量（3.32 g-DCW/L）が確認された。したがって、*P. sp.* OPMS 30543 のバイオマス生産における最適条件は、水温 35 °C、50 % 濃度海水、そして、pH 8 であることが示唆された。

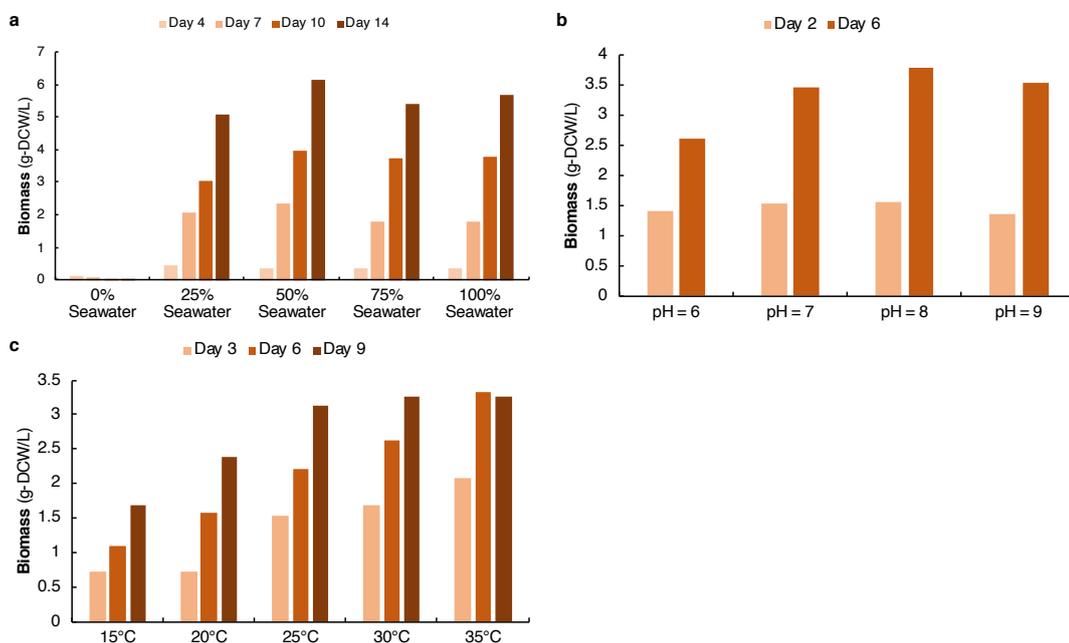


図 2-3 *P. sp.* OPMS 30543 の至適培養条件の検討

a 培地中の海水濃度、 **b** pH（培養液に CO₂ ガスを供給することで調整）、 **c** 培養水温

12 時間：12 時間の明/暗サイクルで赤、青、および白色の LED を 300 μmol photons/m²/s の光量子強度で照射

2.3.4 培地中の窒素源および炭素源の検討

P. sp. OPMS 30543 のバイオマス量とフコキサンチン含有量をさらに増加させるために、培地中の窒素源を変化させて、その影響を調査した。窒素源改変 IMK 培地は、1×Daigo IMK の NaNO_3 を KNO_3 、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ または NH_4Cl のいずれかに置き換えることによって調製した (表 2-2)。

その結果、 KNO_3 を含む改変 IMK 培地で培養された細胞のバイオマス量が最大値を示し、1.8 g-DCW/L であった (図 2-4a)。また、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ と NH_4Cl も窒素源として利用可能であることがわかり、バイオマス量は、それぞれ 1.58 および 0.82 g-DCW/L であった。

フコキサンチン含有量は、 NaNO_3 含有培地を使用した際に、12.74 mg/g-DCW という結果が得られ、 KNO_3 の 5.57 mg/g-DCW、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ の 8.38 mg/g-DCW および NH_4Cl の 7.80 mg/g-DCW と比較して、フコキサンチン含有量が多かった (図 2-4b)。

フコキサンチン生産量については、 NaNO_3 を窒素源として使用した場合に最も高かった (図 2-4c)。 NaNO_3 、 KNO_3 、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ または NH_4Cl を含む改変 IMK 培地で培養したフコキサンチン生産量は、それぞれ 17.84、mg/L、10.03 mg/L、13.24 mg/L、および 6.40 mg/L であった。よって、これらの結果から、 NaNO_3 がフコキサンチン生産量を最大化するための最適な窒素源であることが示唆された。

次に、培地にさまざまな炭素源を加えることの効果も調べた。炭素源改変 IMK 培地は、Daigo IMK 培地に、グルコース、メタノール、酢酸ナトリウムまたは重炭酸ナトリウムのいずれかを添加することによって調製した。通常の Daigo IMK 培地のみの場合と比較して、炭素源を追加することによりバイオマス量が増加した (図 2-4d)。グルコース、メタノール、および重炭酸ナトリウムを含む培地におけるバイオマス量は、培養 4 日目でそれぞれ 1.19 g-DCW/L、0.71g-DCW/L、1.28 g-DCW/L であった。酢酸ナトリウムを含む培地において最大のバイオマス量が確認できた (1.79 g-DCW/L)。

フコキサンチン含有量は、メタノールを含む培地を使用すると、7.26 mg/g-DCW で最大値を示し、グルコースを使用した場合は 4.25 mg/g-DCW、酢酸ナトリウムを使用した場合 4.11 mg/g-DCW、また、重炭酸ナトリウムを使用した場合 2.99 mg/g-DCW であった (図 2-4e)。

フコキサンチン生産量は、酢酸ナトリウムを培地に添加したときに最も高かった (図 2-4f)。グルコース、メタノール、酢酸ナトリウムおよび重炭酸ナトリウムを添加して培養した場合のフコキサンチン生産量は、それぞれ 5.06、mg/L、5.15 mg/L、

7.36 mg/L および 3.83 mg/L であった。したがって、酢酸ナトリウムがフコキサンチン生産量を増加させるための最適な炭素源であることが示唆された。

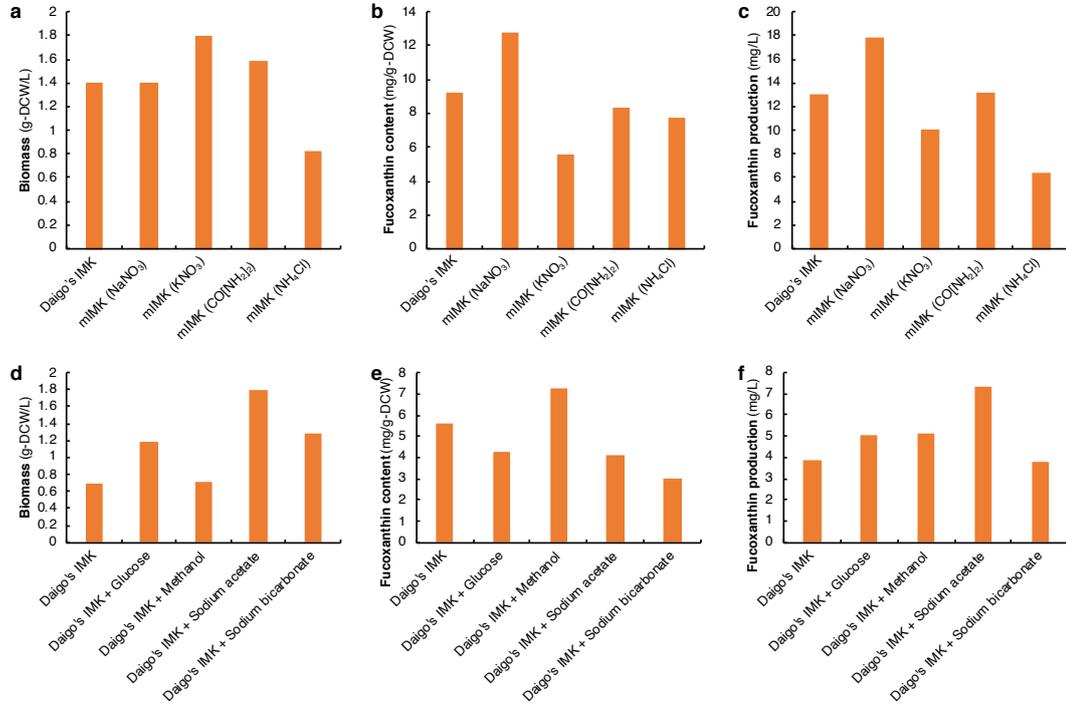


図 2-4 代替窒素源と追加の炭素源の検討

a 窒素源変更 IMK 培地を加えた 50 % 人工海水中におけるバイオマス量、**b** フコキサンチン含有量、**c** フコキサンチン生産量、**d** 炭素源添加 IMK 培地を加えた 50 % 人工海水中におけるバイオマス量、**e** フコキサンチン含有量、**f** フコキサンチン生産量

12 時間 : 12 時間の明/暗サイクルで赤、青、および白色の LED を 300 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ の光量子強度で照射

2.3.5 屋外大量培養に向けた培養器の検討

屋外における *P. sp.* OPMS 30543 生産の可能性を評価するために、複数種の培養器を使用して屋外培養試験を行なった。

培養器は、アクリルパイプ PBR (厚さ 5 mm、外径 114 mm、216 mm、267 mm) (図 2-5a)、ビニール袋 (厚さ 0.1 mm、外径 450 mm) (図 2-5a)、200 L ポリカーボネートオープンタンク (図 2-5b) および 500 L のレースウェイポンド (図 2-5c) を使用した。外径 114 mm、216 mm、267 mm のアクリルパイプ PBR で 6 日間培養した結果、バイオマス量は、それぞれ 0.73 g-DCW/L、0.39 g-DCW/L、0.31 g-DCW/L であった (図 2-6a)。ビニール袋、200 L のポリカーボネート製オープンタンク、500 L のレースウェイポンドでの培養した場合のバイオマス量は、6 日目にそれぞれ 0.24 g-DCW/L、

0.26 g-DCW/L、0.10 g-DCW/Lであった。よって、外径が小さいアクリルパイプ PBR 使用することにより高いバイオマス量が得られていることになる。そこでこの結果をさらに検証するために、外径 60 mm のアクリルパイプ PBR (図 2-5d)を使用して培養試験を行なった。その結果 6 日目に 1.82 g-DCW/L のバイオマス量が観察され (図 2-6b)、114 mm のアクリルパイプ PBR を使用して達成されたバイオマス量よりも高く、アクリルパイプの場合、外径が小さいほうがバイオマス量の生産性が高いことが確認された。

外径 60 mm のアクリルパイプ PBR におけるフコキサンチン含有量は、8 日目に 20.86 mg/g-DCW であり、本研究におけるすべてのラボスケール培養例の中で最も高かった。

外径 60 mm のアクリルパイプ PBR を使用した場合、1 日あたりのバイオマス生産量は、0.23 g-DCW/L/day、そして、1 日あたりのフコキサンチン生産量は 4.88 mg/L/day であった。

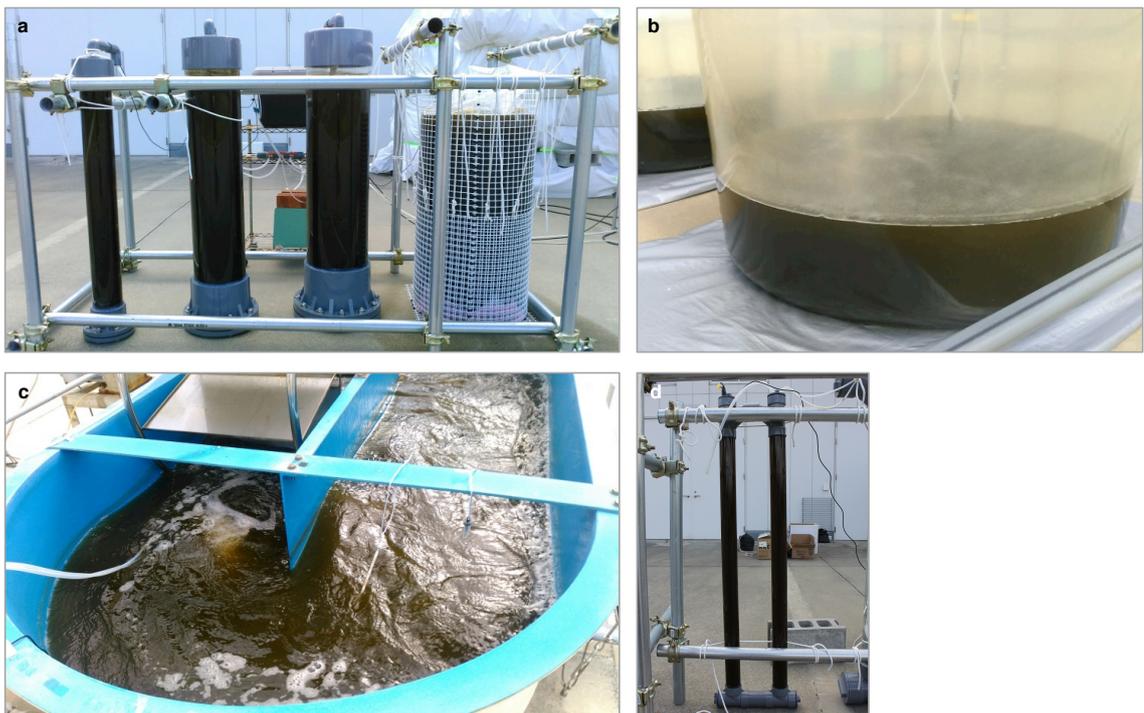


図 2-5 屋外培養で使用した培養器

a アクリルパイプ PBR (厚さ 5 mm、外径 114 mm、216 mm、267 mm)、ビニール袋 (厚さ 0.1 mm、外径 450 mm)、 b 200 L ポリカーボネートオープンタンク、 c 500 L レースウェイポンド、 d アクリルパイプ PBR (外径 60 mm)

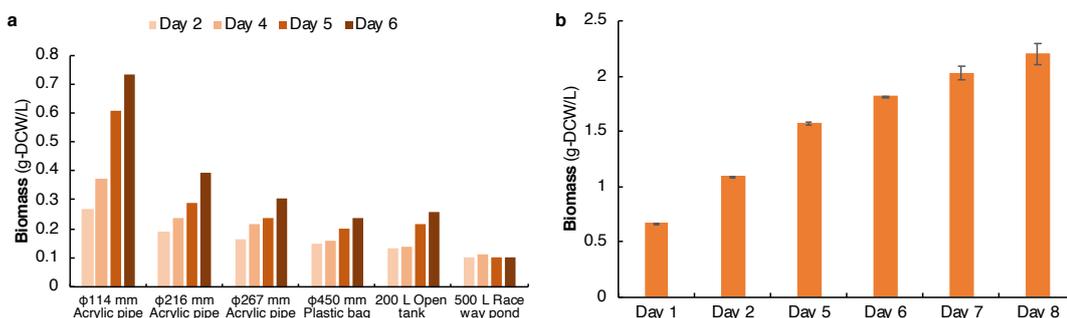


図 2-6 *P. sp.* OPMS 30543 の屋外培養試験

a アクリルパイプ PBR（厚さ 5 mm、外径 114 mm、216 mm、267 mm）、プラスチックバッグ（厚さ 0.1 mm、外径 450 mm）、200 L ポリカーボネートオープンタンクおよび 500 L レースウェイポンドにて自然光を利用して培養した *P. sp.* OPMS 30543 のバイオマス量、**b** 外径 60 mm のアクリルパイプ PBR で自然光で培養した *P. sp.* OPMS 30543 のバイオマス量

2×Daigo IMK 培地を添加した 50 % 人工海水を使用。レースウェイポンドを除いて空気による曝気を行なった。レースウェイポンドにおいては、パドルを使用して攪拌した。培養中、100 % CO₂を吹き込んで pH を 8 に調整した。

2.4 考察

過去の研究において、*P. lutheri* と *P. pinguis* は、ドコサヘキサエン酸とエイコサペンタエン酸を含む ω-3 脂肪酸を蓄積することから水産飼料としての利用について研究されている (Guihéneuf et al. 2013; Guihéneuf et al. 2015; Fernandes et al. 2020)。しかし、フコキサンチン生産者としての利用についてはほとんど研究されていない。いくつかの報告において、*P. lutheri* および *P. spp.* がフコキサンチンを生産していることについて報告されているのみである (Hiller et al. 1988; Lananan et al. 2013)。また、パブロバ属の株には細胞壁がないことが報告されている (Green 1980) ことより、藻体そのものを食した場合、消化吸収性が良いことが推測される。

本研究においては、先ず *P. sp.* OPMS 30543、*P. pinguis* NBRC102807 および *P. lutheri* NBRC 102808 を用いてフコキサンチン生産量を比較し、*P. sp.* OPMS 30543 がフコキサンチン生産量が有意に高いことを確認し、フコキサンチン生産者として有望な株であることが示唆された (図 2-1d)。

次に *P. sp.* OPMS 30543 培養の最適条件を決定するために、3 種類の培地を用いて調査した。2×Daigo IMK 培地を使用した際に、f/2 培地または Walne 培地と比較してフコキサンチンの生産量が増加した (図 2-2c)。珪藻類の *Phaeodactylum tricornerum* と

O. aurita では、硝酸塩の追添加によりフコキサンチンの生産量が増加することが報告されており (Xia et al. 2013; McClure et al. 2018) 、2×Daigo IMK 培地には、f/2 培地 (75 mg/L NaNO₃) または Walne 培地 (100 mg/L NaNO₃) よりも多くの硝酸塩 (400 mg/L NaNO₃) が含まれていることがフコキサンチン生産量の増加に影響与えている可能性が高いと考えられる (表 2-1) 。

過去の研究において、フコキサンチン生産量における窒素源の種類の違いによる影響は詳細には検討されていなかった。本研究では、1×Daigo IMK 培地に使用している窒素源の変更によるフコキサンチン生産量の変化についても調査を行い、*P. sp.* OPMS 30543 においては、NaNO₃ を使用するとフコキサンチンの生産量が最も高くなることが分かった (図 2-4c) 。しかし、ハプト藻綱とは別綱の *Aureococcus anophagefferens* では、窒素源として尿素を使用した場合に、NaNO₃、NH₄Cl またはグルタミン酸を使用した場合と比較して、高いフコキサンチン含有量が確認されている (Ou et al. 2018) 。フコキサンチン生産に適した窒素源は藻類によって異なるが、これらの結果は、窒素源の種類と供給量がフコキサンチンの生産に影響を与える重要な要素であることを示唆している。

P. sp. OPMS 30543 は、海水濃度が 25 % から 100 % の幅広い範囲で同様のバイオマス量が確認できた (図 2-3a) 。一方、海水が 0 % の培地で培養した場合は増速が確認できなかった。Daigo IMK 培地には、Mg²⁺ と Ca²⁺ が含まれていないので、*P. sp.* OPMS 30543 は、海水中から Mg²⁺ と Ca²⁺ を吸収して利用しているのではないかと考えられる (表 2-1) 。

調査した 3 種の培地のうち、2×Daigo IMK 培地において、最も多いバイオマス量が確認された (図 2-2a) 。これは、2×Daigo IMK 培地に、f/2 培地または Walne 培地よりも多くの硝酸塩が含まれているためであると考えられる (表 2-1) 。

炭素源の影響も調べた結果、2×Daigo IMK 培地にグルコース、酢酸ナトリウム、または重炭酸ナトリウムを添加すると、*P. sp.* OPMS 30543 のバイオマス量が増加することが確認できた (図 2-4d) 。*P. sp.* OPMS 30543 と同じハプト藻綱の *Isochrysis galbana* では、グリセロールがバイオマス量を増加させるための最適な追加炭素源であると報告されている。しかし、酢酸塩は効果がなく、グルコースは成長速度をわずかに向上させたのみであったと報告されている (Alkhamis et al. 2013) 。これらの結果および報告より、適切な種類の炭素源の添加が、*P. sp.* OPMS 30543 を含む微細藻類のバイオマス量を増加させるために有望な策であることを示唆している。

屋外培養試験では、アクリルパイプ PBR において、オープンタンクまたはレースウェイポンドよりも多いバイオマス量が確認された (図 2-6a) 。アクリルパイプ PBR の中

では、直径が小さいものほどバイオマス量が多くなった。これは、水量あたりのPBR表面積が大きいほど、光照射効率が上がるため、光合成が活発化することが影響していると考えられる。また、アクリルパイプPBRにおいてはオープンタンクおよびレースウェイポンドにおいて頻発するバクテリア類、真菌類および原生動物によるコンタミネーションが起こらないこともその要因の一つであると考えられる。水産餌量として利用されている *P. lutheri* は、国内の水産試験場などにおいては、一般的にオープンタンクにて培養されている。*P. sp.* OPMS 30543 においてポリカーボネート製オープンタンク培養時のバイオマス量は6日目で0.26 g-DCW/Lであった。一方、外径60 mmのアクリルチューブタイプのPBRにおいては6日目で1.82 g-DCW/Lであり、約7倍の差が確認できた。

三重県栽培漁業センターの報告(Ishikawa et al. 2012)によると、ポリカーボネート製30Lタンクにおいて白色LEDおよび蛍光灯で *P. lutheri* を培養した場合、6日目の細胞数は約 15×10^6 細胞/mlであった。今回の実験においてアクリルチューブタイプの外径60 mm PBRの6日目の乾燥重量は1.82 g-DCW/Lで、その時の細胞数は約 85.2×10^6 細胞/mlであったので、アクリルチューブでは約5.7倍の増殖を示している。

水産試験場の方のコメント（筆者の直接聞き取り）によると、*P. lutheri* は、非常にコンタミネーションに弱く、またシード株についても安定的に維持できない株で、高密度培養も難しいとのコメントがある。本研究においては、シード株は安定的に培養できしており、また、アクリルチューブタイプのPBRを使用することによりコンタミネーションも無く、これまでの報告例に比べて高密度に且つ安定的培養に成功しているものと考えられる。

よって、今後 *P. sp.* OPMS 30543 の事業化フェーズにおける生産設備を設計する場合、オープン方式ではなく、チューブ型を選定したいと考えている。

今回のPBR方式の検討では、アクリルパイプの直径60 mm、114 mm、216 mm、267 mmで評価したが、パイプの直径を細くしたほうが、バイオマス量が増大することは確認できた。今後、大規模培養装置を設計、建設、事業化の検討をしていくにあたり、今回の結果を基礎データとして使用して、チューブ型リアクターの方式（縦型か横型か）検討を行い、生産可能量を試算し、生産量で製造できる最終商品を仮定し、培養設備の建設コストを加味して、事業計画を検討し、その上で事業化判断をしていく必要があると考えている。

第3章においては、本章で検討した *P. sp.* OPMS 30543 のラボスケールにおける最適培養条件を基礎データとして用い、ベンチスケール設備の設計、構築、さらに、ベンチ

スケール設備を用いた培養試験を行い、その結果を利用して検討した生産フロー等について報告する。

参考文献および引用

- 1) Afolayan AF, Bolton JJ, Lategan CA, Smith PJ, Beukes DR (2008) Fucoxanthin, tetraprenylated toluquinone and toluhydroquinone metabolites from *Sargassum heterophyllum* inhibit the in vitro growth of the malaria parasite *Plasmodium falciparum*. *Z Naturforsch C J Biosci* 63:848-852.
- 2) Alkhamis Y, Qin JG (2013) Cultivation of *Isochrysis galbana* in phototrophic, heterotrophic, and mixotrophic conditions. *Biomed Res Int* 2013:983465
- 3) Carvalho AP, Malcata FX (2003) Kinetic Modeling of the Autotrophic Growth of *Pavlova lutheri*: Study of the Combined Influence of Light and Temperature. *Biotechnol Prog* 19:1128-1135
- 4) Carvalho AP, Malcata FX (2005) Optimization of ω -3 Fatty Acid Production by Microalgae: Crossover Effects of CO₂ and Light Intensity Under Batch and Continuous Cultivation Modes. *Mar Biotechnol* 7:381-388
- 5) Fernandes T, Martel A, Cordeiro N. (2020) Exploring *Pavlova pinguis* chemical diversity: a potentially novel source of high value compounds. *Sci Rep* 10:339
- 6) Gammone MA, d'Orazio N (2015) Anti-obesity Activity of the Marine Carotenoid Fucoxanthin. *Mar Drugs* 13:2196-2214
- 7) Gayen K, Bhowmick TK, Maity SK (2019) Sustainable Downstream Processing of Microalgae for Industrial Application. CRC Press, Boca Raton.
- 8) Green JC (1980) The fine structure of *Pavlova pinguis* Green and a preliminary survey of the order Pavloales (Prymnesiophyceae). *Br Phycol J* 15:151-191
- 9) Guihéneuf F, Stengel DB (2013) LC-PUFA-enriched oil production by microalgae: accumulation of lipid and triacylglycerols containing n-3 LC-PUFA is triggered by nitrogen limitation and inorganic carbon availability in the marine haptophyte *Pavlova lutheri*. *Mar Drugs* 11:4246-4266
- 10) Guihéneuf F, Mimouni V, Tremblin G, Ulmann L (2015) Light intensity regulates LC-PUFA incorporation into lipids of *Pavlova lutheri* and the Final Desaturase and Elongase Activities Involved in Their Biosynthesis. *J Agric Food Chem* 63:1261-1267

- 1 1) Guillard, RRL, Ryther JH (1962) Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Can J Microbiol*, 8:229-239.
- 1 2) Hiller RG, Larkum AWD, Wrench PM (1988) Chlorophyll proteins of the prymnesiophyte *Pavlova lutherii* (Droop) comb. nov.: identification of the major light-harvesting complex. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics* 932:223-231
- 1 3) Hosokawa M, Wanezaki S, Miyauchi K, Kurihara H, Kohno H, Kawabata J, Odashima S, Takahashi K (1999) Apoptosis-Inducing Effect of Fucoxanthin on Human Leukemia Cell Line HL-60. *Food Sci Technol Res* 5:243-246
- 1 4) Ikeda K, Kitamura A, Machida H, Watanabe M, Negishi H, Hiraoka J, Nakano T (2003) Effect of *Undaria pinnatifida* (Wakame) on the development of cerebrovascular diseases in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 30:44-48
- 1 5) Ishikawa T, Isowa K (2012) Cultivation of Microalgae for Live Food under White Light-emitting Diodes (LEDs). *Journal of Fisheries Technology*, 4 (2) , 51-55
- 1 6) Kawee-ai A, Kuntiya A, Kim SM (2013) Anticholinesterase and Antioxidant Activities of Fucoxanthin Purified From the Microalga *Phaeodactylum Tricornutum*. *Nat Prod Commun* 8:1381-1386
- 1 7) Kotake-Nara E , Kushiro M, Zhang H, Sugawara T, Miyashita K, Nagao A (2001) Carotenoids Affect Proliferation of Human Prostate Cancer Cells. *J Nutr* 131, 3303-3306
- 1 8) Lananan F, Jusoh A, Ali N, Lam SS, Endut A (2013) Effect of Conway Medium and f/2 Medium on the growth of six genera of South China Sea marine microalgae. *Bioresour Technol* 141:75-82
- 1 9) Maeda H, Hosokawa M, Sashima T, Miyashita K (2007) Dietary Combination of Fucoxanthin and Fish Oil Attenuates the Weight Gain of White Adipose Tissue and Decreases Blood Glucose in Obese/Diabetic KK-Ay Mice. *J Agric Food Chem* 55:7701-7706
- 2 0) McClure DD, Luiz A, Gerber B, Barton GW, Kavanagh JM (2018) An investigation into the effect of culture conditions on fucoxanthin

production using the marine microalgae *Phaeodactylum tricornutum*. *Algal Res* 29:41-48

- 2 1) Meireles LA, Guedes C, Malcata FX (2003) Increase of the Yields of Eicosapentaenoic and Docosahexaenoic Acids by the Microalga *Pavlova Lutheri* Following Random Mutagenesis. *Biotechnol Bioeng* 81:50-55
- 2 2) Ou L, Cai Y, Jin W, Wang Z, Lu S (2018) Understanding the nitrogen uptake and assimilation of the Chinese strain of *Aureococcus anophagefferens* (Pelagophyceae). *Algal Res* 34:182-190
- 2 3) Peng J, Yuan JP, Wu CF, Wang JH (2011) Fucoxanthin, a Marine Carotenoid Present in Brown Seaweeds and Diatoms: Metabolism and Bioactivities Relevant to Human Health. *Mar Drugs* 9:1806-1828
- 2 4) Shiratori K, Ohgami K, Ilieva I, Jin XH, Koyama Y, Miyashita K, Yoshida K, Kase S, Ohno S (2005) Effects of fucoxanthin on lipopolysaccharide-induced inflammation in vitro and in vivo. *Exp Eye Res* 81:422-428
- 2 5) Sivagnanam SP, Yin S, Choi JH, Park YB, Woo HC, Chun BS (2015) Biological Properties of Fucoxanthin in Oil Recovered from Two Brown Seaweeds Using Supercritical CO₂ Extraction. *Mar Drugs* 13:3422-3442
- 2 6) Sugawara T, Matsubara K, Akagi R, Mori M, Hirata T (2006) Antiangiogenic activity of brown algae fucoxanthin and its deacetylated product, fucoxanthinol. *J Agric Food Chem* 54:9805-9810.
- 2 7) Tokushima H, Inoue-Kashino N, Nakazato Y, Masuda A, Ifuku K, Kashino Y (2016) Advantageous characteristics of the diatom *Chaetoceros gracilis* as a sustainable biofuel producer. *Biotechnol Biofuels* 9:235
- 2 8) Walne PR (1970) Studies on the food value of nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera *Ostrea*, *Crassostrea*, *Mercenaria*, and *Mytilis*. *Fish Invest* 26:1-62.
- 2 9) Xia S, Gao B, Fu J, Xiong J, Zhang C (2018) Production of fucoxanthin, chrysolaminarin, and eicosapentaenoic acid by *Odontella aurita* under different nitrogen supply regimes. *J Biosci Bioeng* 126:723-729
- 3 0) Xia S, Wang K, Wan L, Li A, Hu Q, Zhang C (2013) Production, Characterization, and Antioxidant Activity of Fucoxanthin from the Marine Diatom *Odontella aurita*. *Mar Drugs* 11:2667-2681

第3章 技術戦略

本章では、生物資源ビジネスにおけるバリューチェーン上のギャップを埋めるうえで重要となる問題2項目（生産技術、生産性）のうち、生産技術に関する問題解決について、第2章で検討したラボスケールにおけるパプロバの培養方法を基盤として立案したベンチスケール生産以降の具体的な戦略を示し、その戦略に沿って実施した問題解決の経緯および結果について以下に報告する。

3.1 ベンチスケール生産

3.1.1 ベンチスケール生産設備構築

現在、微細藻類で商業生産に成功し、市場投入されている種は、非常に限られている。その大きな要因は、大量培養の困難さで、それは原生生物のコンタミネーションによる捕食被害によるところが大きい。従来の微細藻類の代表的な培養法は、クロレラやスピルリナの培養法に使用されているオープンポンド方式である。この方式は屋外でかつオープン環境であるため、上述した原生生物などの捕食者の侵入リスクが非常に高い。したがって、クロレラのように成長速度が極めて早いか、スピルリナのようを高アルカリ環境下などの特殊な環境で生育するという特殊な能力を持った種でないと成功しない。ただ、特殊な能力を持った微細藻類は非常に稀であるため、大量培養に成功し、活用されている種は限られていた。

しかし、近年、PBRと呼ばれる閉鎖型の培養装置が登場した。PBRは閉鎖環境下での培養であるため、コンタミネーションを防いで培養することが可能で、且つ光を効率的に当てられることより単位水量あたりの生産量が非常に多いことが特徴である。例えばアスタキサンチンを生産するヘマトコッカスは、このPBRを用いて培養されている。イスラエルのAlgatech社では、広大な砂漠の敷地内にガラスチューブ横置き型のPBRを設置し、ヘマトコッカスの大量培養を行なっている¹⁾。

PBRには、上述のガラスチューブ横置き型、ガラスチューブ縦置き型、プレート型、プラスチックバック型など多くの種類があり、近年急速に利用され始めている。PBRを用いると、これまで培養が困難であった微細藻類、つまりコンタミネーションに弱い種の培養が可能になるため、今後、ポテンシャルが高い微細藻類がPBRを用いることにより培養可能となる可能性が高いと考えている。それに伴い、OP社で保有している微細藻類ライブラリーから発見された有用株について、活用機会が増加すると考えている。PBRのメリットは上述の通りであるが、デメリットとしては、構築にあたって、オープン形式のポンドに比較して導入時のコストが多くかかることである。よっ

て、現時点ではその導入コストに見合う付加価値をもった株の生産に限っての利用となっている。

第2章において、パプロバのラボスケールにおける培養条件検討および培養器の検討を行なった。その結果、パプロバの培養はPBR方式でかつ60 mm程度の外径のチューブ型であれば高密度培養が可能であると考えられた。

培養場所については、後に商品化する際のブランディングのことも考慮し、沖縄の豊富な自然光と温暖な気候を活用して屋外での培養を前提とした。

ラボスケールでの試験が終了したところで、プラントスケールでの生産に必要な仕様、規模、コストを試算するために、ベンチスケールでの生産検討を行う必要がある。PBRは、一般的にオープンポンドの10倍以上の細胞密度まで増殖させることが可能であるが、微細藻類は光合成を行うため光を受けることが絶対条件であるため、光を要しない微生物と比較すると、同一体積の培養液中で増殖できる限界値は低いので、微細藻類のベンチスケール生産であっても、動物実験、商品試作、試験販売に必要な量を確保するためには、微生物のタンク培養とは異なり、大規模な設備を要する。

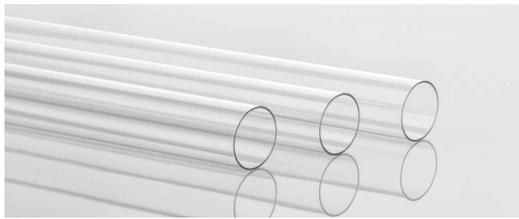
図3-1に培養器選定についての検討結果をまとめた。まず、材質についてはガラスやアクリルなどが考えられたが、屋外の強い紫外線下では樹脂は劣化が激しいので、ガラス製を採用することにした。

次に、縦型か横型かについては、縦型はエアバブルで攪拌するために細胞へのダメージは少ないものの、スケールを上げた際に内壁面の掃除を行う方法が培養液を抜いた後の化学洗浄しか選択肢がないこと、また、エアバブルの流量調整が管毎に必要なため作業が煩雑になることが予想されたので選択肢から除外した。一方、横型のPBRでは、運転中にガラス配管洗浄用ブラシを流すことも可能であり、培養中に起こった壁面付着にも対応可能であること、pHやCO₂投入制御など、制御系がシンプルであるため、培養スケールを上げていくのであれば横型のPBRが至適と判断された。

① 屋内小規模シード作製	② 屋外中規模シード作製	③ 屋外大規模培養
(試験管) 試験管スケールでの株保存は問題無し 	(円形、レースウェイポンド) 攪拌パドルで大きく流れを作っての培養を行なうとブロック状となる。この攪拌方式は不適である。 	(円形、レースウェイポンド) 中規模培養でうまく行かないので、大規模培養でも同じ問題が発生すると考えられる。 
(小ボトル 800 mL) 試験管スケールでの培養は大きな問題無し 	(タンクエアレーション攪拌方式) 垂直方向の強めのエア攪拌を行なうと培養結果は良好である。コンタミリスク有り。 	(エアレーション攪拌型ポンド) IHIが根本深で行なっている培養方法が参考になる。しかし、円形、レースウェイ方式と同様にコンタミのリスク高く現実的ではない。 
(ボトル 8 L) ボトルでの培養は大きな問題無し (多少のロット差有り) 	(フォトバイオリアクター) 培養状況は最も良好である。受光面積次第では 3 g/L以上の乾燥重量を得られる。コンタミリスク無し。 	(屋外型フォトバイオリアクター) 確実に培養可能。耐用年数を考慮するとガラスチューブ製が最適。ポンプで循環する横置き方式が水量を確保でき、通常メンテナンスおよび作業量も少ないので、英国Varicon社のPBRを選定。 

図 3-1 パプロバ培養器選定結果まとめ

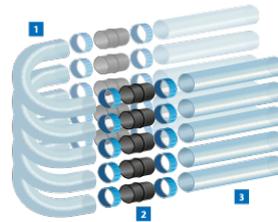
パプロバの培養には横型のガラスチューブ製 PBR が至適であると判断されたため、国内外を問わずに PBR を供給できる企業調査を行った。まず、日本国内での調査では、横型のガラスチューブ製 PBR を供給できる企業は見つからなかった。次に、海外に目を向け調査したところ、ドイツの Schott 社が PBR 用のガラスチューブを製造販売²⁾していることが分かった (図 3-4)。このガラスチューブを使用して自社で PBR を設計・製作することも検討したが、OP 社では大型装置設計に関する知見が乏しくリソースも限られるので、この試みは困難であり、効率的ではないと判断した。そこで、既存の技術を取り入れることが良策であるとし、図 3-5 に示す Schott 社推奨の PBR システムを製造しているメーカーの中から選定することとした²⁾。沖縄の地で大型 PBR の設計、設置を屋外で行うにあたっては、台風のリスクが最も大きいため、支持構造体等強固な作りである必要がある。また設置場所は、OP 社のラボ裏手の建物に隣接した限られたスペースで、かつ、生産における下流工程である藻体回収工程をラボ内で行う仕様を検討したため、その仕様に合わせて専用設計する必要があった。そこで、PBR メーカー選定のポイントとして、技術力を有することは当然の要件として、加えてフレキシブルに要望を聞いてくれるかが重要なポイントとなった。詳細な調査の結果、イギリスの企業である、Varicon 社が最も適していると判断し選定した。選定から約半年間のやりとりの末、設計が完了し、2018 年 11 月にシード作製用である培養水量 1,100 L タイプ 2 基、そして、2019 年 2 月に生産用として培養水量 7,000 L タイプ 2 基が完成した (図 3-6)。



Product Range

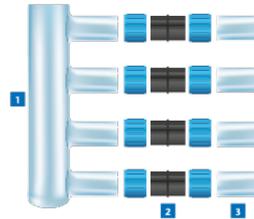
Overview

Helical System



- 1 U- or J-Bend
- 2 Coupling
- 3 Tubing

Fence System



horizontal or vertical orientation

- 1 Manifold
- 2 Coupling
- 3 Tubing

図 3-4 Schott 社が製造する PBR 用ガラスチューブ

出所：Schott 社のホームページより引用



Photo courtesy of Algalif, Iceland



Photo courtesy of Varicon Aqua Solutions Ltd, UK

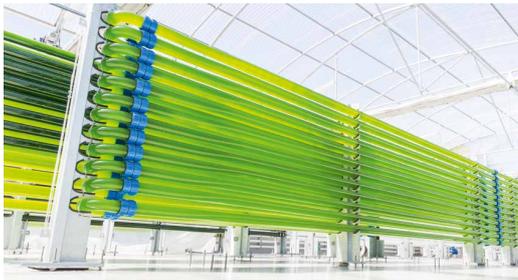


Photo courtesy of A4F-Algae for Future, Portugal



Photo courtesy of Algatechnologies Ltd., Israel



Photo courtesy of Clearas Inc., USA



Photo courtesy of ecoduna AG © ecoduna.com, Austria

図 3-5 Schott 社推奨の PBR システム製造メーカー

出所：Schott 社のホームページより引用



図 3-6 完成したベンチスケール PBR

上：外観、下左：培養水量 1,100 L タイプ、下右：培養水量 7,000 L タイプ

3.1.2 ベンチスケール生産の検討

ラボスケール試験における結果をもとに、ベンチスケール生産設備を用いて、生産性データの採取や、生産した産物を用いての各種検討（フコキサンチンの含量、安全性の検討、原料化検討等）をしたのち、テスト販売を行なって、事業性の確認、必要な改善を検討することとした。その結果を元に事業計画を作成し、事業化の価値があると判断されれば、資金調達を行い、大規模生産に入っていくことになる。

通常、微生物や微細藻類をはじめ野菜などのマクロ生物に至るまで、ラボスケールでの結果とベンチスケールでの結果は一致しない。このフェーズでの検討が今後の事業性に大きく影響してくるので、通年で繰り返し検討を行い、様々な条件下での生産性や、沖縄の地にあっては、台風の影響への影響などの詳細データを取得することとした。

生産性データを採取するにあたり、事前検討として、栄養塩の最適投入頻度や遮光の必要性の検討、培養液の冷却に関する検討などを行なっている。これらの基本データについては、OP 社のノウハウとして秘匿している。生産性データ採取のために

7,000L タイプの PBR にて計 11 回の培養試験を行った。その結果、夏季（沖縄においては 3-11 月に設定）の 1 日あたりの生産性は 0.98 g(DW)/L/Day、冬季（12-3 月に設定）の 1 日あたりの生産性は 0.80 g(DW)/L/Day というデータが得られた。このデータは、ラボスケールでの生産性の半分程度である。ラボスケールでの試験では受光部をできる限り多く設定していたが、ベンチスケール PBR ではその構造上光の当たっていない部位も生じてしまう。この光の問題が生産性の違いには最も大きく影響していると考えられる。まずは、11 回の培養の結果得られた生産性データをもって、事業性検討を行うこととした。

一方で、生産性を向上させるための今後の開発要素として、人口光（LED 等）を補助光源として使用するハイブリッド方式にして光の照射効率を向上させることなどを検討していく必要があると考えられたので、1,100 L タイプの PBR 2 基を使用して、LED 設置の効果を検証した（図 3-7）。



図 3-7 LED 照明設置状況（1,100 L タイプ PBR）

LED は、蛍光灯に近い波長を選定し、片面全面に光が照射されるようにガラス面から 30 cm の距離で設置した。光量子が 150-200 $\mu\text{mol/s}$ になるよう調整し、夜間のみ（18 時～翌朝 8 時までの 14 時間）照射して培養試験を行った結果、LED 無しに対して有りの場合は、約 2.1 倍の増殖量を示した。

PBR の構造上、バッファータンクおよび塩ビ配管内は暗渠となっており受光していない。1,100 L タイプと 7,000 L タイプで自然光培養時の増殖を比較すると、7,000 L タイプの増殖の方が、1.6 倍早いという結果が得られている。これは、7,000 L タイプのほうが、受光する面積の比率が 1,100 L タイプよりも大きいことが要因であると

考えている（1,100 Lタイプの明部比率73.8%、7,000 Lタイプの明部比率93.4%）。

以下個人的な経験に基づく見解であるが、7,000 Lタイプを設置した場合、1,100 Lタイプのように2.1倍という結果は得られないであろうと考えている。しかし、1.5倍であれば十分可能性のある数値であると考えている。今後、このデータをベースに、7,000 Lタイプへの適用を検討していく予定である。

3.1.3 回収、原料化検討

PBRでの培養後は、藻体を回収して、原料として最終的には乾燥パウダー加工を行う。回収する方法の選択肢は、フィルターで濾過する方法、中空糸膜を使う方法、あるいは遠心力にて回収する方法など数種類が挙げられる。スピルリナは藻体サイズが大きいので、フィルターを使った簡易設備で回収が可能である。一方、パブロバは、藻体の大きさが3-5 μm と非常に小さく、フィルター法では困難である。そこで、選択肢は膜を使う方法と遠心機で集める方法が考えられた。ラボスケールで予備検討を行った結果、膜を使った場合は、回収に要する時間が膨大になると試算されたため、今回は遠心力によって回収する連続遠心機を採用することにした。

今回のパブロバの開発において、最終製品は健康補助食品を想定しているため、パウダー中の有効成分（ここではフコキサンチン）が安定に保たれていること、そして、安全性が担保できていることが重要となる。遠心機での回収を選択したが、パブロバを遠心機で遠心力をかけて回収すると、フェオフォルバイドという毒性物質が増加して、食品としての規制値（厚生労働省が規定しているクロレラでの規制値）を超えることが判明した。フェオフォルバイドは、クロロフィルがクロロフィラーゼという酵素反応によって生成する物質で光過敏症の原因物質である。フェオフォルバイドが規制値を超えて存在すると食品としての利用は困難であるため、フェオフォルバイドの生成を防ぐ方法の開発が必要となった。様々な検討を重ねた結果、培養液を遠心機で回収する前に加熱してクロロフィラーゼを失活させることによりフェオフォルバイドが規制値以上にならないことが確認できた。

その後も検討を進めて、必要な加熱時間や温度を調査した。第5章 知財戦略で詳説するが、本工程はパブロバを原料として利用する場合には必ず通るプロセスであるため、製造法について知財化を進めることとした。

加熱後、連続遠心機で回収し、淡水洗浄により塩分を抜いた後のステップが乾燥工程であるが、微細藻類を乾燥させてパウダー化する場合は、通常、スプレードライヤーという加熱温風で乾燥させる方法が採用されている。クロレラやスピルリナはスプ

レードライ法で乾燥されている³⁾。パプロバにおいてもスプレードライヤーで乾燥させる計画で進めていたが、スプレードライヤーで乾燥させると有効成分であるフコキサンチンが激しく減耗することが分かった。ラボスケールでの予備実験ではフコキサンチンの減耗は無く、影響なしという判断であったが、ベンチスケールに上げて検討を行うと影響が大きいことが初めて分かった。そこで急遽代替法の検討を行った。フコキサンチンが減耗する要因を調査した結果、要因は乾燥状態での加熱であった。スプレードライヤーで乾燥させると、乾燥後しばらくは放熱されないため高温下に晒される。これが大きな原因であるということが分かったため、熱をかけずに乾燥する方法を採用する必要がある。そこで、パプロバの乾燥については凍結乾燥を採用することにした。このようにしてパウダー原料までの検討を完了した。

3.1.4 生産フローの設計

ラボスケールでの検討およびベンチスケールでの検討の結果、パウダー原料までの生産フローが決定された（図 3-8）。OP 社では、濃縮物の製造までを行い、冷凍した濃縮物を外注先（一丸ファルコス株式会社）の健康食品 GMP 認証施設で凍結乾燥してパウダー原料が完成する。この後は、製品の設計仕様に応じて加工を行うが、例えばソフトカプセル化を行うなら、専門の外注業社にて加工を行うことになる。

しばらくは、この生産フローで試験生産を行い、事業戦略の項で触れる最終製品化を行って試験販売を行う予定である。その過程で改善が必要な事項が発生すれば、追加の検討を進めてゆく予定である。



図 3-8 パプロバの健康補助食品としての生産フロー

3.2 製品化の検討

3.2.1 安全性試験

パブロバは、健康補助食品として開発することになっているが、本素材はこれまで食経験が無い素材で、安全性に関する知見はOP社内外含めて皆無である。Pavlova属の微細藻類の人間活動での利用例は、パブロバとは別種の *Pavlova lutheri* において、水産餌料としての使用実績があるのみである。よって、パブロバを健康補助食品として販売するには、安全性試験を行い、安全性を担保する必要がある。

健康補助食品を販売する上で必要とされる安全性に関する法的規制は実際には存在せず、あくまで自己責任での販売ということになっている。

財団法人 日本健康・栄養食品協会が、自主点検基準として「健康補助食品」の安全性評価ガイドライン⁴⁾をまとめている。本資料にて規定されている「安全性試験の追加を考慮すべき状況とその試験項目」にパブロバを照らすと、全く新規の原材料もしくは食品と判断される場合にカテゴライズされた。文献調査、成分分析の結果を考慮に入れて、安全性評価に必要と判断される試験を順次実施する必要があることになる。試験には遺伝毒性試験、動物による反復毒性試験、抗原性試験、生殖毒性試験、催奇形性試験、発ガン性試験等が考えられる、と記載されている（表3-1）。記載されている試験項目全てを行うのが最も望ましいが、実際の健康補助食品開発現場において、売り出し前の素材について、記載されている全ての項目を実施する機関はほぼ無いとのことである（筆者の健康補助食品開発業社への独自ヒアリングによる）。しかし、製薬会社など自社で厳しいレギュレーションを設定している企業においては、記載されている項目について全て実施する可能性もあるかと考えられる。

OP社においては、必要最低限の項目について試験を実施し、アライアンス等で他企業に使ってもらう際には必要に応じて相手先で追加試験を実施してもらう戦略をとることにした。

表 3-1 安全性試験の追加を考慮すべき状況とその試験項目

出所：財団法人 日本健康・栄養食品協会「健康補助食品」の安全性評価ガイドラインより引用

安全性試験の追加を考慮すべき状況	食経験が特定の地域・集団・期間に限られるなど、食経験の情報のみでは一般ヒト集団での広汎な使用における安全性の確保が困難と判断される場合	原材料について意図している摂取目安量が食経験から推定される摂取目安量を超えると判断される場合	原材料について、基原材料からの製造工程あるいは最終製品への加工・調理過程がこれまでのものとは異なり、従来と質的に違いのある化学的成分の生成あるいは物理化学的性状の変化が予想される場合	基原材料での含有が知られている有害成分による人への健康被害が懸念される場合	全く新規の原材料もしくは食品と判断される場合
必要な試験項目 ^{*1}	食経験情報のみならず、当該食品及び食品原料に関連する情報を精査した上で、必要に応じて動物による反復投与毒性試験、遺伝毒性試験、日本人によるヒト試験 ^{*2} 等を単独又は組み合わせて実施する。	意図している摂取目安量での安全性を確認するために、動物での反復投与毒性試験、ヒト試験 ^{*2} 等を単独又は組み合わせて実施する。	原材料の化学組成及び物性を調査し、必要に応じて動物による反復投与試験、遺伝毒性試験、抗原性試験、ヒト試験 ^{*2} 等を単独又は組み合わせて実施する。	原材料の成分分析を行い、その結果に基づき、必要に応じて遺伝毒性試験、動物による反復毒性試験、抗原性試験、生殖毒性試験等を単独又は組み合わせて実施する。	文献調査、成分分析の結果を考慮に入れて、安全性評価に必要と判断される試験を順次実施する。試験には遺伝毒性試験、動物による反復毒性試験、抗原性試験、生殖毒性試験、催奇形性試験、発ガン性試験等が考えられる。

*1：試験データの追加により、安全性が確保される根拠を示す必要がある。

*2：ヒト試験は過剰摂取試験が中心となるが、食経験情報の程度によっては、通常の摂取量による試験も有用である。

安全性試験は、遺伝毒性試験として、微生物を使った復帰変異原性試験（通称 AMES）、急性毒性試験および4週間の反復投与毒性試験を行うことにした。反復投与毒性試験については、90日間で行うことが理想的ではあるが、費用が高額（1,000万円以上）なこともあり、現時点では安全性試験として最低限とはなるが4週間の試験を選択した。この最低限の根拠は、健康食品メーカーで原料として使用する場合に4週間の反復投与毒性試験が許容できるかどうかについてヒアリングを行なった結果、許容されるという結果を得たことに基づく。

試験の結果は全て陰性であり、健康補助食品原料としての利用に問題無いという判断をした（表 3-2）。

次に、原料として使用する際に問題となる微生物検査については、一般細菌、大腸菌群、腸球菌（食品の製造過程で加熱、冷凍された際に、大腸菌群のように容易に損傷や死滅しない特徴がある）、カビおよび酵母についてパウダー原料および最終製品について、ロット毎に分析していく方針としている。試験結果はすべて陰性が確認できている。工程中の殺菌処理は、OP社において加熱処理を1回、外注先におけるパウダー作成時に1回、更に、最終商品として、例えばソフトカプセルを製造する場合は、外注先の三生医薬社において1回の合計3回実施することになっている。

重金属については、培養に天然海水を使用するので、鉛、カドミウム、水銀、ヒ素、ヨウ素について分析を行なったが、すべて陰性が確認できている。

その他の毒性物質について、フェオフォルバイドにおいて、回収、原料化検討の項で記載したように、低減処理法を確立している。

表 3-2 安全性に関連する試験結果一覧

項目	内容	結果	試験・分析実施機関
安全性試験	<ul style="list-style-type: none"> 急性毒性試験 反復投与毒性試験（4週） AMES（変異原性試験） 	<ul style="list-style-type: none"> 陰性（2000 mg/kg） 陰性（1000 mg/kg） 陰性 	<ul style="list-style-type: none"> 日本食品分析センター ボソリサーチセンター 食品薬品安全センター
微生物検査 （パウダー原料、 最終商品）	<ul style="list-style-type: none"> 一般生菌 大腸菌群 腸球菌 カビ 酵母 	<ul style="list-style-type: none"> 陰性（300 CFU/g以下） 陰性（300 CFU/g以下） 陰性 陰性 陰性 	<ul style="list-style-type: none"> 日本食品分析センター 同上 同上 同上 同上
重金属	<ul style="list-style-type: none"> 鉛 カドミウム 水銀 ヒ素 ヨウ素 	<ul style="list-style-type: none"> 0.06 ppm（規制値以下） 検出せず 検出せず 0.4 ppm（規制値以下） 検出せず 	<ul style="list-style-type: none"> 日本食品分析センター 同上 同上 同上 同上
含有物質処理	<ul style="list-style-type: none"> フェオフォルバイド 	<ul style="list-style-type: none"> 低減処理法確立（特許出願済み） 	<ul style="list-style-type: none"> 日本食品分析センター

上記の通り、新規素材を健康補助食品として販売するための最低限の安全性についてはクリアしたと考えている。

3.2.2 機能性評価

フコキサンチンでは近年多くの機能性に関する報告が確認できている。表 3-3 にその一覧を示す。中でも抗肥満に関する報告と抗糖尿病に関する報告が多く見られる。

表 3-3 フコキサンチンで報告されている機能性

出所：オリザ油化のホームページ上の情報⁵⁾を元に筆者作成

No	機能性
1	抗肥満作用
2	抗糖尿病作用
3	抗酸化作用
4	抗炎症作用
5	がん細胞の増殖抑制作用、 アポトーシス誘導作用
その他	コラゲナーゼ阻害作用、正常ヒト線維芽細胞のコラーゲン産生促進作用、 ヒアルロニダーゼ阻害作用、エラスターゼ阻害作用、チロシナーゼ阻害 作用、B16 メラノーマにおけるメラニン産生抑制作用、色素沈着抑制作 用（in vivo）、抗ニキビ作用

琉球大学医学部の高山教授と共同研究契約を締結し、フコキサンチンで報告されている抗肥満（体重減少）および抗糖尿病関連（血糖値上昇抑制）の機能性評価を行った。その結果、図 3-9 および図 3-10 に示すように、パプロバにおいても抗肥満（体重減少）および抗糖尿病関連（血糖値上昇抑制）の機能性を期待できる結果が得られた。現在、パプロバとフコキサンチン純品との比較を追加で行なっている、また、食品に限らず新しい機能性についても今後追加検討していく予定である。パプロバをブランディング、プロモーションしていく上で、競合品となるフコキサンチンとの差別化、また、他の機能性素材との差別化ができる機能性評価結果をできるだけ多く取得してゆく方針である。

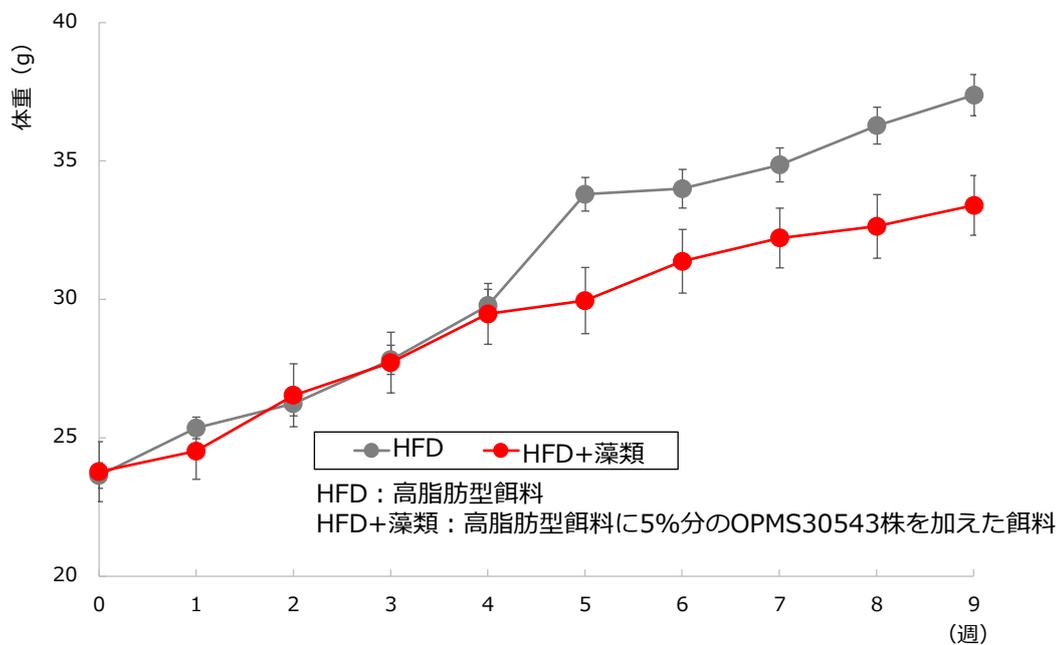


図 3-9 動物実験結果（体重変化）

出所：琉球大学大学院医学研究科との共同研究結果より

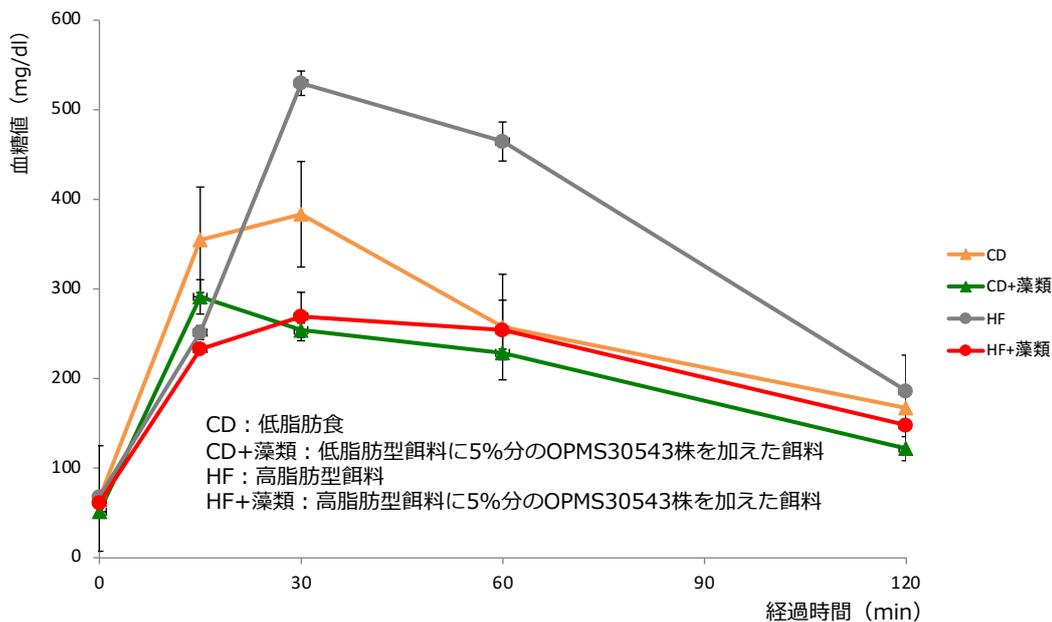


図 3-10 動物実験結果（血糖値上昇抑制効果）

出所：琉球大学大学院医学研究科との共同研究結果より

3.2.3 フコキサンチンの安定化の検討

パブロバの特徴的な有効成分の一つがフコキサンチンであるが、本化合物は非常に安定性が悪い。OP社で生産するパブロバ濃縮物冷凍品のフコキサンチン含有量は平均約 1.9 mg/g(乾燥重量換算)であるが、前述のように、スプレードライヤーでの乾燥において、乾燥後の熱がかかると急速に分解が進む。また、フリーズドライ法により乾燥を実施したとしても、常温に保管しておくとも分解が進み、1ヶ月後にはほぼゼロとなる。表 3-4 にパブロバの原料形態案 3 種類を示す。1 つ目は、濃縮物冷凍品である。フコキサンチンは冷凍状態においてはほぼ分解が進まないことが分かっており、その特性を活かして濃縮物をそのままパッキングして冷凍した形態となる。本原料は、パブロバ株以外の含有物質は水のみで完全無添加品となり、パブロバをブランディングするうえでのフラッグシップ的原料である。この原料は冷凍保管であるのでフコキサンチンなどの有効成分の安定性が良く、乾燥にかかるコストを抑えられるメリットはあるが、健康食品として流通させる際に、冷凍状態を維持しなければならないので、やや使いにくい原料である。また、健康食品 GMP や ISO 22000 などの認証を得た加工工場が非常に少なく、小分け充填を受託する外注先がほぼ無いという実状である。充填は沖縄県内の加工業者で可能であるが、上述の認証は無いので、現在開発、販売をペンディングしている状況である。

次に、乾燥パウダーであるが、これは健康食品 GMP 認証工場での加工が可能である。しかし、フコキサンチンの安定性については、常温保管では担保できないので、冷凍保管が必須である。現在、冷凍保存選定でパウダースティックタイプでの個別包装を検討している。

上述 2 種類の原料についてはいずれも冷凍保管が必須となるため、実際健康補助食品として流通させることを考えると、常温保管できる原料が望ましく、常温保管可能タイプの原料の開発を行なった。それが、3 つ目のオイル浸漬タイプの原料である。フコキサンチンの安定性を常温に保ち、賞味期限を 1 年以上担保することを目標として、研究開発を行なった結果、オイルにパプロバ藻体を浸漬し、抗酸化剤としてビタミン E を添加することで常温での安定性を担保できる原料開発に成功した。手法的には、オイルの種類は異なるものの、アスタキサンチンの安定性確保でも用いられているものと同様である。

第 4 章 事業戦略で詳説するが、先行販売する商材は、上述のオイル浸漬原料を用いたソフトカプセルタイプとする計画である。

表 3-4 パプロバの原料形態

	原料形態	商品イメージ	保管方法	メリット	デメリット	生産パートナー
①濃縮物冷凍品	 固形部約10%濃縮液	 小袋パック	冷凍必須	<ul style="list-style-type: none"> 成分の安定性が高い 乾燥コストが抑えられる 料理に使いやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 保管、物流時のコスト、手間がかかる（冷凍が必要） GMP準拠等で加工できる外注充填先がない 	<ul style="list-style-type: none"> 沖縄県内の小袋充填加工業者 健食GMP等非認証 タベルモ生産会社 ISO22000認証
②乾燥パウダー	 凍結乾燥パウダー	 パウダースティック	冷凍必須	<ul style="list-style-type: none"> GMP準拠等で加工できる外注先が多く存在 服用し易い パプロバの量を多く入れられる 	<ul style="list-style-type: none"> 保管、物流時のコスト、手間がかかる（冷凍が必要） フコキサンチンの安定性確保が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 一丸ファルコス 三生医薬 健食GMP, ISO22000認証
③乾燥パウダー オイル浸漬品	 凍結乾燥パウダー オイル（VE添加）	 ソフトカプセル	常温	<ul style="list-style-type: none"> GMP準拠等で加工できる外注先が多く存在 常温保存が可能であるため保管、物流時のコスト、手間が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 配合可能性が少なくなるので、フコキサンチン以外の成分の量が少なくなる 	<ul style="list-style-type: none"> 一丸ファルコス 三生医薬 健食GMP, ISO22000認証

3.3 実施体制

研究面での技術的課題の解決、事業化面での知財化、安全性試験、原料化、商品化においては、自社で機能を保有していない領域ではアライアンスを積極的に活用する方針である。実施体制を図 3-11 に示す。

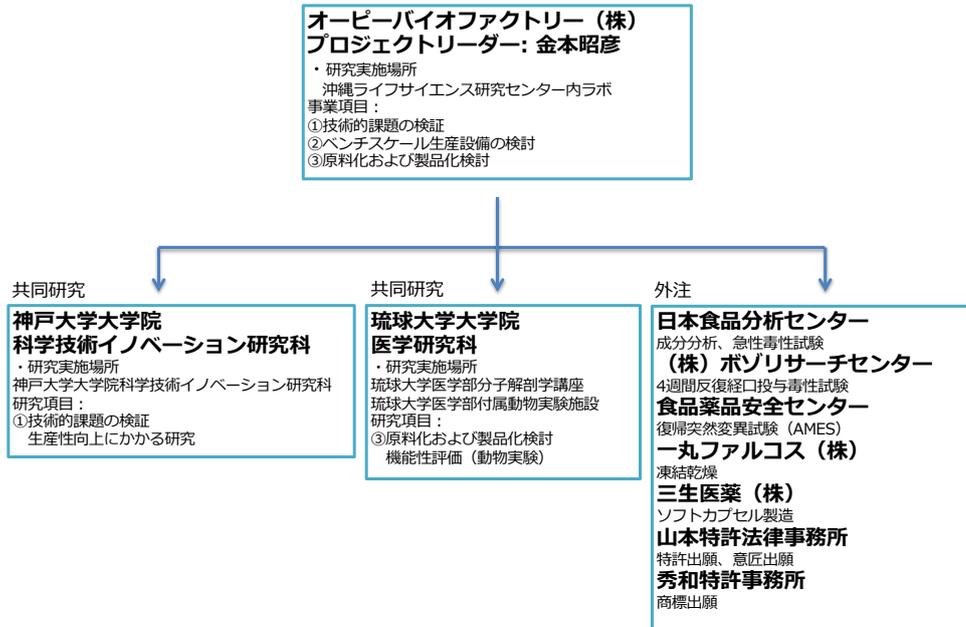


図 2-11 パブロバの開発実施体制

参考文献および引用

- 1) Algatech 社 Web ページ

<https://www.algatech.com/>

- 2) Schott 社 Web ページ

https://www.schott.com/tubing/english/special_glass/industry_environment/pbr.html

- 3) 八重山殖産株式会社 Web ページ 製造工程

<https://www.yaeyamachlorella.com/process/index.html>

- 4) 財団法人 日本健康・栄養食品協会 (2008) 「健康食品」の安全性評価ガイドライン

<http://www.jhnfa.org/topic76.pdf>

- 5) オリザ油化 Web ページ

http://www.oryza.co.jp/pdf/japanese/Fucoxanthin_j%202.1.pdf

第4章 事業戦略

本章では、事業戦略を検討するうえで重要となる外部環境分析と内部環境分析を通して、今回事業化するパブロバのビジネスモデルを検討し、商品化に向けた取り組みについて具体的に計画する。更に、計画に基づいて行なったアクションの進捗についても記載する。

4.1 外部環境分析

ヘルスケア産業を取り巻く外部環境は、少子高齢化が加速する近年大きく変化してきている。特に深刻な問題は、国民医療費の増大である。今後の医療費の増大を抑制するためにも、健康寿命を延伸させることが重要視されてきている。

本章では、PEST分析と5フォース分析を行い、パブロバ事業を取り巻く外部環境と、本事業が属する健康食品業界の観点から整理・検討し、本事業への影響を把握し、事業戦略立案に活かすこととしたい。

4.1.1 PEST分析

PEST分析はノースウェスタン大学ケロッグ経営大学院のフィリップ・コトラー特別教授が提唱したフレームワークである¹⁾。ここでは、パブロバ事業が含まれる健康補助食品業界を取り巻く外部環境を、政治的要因 (Politics)、経済的要因 (Economics)、社会的要因 (Sociological)、科学的要因 (Technological) の各要因の局面から網羅的に検討を行なってゆく。

表 4-1 健康補助食品業界の PEST 分析

項目	対象となる情報
政治的要因 Political	<ul style="list-style-type: none"> 1946年にWHOにより「健康とは単に病気でない、虚弱でないというのみならず、身体的、精神的そして社会的に完全に良好な状態を指す」と定義付けされた 日本国内では健康日本21（第二フェーズ）により、①健康寿命の延伸と健康格差の縮小、②主要な生活習慣病の発症予防と重症化予防、③社会生活を営むために必要な機能の維持及び向上、④健康を支え、守るための社会環境の整備、⑤栄養・食生活、身体活動・運動、休養、飲酒、喫煙及び歯・口腔の健康に関する生活習慣及び社会環境の改善が提案されている
経済的要因 Economics	<ul style="list-style-type: none"> 日本の累計借金額は1,000兆円規模に膨らんでおり、更に老人人口の増加に比例して国民医療費が増加しており、医療費の削減が必要な状況 2018年機能志向食品市場は9,399億円（前年比3.2%増）で、特にダイエット訴求機能志向食品市場は1,667億円（前年比12.2%増）と伸びが顕著である
社会的要因 Sociological	<ul style="list-style-type: none"> 国民の健康に関する意識が向上し、健康にかかる金額の意識にも変化が見られる 健康に対する意識の変化は新型コロナの影響で更に加速している 健康関連商品・サービスは成長性の高い分野となっている
科学的要因 Technological	<ul style="list-style-type: none"> 近年、有用生物資源の生産技術の進歩が著しい（例えばフォトバイオリアクター、植物工場など） 育種技術の向上（ゲノム編集技術応用）や、合成生物学的手法を用いた新しいバイオプロダクション技術の進歩が著しく、これまで生産、活用が困難であった生物資源、成分の利活用が可能となってきている

1) 政治的要因

健康増進（Health Promotion）の考え方は、国際的には、もともと 1946 年に WHO（世界保健機関）が提唱した「健康とは単に病気でない、虚弱でないというのみならず、身体的、精神的そして社会的に完全に良好な状態を指す」という健康の定義から始まっている。その後、1970 年代になると、健康増進は、疾病とは対比した理想的な状態、すなわち健康を想定し、それを更に増強することを意味する概念的な定義がなされ（ラウンド報告）、また、米国の Healthy People で応用された際には、個人の生活習慣の改善を意味している。そして、1980 年代以降、健康増進はもう一度捉えなおされ、個人の生活習慣の改善だけでなく、環境の整備を合わせたものとして改めて提唱された（ヘルシーシティ）。このように、健康増進という考え方は時代によって内容が変遷してきたといえる。

我が国においては健康増進に係る取組として、「国民健康づくり対策」が昭和 53 年から数次にわたって展開されてきている。

- ① 第 1 次国民健康づくり対策【昭和 53 年～】
- ② 第 2 次国民健康づくり対策【アクティブ 80 ヘルスプラン】（昭和 63 年～）
- ③ 第 3 次国民健康づくり対策【21 世紀における国民健康づくり運動（健康日本 21）】（平成 12 年～）

現在、健康日本 21 は第 2 次フェーズに入っている。以前の健康日本 21 では個人の生活習慣に着目して作られたため、社会環境の観点が希薄であったが、第 2 次においては、個人の健康と社会環境の整備を両輪で目指すという方向性となっている。そし

て、その基本的な方向として、①健康寿命の延伸と健康格差の縮小、②主要な生活習慣病の発症予防と重症化予防、③社会生活を営むために必要な機能の維持及び向上、④健康を支え、守るための社会環境の整備、⑤栄養・食生活、身体活動・運動、休養、飲酒、喫煙及び歯・口腔の健康に関する生活習慣及び社会環境の改善、の5つが提案されている。中でも最上位の概念は①健康寿命の延伸と健康格差の縮小であると考えられる。このような環境のもと、健康増進、健康寿命の延伸に貢献できる健康補助食品への需要は高まると考えている²⁾。

2) 経済的要因

諸説あるものの日本の借金額は1000兆円規模まで膨らんでいる。図4-1に国民医療費および後期高齢者医療費の推移を示す。高齢化が進み、老人人口の増加に比例して国民医療費が右肩上がりに増加している。国民医療費は2008年度の34.8兆円から、2025年には52.3兆円、老人医療費も11.4兆円から、24.1兆円にまで増加する見通しである。高齢人口増加は今後も継続してゆくため、政治的要因でも記載した国民医療費の増加を抑えるには国民の健康寿命を延ばしてゆく必要があると考えられる。

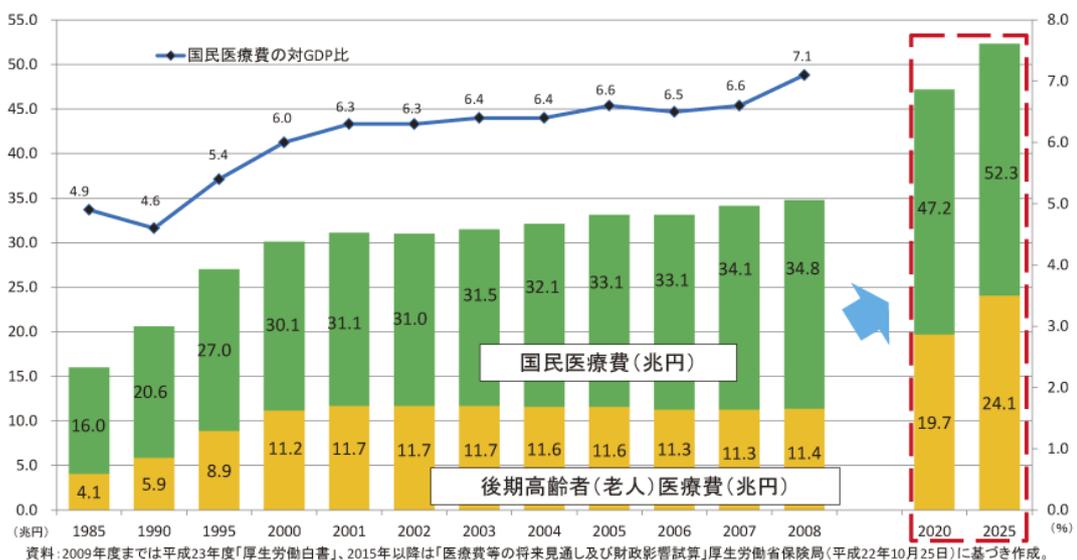


図4-1 国民医療費および後期高齢者医療費の推移

出所：総務省 ICT 超高齢社会構想会議報告書から引用

図4-2に機能志向食品市場の推移を示す。こちらは消費市場からのアプローチであるが、国民の健康に対する意識は確実に向上している。

近年の機能志向食品市場は、2014年に消費税増税（5%から8%へ）後の高単価商品を中心とした需要回復の遅れなどから一旦縮小したが、2015年にスタートした機能性表示食品の新商品投入などによって、それまで停滞感のあった市場が活性化し、以降拡大を続けている。2018年は、脂肪低減訴求などのダイエットサポート商品、ボディメイク訴求のプロテイン配合商品、チャコールクレンズ（活性炭を食事に取り入れることでデトックスや痩身効果を求めるもの）といった新たなコンセプトの商品の登場によりダイエット訴求商品がけん引し、機能志向食品市場は前年比3.2%増の9,399億円が見込まれていた¹⁾。ダイエットのほかには、マルチバランス、生活習慣病予防、美肌効果、骨・関節サポート、ホルモンバランスなども好調である。一方、伸長を続けてきたグリーンチャージはユーグレナ配合商品の停滞により縮小するとみられている。

■機能志向食品市場

～ダイエット訴求商品がけん引。チャネル別ではインバウンド需要が盛り上がり薬局・薬店が高い伸び～



図 4-2 機能志向食品市場の推移

出所：日本経済新聞 Web ページ⁵⁾より引用

これまでのダイエットの主流であった食事代替ダイエットに加え、体を動かしたうえでボディメイクのサポートを訴求するタンパク質・アミノ酸補給商品の摂取、もしくは食事を抜くなど我慢が必要なダイエットをせずサプリメントを飲むだけを訴求する抑制系／燃焼系ダイエット商品による体質改善など、需要の幅が広がっている。

2017年にはフルーツ青汁がヒットし、2018年にはチャコールクレンズといったコンセプト商品（共に食事代替ダイエット）が登場した。タンパク質・アミノ酸補給がスポーツ人口の増加や運動によるボディメイク需要の増加などで引き続き好調なことに加え、機能性表示食品を中心にダイエットサポート商品が好調を維持したことから、2018年のダイエット市場は前年比12.2%増の1,667億円が見込まれていた

パプロバの有効成分であるフコキサンチンは脂肪燃焼に関わる機能が報告されている。これはまさに市場の流れに合致しているものと考えている。

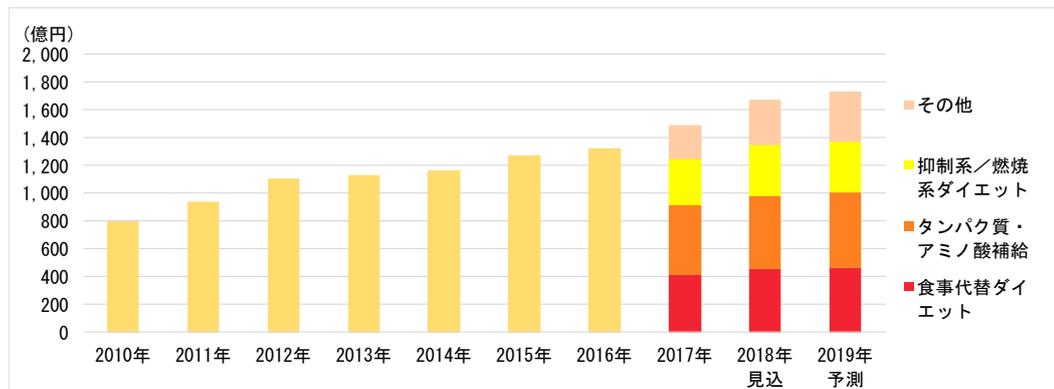


図 4-3 ダイエットサポート商品市場の推移

出所：日本経済新聞 2019/2/25 富士経済プレスリリース記事⁶⁾より引用

ビタミンやミネラルは価格競争の激化により単価の下落が進み、2014年には700億円近くまで落ちこんだ。しかし、2015年以降は、インバウンド需要の獲得や、消費者の健康意識の高まりにより、健康や美容のための土台を作る栄養素としてビタミン・ミネラルの重要性が改めて意識されるようになり、手軽に複数の栄養素の補給ができるビタミン・ミネラル商品の需要が本格的に回復し、2018年には818億円が見込まれていた。

パプロバの特徴としてビタミン、ミネラルをはじめ多様な栄養素を含んでいる点が挙げられる。これは、上述したダイエットサポートと栄養バランスの両方を兼ね備えた素材であり、市場が求める要素をほぼ含んでいる素材と言える。

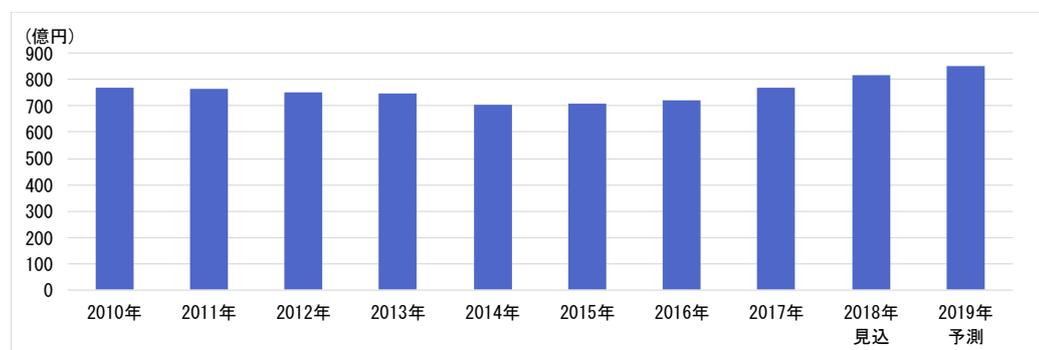


図 4-4 マルチビタミン商品市場の推移

出所：日本経済新聞 2019/2/25 富士経済プレスリリース記事⁶⁾より引用

3) 社会的要因

平成 27 年 4 月経済産業省調査報告⁷⁾によると、健康に関する意識・生活行動、健康関連商品サービスや施策の利用参加意向等に関するアンケート調査において、

「①健康は人生において何よりも大切であり、健康関心度は高い」という結果が得られている。詳細は、「人生において健康は何よりも大切だと思う」に対して、「そう思う」(58.2%)と「ややそう思う」(39.7%)を合わせると97.9%の人が肯定している。また、「健康に対する関心」も高く、3人に1人の35%が「そう思う」と回答。年齢が高くなればなるほど割合は高くなる傾向がある。

「②今後健康にかける金額の意識」については、「医療費」は現状維持、「健康維持・増進のための商品・サービス」は増加している。今後健康のために一か月に支払ってもよい金額と、現在支払っている金額との差の平均は、「病院で支払う医療費」で13円、「市販の薬」は205円、「その他の健康維持、増進のための商品・サービス」は905円となっている。

「③健康関連商品・サービスの成長性の高い分野」については、検査、健康指導：「特別な健診・人間ドック」「遺伝子検査」「自宅でできる健康診断キット」「健康セミナー」、健康アプリ、コンテンツ：「運動記録アプリ」「食事・栄養管理アプリ」「健康コミュニティ」「その他の健康管理アプリ」、運動：「ヨガ・ピラティス・ストレッチ」、健康に配慮した食品や食に対するサービス：「有機食品・自然食品」「健康に配慮した食品」「健康に配慮した外食サービス」、リラクゼーション、レジャー：「温泉」「健康ランド・スパリゾート」「岩盤浴・ゲルマニウム温浴」「マッサージ・カイロプラクティック・整体」「アロマセラピー」「健康イベント」「ヘルスツーリズム」

健康機器：「家庭用フィットネス機器」「睡眠計」「活動量計・歩数計」という結果が得られており、健康に対する意識の高さが窺われる。

2040年には65歳以上人口が35%を超えるという少子高齢化が更に進んでいく状況下で、禁煙の推進など、健康に関する意識の向上、健康にかける金額の意識が高くなるとともに、健康関連商品・サービスが市場に受け入れられ、高い成長性が見込まれる。

2020年初頭頃から新型コロナウイルス(COVID-19)が世界的に流行したことなどにより、日本においても国民の健康に関する意識が更に高くなっている。ファンケル社のリリース記事⁸⁾によると、政府からの外出自粛要請により人々の社会生活は大きく変化し、これに伴って必須栄養素の補給や免疫への働きが注目されるサプリメント

や、巣ごもり生活に対応したダイエットサポート食品などの需要が増えているということである。パブロバは、多様な栄養素を含み、腸内細菌叢にもポジティブに働きかけることが動物実験で確認されていることに加え、フコキサンチンの効果によってダイエットサポートにも効果が期待できるので、コロナ禍で健康に留意する人にとっては、マルチなサポートを可能にする良い素材であるということがいえるだろう。

4) 科学的要因

近年、医薬品や機能性素材から通常の食用素材に至るまで、有用な生物資源の培養・生産手法（例えばフォトバイオリクター、植物工場など）に技術革新が起こり、これまで生産が困難であった素材の生産も可能になってきている。パブロバもその例の一つである。また、育種技術やゲノム編集、合成生物学的手法の世界に大きな技術革新が起こっており、必要な素材、成分をコントロールして生産する新しいバイオプロダクションが可能となりつつある。

これら2つの技術革新を組み合わせることによって、効率的なモノづくりが可能になり、OP社で収集したライブラリーから発見された新規有用シーズを利活用できる可能性が飛躍的に向上するといえる。

パブロバは、主要含有成分であるフコキサンチンの機能性（抗肥満、血糖値上昇抑制、抗酸化、腸内細菌叢の改善）から、生活習慣病の改善効果が期待でき、また、その他含有成分（GABA、やヒドロキシプロリン、カルシウム、食物繊維）によるアンチエイジング効果も期待できることから、健康寿命の延伸に貢献できる素材であり、健康補助食品（機能志向食品）としての事業化には追い風状態であるといえる。

4.1.2 5フォース分析

5フォース分析は、ハーバード大学経営大学院のマイケル・ポーター教授が提唱した業界分析のためのフレームワークである⁹⁾。パブロバ事業が含まれる健康補助食品業界について、業界内での競争相手、新規参入業者、代替品・代替サービス、売手の交渉力、買手の交渉力の5つの影響力（脅威）を分析し、OP社のパブロバ事業、そして、OP社の事業全体をどのように展開をしていくべきかを検討した。

表 4-2 健康補助食品業界の5フォース分析

5フォース項目	健康補助食品業界を例にした分析		OP社の戦略的ポジショニング
	競争圧	影響内容	
業界内の競争相手	強	<ul style="list-style-type: none"> 商品企画販売社は多数存在 バリューチェーンの下流ほど競合多数 	新素材探索から実施することにより競争相手は減少
	弱	<ul style="list-style-type: none"> 上流の新素材探索領域は競合が少ない 	
新規参入業者	強	<ul style="list-style-type: none"> 中流～下流はモジュール化が進んでおり、業界への参入は容易 	海洋生物資源からの新素材探索を行うことで参入障壁が上がる
	弱	<ul style="list-style-type: none"> 上流の新素材探索（特に海洋生物）は参入障壁が高い 	
代替品・代替サービス	強	<ul style="list-style-type: none"> 市場に出てから長い製品は代替原料は多く存在 同一原料を使った類似製品多い 	探索プラットフォームを活用して新機能を有した新素材を継続的に開発することで代替品の脅威は著しく減少する
	弱	<ul style="list-style-type: none"> 新機能を有した新素材は希少 	
売手（供給業者）	弱	<ul style="list-style-type: none"> 原料供給元は複数あり、スイッチングコストは低い 	現状で問題無し
買手（顧客）	強	<ul style="list-style-type: none"> 差別化できていない商品（いわゆるよくある商品）に対しては交渉力が強い 	顧客ニーズを踏まえたオンリーワン素材、商品を提供する
	弱	<ul style="list-style-type: none"> 他に存在しない素材、商品であれば買手の交渉力は弱まる 	

1) 業界内の競争相手

健康補助食品業界には、素材から生産し、BtoC まで手がける企業や最終商品の企画・販売のみを行っている企業など様々である。バリューチェーンの下流にあたる商品企画から販売を行う業者数は非常に多く、そこが最も競争圧力が強い。健康補助食品は一般的に3年程度の周期で流行りの商品が入れ替わってゆくといわれる、新陳代謝の激しい業界である。したがって、常に新しい素材探索と新商品開発のパイプラインを充実しておかなければ、企業としての延命は難しい。OP社は、パブロバに代表される新素材を多く保有しており、そこからシーズを見つけ出す機能を有している。OP社のように新素材の探索から手掛けることのできる企業は少なく、この点で業界内の競争相手とは差別化できるので、ここに主軸を置いたポジショニングをすべきだと考えている。

2) 新規参入業者

健康補助食品業界においては、バリューチェーンの中流から下流においてモジュール化ができ上がっているため、業界への参入は容易である。しかし、素材から生産してBtoC 事業まで行う企業は少なく、更に、新機能や新素材の探索機能を有している企業はほとんど存在しない。OP社としては海洋生物資源からの新素材探索を行うことで更に参入障壁を高めることができるため、上流に主軸をおいたポジショニングが最も有利だと考えている。

3) 代替品・代替サービス

健康補助食品業界では、市場に出てから一定の期間を経過した製品には代替原料が多く存在し、同一原料を使った類似最終製品も多い。パブロバのような新機能を有した新素材は希少なため、OP社としては、探索プラットフォームを活用して新機能を有した新素材を継続的に開発することで代替品の脅威は著しく減少すると考えている。

4) 売手（供給業者）の脅威

素材原料の供給や、包装材の供給など、多くの供給者が存在するので、スイッチングコストも低く売手の交渉力は弱い。現状のポジショニングで問題ないと考えている。

5) 買手（顧客）の脅威

差別化できていない商品（いわゆる「よくある商品」）に対しては買手の交渉力は強い。しかし、他に存在しない素材、商品であれば買手の交渉力は弱まるので、OP社としては顧客ニーズを踏まえ、パブロバのようなオンリーワン素材、商品を提供することで、有利なポジションをキープできると考えている。

以上の5フォース分析から、健康補助食品業界は成熟した業界であり、商品の入れ替わりも激しい「厳しい業界」ではあるが、競争圧が弱い部分は未だ存在している。それは、バリューチェーンの上流である。OP社はそこに主軸を置いたポジショニングを維持し、保有する探索プラットフォームを活用して、市場ニーズを踏まえた新機能・新素材を市場に継続的に送り込むことができれば、強みを生かした独自のポジションを築くことが可能であると考えている。

今回、健康補助食品業界を例に分析を行なったが、医薬、化粧品、食品、化学、環境系の各分野でも、生物資源を利用した開発が進む分野においては、同じことがいえると考えてよい。

4.2 内部環境分析

外部環境分析を通じて、健康補助食品業界は、特に新型コロナウイルスが流行している2020年以降、健康に留意する人々が増加し、市場規模は拡大していくことが予想される。同時に競争の激しい業界でもあるので、OP社がこの業界で競争優位性をもって

事業を進めていくには、内部環境分析を通じて、自社の強みや弱みを整理、理解し、弱みを克服しつつ、強みを更に伸ばしていく戦略が必要である。

本項では、業界マップ、バリューチェーン分析およびVRIO分析により、自社がバリューチェーン内のどこに強みおよび弱みを持ち、どこをどのように強化すれば競争優位性を保てるかについて考察する。

4.2.1 業界マップとバリューチェーン分析

図4-5に生物資源ビジネス全体のバリューチェーンを、図4-6に健康補助食品業界のバリューチェーンと業界マップを示す。健康食品業界マップに示した部分は、生物資源ビジネス全体のバリューチェーンにおいては中流～下流にあたる。OP社が現在行っている事業は、更に上流にあたる領域である。



図4-5 生物資源ビジネス全体でのバリューチェーン

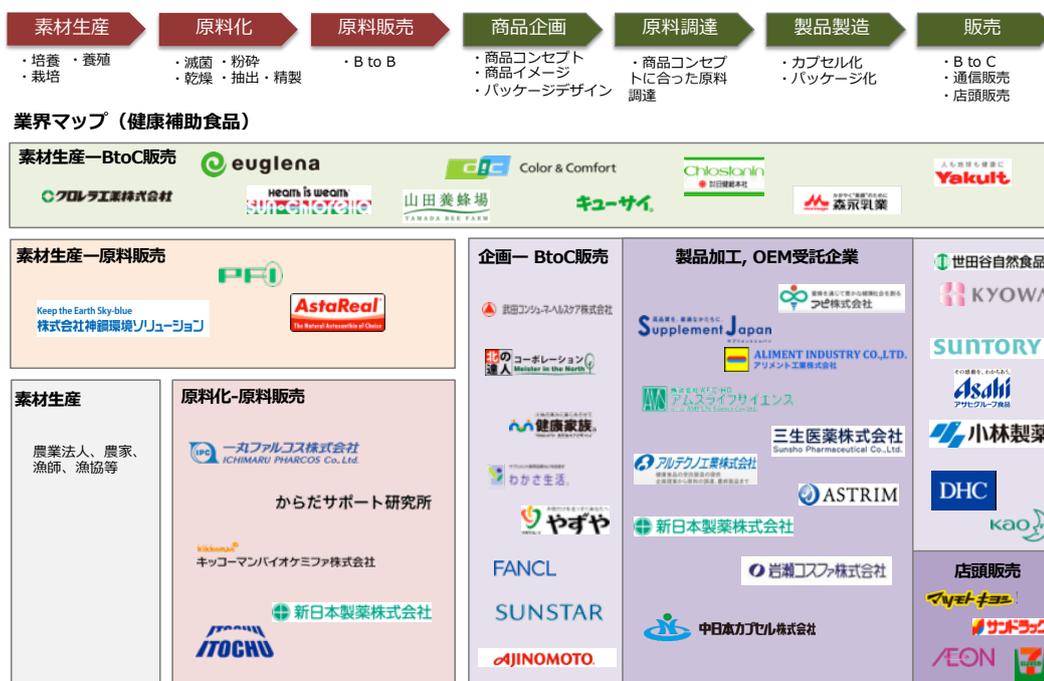


図4-6 健康補助食品業界のバリューチェーンと業界マップ

健康補助食品業界マップで見ると、特定の素材を生産するところから始まり、例えばエキス抽出など、使いやすい形態への原料化を行い、原料販売、商品企画、原料調達、製品製造、販売と流れてゆく。素材の生産から BtoC 事業まで行う企業もあれば、素材生産や原料販売のみを行う企業もあり様々である。モジュール化が進んでおり、商品企画と販売機能さえあれば参入は比較的容易である。

ベンチマーク企業として取り上げたユーグレナ社をはじめ、素材生産から商品販売まで手がける企業は複数あるが、更に上流の素材探索から実施している企業は存在しない。この探索機能を保有していることにより、OP 社はオリジナルでオンリーワン素材を開発パイプラインに投入することが可能になる。ここが OP 社の独自性の高い一番の強みである。一方、OP 社はバリューチェーンの下流にあたる商品企画以降の機能を現時点では保有していない。パプロバ事業においては、健康食品業界のバリューチェーンに示した OEM メーカーの機能を使い、最終製品を製造するが、商品企画や販売については小規模な試行から開始する予定で、ここがパプロバ事業における弱点となる。この状況を踏まえ、OP 社の競争優位性とその持続性を確認するために VRIO 分析を行う。

4.2.2 VRIO 分析

VRIO 分析は、現在はユタ大学 David Eccles School of Business 教授であるジェイ・B・バーニー氏が提唱した企業内部の経営資源に基づく競争優位性を分析するためのフレームワークである⁹⁾。

経済価値 (Value)、希少性 (Rarity)、模倣困難性 (Inimitability)、組織 (Organization) に関する 4 つの問いに順番に答えることで、その経営資源が強みなのか弱みなのかを判別することができる。

OP 社について既存事業 (①ライブラリー構築・販売事業、②化合物探索受託事業) と新事業であるパプロバ事業に分けて分析を行い、最後に全社事業としての検討を行い、それぞれの事業において更に強化すべきポイント、克服すべき弱点を見出し、強固な事業戦略立案につなげたい。

表 4-3 に OP 社の既存事業およびパプロバ事業の VRIO 分析のまとめを示す。

1) 経済価値

既存事業においては、特に食品、化粧品メーカーなど非製薬系企業における使用素材を人工物から天然物に切り替えるナチュラル指向の影響を受けて、OP 社の探索プラットフォーム (素材収集、ライブラリー、アッセイ、化合物同定) にニーズが多く、

経済価値は高いと考えられる。また、パブロバ事業においては、オリジナルのオンリーワン素材のため、ブランディング、プロモーションおよび生産におけるコストダウンに成功すれば経済価値は高いと考えている。

2) 希少性

既存事業においては、商業利用できる海洋生物資源ライブラリーを保有しているという点で希少性が高く、国内唯一である。それら希少な海洋生物資源ライブラリーを利用した化合物（シーズ）探索サービスを組み合わせると、トータルで更に希少性は高くなる。また、パブロバ事業については、*Pavlova* 属の微細藻類の食品分野における事業化例は世界唯一で希少性が高い。また、保有している微細藻類ライブラリーからの開発パイプラインの充実が可能な点を合わせて考えると、更に希少性が高いといえる。

3) 模倣困難性

既存事業においては、海洋における生物資源収集の困難さ、また、探索プラットフォーム全体では研究設備、機器類など資本コストの大きさから模倣困難性は高い。また、パブロバ事業については、競合であるユウグレナやスピルリナ、クロレラに比較して培養が難しいので模倣困難性は高い。しかし、他社で培養が不可能とはいえないので、OP社では製造プロセスを特許で押さえており、それにより更に模倣困難性は高くなっていると考えている。

4) 組織

既存事業においては、人材は不足気味で強化が必要であるが、現状では少数精鋭の強い組織を維持できている。パブロバ事業については、連携先として神戸大学、台湾成功大学、琉球大学医学部・理学部、海洋深層水研究所、また外注業者も含め原料生産までの外部ネットワークが充実している。BtoC ビジネスを行う上での外部ネットワーク、アライアンスは構築中であるが、既に目処は立っており、パブロバ事業についての組織も強いといえるだろう。

総合的に分析すると、すべての質問に対する答えは Yes であり、強固である。組織については、更に強化したいところであるので、人材の確保を直接雇用やアライアンスを活用して行い、組織を強化したいと考えている。

表 4-3 OP 社既存事業およびパブロバ事業の VRIO 分析

	既存事業 ①ライブラリー構築・販売事業 ②化合物探索受託事業	パブロバ事業	総合的評価
経済価値	Yes ・特に非製薬企業におけるナチュラル指向を受けて探索プラットフォームに多くのニーズあり	Yes ・藻体を用いた健康食品、化粧品市場において、B to C事業を実施予定 ・パブロバでのブランディングに成功すれば独占素材となり経済価値は高い	Yes
希少性	Yes ・海洋生物資源関連ではYes、海洋生物を使った探索サービスを合わせると希少性は更に高くなる	Yes ・食品分野における事業化例は世界唯一で希少性高い ・微細藻類ライブラリーからのパイプライン充実が可能な点で更に希少性が高い	Yes
模倣困難性	Yes ・海洋における生物資源収集の困難さ、また、探索プラットフォーム全体では研究機器類など資本コストの大きさから模倣困難性は高い	Yes ・ユーグレナやスピルリナ、クロレラと比較して培養が難しく模倣は困難である ・特許で製造プロセスを抑えており、更に模倣困難性は向上している	Yes
組織	Yes ・人材は不足気味で強化が必要であるが、現状では強い組織を維持できている ・連携先（神戸大発ベンチャーなど）は充実している	No→Yes ・アカデミア、外注業者とともに原料生産までの工程での外部ネットワークは構築済み ・B to Cビジネスを行う上での組織は現状社内では弱い、外部ネットワーク、アライアンスは構築中で既に目処が立ってきている	Yes

4.3 ビジネスモデル

生物資源ビジネスにおけるバリューチェーン上では、パブロバ事業の BtoB 事業（原料供給）は中流（生産プロセス検討、原料生産）にあたり、その原料を使って行う BtoC 事業は下流にあたる（図 4-7）。OP 社ではこれまで、上流のみで事業を行ってきたので、中流以降はパブロバ事業において初のビジネス領域となる。

原料生産までは BtoB 事業であるため、これまで行ってきた事業との親和性もあるが、BtoC 事業については社内リソースも無いなかでのスタートとなるので、社外に新たなネットワークを構築していく必要がある。

今回、パブロバの基盤となるブランディングも行なっていく方針としているので、まずは自社で BtoC の商品開発、販売までを行い、実績の構築を行うとともに、しっかりとブランディングを行ってゆきたい。

ベンチマーク企業として挙げたユーグレナ社は中流以降がビジネス領域であり、創業当初は、伊藤忠商事を販売元として原料供給のみを行っていた。また、電通と資本業務提携を結んでいたため、2社を合わせると、外部にブランディングと販売のプロフェッショナルとのアライアンスを有していたことになる。



図 4-7 バリューチェーン上におけるパブロバ事業の位置付け

OP 社においても、下流の商品企画やマーケティング、プロモーションについてはできる限り外部のアライアンスパートナーや外注業者を使い、自社で保有していない機能を補いながら事業を行なっていく方針としている。図 4-8 にパブロバ事業のビジネスモデルを示す。

第 3 章 技術戦略の生産フローで記載したように、OP 社ではパブロバの培養物の濃縮物生産までを行うので、その後の工程については、原料化メーカーに委託してパウダー原料化や、最終商品としてのソフトカプセルを生産する。また、パブロバの生産（培養）技術は確立しているので、対応できる藻類生産受託会社があれば積極的に生産委託を行い、藻体を供給してもらえる体制を構築したいと考えている。原料化を完了したモノ（原料）は、健康食品メーカーに販売するか（BtoB）、または OP 社で最終商品の企画、製造委託を行い、一般消費者に販売する（BtoC）。BtoC 事業を行うことにより、基盤となるブランディングが自社で行うことができるので、パブロバ事業の目的の一つである既存事業の広告塔にする上でもメリットがあると考えている。BtoB 販売先でのブランディングに頼った場合は、OP 社で想定するイメージと離れる可能性も十分あると考えている。

健康食品メーカーなどバリューチェーンの下流に強い企業と受託型共同開発契約を締結し、開発したシーズを売却または導出（ライセンスアウト）するパターンについてもモデルに組み入れた。OP 社にとっての理想形はこのモデルであると考えている。パブロバに続くシードを開発し、仕上がった事業を、売却または導出していくというモデルが実現できれば、OP 社にとっては上流の探索に集中できるので、そのメリットは大きい。

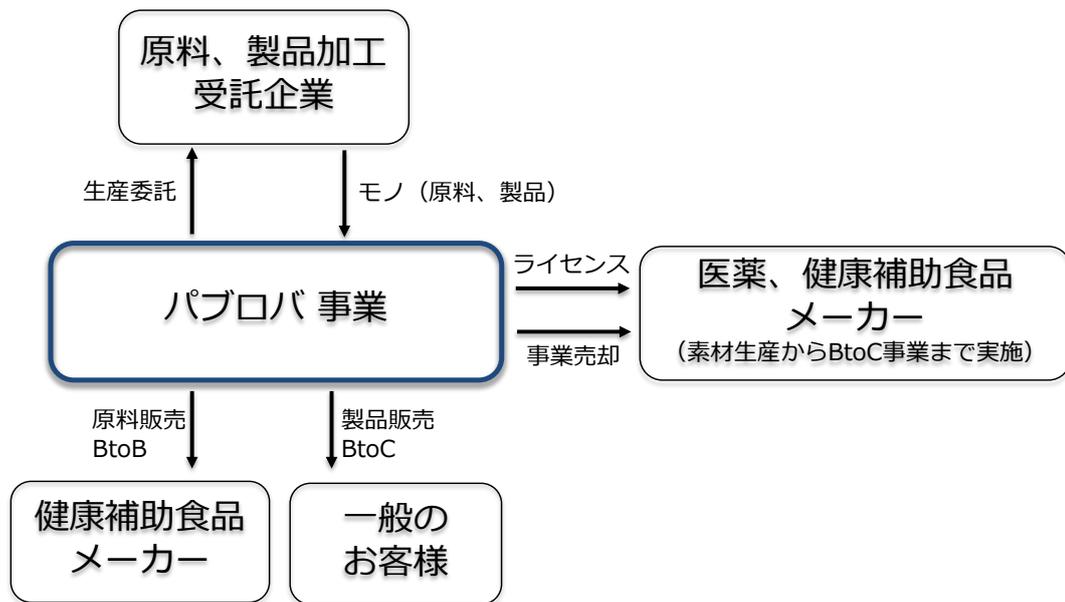


図 4-8 ビジネスモデル (パブロバ 事業)

4.4 事業化検討

4.4.1 事業形態検討

パブロバ事業では、ビジネスモデルの項で触れたように大きく3通り（BtoB、BtoC、そして、事業売却およびライセンスアウト）の事業形態が考えられる。

BtoBは、パブロバの原料を供給する事業形態で、提供可能な原料形態としては、第3章技術戦略で触れたように3種類の案がある。①濃縮液冷凍品、②乾燥パウダー、そして、③オイル浸漬品である。

パブロバのブランディング上、フラッグシップとなる形態は、濃縮物冷凍品である。この形態であれば、完全無添加でパブロバのみの能力を顧客に活用してもらうことが可能である。パブロバ自体は、 ω 3脂肪酸含量が豊富なこともあり、青海苔と魚を足したような特徴的な臭いがある。この臭いが受け入れられるかどうか、そして、冷凍品であるため保管と物流に手間とコストがかかることがこの原料形態で販売する上でのポイントである。一方で、食材として利用するなら、様々な料理にアレンジが可能なため、使いやすい一面もある。

広告・宣伝においては、SNSを活用した広告の場合、濃縮物冷凍品タイプを使った様々な食べ方を紹介するインパクトの方が、大きいと考えている。例えば、グリーンスムージー、パスタ、スープ、ドレッシングなどへの応用などをビジュアルで発信することで、パブロバのイメージ向上につなげたい。

次に乾燥パウダーについて考える。パウダーを最終製品として流通させるためには個別パッキングが必要となるが、パブロバの場合は、油成分が多いことにより流動性が悪く、賦形剤（難消化性デキストリンなど）を使用する必要がある。そうすると、完全無添加品ではなくなってしまう。また、フコキサンチンの安定性については、パウダー状態では安定性が悪く、こちらの形態でも冷凍が必須となる。現在、原料供給用のできる無添加の乾燥品は完成し、ストック状態であり、OEM もしくは直販用に賦形剤を入れた個別パックの試作段階である。

実際に健康食品として流通させるために理想的な常温保管可能な原料を、検討を重ねた末に開発した。フコキサンチンの劣化を防ぐ策としてオイルに浸漬し、ビタミンEを添加した形態である。この形態であれば、常温で1年以上保管が可能となる。

パブロバのマーケティングについては、開発を始めた当初から積極的に行い、製薬会社、健康食品メーカーおよび商社など、既存事業におけるクライアントを通じて情報収集を行ってきた。パブロバの含有成分のプロファイル面で、他の微細藻類素材に比較して優れていること、そして、素材のイメージが良くブランディングしやすいことなどから高評価を得ており、サプリメントの原料として使いたいというニーズが多い。しかし、ベンチスケールでの小規模生産であるが故のコスト高に起因する販売価格（単価）の高さと低生産量が問題点としてある。単価についてはユーグレナ、クロレラ、スピルリナなどと比べると、現時点では圧倒的に高額で、乾燥パウダーで1 kgあたり30-35万円程度となる。ちなみに、ユーグレナの乾燥パウダー単価は1 kgあたり10万円以下である。また、中国産のクロレラは1 kgあたり数千円というものもある。このパブロバの乾燥パウダー単価で一般的な健康食品通販会社が最終製品を設計した場合、1万円以上の価格帯の製品となり、通常健康食品会社の考え方では受け入れ難い、高すぎる設定となってしまう。パブロバは、フコキサンチンを高含有している素材で、実際の競合品はフコキサンチン含有製品であり、そのラインとの差別化をしたブランディングが必要であると考えている。

生産量については大手の健康補助食品メーカーが扱うには現設備で生産可能な量では少なすぎる。今後、供給量を増加させ原料単価を下げるには、生産スケールの拡大を行う方法が最有力である。

開発を開始した当初はBtoBで原料販売のみのビジネスを想定していたが、検討の結果、現設備の生産量を使って、自社においてBtoC商品を開発し、ECサイトを構築して直接販売を行う方針に変更した。ユーグレナの例で参考としたように、初期段階のブランディングがその素材の方向性を決めてしまうことが多く非常に重要である。そのために、自社で最終商品を企画、生産、販売することで、他の微細藻類素材と差別

化し、フコキサンチン精製品含有商品との差別化をポイントとしてブランディングを行うことにした。

基盤ブランディングの構築が完了し、販売実績も積み上がり、一定の価値が上がったところで事業売却およびライセンスアウト、または、自社で資金を調達して事業継続するのかを検討する戦略である。

4.4.2 BtoC 商品設計コンセプト

上述したように常温保管が可能なソフトカプセルタイプを先行販売する計画とした。ただし、広告・宣伝の作戦上、SNSを活用したプロモーション（インフルエンサーからの発信）を行う予定であるため、広告用に濃縮物冷凍品もリリースできたと考えている。これは、前項で記載したパブロバの様々な使い方、食べ方を消費者に提示することによって、良いイメージを植え付けたうえで、その上で、そのパブロバを摂取し易い形態で提供するというストーリー展開でサプリタイプの商品化を進めた。

新型コロナウイルスの影響下、「巣籠もり」による運動不足から来る肥満対策、健康維持を目的とした商品コンセプトとする。

フコキサンチンは、抗肥満、抗糖尿病（血糖値上昇抑制）、抗酸化、抗炎症に関する機能性を有することが報告されているが、ここでは、ダイエット（抗肥満および抗糖尿病）、スポーツ時の活性酸素抑制（抗酸化）に注目する。また、パブロバが持つ成分特性であるビタミン、ミネラル、アミノ酸など61種類以上の栄養成分を含有しているというバランスの良さを健康維持に役立つアピールポイントとし、ダイエットサポート、スポーツサポート系の商品を企画する。

商品名は、パブロバをメインに置き、ダイエットおよびスポーツをサポートすることを想起させるが、「これだけ飲めば痩せる」という誤認を与えないようにすることも意図して、以下の通り、「パブロバ・エクササイズ・プラス」（図4-9）とする。将来的には、沖縄出身もしくは沖縄の特に海にゆかりのあるタレントを起用した専用エクササイズも考案して、後の広告宣伝を行なえれば良いと考えている。



図 4-9 BtoC 商品名

4.4.3 BtoC 商品設計

パブロバは、フコキサンチン以外にも有用成分を豊富に含むことが特徴であるが、本商品においては、フコキサンチン訴求型でダイエットサポート、スポーツサポートサプリとしての商品設計を検討する。フコキサンチンについては1日当たり2.4 mgの摂取で、体重減少効果が報告されているので、これを根拠として、1日当たりのフコキサンチン摂取量を2.4 mg以上になるようにパブロバの導入量を調製する。

[Diabet Obesity Met 12:72-81, 2010]

生産するパブロバ乾燥パウダーは、14-20 mg/g (1.4 %-2 %) のフコキサンチンを含有している (凍結乾燥時に少々減耗する)。ソフトカプセル生産パートナーである三生医薬による検討に基づき、ソフトカプセルに充填するオイル (ここではMCTオイルを使用) に入れるパブロバパウダーの量は、流動性の問題から18%とした (図4-10)。

ソフトカプセルは、充填量を1粒あたり250 mgタイプを採用すると (飲みやすさの観点から)、1錠に入るパブロバは45 mgである。

1錠あたり、45 mgの乾燥パウダーを入れるとして、6錠でフコキサンチン量は、理論上3.78 mg-5.4 mgとなる。フコキサンチンの劣化を考慮して70%に減耗しても、2.4 mgは維持できるよう少し多めの設計とした。パブロバパウダー量は6錠で270 mgとなる。参考として、ユーグレナ社が広告で用いている「ユーグレナが何匹入っている」という表現に倣えば、パブロバの場合は、上記6粒で27億個のパブロバが入る計算となる。

1ヶ月 (30日) あたりの量は、ソフトカプセル180錠で、必要となるパブロバパウダーは、 $45 \text{ mg} \times 6 \text{ 錠} \times 30 \text{ 日分} = 8,100 \text{ mg}$ である。

現設備での生産量は乾燥パウダーで年間 144 kg である。カプセル製造時の歩留まりを 90 %として、カプセルに使用できる量は 130 kg、生産できるボトル（1ヶ月分）は、約 16,000 本である。年間契約可能人数を計算すると、約 1,333 人分となる。

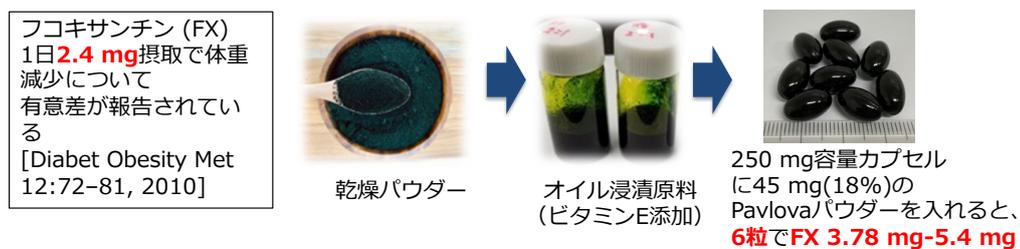


図 4-10 ソフトカプセル商品設計

表 4-4 にソフトカプセルの処方を示す。今回の商品は、ビーガンやベジタリアンにも対応できるよう、カプセル皮膜も含め全て植物由来の原料を使用した。また、できる限り無添加に近づけるため、パブロバ中のフコキサンチンの保存性確保およびカプセル充填において、流動性向上などに必要となる必要最小限の成分を添加するように設計した。

パブロバの主要有効成分である植物性色素のフコキサンチンは、常温下では非常に安定性が悪いので、今回は、オイル浸漬原料を用いてソフトカプセルとしている。植物性色素には、フコキサンチン以外に β カロテンやアスタキサンチンなどがあるが、安定性を増すためにオイルに溶解させることが一般的である。なお、フコキサンチンは脂溶性の色素であるため、オイルに溶解させることで体内での吸収性も良くなることが期待できる。

溶解させるオイルについて、オリーブオイルなど複数種を用いてパブロバ中のフコキサンチンの安定性を検討した。その結果、ココナッツ由来の MCT オイルを使用した場合の安定性が最も高かったため、今回は MCT オイルを採用した。

オイルには、オリーブオイルや大豆油などの長鎖脂肪酸と中鎖脂肪酸（MCT オイル等）が存在する。長鎖脂肪酸は体に貯蔵されるが、中鎖脂肪酸は即時にエネルギーとして使われる特性があるため、MCT オイルの性質は今回の商品のコンセプトであるエクササイズサポート（ダイエットサポート）にも適している。

なお、フコキサンチンの安定性検討の結果、オイル浸漬に加え、ビタミン E を抗酸化剤として加えるとより一層安定性が増すという結果が得られているので、ビタミン E も添加している。

表 4-4 ソフトカプセルの処方

三生医薬処方	
原材料名	1カプセル中の配合量
パブロバ 乾燥粉末	45 mg (18%)
ビタミンE含有植物油 (植物由来) (d-α-トコフェロール: ビタミンE 67.1 %以上含有) フコキサンチンの酸化防止目的	18.7 mg (ビタミンE換算: 12.55 mg:約5 %)
食用油脂 (MCT: ココナッツ由来)	150 mg (60 %)
グリセリン脂肪酸エステル (植物由来)	18 mg (7.2 %)
ライスワックス/コメヌカロウ (米由来)	18 mg (7.2 %)
合計	250 mg

4.4.4 競合商品の調査

パブロバは微細藻類であるが故にスピルリナ、クロレラ、ユーグレナなど既存の微細藻類商品も競合品として認識されがちであるが、パブロバの場合は機能性成分であるフコキサンチン高含有製品なので、このフコキサンチンが含有した商品が一番近い競合品となる。

そこで、フコキサンチン含有を謳う商品を購入し、特徴、価格、フコキサンチン含量、フコキサンチン1 mg 当たりの単価を指標に比較検討した。表 4-5 および表 4-6 に、それぞれの商品の情報を整理した。市場に出回っているフコキサンチン含有商品は、昆布やアカモクなどの褐藻類の抽出物もしくは乾燥パウダーを原料として使用している。記載されているフコキサンチンの含有量については、表 4-5 に示した商品群には量が記載されているが、表 4-6 に示した商品群には量の情報は記載されていない。含有が謳われている商品のフコキサンチンの含有量は、1 日分の摂取量で、1.7 mg-3 mg の設計である。これに対して、パブロバ・エクササイズ・プラスは、2.4-4.8 mg の設定である。

入手した各商品について、フコキサンチン含量を分析したところ、全商品において、賞味期限内にも関わらず記載されているフコキサンチン含量より少ない結果となった。たとえば、3 mg と記載された商品で 2.09 mg および 2.13 mg という結果であった。また、含有量が記載されていない商品については、全く検出されないものもあったが、多いもので 1 日分で 0.98 mg であった。機能性が確認できている 1 日当たりの摂取量は 2.4 mg であるので、全ての商品でこの値以下ということになる。これらは、あくまで健康補助食品であり機能性は謳われていないので、食品表示法上の問題があるわけではないが、成分表示しているにも関わらず、賞味期限内にそれ以下の量しか確認できないのは問題があるように思われる。

一方、OP 社の商品においては、理論値で 2.4 mg-4.8 mg が 1 日分 6 粒に入っている設計としており、実際の分析結果でも製造後約 2 ヶ月（設計では賞味期限は 1 年とする予定）で、4.52 mg と全商品中もっとも多い含有量となっている。

次に価格については、パブロバ・エクササイズ・プラスを 1 ボトル：1 ヶ月分で 6,300 円と設定した場合（価格設定については、第 6 章 財務戦略で詳細に検討する）、1 日あたりのフコキサンチン量相当価格は、理論値（表記されている量）でフコキサンチン含有量記載商品の中では 2 番目に高い 44 円-88 円となった。しかし、実際の含有量でフコキサンチン 含量記載の 4 商品で比較するとパブロバ は 46 円で、他の商品の 191 円、52 円、38 円と比較すると 3 番目に高い価格となった。1 ボトル当りの価格としては高い部類の商品となるが、フコキサンチンについては実際の含量をアピールすることで、また、パブロバのフコキサンチン以外の特徴（ ω 3 脂肪酸やアンチエイジング系に機能性が期待できる含有成分および 61 種類以上の豊富な栄養成分）をアピールし、フコキサンチンとしてではなくパブロバとしての付加価値、希少価値を強調したブランディングを行うことにより、価格面でのディスアドバンテージを克服したいと考えている。

表 4-5 競合品調査結果（フコキサンチン含量記載品）

メーカー	OP Bio Factory	Dr.Formula	DHC	DHC
商品名	パプロバ エクササイズ+	Dr.Formula フコキサンチン	ザンシゲンダイエット	ラディカルフィット
パッケージ写真				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 180 粒入り、1 日 6 粒、1 ヶ月分 1 日 6 粒でフコキサンチン 2.4mg - 4.8 mg パプロバパウダーを MCT オイルに浸漬し、ビタミン E 添加 	<ul style="list-style-type: none"> 90 粒入り、1 日 3 粒、1 ヶ月分 1 日 3 粒でフコキサンチン 3 mg フコキサンチン含有昆布抽出物使用 	<ul style="list-style-type: none"> 60 粒入り、1 日 2 粒、1 ヶ月分 1 日 2 粒でフコキサンチン 1.7 mg ザンシゲンは褐藻抽出物のザクロオイル溶解物 	<ul style="list-style-type: none"> 30 粒入り、1 日 1 粒、1 ヶ月分 1 日 1 粒でフコキサンチン 3 mg フコキサンチン含有褐藻抽出物、DHA、EPA、トウガラシ抽出物
価格	15,200 円（定価）/ 瓶 507 円/ 日	12,000 円/ 瓶 400 円/ 日	2,550 円/ 袋 85 円/ 日	2,400 円/ 袋 80 円/ 日
FX 分析結果	4.52 mg/6 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 製造後 2 ヶ月時点	2.09 mg/3 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2021 年 11 月	1.64 mg/2 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2022 年 6 月	2.13 mg/1 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2021 年 8 月
FX mg 当り単価換算	理論値：106 円-211 円 実測値：112 円	理論値：133 円 実測値：191 円	理論値：50 円 実測値：52 円	理論値：27 円 実測値：38 円

表 4-6 競合品調査結果（フコキサンチン含量未記載品）

メーカー	医食同源ドットコム	エフ琉球	ナチュラルレインボー	ニイイ
商品名	MCT + フコキサンチン サプリメント	海のチカラ	フコキサンチン強化 凝縮アカモク粒 EX	濃縮アカモク粒
パッケージ写真				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 120 粒入り、1 日 4 粒、1 ヶ月分 フコキサンチン 含量は明記なし。 MCT オイル、がごめ昆布粉末、アカモク粉末、フコキサンチン含有褐藻抽出物 	<ul style="list-style-type: none"> 90 粒入り、1 日 1 粒、3 ヶ月分 フコキサンチン 含量明記なし EPA・DHA 含有精製魚油、アカモク原藻粉末、コンブ抽出物（フコキサンチン含有） 	<ul style="list-style-type: none"> 90 粒入り、1 日 3-6 粒推奨、1 ヶ月分 フコキサンチン 含量明記なし アカモクパウダーにフコキサンチンパウダーを処方して FX を強化している 	<ul style="list-style-type: none"> 90 粒入り、1 日 3 粒、1 ヶ月分 フコキサンチン 含量明記なし アカモクパウダー、クロレラ
価格	1,069 円/ 1 袋 36 円/ 日	2,376 円/ 3 ヶ月分 26 円/ 日	1,460 円/ 1 ヶ月 49 円/ 日	2,106 円/ 1 ヶ月 70 円/ 日
FX 分析結果	0.98 mg/4 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2022 年 6 月	0.022 mg/1 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2022 年 9 月	0.18 mg/1 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2022 年 6 月	0 mg/2 粒/1 日分 2020 年 6 月分析 賞味期限 2023 年 2 月
FX mg 当り単価換算	理論値：- 実測値：37 円	理論値：- 実測値：1,181 円	理論値：- 実測値：272 円	理論値：- 実測値：-

4.4.5 販売ストーリーおよび世界観

OP社の既存事業、なかでもパブロバ事業においては、SDGsの目標達成に向けた展開を基本的な考え方として、その上での販売ストーリー展開などにおいて世界観の醸成を行ってゆきたいと考えている。

OP社の探索プラットフォームで見出されたパブロバは、沖縄本島沿岸の海で採取された株である。海があり、沖縄があり、その中で活動するOP社の中にパブロバがある。このパブロバドリブンで、1) 環境保全への貢献、2) 食事業への展開、3) 健康寿命延伸への貢献、4) 健康美への貢献の4つの方向性での展開を計画している(図4-11)。以下にそれぞれの方向性におけるコンセプトを記載する。

1) 環境保全への貢献

パブロバは微細藻類であり植物の一種である。増殖には光合成が必要で、光合成には二酸化炭素を利用するため、パブロバを生産することにより二酸化炭素の削減に貢献できる。また、培養には天然海水を用いるため、海水中のミネラルや栄養塩を利用し、サプリや食素材としては、生産された藻体をそのまま利用する。そのため、基本的に残渣を生じないが、化粧品に利用する場合は一部藻体の抽出を行うので、残渣が少量発生する。それについては、水産餌料に利用して循環させる予定である。

2) 健やかな体づくりへの貢献

パブロバは、EPAやDHAなどの ω 3脂肪酸が豊富に含まれているので、その特徴として魚のような臭いを持ち、味は魚と青のりを足したようだと例えることができる。成分的には、脂肪酸の他、アミノ酸を豊富に含むため、食材として工夫すれば旨味に変えることができる。依然、健康素材として摂取しやすいサプリ形態へのニーズが高いため、その形態の開発も行うが、例えばスープ、ドレッシング、ソース、ドリンクといった食材としての活用についても積極的に提案してゆきたいと考えている。具体的には、賛同を得られるカフェやレストランにて利用してもらう予定である。すでに、提携カフェ1店舗にてジェノベーゼ風ソースを考案して、料理として提供を開始している。

食材としての活用を促進することにより、「美味しく食べて健康になる」という心豊かな生活への貢献をしたいと考えている。

3) 健康寿命延伸への貢献

食事業への展開目的と関連するが、パブロバの含有成分は様々な機能性を発揮する可能性を持つものが多い。現時点では、機能性を謳うことはできないが、サプリ形式による健康補助食品としての展開や、機能性表示食品としての開発を行なっていく予定である。また、フコキサンチンについては、医薬品に活用することもできるだろう。これにより、人々の健康維持、健康寿命延伸への貢献をしたいと考えている。

4) 健康美への貢献

フコキサンチンは、抗炎症など肌トラブルを補修する作用についても報告がある。よって、パブロバの抽出物を用いた化粧品やスキンケア、ヘアケア製品の開発も検討してゆく予定である。化粧品などの場合、食品に比べて使用量も少なく済むので、生産量が限られるスケールの現生産設備においては、有効な展開であると考えている。

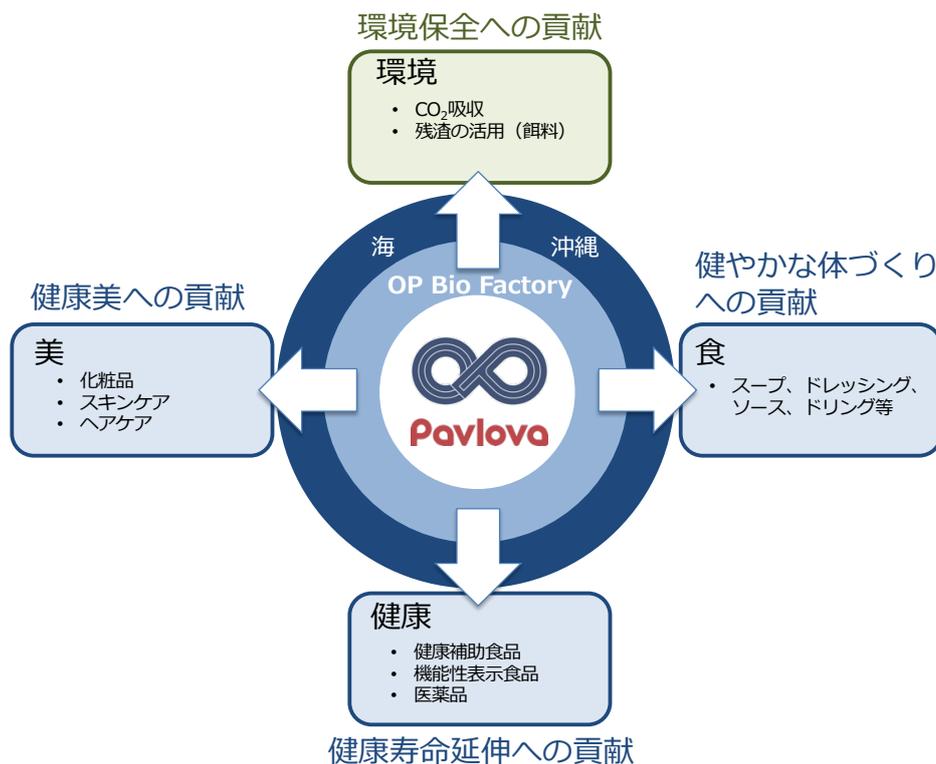


図 4-11 パブロバ事業展開基本方針

パブロバは、上述の基本方針の下で事業展開を進めていくが、健康寿命延伸へ貢献する取り組みとして、現在開発中のパブロバ・エクササイズ・プラスを最初に市場に

投入する。このサプリメントは、「コロナ自粛による巣籠もり肥満」の方のダイエットサポート、エクササイズ時の酸化作用を防ぐスポーツサポートを基本コンセプトとする。市場に存在する他のダイエットサポート関連商品と差別化するためには、パブロバの良さを伝える（フコキサンチン、 ω 3 脂肪酸など 61 種類以上の栄養成分含有）。

4.4.6 パッケージ案

パブロバ・エクササイズ・プラスのボトルパッケージ案を図 4-12 に示す。パブロバは沖縄の海で採取され、沖縄の天然海水を利用して培養されている。したがって、イメージカラーは青を採用し、海をイメージしたデザインとした。顧客ターゲットは、40 歳代以上の健康に対する意識が高い層と定めている。シンプルなデザインとしたため、パッケージのみでは、どのような商品であるかを具体的には伝えにくい。そこで、ウェブサイトと添付冊子によって詳細を伝える計画である。「沖縄の海のめぐみ」というメッセージコピーは、上述した健康に対する意識が高いメインターゲット層を想定したものであり、また、健康・長寿である沖縄県民および沖縄の海に良いイメージを持っている潜在購入者層への惹句として作成した。

容器については、価格帯からすれば、例えば金色の蓋とするなど豪華な装飾と高級感溢れる外箱などを作成すべきところであろうが、SDGs の考え方に則った販売方針をとるうえで、サトウキビ由来原料を配合したエコボトルを採用している。これは、OP社は環境配慮型の企業であり、この点もブランディングに利用したいという意味も含めている。

また、商品発送時の包装についても簡易包装で行うことを考えている。



図 4-12 パッケージ案

4.4.7 販売戦略

販売戦略を検討するのにあたって、顧客がどのように商品を選び購入にり、また更にファンとなり、リピート購入するののかといった意思決定過程について検討したい。

以下の図 4-13 は、マッキンゼー・アンド・カンパニーのプリンシパルであるデイビッド・コートの消費者のブランドへの関与に関する見解である¹¹⁾。このモデルは、自動車、スキンケア、保険、家電、携帯電話の 5 業種について、三大陸にわたるおよそ 2 万人の消費者を対象に行った購買意思決定の研究を基に開発された。その調査によれば、今日の消費者は、購買に至る過程で選択範囲を体系的に狭めていくのではなく、もっと反復的で、それほど絞り込みをしないプロセスをたどる。このプロセスは、①検討、②評価、③購入、④享受・支持・きずなという 4 つの段階から成り立っているとしている。

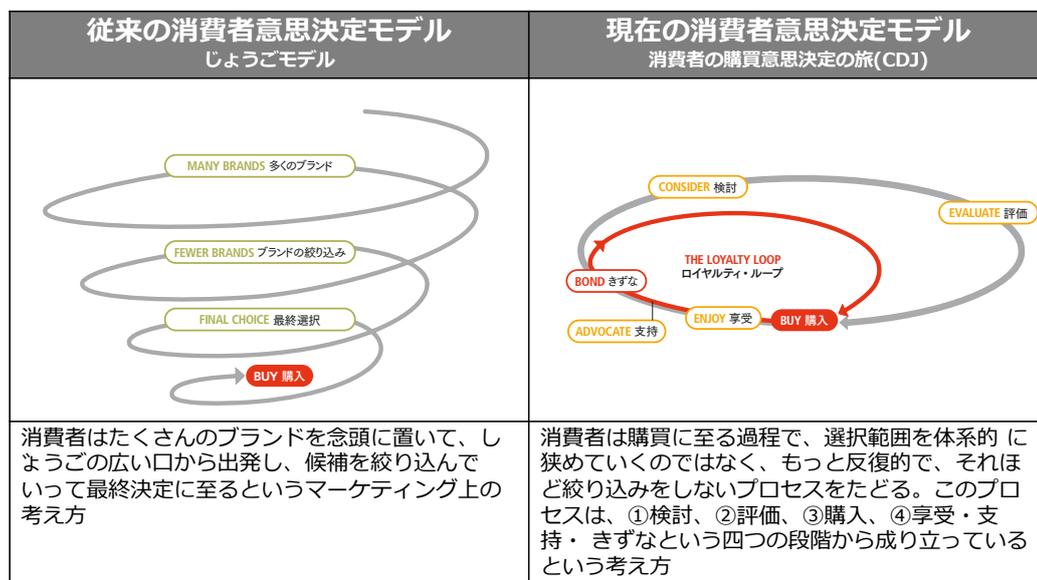


図 4-13 消費者の意思決定モデル

出所：参考文献から引用して筆者作成

この CDJ モデルにパブロバ事業を当てはめて考察してみたい。顧客は、先ずインターネットをはじめ様々な媒体を通じてパブロバを知ることになるが、競合品企業が存在する中で、OP 社という知名度の低い会社で作った商品を検討してもらわなければならない。この段階では、いかに会社と商品を信用してもらい、安心感を持ってもらうかが鍵となると考えている。ユーグレナの例を振り返ると、「東大発」というキーワードがこの信用と安心感を得るところに大きく貢献していたと推察される。OP 社の場

合は、15年にわたる海洋生物資源からの探索研究の実績をいかに分かりやすく説明し、知ってもらうかが重要である。

次に購入のために商品进行评估する過程では、基本的にウェブサイトで提供した情報に依って行われることとなる。ドーン・イアコブッチ他「統合マーケティング戦略論」¹²⁾によれば、消費者にとって重要度が高く、肯定的な事項として、一つのテーマに関する情報が深く正確、そして、図解が豊富でわかりやすいということが挙げられている。

OP社は、探索プラットフォームを社内に保有しており、それを利用して得たパブロバに関する各種分析データを持っている。この点を最大限に活用し、説得力のある説明を加えたいと考えている。また、既に消費者の信頼を得ている他の微細藻類素材（特にユーグレナ）との比較を利用してパブロバの能力を示したいと考えている。

具体的には、ウェブサイト上で説明する主な項目を以下のとおり想定している。

①フコキサンチン高生産

パブロバの一番の特徴であるフコキサンチン高生産であることを第一の特徴として紹介する。たとえば、パブロバ・エクササイズ・プラス6粒1日分で摂取できるフコキサンチン量はモズクや昆布の300g分（湿重量）に相当する（図4-14）。



図 4-14 パブロバ の特徴 (フコキサンチン 高生産)

出所：パブロバ紹介サイト <http://pavlova.jp/>より引用

②EPA、DHA 高生産

ここでは、植物由来の EPA、DHA が摂取できることを強調する。市場に出ている EPA、DHA は殆どが魚由来であり動物由来ということになる。植物由来の EPA、DHA が摂取できるのは非常に稀なので強調すべき事項である。また、スピルリナ、クロレラ、ユーグレナと比較して差別化のポイントの一つとなる (図 4-15)。



	スピルリナ	クロレラ	ユーグレナ	パプロバ
脂質 (g/100g)	7.5	8.9	21.3	23.8
DHA (mg/100g)	-	-	100	460
EPA (mg/100g)	-	-	300	3,760

図 4-15 パプロバの特徴 (EPA, DHA 高生産)

出所：パプロバ紹介サイト <http://pavlova.jp/>より引用

③細胞壁がない

ユーグレナがその販売戦略において、細胞壁を持たないので消化吸収率が高い点をアピールしているが、この特徴はパプロバにも当て嵌まるので、野菜や果物を比較対象として有用性をアピールする (図 4-16)。

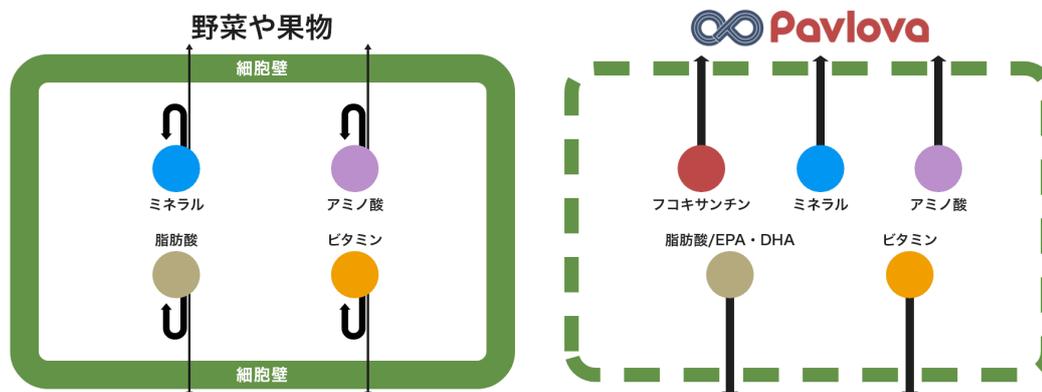


図 4-16 パプロバの特徴 (細胞壁がない)

出所：パプロバ紹介サイト <http://pavlova.jp/>より引用

④61種類以上の栄養成分

ユーグレナは 59 種類の動物および植物由来の栄養成分が摂取できるとアピールしているが、パプロバは、更に多い 61 種類以上の栄養成分数を強調する。また、アミノ

酸スコアは、ユーグレナの 83 に対してパブロバは 94 と非常にバランスが良い（表 4-7）。

表 4-7 パブロバの特徴（61 種類以上の栄養成分）

出所：パブロバ紹介サイト <http://pavlova.jp/>より引用

	栄養成分数	含有成分	(参考) ユーグレナ
総栄養成分	61種類以上	—	59種類
脂肪酸	不飽和脂肪酸：16 飽和脂肪酸：5	(オメガ3)：EPA、DHA、 α -リノレン酸、オクタデカテトラエン酸 (オメガ6)：リノール酸、 γ -リノレン酸、ジホモ- γ -リノレン酸、アラキドン酸、エンコサテトラエン酸、4,7,10,13,16-ドコサペンタエン酸 (その他不飽和脂肪酸)：ミリストレイン酸、パルミトレイン酸、ヘキサデカジエン酸、ヘキサデカトリエン酸、ヘプタデセン酸、オレイン酸 (飽和脂肪酸)：ミリスチン酸、ペンタデカン酸、パルミチン酸、ヘプタデカン酸、ステアリン酸	11
アミノ酸	18 アミノ酸スコア：94	アルギニン、リジン、ヒスチジン、フェニルアラニン、チロシン、ロイシン、イソロイシン、メチオニン、バリン、アラニン、グリシン、プロリン、グルタミン酸、セリン、スレオニン、アスパラギン酸、トリプトファン、シスチン（緑字は必須アミノ酸）	18 アミノ酸スコア：83
ビタミン	12	A-カロテン、 β -カロテン、チアミン（ビタミンB1）、リボフラミン（ビタミンB2）、ビタミンB6、ビタミンB12、ビタミンC、ビタミンE（ α -トコフェロール）、葉酸、ピオチン、イノシトール、ナイアシン	14
ミネラル	9	ナトリウム、リン、鉄、カルシウム、カリウム、マグネシウム、銅、亜鉛、マンガン	9
その他注目成分	5	フコキサンチン、クロロフィル 食物繊維、GABA、ヒドロキシプロリン	7

上記のように4つの特徴を強調して、パブロバの有用性を消費者に訴えていく予定である。

販売形態は、EC サイトを使った通信販売のみとする。パブロバの紹介ウェブサイトは作成済みで運用を開始している（図 4-17）。このサイトのコンセプトはBtoBでもBtoCでも使えるものとしたため、専門的な用語の使用も制限していない。そこで、この紹介サイトを元として、より分かりやすい表現を用い、BtoC用のランディングページ（LP）およびECサイトを作成してゆく予定である。

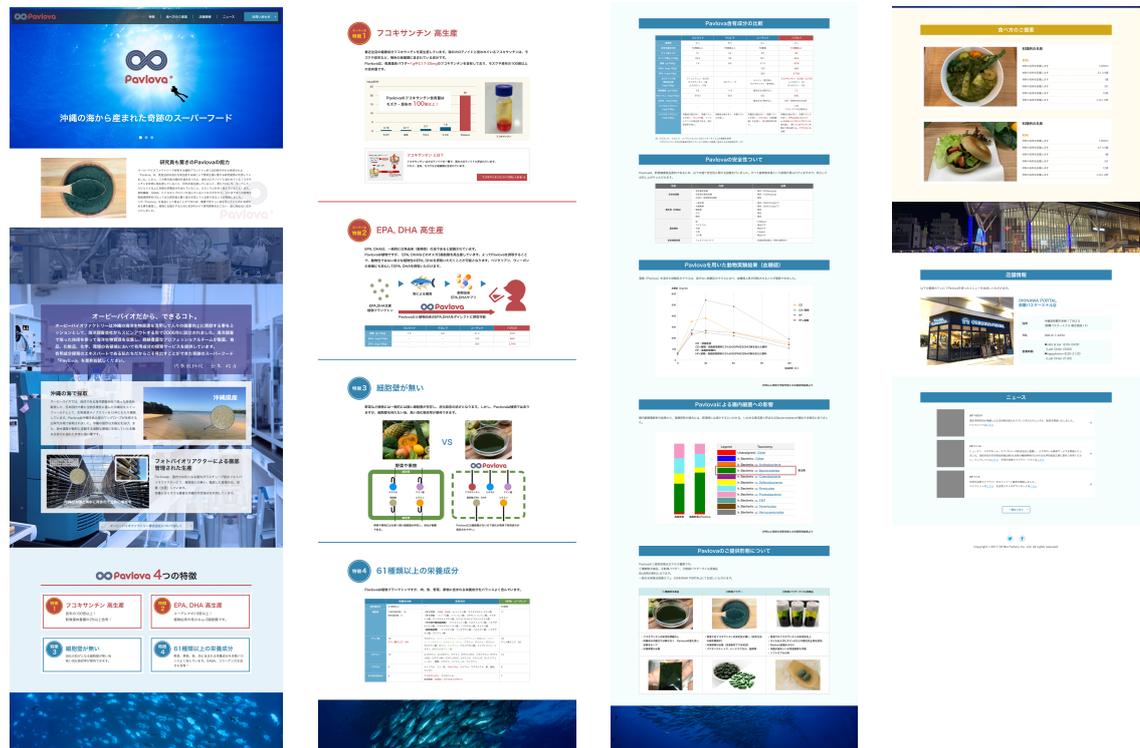


図 4-17 公開済みのパブロバ紹介サイト

出所：パブロバ紹介サイト <http://pavlova.jp/>より引用

LP および EC サイトで購入に導き、消費者に商品を届けた後は、実際に使ってもらい、さらにリピート購入に導くということが必要になる。この過程では以下がポイントとなる。

- ①商品に満足してもらえているか
- ②飽きられていないか
- ③商品、会社のファンになってくれているか（顧客ロイヤルティ）

満足してもらえているかどうかは、商品の能力だけでなく、注文から商品到着までの過程でのコミュニケーション（受注連絡、発送連絡、荷物の配送状況照会など）、商品到着後、箱を開けた際の感動の演出（パッケージや添付冊子）、問題が発生した場合の対応方法（返品の方法などの明確な表示など）、リピート購入してもらうためのメリットの提示、また購入への誘導など全てに留意し、しっかりと「きずな」を構築してロイヤルティカスタマーグループに入っていただかなければならない。

OP 社には、マーケティングやプロモーションの実経験を有する人材がいないので、外部のネットワーク（外注、共同研究先）との連携が非常に重要となる。

4.4.8 事業化スケジュール

パプロバ・エクササイズ・プラスは、2020年6月に開発を開始した。ソフトカプセルの試作から始まり、フコキサンチンの安定化確認を行い、濃縮液のフリーズドライ、ソフトカプセル生産、充填ボトルのラベルデザインやLPおよびECサイトの構築を行い、2020年中には販売を開始する予定である（表4-9）。

表4-9 パプロバ・エクササイズ・プラス事業化スケジュール

項目	2020年						
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
ソフトカプセル試作 @三生医薬	■	■					
劣化試験（安定性確認）		■	■	■	■		
濃縮液フリーズドライ @一丸ファルコス			■	■			
ソフトカプセル生産 @三生医薬					■	■	
デザイン（ボトルラベル、 説明用冊子）				■	■		
LP, ECサイト構築					■	■	
広告宣伝、販売戦略検討				■	■		
プロモーション						■	■
販売開始							■

参考文献および引用

- 1) コトラー&ケラーのマーケティング・マネジメント 第12版, 丸善出版 (2014)
- 2) 健康日本21 (第2次) の推進に関する参考資料 厚生労働省 e-ヘルスネット
https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/21_2nd/reference.html
- 3) 総務省「ICT 超高齢社会構想会議報告書」
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/html/nc123120.html>
- 4) H・B フーズマーケティング便覧 2019 No.2 -機能志向食品編-, 富士経済
- 5) 日本経済新聞社 Web ページ (2019) プレスリリース 「富士経済、機能志向食品の国内市場調査結果を発表」
https://www.nikkei.com/article/DGXLRSF503544_V20C19A2000000/
- 6) 日本経済新聞社 Web ページ (2019) プレスリリース 「富士経済、機能志向食品の国内市場調査結果を発表」, 添付資料
https://release.nikkei.co.jp/attach_file/0503544_02.pdf
- 7) 経済産業省 平成27年4月経済産業省調査報告
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/jisedai_healthcare/sinjigyo_wg/pdf/003_s01_00.p
- 8) ファンケル プレスリリース記事
<https://news.yahoo.co.jp/articles/6bb31da79adc0c4a769634ee304ed46bdc13121a>
- 9) 今日から即使えるマイケル・ポーターの競争戦略 54, 朝日新聞出版 (2011)
- 10) M. Abidov, Z. Ramazanov, R. Seifulla, S. Grachev (2010) The effects of Xanthigen in the weight management of obese premenopausal women with non-alcoholic fatty liver disease and normal liver fat. *Diabetes Obes Metab*, 12(1):72-81
- 11) デイビッド・コート (2009) 「消費者の購買意思決定の旅」 マッキンゼー・クオータリー 6月号
- 12) ドーン・イアコブッチ 統合マーケティング戦略論 (2003)

第5章 知財戦略

パプロバ開発の目的のひとつは、OP社が保有する生物資源から探索プラットフォームを活用して見出した未利用新規素材の開発成功例として、また、生物資源ビジネスのバリューチェーンのギャップを埋めた例として示すことにある。そして、その実績を事業面での広告塔として活用し、既存事業であるライブラリー構築販売事業や化合物探索受託事業の営業拡大につなげ、持続可能で強固なビジネスモデルの構築に繋げることである。そのため、パプロバの知財戦略を検討するにあたっては、先行技術を考慮し、パプロバだけに資するブランディング要素に留めるのではなく、OP社全体のブランディングを見据えた戦略としたいと考えている。

知財戦略を検討する上では、クローズド戦略をとり完全に秘匿するか、特許取得により知財化して権利主張できるようにしておくか、または、オープン戦略をとって情報公開により市場の拡大を図るかの判断が非常に重要となる。当社のパプロバ事業においては、新規素材による新規市場開拓型のため、当面はクローズド戦略をとるべきであると考えている。クローズド戦略の中で、何をノウハウとして完全に秘匿するかについて知財化するかは詳細な検討が必要である¹⁾²⁾。一方でOP社全体の事業を考えると、パプロバ事業は成果の具体例、広告塔として生物資源ビジネスの業界に示すことで、既存の事業拡大に繋げたいとの意図もあるため、権利保護の必要はないがインパクトがある、例えばVaricon社製PBRでの培養についてはオープン戦略で進めてゆきたいと考えている。

ここでユーグレナ社の例を挙げると、同社はユーグレナ株の藻体生産方法の基本的な部分については一切オープンにせず、また、特許も取得していない。完全にブラックボックス化されている。取得している知財は、有用物質の生産量向上策や燃料生産にかかる部分など派生技術の部分に限っている。将来的に競合企業がユーグレナの大量培養に成功したとしても、ユーグレナ社としては商品価値を積み上げてゆくことによる差別化を図る考えのようである。

近年、神戸製鋼の子会社である神鋼環境ソリューションがユーグレナの大量培養に成功し、ユーグレナ関連商品の販売を開始した³⁾。しかし、ユーグレナ社の市場シェアには大きな悪影響を及ぼしていないようである。同社は既にブランディングやプロモーションなど事業面でのアドバンテージが大きく、一定規模の知名度があり、ブランディングが完了しているので現時点では優位性を保っているようである。しかし、この状況を長く続けることができるかには疑問もあり、現在の戦略であるユーグレナの価値の向上のみでどこまで逃げ切れるかは不明であるといっておいたほうがよいだろう。

以下にパプロバ開発で想定される知財関連の出願項目を示す。

- 特許出願案 1: 新規微細藻類（微生物特許）：出願済み

- 特許出願案 2: 微細藻類含有製品およびその製造法：出願済み
- 特許出願案 3: パプロバの用途：今後検討
- 意匠出願：藻類培養器
- 商標出願：Pavlova (ロゴ)

これらの項目をバリューチェーン状にマッピングすると図 5-1 のようになる。パプロバの開発成果を事業へのプロモーションに活用することを想定すると、特許、意匠、商標を出願することによって OP 社の事業領域すべてにおいて当社の価値を示すことに貢献できると考えている。さらに、特許など知財の出願が終了したもの、また、オープン戦略で進めるものについては、積極的に論文や学会発表を行うことで、OP 社の技術力を示し、営業活動に繋げてゆきたいと考えている。

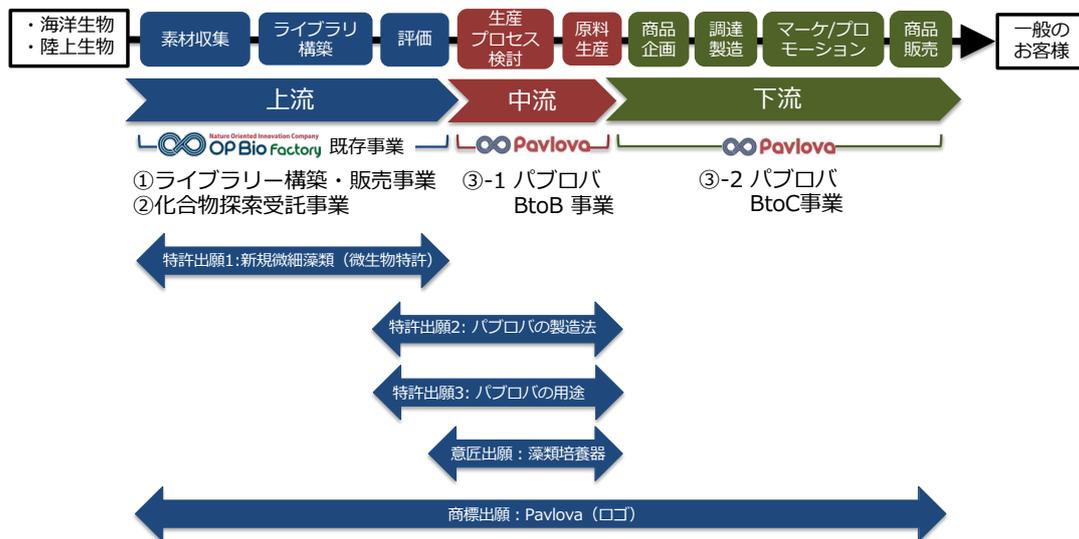


図 5-1 出願特許・意匠・商標と OP 社事業との関連

以下、特許、意匠、商標について個別に戦略を検討する。

5.1 特許戦略

特許出願案 1: 新規微細藻類（微生物特許）

パプロバの種については、琉球大学理学部の須田教授によって同定中であるが、*Pavlova granifera* に近いが新種になる可能性が高いということである。*Pavlova* 属の種でこれまで産業利用されているのは、*Pavlova lutheri* が二枚貝の幼生の餌量として利用されている例のみである。食品としての利用、商品化は今回の例が世界で初事例となる。このことから、パプロバ自体について微生物特許が取れる可能性が高いと考えて

いる。ただし、特許出願に伴い株を寄託してしまうと、誰もが利用可能な状態になる。微生物特許は、その株を使って開発した場合に保護される。パブロバは他の *Pavlova* 属の種に比べ、フコキサンチンの生産性は高く、 ω 3 脂肪酸の EPA や DHA についても生産性は高いが、圧倒的に優位性があるかというところではないと考えている。よって、パブロバで微生物特許を取ったとしても、他のハプト藻類で同様な商品開発を行なってしまうと、近い商品はできてしまう。そのため、微生物特許では競合の参入を防ぐことは困難であろう。そこで、微生物特許について、出願は既に行なったものの、寄託を中止して特許も成立させないという方針に変更することとした。しかし、競合の参入を防ぐ策は必須であるので、次に示す製造法に関する特許で、できるだけ幅広く権利を主張すべく出願することにした。

特許出願案 2: 微細藻類含有製品およびその製造法

技術戦略で記載したように、パブロバの藻体を食品として利用する場合、大量培養を行い、回収・濃縮して、そのまま濃縮物を原料として利用するか、乾燥してパウダー原料を生産するかのいずれかとなる。回収・濃縮工程はどのような方法で培養したとしても必ず通る工程であり、本株の場合、遠心機等で濃縮する前に加熱を行い、クロロフィルアゼを失活させ、フェオフォルバイドの生成を抑えない限り、藻体そのものを食品として利用することは困難である。よって、この製造法を特許として押さえておくのが知財戦略上最も重要であると判断される。更に、パブロバに限らず、出来るだけ広い分類群 (*Pavlova* 属からハプト藻綱の間) で特許を成立させることができれば、競合企業の参入を抑えられると考えられる。

本案については現在 PCT に台湾を加えて出願済みである。

特許出願案 3: パブロバの用途

琉球大学医学部とは、フコキサンチンでも報告がある抗肥満と抗糖尿病関連の機能性に関する共同研究を実施しており、パブロバにおいても機能が確認できているが、現時点で特許化できるだけのデータが得られていない。今後、フコキサンチンではなく、パブロバで機能性表示食品開発に向けた様々な機能性に関する検討を行なってゆく予定であるので、その結果をもって用途特許を出願してゆきたい。

領域的には、代謝疾患系である肥満や糖尿病の予防に関するものに限らず、昨今のコロナウィルス禍での免疫力強化ブームに乗り、腸内細菌叢改善や食糧事情の改善に貢献すべく、水産餌料など幅広い分野での用途を開発してゆきたい。

5.2 意匠（デザイン）戦略

ベンチスケール生産設備は、Varicon 社の PBR を導入しているが、シード作製の PBR は OP 社で設計、自作している。

自社 PBR 開発のコンセプトは、不必要な機能を排除して最も重要な微細藻類培養における効率のみを追求することである。通常、5 L から 30 L 程度の水量のリアクターは、市販品であれば 1 台 100 万円以上の価格である。これは、環境データ取得機能や水温管理システムなど、あれば便利であるが、なくとも差し支えない機能が豊富に付属しているためだと考えられる。当社の PBR は、市販のアクリルチューブと水道用の塩ビ配管を組み合わせて作製し、環境データは pH 測定のみ、pH 制御で CO₂ を吹き込める装置を足しただけという極めてシンプルな構成である。このため、25 L タイプで 1 台 5 万円以下で作製可能である。

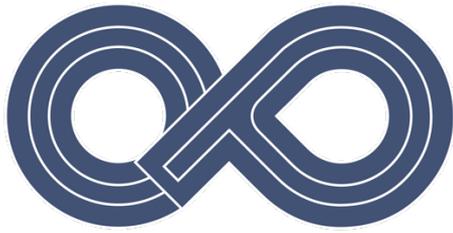
本技術については、特許を出願するには至らないため、意匠のみ出願して、当社の事業に関連する技術としてのアピール用という位置付けとした。意匠は取得済みである。

5.3 商標戦略

商標については、ユーグレナの例で分析、検証したように、ブランディング戦略、プロモーションにおいて極めて重要である。商標として、「パブロバ」という文字商標を出願したいところであるが、パブロバは株の属名であることより、文字での商標は認められない。そこで、ロゴマークとして図 5-2 に示す商標を出願した。

Pavlova の文字色はフコキサンチンの色を模して赤とし、上部のマークはパブロバの丸みを帯びた細胞（O 部分）とパブロバの形態的特徴である鞭毛用のハプトネマ（P 部分）を模したマークとなっている。OP 社の OP も表しており、OP 社のロゴマークにも使用している。

当社の知名度を向上させるために原料として使ってもらうクライアントには、最終商品にロゴマークを掲載してもらおうべく交渉してゆく。



Pavlova

図 5-2 パヴロバ の登録済み商標

表 5-1 に現時点の知財関連（特許、意匠、商標）の出願および登録状況一覧を示す。

表 5-1 知財関連の出願および登録状況一覧

	名称	出願番号・登録番号	内容
特許	新規微細藻類	(出願番号) 2019-128568	<ul style="list-style-type: none"> 現在、使用しているパヴロバ 株（当社管理番号 OPMS30543株）は、琉球大学須田教授の同定によると新種となる予定 微生物特許として出願 本件は、出願は行なったが、寄託のリスクを考慮し、特許は成立させない方針
	微細藻類含有製品およびその製造法	(出願番号) PCT : PCT/JP2019/045103 台湾：108141834	<ul style="list-style-type: none"> OPMS30543株はクロロフィルが多く、培養後のプロセスにおいて、遠心回収を行なうとフェオフォルバイド生成が進み、規制値を超えてしまうが、これを防ぐ方法を見出した このプロセスについて知財化することにより、他社がパヴロバ乾燥藻体を生産する際の大きな障壁となることが予想される ハプト藻全体で広く出願、最終的にはパヴロバ 限定となる可能性はある PCT + 台湾で出願
意匠	藻類培養器 	(登録番号) 登録第1644378号 登録第1644379号 登録第1644581号	<ul style="list-style-type: none"> 当社で開発したバッチ方式によるシード培養用のフォトバイオリアクターについて意匠登録
商標	Pavlova (ロゴ) 	(登録番号) 登録第6042304号	<ul style="list-style-type: none"> Pavlovaをブランディングしていく上で重要と判断して登録 今後、自社での販売、また、原料供給先での開発商品への表記などに使用予定

参考文献および引用

1) オープン&クローズ戦略 日本企業再興の条件, 翔泳社 (2014)

2) 経済産業省 オープン・クローズ戦略の基本フレーム

https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2013/pdf/honbun01_03_03.pdf

3) 神鋼環境ソリューション Web ページ

<https://www.kobelco-eco.co.jp/product/euglena/>

第6章 財務戦略

6.1 パプロバ BtoC 事業における財務計画

6.1.1 原価計算

サプリタイプであるパプロバ・エクササイズ・プラスの製造販売を行うにあたり、現設備における生産可能量から製造原価の算出を行った。表 6-1 に現状のベンチスケール生産設備において生産可能な乾燥パウダー量およびそれを用いて加工するソフトカプセル1ヶ月分（180粒）を充填したボトル数の算出根拠を示す。

年間を通じてフル生産を行なったとして、144 kg の乾燥パウダーが生産可能で、ボトル 16,000 本が生産可能である。この生産可能本数を原価計算の根拠データとして使用する。

表 6-1 現設備における生産可能量

項目	単位	数量	備考
回収時藻体濃度（夏場）	g / L / day (DW)	0.098	2019年度実生産データより算出（4-11月：夏場）
回収時藻体濃度（冬場）	g / L / day (DW)	0.080	2019年度実生産データより算出（12-3月：冬場）
生産用PBR水量	L	13,000	7,000 L PBRの実際の培養水量6,500 L×2基
年間回収回数（夏場）	回	24	4月-11月：1基あたり月に1.5回×2基×8ヶ月=24回
年間回収回数（冬場）	回	9	12月-3月：1基あたり月に1.5回×2基×3ヶ月=9回、この期間の1ヶ月はメンテナンスにより休止
1回あたり培養日数	日	14	
藻体乾燥重量（理論値：夏場）	kg	214	培養液中の乾燥重量から算出した理論値
藻体乾燥重量（理論値：冬場）	kg	65	培養液中の乾燥重量から算出した理論値
藻体乾燥重量（理論値合計）	kg	279	
回収時歩留まり	%	73%	回収工程、淡水洗浄工程におけるロス分（実生産データより）
冷凍濃縮物中の藻体乾燥重量	kg	204	冷凍保管物中の濃縮物中の藻体乾燥重量
凍結乾燥時歩留まり	%	71	一丸ファルコスにおける凍結乾燥処理工程でのロス分
年間生産量（乾燥パウダー）：乾燥処理後	kg / year (DW)	144	
年間生産可能ボトル数	本	16,000	1粒あたり乾燥パウダー45mg充填、1ヶ月分180粒/ボトル設計

表 6-2 に現設備でフル生産を行なった場合の製造原価を示す。製造原価は 60,915,939 円となり、ボトル 1 本あたりの原価を算出すると、3,807 円となった。このボトル 1 本あたりの原価をベースに次項で販売単価の検討を行う。

表 6-2 パプロバ・エクササイズ・プラス 1 ヶ月分ボトルの原価計算

項目	金額 (円)	設定条件
人件費	生産管理者	2,400,000 社員A 50 %エフォート
	エンジニア	3,600,000 社員B 100 %エフォート
	生産現場作業員	2,400,000 新規雇用 100 %エフォート
	法定福利費	1,287,720 厚生年金 9.15 %、健保 5.84 %、介護 1.73 %、子供子育て 0.34 %
水道光熱費	電気 (既存設備)	2,000,000 POC実績より、夏場 200,000 円 / 月、冬場 100,000 円 / 月、2020,2021は1/5で計算
	水道	1,078,550 POC実績より、月平均 98,050 円
	海水	1,056,000 沖電開発海水購入 8 円 / L
加熱処理用ボイラ燃料	660,000	7,000 L 1 回処理につき灯油代 20,000 円
地代家賃	土地賃料	3,630,000 ライフサイエンス研究センター：290,000 円 × 12 ヶ月、裏敷地 150,000 円 / 年
リース	トラックリース (海水運搬)	735,600 61,300 円 × 12 ヶ月
	冷凍庫等リース (サンプル保管)	169,200 14,100 円 × 12 ヶ月
消耗品	培地	686,400 (7,000 L × 33 回 × 2 + 1,100 L × 33 回 × 2) × 1.3 円 / L
	CO ₂	840,000 3日に 7,000 L タンク1 本 / 7,000 円
	消耗品投資財	3,000,000 POC実績より
修繕維持費	設備メンテナンス	2,600,000 設備総額に対する割合 2 %
外注費	凍結乾燥 (一丸ファルコス)	6,996,000 濃縮物 200 kgあたり 80 万円
	ソフトカプセル製造、ボトル充填 (三生医薬)	12,705,000 1 ボトルあたり 847 円 (ソフトカプセル 180 粒、ボトル充填、ラベル貼り付け、当社までの返送料込み)
減価償却費		15,071,469
製造原価		60,915,939
生産可能ボトル本数		16,000
ボトル 1 本あたり原価		3,807

6.1.2 販売単価設定

販売単価を設定するにあたって、フィリップ・コトラー、ケビン・レーン・ケラー「コトラー&ケラーのマーケティング・マネジメント¹⁾」による価格設定方法を参考にパプロバの価格設定方法を検討した (表 6-3)。コトラーらによると、価格設定方法は 6 種類に分類できる。パプロバでは、前項において原価を算出したので、ここに販管費などを載せて十分な営業利益を確保する必要がある。そこで、マークアップ価格設定が前提となる。そして、ターゲットリターン価格設定および知覚価値価格設定も最終的に価格を設定する際には重要なファクターとなると考えられる。

表 6-3 価格設定方法の選択

出所：フィリップ・コトラー、ケビン・レーン・ケラー「コトラー&ケラーのマーケティング・マネジメント」¹⁾を参考に筆者作成

No.	価格設定方法種類	内容	パプロバへの適用
1	マークアップ価格設定	製品のコストにマージンをのせて価格を設定する。一般に利益率を10%や20%と設定し、コストからマークアップ価格を設定する。	○
2	ターゲットリターン価格設定	目標とする投資回収率 (ROI)をベースに価格を設定するもので、次の公式を用いる。 ターゲットリターン価格=単価コスト+ (期待投資収益率×投下資本) /販売数量	△
3	知覚価値価格設定	顧客がその製品にどの程度の支払いを考えているかを前提にして価格を設定する。トヨタ自動車では古くから、まず知覚価値価格を設定し、そこからコスト削減に取り組んできた。	△
4	バリュー価格設定	コストパフォーマンスの高い価格設定を意識的に行い、顧客ロイヤルティを勝ち取るようとする考え方。プライベートブランドで広く採用されている。	×
5	現行レート価格設定	競合他社の価格を参考にして、より競争的な価格設定を行う方法。ただし、この手法は低価格競争の泥沼に陥るリスクもある。	×
6	オークション型価格設定	オークションを用いた価格設定。インターネットの普及で日本でも一般的に見られるようになってきた。	×

コトラーは、価格設定のステップは大きく6つの段階があると述べている。表6-4にその6つのステップとその内容、そして、パプロバへの適用についてまとめた。

表 6-4 価格設定のステップ

出所：コトラーのマーケティング戦略 54²⁾ P68 を参考に筆者作成

No.	価格設定のステップ	内容	パプロバへの適用
1	価格設定目的の明確化	企業が生き残りをかけているのか？または円滑な市場浸透を目的としているのかなど目的を明らかにする。	円滑に市場浸透を目的とし、知名度の向上を図りたい。
2	需要の判断	製品の需要および価格弾力性を分析する。	需要は多いと考えている。高額所得者をターゲットとし、顧客ロイヤルティを醸成予定であるので、価格弾力性はある。
3	コストの評価	製品の原価を算出。	原価計算の結果、現設備でフル生産した場合の生産量でサプリを生産した場合、ボトルあたりの原価は3,807円となる。この原価をベースに販売単価検討すると、25%原価率で販売単価15,228円、40%原価率で販売単価9,518円、60%原価率で販売単価6,345円である。
4	競合他社のコストや価格、オファーの分析	競合他社の設定価格や、他社商品が持つ価値を分析し、自社商品の価値が他社製品を上回るなら高価格帯を提示できる可能性あり。	競合他社の同様商品の価格帯は4,000円から10,000円の間であるので、できるだけこの価格帯に近づけたいが、自社商品の価値が他社製品を上回る前提で高価格帯を提示する。
5	価格設定方法の選択	6種類の価格設定方法の中から選択する。	マークアップ価格設定方法が現時点では妥当であると考えている。また、知覚価値価格設定についても検討して、最終価格を決定する。
6	最終価格の選択	選定した価格設定方式により絞り込まれた価格帯から、最終的な価格を選定する。	定価は原価率25%の15,200円として、キャンペーン価格や特別割引で原価率40%の9,500円や原価率60%である6,300円を適用する。

以下、上記のステップ毎に考察する。

①価格設定目的の明確化

パプロバについては、新素材であることより、円滑に市場に浸透させ、知名度を向上させることが最重要であると考えている。

②需要の判断

製品の需要としては、パプロバは新素材、新商品であるために、この商品への需要は今後のテーマであるが、外部環境分析から、人々の健康意識が向上している状況下、健康寿命の向上に貢献できるサプリメント（例えばダイエットや生活習慣病の改善など）には大きな需要があると考えている。

③コストの評価

前項での原価計算により、パプロバ・エクササイズ・プラスの1ヶ月分1ボトルの原価が約3,800円となる。一般的な健康食品通販会社は、原価率20% - 30%で販売価格設定を設定するとの情報がある（筆者による健康補助食品通販会社担当者へのヒ

アリングより)。この情報を根拠として原価率 25 %でパプロバの販売単価を算出すると、15,200 円となる。また、参考値として原価率 40 %で算出すると 9,500 円、原価率 60 %で算出すると 6,300 円となる。

④競合他社のコストや価格、オファーの分析

ドラッグストアやコンビニエンスストアで販売されている健康補助食品の価格帯は 1,000 円から 3,000 円のものが多い。一方、通信販売で売られている健康補助食品、例えばサントリーのセサミン EX や武田薬品の緑の習慣（ユーグレナ使用）などは、4,000 円から 6,000 円の価格帯にある。更に、高級ラインに入る商品であれば、例えば日健総本社のドナリエラ（微細藻類のドナリエラを使用したサプリ）のように 1 万円を超える商品も存在する（表 6-5）。フコキサンチン に訴求した商品では 1 ヶ月分 6 万円を超える商品も存在する。

⑤価格設定方法の選択

先に述べたようにマークアップ価格設定を前提として、ターゲットリターン価格設定および知覚価値価格設定も考慮する。

定価については、ここでは一般的な健康補助食品会社の例に倣って原価率 25 %である 15,200 円を採用する。この価格は健康補助食品としては高めの設定ではあるが、実際の販売場面においてはキャンペーンや特別割引きを併用して販売していくことを想定すると、定価についてはこの高めの設定で良いと考えている。

表 6-5 健康補助食品販売価格の比較

メーカー	サントリー	武田薬品	フジヘルスプランニング	日建総本社
商品名	セサミン EX	緑の習慣 DHA・EPA	アスリード	ドナリエラ ハードカプセル
写真				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 90 粒入り ビタミンE / 55.0mg、セサミン / 10 mg、 トコトリエノール / 2mg 	<ul style="list-style-type: none"> 180 粒入り 6 カプセル (3.3 g) あたり (ユーグレナグラシリス 501.0 mg / DHA 310.5 mg / EPA 91.8 mgを含む) 	<ul style="list-style-type: none"> 40 粒入り × 3 箱、1 日 4 粒設計、1 ヶ月分 フコキサンチン : 12 mg / 1粒 	<ul style="list-style-type: none"> 60 粒設計、1 日2 粒-3 粒設計、1 ヶ月分 ベータカロチン含有ドナリエラパーダウィル粉末、βカロテン 19,100 μg
価格	4,200 円 (税抜)	5,658 円 (税抜)	60,000 円 (税抜)	10,800 円 (税抜)

6.1.3 損益計算書作成における前提条件

パプロバ・エクササイズ・プラスについて、先ず5年分の損益計算書を作成して損益のシミュレーションを行った³⁾。

1) 売上に関する前提条件

パプロバ・エクササイズ・プラスの1ヶ月分ボトルの販売本数計画を表6-6に示す。

2020年度は、販売開始時期が同年12月となる予定であるので、500本の設定としている。2021年度は前年度の10倍の設定として5,000本とした。広告宣伝の策の効果を確認しながらの販売とする。ここまでは、2019年度に試験生産した濃縮物を使用し、のボトル製造とする。2022年度は、現設備でフル生産できる16,000本のうち15,000本を設定した。2023年度には、現設備にLED照明システムを増設し、生産量を向上させ、生産される約24,000本のうち20,000本を販売する計画とした。2024年度は生産可能本数すべてを販売する計画とした。販売単価は、15,200円(定価)と9,500および6,300円の3パターンで検討した。

表 6-6 販売本数計画

	2020年度 (2021年3月期)	2021年度 (2022年3月期)	2022年度 (2023年3月期)	2023年度 (2024年3月期)	2024年度 (2025年3月期)
販売本数	500 本	5,000 本	15,000 本	20,000 本	24,000 本
設定根拠	<ul style="list-style-type: none"> ● 2019年度POCにて生産した濃縮物冷凍品を使用 ● 12月以降販売開始であるので、目標数を500 本に設定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 引き続き2019年度POCにて生産した濃縮物冷凍品を使用 ● 広告宣伝など効果を確認しながらの販売となるので、前年度の10 倍の5,000 本に設定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現設備での生産を再開 ● 年間生産可能本数が16,000 本 ● 前年度の3 倍の販売本数を目標とした 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現設備にLED照明システムを増設 ● 生産可能本数は約24,000 本 ● 前年度の目標数から5000 本増加させて20,000 本に設定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生産可能本数をすべて販売するという設定とした。

2) 製造原価に関する前提条件

2020 年度、2021 年度は生産要員 2 名とし、2022 年度からは生産要員を 1 名追加雇用。その後 2024 年度まで生産は 3 名体制を維持する（表 6-7）。

2020 年度および 2021 年度は、PBR を稼働させず 2019 年に生産した在庫分を使うものとする。

2022 年度末に現生産設備（7,000L タイプ）に LED 照明装置を増設し、2023 年度より稼働させる。増設にかかる費用は 2,240 万円として、減価償却費は定率法とし、定率償却率は 0.25 とする。

表 6-7 人員および設備投資計画

	2020年度 (2021年3月期)	2021年度 (2022年3月期)	2022年度 (2023年3月期)	2023年度 (2024年3月期)	2024年度 (2025年3月期)
人員計画	(生産) 2 (販管) 1	(生産) 2 (販管) 1	(生産) 3 (販管) 2	(生産) 3 (販管) 2	(生産) 3 (販管) 2
新規雇用人員	無し	無し	<ul style="list-style-type: none"> ● 現生産設備におけるフル生産を開始するにあたり生産現場作業員を1名増員 ● マーケティング、プロモーション担当者を1 名増員 	無し	無し
設備投資計画	無し	無し	<ul style="list-style-type: none"> ● 年度末に現生産設備（7,000 L タイプ）にLED 照明装置を増設 ● 2,240 万円調達（融資） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 4/1よりLED照明装置を増設した生産設備で生産 	無し

3) 販売及び一般管理費に関する前提条件

2022 年度は、1 名増員（マーケティング、プロモーション）する設定とした。

広告宣伝費は、一般的な健康補助食品通販会社の設定では、売上の30%を広告宣伝費として設定することが多いという情報を得ている（筆者による健食通販企業担当者への直接ヒアリングより）。また、初年度については、ウェブサイト作成やプロモーションに費用がかかるので売上の50%程度を計上するということである。

よって、本損益計算書における広告宣伝費は、2020年度については売上の50%を、それ以降の年度は売上の30%として計上した。

6.1.4 損益計算書

損益計算書は、売上、費用、利益・損失をまとめたもので、事業および会社の収益力を見積もるものである。先に示した前提条件に基づき、下記の通り3つのケースで損益計算書を作成した。表6-8に定価設定である原価率25%の15,200円で販売した場合、表6-9に原価率40%の9,500円で販売した場合、また、表6-10に原価率60%の6,300円で販売した場合の損益計算書を示す。

2020年度については、販売開始が12月以降となり、販売目標数も少ないので販売単価15,200円、9,500円および6,300円の場合のすべてにおいて営業損益および償却前営業損益ともに赤字となる計画である。ただし、ここではパブロバ事業のみの損益を示しているために赤字が計上されているが、実際にはこの赤字分については既存の受託事業で補う計画である。販売単価15,200円の場合は2021年度以降、9,500円場合には2022年度以降、販売単価6,300円の場合には2023年度以降に営業損益が黒字に転じる計画である。

定価は15,200円とするが、キャンペーンや特別割引では6,300円や9,500円の販売単価とする予定である。しかし、6,300円の単価を多用すると収益性が悪化するのので、できる限り、定価に近い価格で販売できるようブランディングとプロモーションを行う計画である。

本商品については、オンリーワン素材であることをもって独自のポジショニングをし、高価格商品でも売れるブランディング、プロモーションを行っていくが、売上そして収益率を向上させる方法については検討するべきで、次の2つの方法が考えられる。①少量で付加価値の高い商品開発を行う、②生産量を増加させ原価を下げる。

①については、パブロバの場合、開発開始当初は高付加価値品としてフコキサンチンを精製して純品での販売を企画していたが、海外を含め競合が多く存在しており、また、コモディティ化も進みつつあり、価格競争に入っていくことが予想されたのでこの案は中止した。そこで、パブロバというオンリーワン素材として展開することによって独自のポジションを獲得することにした。そのためには、パブロバを使った高

付加価値品として検討する必要がある。加えて現設備での生産量で収益率の向上が狙え、かつ供給量が少量で良いものということで検討した結果、抽出物としての化粧品原料が最も現実的であると考えられた。本件は、大手化粧品メーカーおよび製薬会社と共同開発を行うことが決定している。共同で化粧品原料を開発し、両社には原料として供給する予定である。現時点では、使用に適した抽出物量などが検討できていない状態のため、損益計算までは至っていない。本件については引き続き検討を継続してゆく。

②の生産量を増加させる案については、現状で保有しているデータをもってシミュレーションが可能であるので、次項において検討を行う。ただし、OP社で生産設備を増強して増産するということは想定していない。基本的には、微細藻類素材生産からBtoC事業までを行う計画のある企業に、事業を売却もしくはライセンスアウトして相手先で実施することを想定している。

表 6-8 損益計算書：ケース 1 販売単価 15,200 円（原価率 25 %）

(単位：百万円)	2020年度 (2021年3月期)	2021年度 (2022年3月期)	2022年度 (2023年3月期)	2023年度 (2024年3月期)	2024年度 (2025年3月期)
売上高	8	83	249	331	398
製造原価	40	39	61	72	71
人件費	6	6	10	10	10
水道光熱費	1	1	5	6	6
地代家賃	4	4	4	4	4
リース	1	1	1	1	1
消耗品	1	1	5	5	5
修繕維持費	1	1	3	3	3
外注費	2	6	20	27	27
減価償却費	27	20	15	17	16
売上総利益	-32	44	188	259	327
(粗利益率)	-387%	53%	75%	78%	82%
販売管理費	12	37	105	134	158
人件費	7	7	14	14	14
広告宣伝費	4	23	68	91	109
送料 (BtoC)	1	7	21	27	33
諸経費	1	1	2	2	2
営業損益	-44	7	83	125	169
(営業利益率)	-531%	8%	33%	38%	42%
(償却前営業損益)	-17	27	98	142	184
支払い利息	0	0	0	0	0
経常損益	-44	7	83	125	169
税引き前損益	-44	7	83	125	169
法人税等 (税率30.62%)	0	0	14	38	52
当期純損益	-44	-37	69	87	117

表 6-9 損益計算書：ケース 2 販売単価 9,500 円（原価率 40 %）

(単位：百万円)	2020年度 (2021年3月期)	2021年度 (2022年3月期)	2022年度 (2023年3月期)	2023年度 (2024年3月期)	2024年度 (2025年3月期)
売上高	5	54	163	217	261
製造原価	40	39	61	72	71
人件費	6	6	10	10	10
水道光熱費	1	1	5	6	6
地代家賃	4	4	4	4	4
リース	1	1	1	1	1
消耗品	1	1	5	5	5
修繕維持費	1	1	3	3	3
外注費	2	6	20	27	27
減価償却費	27	20	15	17	16
売上総利益	-35	15	102	145	190
(粗利益率)	-642%	28%	63%	67%	73%
販売管理費	10	29	79	100	117
人件費	7	7	14	14	14
広告宣伝費	2	14	43	57	68
送料 (BtoC)	1	7	21	27	33
諸経費	1	1	2	2	2
営業損益	-45	-13	23	45	73
(営業利益率)	-835%	-24%	14%	21%	28%
(償却前営業損益)	-19	7	38	62	89
支払い利息	0	0	0	0	0
経常損益	-45	-13	23	45	73
税引き前損益	-45	-13	23	45	73
法人税等 (税率30.62%)	0	0	0	3	22
当期純損益	-45	-13	23	42	51

表 6-10 損益計算書：ケース 3 販売単価 6,300 円（原価率 60 %）

(単位：百万円)	2020年度 (2021年3月期)	2021年度 (2022年3月期)	2022年度 (2023年3月期)	2023年度 (2024年3月期)	2024年度 (2025年3月期)
売上高	4	38	115	153	184
製造原価	40	39	61	72	71
人件費	6	6	10	10	10
水道光熱費	1	1	5	6	6
地代家賃	4	4	4	4	4
リース	1	1	1	1	1
消耗品	1	1	5	5	5
修繕維持費	1	1	3	3	3
外注費	2	6	20	27	27
減価償却費	27	20	15	17	16
売上総利益	-37	-1	54	81	113
(粗利益率)	-952%	-1.8%	47%	53%	62%
販売管理費	10	24	65	81	94
人件費	7	7	14	14	14
広告宣伝費	2	9	28	38	45
送料 (BtoC)	1	7	21	27	33
諸経費	1	1	2	2	2
営業損益	-46	-24	-11	0	19
(営業利益率)	-1205%	-64%	-9%	0%	10%
(償却前営業損益)	-19	-4	4	17	35
支払い利息	0	0	0	0	0
経常損益	-46	-24	-11	0	19
税引き前損益	-46	-24	-11	0	19
法人税等 (税率30.62%)	0	0	0	0	0
当期純損益	-46	-24	-11	0	19

6.1.5 培養水量 200 トンに増設した場合のシミュレーション

現設備の生産用 PBR の水量は、7 トンが 2 基で 14 トンである。今回の生産設備増設のシミュレーションにおいては、水量を 200 トンに増大させた場合で検討を行った。表 6-8 に培養水量 200 トン設備に増設する場合に必要な投資項目および必要となる金額をまとめた。培養水量 200 トン設備には 10 億円の設備投資が必要となると試算された（表 6-10）。

表 6-10 培養水量 200 トン設備に増設する場合に必要な投資項目

品目	能力	金額 (億円)	備考
フォトバイオリアクター	生産フェーズ 200 ton	3	現設備設計、施工会社である、英国VariconAqua社にて作成した200 ton水量での設備見積もり参照
グリーンハウス、処理用建屋	1ヘクタール	3	オランダ式高屋根タイプ
加熱殺菌装置	4,000 L / hr 処理	0.5	殺菌処理
連続遠心機	4,000 L / hr処理	0.5	藻体濃縮
地下海水タンク (冷却水熱交換併用)、淡水、薬洗浄液用タンク	20 ton×4~	1	リアクター冷却水熱交換兼用海洋深層水タンク、海水希釈・洗浄用淡水タンク、薬液洗浄液用タンク
排水処理タンク	20 ton~	1	藻体回収後廃液処理用
その他		1	海水濾過、冷凍室、発電設備、基礎、電気、配管工事、ポンプなど
合計		10	

表 6-11 に培養水量 200 トン設備に増設した場合の乾燥パウダー量およびそれを用いて生産できるサプリメントボトル (ソフトカプセル 180 粒 1 ヶ月分) の数量を示した。乾燥パウダーは、年間で 2,245 kg 生産可能で、サプリメントボトルは 249,444 本生産可能であると試算された。

表 6-11 培養水量 200 トン設備に増設した場合の生産量

項目	単位	数量	備考
回収時藻体濃度 (夏場)	g / L / day (DW)	0.098	2019 年度実生産データより算出 (4-11月: 夏場)
回収時藻体濃度 (冬場)	g / L / day (DW)	0.080	2019 年度実生産データより算出 (12-3月: 冬場)
生産用PBR水量	L	200,000	10,000L × 20 基
年間回収回数 (夏場)	回	240	4月-11月: 1 基あたり、月に1.5 回 × 20 基 × 8 ヶ月 = 240 回
年間回収回数 (冬場)	回	90	12月-3月: 1 基あたり、月に1.5 回 × 20 基 × 3ヶ月 = 90 回、1ヶ月間は休止
1回あたり培養日数	日	14	
藻体乾燥重量 (理論値: 夏場)	kg	3,306	培養液中の乾燥重量からの理論値
藻体乾燥重量 (理論値: 冬場)	kg	1,009	培養液中の乾燥重量からの理論値
藻体乾燥重量 (理論値合計)	kg	4,315	
回収時歩留まり	%	73	回収時、淡水での洗浄時のロス (現設備での実生産データより)
回収量予想値 (藻体乾燥重量)	kg	3,167	冷凍保管物中の藻体乾燥重量
凍結乾燥時歩留まり	%	71	
年間生産量 (乾燥パウダー) : 乾燥処理後	kg / year (DW)	2,245	
年間生産可能ボトル数	本	249,444	1 粒あたり乾燥パウダー 45 mg充填、1 ヶ月分180 粒 / ボトル設計

249,444 本すべてを販売するという仮定で、販売単価を 6,300 円とした場合で損益を計算した (表 6-12)。なお、製造原価の要員数については 8 人 (現設備で試算では 3 人)、販売及び一般管理費における、要員数は、3 人 (現設備での試算では 2 人) と設定し、消耗品や光熱水費などは現設備を用いたベンチスケール試験で得られたデー

タを根拠として算出した。なお、販売及び一般管理費における広告宣伝費は売上の30%に設定した。

売上は、生産したサブリタイプボトルが全て売れたケースで算出している。販売単価6,300円の場合は売上高が19億円、営業損益は3.8億円、償却前営業損益は6.3億円と計算された。

前項で述べたように、OP社においては、10億円の投資を行って生産設備を増大させることは想定していないが、パプロバ事業を購入もしくはライセンスインする企業があれば、その企業での実施を想定している。そこで、対象企業にとって投資効果があるかどうかを判断する材料としてROI（投資収益率）を算出した。ROIとは、償却前営業利益を投資金額で割って算出するものである。今回は、企業がパプロバ事業を購入するという前提として、パプロバ事業購入にかかる投資額を2.7億円と設定し（2.7億円の根拠は事項で詳細を示す4年周期の開発にかかる費用合計と同額）、設備分を合わせた合計投資金額を12.7億円として計算を行った。その結果、販売単価6,300円の場合のROIは49%となった。通常ROIは20%以上で投資価値ありと判断されるので、2年半弱で投資分が回収できる計算となり、投資効果は高い事業であると判断される数値だと考えらえる。

表 6-12 損益計算書およびROI（培養水量 200 トン設備に増設した場合）

	(単位：百万円)	販売単価6,300円
売上高		1,913
製造原価		517
人件費		26
水道光熱費		53
地代家賃		4
リース		2
消耗品		31
修繕維持費		20
外注費		281
減価償却費		100
売上総利益		1,396
(粗利益率)		73%
販売管理費		868
人件費		35
広告宣伝費		471
送料 (BtoC)		342
諸経費		20
営業損益		528
(営業利益率)		28%
① (償却前営業損益)		628
支払い利息		0
経常損益		528
税引き前損益		528
法人税等 (税率30.62%)		162
当期純損益		367
②合計投資額 (設備投資額10億円+パプロバ 事業購入費2.7億円)		1,270
③ROI		49%

$$\text{③ ROI (\%)} = (\text{① 償却前営業損益} / \text{② 合計投資額}) \times 100$$

6.2 自社商品開発・ライセンス事業における財務計画

6.2.1 財務計画の前提条件

パプロバについては、単体の事業として事業化検討を行ない、OP社の事業として、また、売却先およびライセンスアウト先における事業として成立する可能性は確認できたが、OP社において、継続的に生産活動およびBtoC販売活動を行うのは現実的ではないと考えている。OP社全体のビジネスとして考えた場合、OP社の探索プラットフォームを用いて見出したシーズを、継続的にバリューチェーンの中流から下流にかかる開発を行い、事業化検討が完了した時点で売却もしくはライセンスアウトしていくモデルがベストプランであると考えている。

また、上記モデルにおいては、開発したシーズの生産性を向上できる企業および最終商品企画や販売力に優れた企業と予めアライアンスを締結することができれば、OP社は上流の新規シーズ探索および発見されたシーズの事業化検討までの開発に集中することが可能となり、全体として大きなシナジーを発揮できると考えている。

以下、図6-1に自社商品開発・ライセンス事業を加えたOP社のビジネスモデル案を示す。

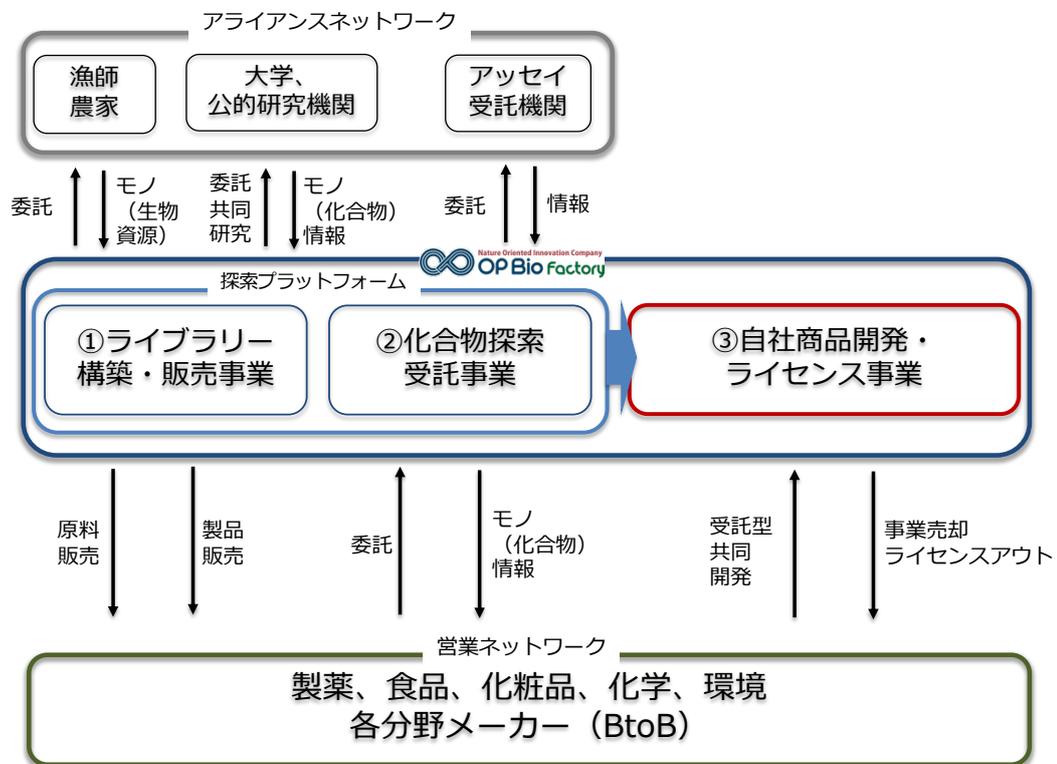


図6-1 ビジネスモデル（自社商品開発・ライセンス事業）

以下に自社商品開発・ライセンス事業のモデルケースをパブロバの開発例を参考に設定し、財務計画を立案した。

パブロバの開発において、シーズ発見後、生産プロセス検討開発を開始してから4年目で商品販売開始までが完了した。よって、4年を一周期として、以下の前提で開発スケジュールを設定した（表 6-13）。

- 開発シーズは、OP社の探索プラットフォームにて発見したものを使用する。
- パブロバの例から、ラボスケール検討、ベンチスケール検討、事業化検討の各フェーズの期間はそれぞれ1年程度であったので、1年目にラボスケール検討、2年目にベンチスケール検討、3年目に実際のサプリー試作などの事業化検討、そして4年目に導出するという1セット4年の計画とした。
- 1年おきに1つつシーズの開発を開始していく設定とした。
- フォトバイオリクター等の設備は、実際には導入済みであるが、本モデル検討にあたっては、新たに導入する前提とした。

表 6-13 自社商品開発スケジュールおよび売上高

単位 (百万円)	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目	19年目	20年目	
シーズ1	60	80	30	100				50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
シーズ2			60	80	30	100				50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
シーズ3					60	80	30	100			50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
シーズ4							60	80	30	100			50	50	50	50	50	50	50	50	50
シーズ5									60	80	30	100			50	50	50	50	50	50	50
シーズ6										60	80	30	100			50	50	50	50	50	50
シーズ7													60	80	30	100				50	50
シーズ8														60	80	30	100				
シーズ9															60	80	30	100			
シーズ10																			60	80	
売上高	60	80	90	180	90	180	140	230	190	280	240	330	290	380	340	430	390	480	440	530	
受託型共同開発	60	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	80
マイルストーン				100		100		100		100		100		100		100		100		100	100
ロイヤリティ							50	50	100	100	150	150	200	200	250	250	300	300	350	350	350

: 受託型共同開発収入
 : マイルストーン収入
 : ロイヤリティ収入

6.2.2 損益計算書

前項にて設定した条件で、損益計算書を立案する。立案にあたり以下を前提条件として設定する。

(売上に関する前提条件)

- シーズ開発は、企業との受託型共同開発を前提とする。シーズ1件につき、4年周期で開発から導出を行う。4年周期の1年目と2年目には、神戸大学発ベンチャーで合成生物学的手法を用いたバイオファウンドリ企業であるバックス・バイオイノベーション（以下、「バックス社」という）において株の増殖性や有用化

合物生産性向上を並行して行う計画とした。初年度は売上を6,000万円とした。内3,000万円はバッカス社への外注費である。2年目はベンチスケール検討にコストがかかるので、8,000万円（内3,000万円はバッカス社への外注費）、3年目は3,000万円を受け取る設定とした。導出年度の4年目は無しとした。

- 各シーズ開発期間の4年目に導出し、マイルストーン収入として導出時に1億円を受け取る設定とした。マイルストーン収入は初回1回のみとし、導出後3年目から売上の5%をロイヤリティとして受け取る設定とした。導出先での売上は年間20億円と仮定して、その2.5%の5,000万円が毎年入ってくる計算とした
- この売上に関する前提条件の妥当性について以下に説明する。5.1.5項において設備投資のための費用10億円とパプロバ 事業購入費として2.7億円の合計12.7億円の投資を行っても、収益が十分確保できることが確認できており、投資価値があると結論付けた。設定したパプロバ 事業購入費としての2.7億円は、上述した4年間の受託型共同開発費合計額と同額であるので、ここでの売上金額設定としては妥当であると推察される。また、導出後2年間、商品販売に向けた商品企画やマーケティングを行った上で導出後3年目に販売開始となる設定としているが、損益計算において販売開始年度の営業利益が4.81億円出る計算となっており、その商品企画やマーケティング費用を含めても許容範囲内の支出であると推察される。また、売上の2.5%分のロイヤリティ支出については、導出先での売上が19億円とした場合、ロイヤリティは約4,800万円であるので、こちらについても許容範囲内の支出であると推察され、売上金額設定としては妥当な金額であると考えられる（表6-14）。

表 6-14 導出先にてパブロバ 事業を行った場合の損益計算

	(単位：百万円)	販売単価6,300円
売上高		1,913
製造原価		565
人件費		26
水道光熱費		53
地代家賃		4
リース		2
消耗品		31
修繕維持費		20
外注費		281
減価償却費		100
ロイヤリティ		48
売上総利益		1,348
(粗利益率)		70%
販売管理費		868
人件費		35
広告宣伝費		471
送料 (BtoC)		342
諸経費		20
営業損益		481
(営業利益率)		25%
(償却前営業損益)		581
支払い利息		0
経常損益		481
税引き前損益		481
法人税等 (税率30.62%)		147
当期純損益		333
②合計投資額 (設備投資額10億円+パブロバ 事業購入費2.7億円)		1,270
③ROI		46%

$$\text{③ ROI (\%)} = (\text{① 償却前営業損益} / \text{② 合計投資額}) \times 100$$

- 受託型共同開発においては、2月末に成果品として報告書を納品する。よって、仕掛品は無しとした。また、4月に当該年度分の半額を請求し、残りの半額は報告書納品時に請求、3月末に入金の計画としたので売掛金は無しとした。
- 当社からの成果品は、確立した培養プロセス（報告書）、機能性等関連データ（報告書）、生産株、関連知財（出願のみ）、商材試作データ（報告書、サンプル）となる。よって、棚卸資産は無し。

(製造原価の前提条件)

- パプロバの開発例を設定の根拠とした。
- 人員計画は、1年目は研究員2名と間接要員1名、2年目、3年目に研究員を1名ずつ追加して、3年目以降は研究員4名、間接要員1名の計5名体制とした。
- 1年目に、ベンチスケールフォトバイオリアクター（パプロバで使用しているものと同じ仕様）を導入して稼働可能な状態にした。
- 減価償却費は耐用年数8年として、定額法で償却していく。
- 水道光熱費、外注費および消耗品などは、パプロバのベンチスケール試験の実績を元に算出、なお、ベンチスケール検討においては、リアクターを月に1回、年間12回運転して検討することとした。
- 修繕費は、フォトバイオリアクター関連機材の約2%を計上し、3年目以降ベンチスケールの検討を行う年は毎年計上した。
- 成分分析費および安全性試験にかかる費用は、それぞれ100万円と370万円を計上し、2年目以降ベンチスケールの検討を行う年は毎年計上した。
- 4年周期の1年目と2年目には、株の生産性向上を行う予定であるので、バックカス・バイオイノベーションに年間3,000万円の外注費を計上した。

(販売および一般管理費の前提条件)

- 間接要員1名とした。
- 特許調査270万円および特許出願100万円を、2年目以降ベンチスケールの検討を行う年は計上した。
- サンプル送料などの諸経費として100万円を毎年計上した。

上記を前提にて立案した損益計算書を以下表6-15に示す。

表 6-15 損益計算書

(1年目～10年目)

(単位：百万円)	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
売上高	60	80	90	180	90	180	140	230	190	280
受託型共同開発費	60	80	90	80	90	80	90	80	90	80
マイルストーン	0	0	0	100	0	100	0	100	0	100
ロイヤリティ	0	0	0	0	0	0	50	50	100	100
製造原価	67	83	76	89	76	89	76	89	76	89
人件費	10	14	18	18	18	18	18	18	18	18
水道光熱費	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
地代家賃	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
リース	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
消耗品	3	7	3	7	3	7	3	7	3	7
修繕維持費	0	0	0	3	0	3	0	3	0	3
外注費	30	35	30	35	30	35	30	35	30	35
減価償却費	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
売上総利益	-7	-3	14	91	14	91	64	141	114	191
(粗利益率)	-12%	-3%	15%	50%	15%	50%	46%	61%	60%	68%
販売及び一般管理費	8	12	8	12	8	12	8	12	8	12
人件費	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
特許関連経費	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
諸経費	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
営業損益	-15	-14	6	79	6	79	56	129	106	179
(営業利益率)	-25%	-18%	7%	44%	7%	44%	40%	56%	56%	64%
(償却前営業損益)	5	6	26	99	26	99	76	149	126	199
支払い利息	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
経常損益	-15	-14	6	79	6	79	56	129	106	179
税引き前損益	-15	-14	6	79	6	79	56	129	106	179
法人税等 (実行税率30.62%)	0	0	0	23	2	24	17	40	32	55
当期純損益	-15	-14	6	56	4	55	39	90	73	124

(11年目～20年目)

(単位：百万円)	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目	19年目	20年目
売上高	240	330	290	380	340	430	390	480	440	530
受託型共同開発費	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80
マイルストーン	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
ロイヤリティ	150	150	200	200	250	250	300	300	350	350
製造原価	76	89								
人件費	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
水道光熱費	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
地代家賃	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
リース	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
消耗品	3	7	3	7	3	7	3	7	3	7
修繕維持費	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3
外注費	30	35	30	35	30	35	30	35	30	35
減価償却費	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
売上総利益	164	241	214	291	264	341	314	391	364	441
(粗利益率)	68%	73%	74%	76%	78%	79%	80%	81%	83%	83%
販売及び一般管理費	8	12								
人件費	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
特許関連経費	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
諸経費	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
営業損益	156	229	206	279	256	329	306	379	356	429
(営業利益率)	65%	69%	71%	73%	75%	77%	78%	79%	81%	81%
(償却前営業損益)	176	249	226	299	276	349	326	399	376	449
支払い利息	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
経常損益	156	229	206	279	256	329	306	379	356	429
税引き前損益	156	229	206	279	256	329	306	379	356	429
法人税等 (実行税率30.62%)	48	70	63	85	78	101	94	116	109	131
当期純損益	108	159	143	194	178	228	212	263	247	298

6.2.3 貸借対照表

貸借対照表を立案するにあたり、以下を前提条件とした。

- 売掛金および仕掛品は無し、買掛金回転期間は1ヶ月とした。
- 初年度にベンチスケール生産設備（フォトバイオリクター、回収装置等）の設備投資を行う設定とした。設備投資金額はパブロバの実績から算出し、1.6億円とした。その後、9年目および17年目に初年度と同一額の1.6億円で設備を更新する計画とした。
- 初年度に設備投資分と運転資金を合わせて2億円の資金調達を行う設定とした。

上記を前提にて立案した貸借対照表を以下表 6-16 に示す。

表 6-16 貸借対照表

(1年目～10年目)

(単位：百万円)		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	
資産の部	資産合計	187.2	174.6	181.7	246.7	250.6	309.8	347.0	442.4	512.9	644.3	
	現預金	47.2	54.6	81.7	166.7	190.6	269.8	327.0	442.4	372.9	524.3	
	売掛金	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	仕掛品	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	固定資産	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	320.0	320.0	
	減価償却累計額	-20.0	-40.0	-60.0	-80.0	-100.0	-120.0	-140.0	-160.0	-180.0	-200.0	
負債・純資産の部	負債合計	2.1	3.7	4.9	7.9	7.8	12.2	10.6	16.4	13.4	20.7	
	買掛金	0.7	2.0	0.8	2.2	0.8	2.2	0.8	2.2	0.8	2.2	
	未払費用	1.4	1.7	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	
	その他の負債（消費税等）	0.0	0.0	2.1	3.7	4.9	7.9	7.8	12.2	10.6	16.4	
	純資産合計	185.1	170.9	176.8	238.7	242.8	297.7	336.4	426.0	499.4	623.6	
	資本金	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	
	資本剰余金	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	繰越利益剰余金	-14.9	-29.1	-23.2	38.7	42.8	97.7	136.4	226.0	299.4	423.6	
		負債・純資産合計	187.2	174.6	181.7	246.7	250.6	309.8	347.0	442.4	512.9	644.3

(11年目～20年目)

(単位：百万円)		11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目	19年目	20年目	
資産の部	資産合計	748.1	915.6	1,052.7	1,256.3	1,426.6	1,666.4	1,870.0	2,145.8	2,382.7	2,694.6	
	現預金	648.1	835.6	992.7	1,216.3	1,406.6	1,666.4	1,730.0	2,025.8	2,282.7	2,614.6	
	売掛金	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	仕掛品	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	固定資産	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0	480.0	480.0	480.0	480.0	
	減価償却累計額	-220.0	-240.0	-260.0	-280.0	-300.0	-320.0	-340.0	-360.0	-380.0	-400.0	
負債・純資産の部	負債合計	16.3	24.9	19.1	29.2	22.0	33.4	24.8	37.7	27.7	41.9	
	買掛金	0.8	2.2	0.8	2.2	0.8	2.2	0.8	2.2	0.8	2.2	
	未払費用	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	
	その他の負債（消費税等）	13.4	20.7	16.3	24.9	19.1	29.2	22.0	33.4	24.8	37.7	
	純資産合計	731.8	890.7	1,033.6	1,227.1	1,404.7	1,633.0	1,845.2	2,108.2	2,355.1	2,652.7	
	資本金	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	
	資本剰余金	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	繰越利益剰余金	531.8	690.7	833.6	1,027.1	1,204.7	1,433.0	1,645.2	1,908.2	2,155.1	2,452.7	
		負債・純資産合計	748.1	915.6	1,052.7	1,256.3	1,426.6	1,666.4	1,870.0	2,145.8	2,382.7	2,694.6

6.2.4 キャッシュフロー計算書

立案した損益計算書および貸借対照表を前提にキャッシュフロー計算書を立案した(表 6-17)。

表 6-17 キャッシュフロー計算書

(1年目～10年目)

(単位：百万円)	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
当期純利益	-14.9	-14.2	5.9	61.9	4.1	54.8	38.8	89.5	73.5	124.2
減価償却費	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
売掛金の増加	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
棚卸資産の増加	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
買掛金の増加	2.1	1.6	1.2	3.0	-0.2	4.4	-1.6	5.8	-3.0	7.2
営業CF	7.2	7.4	27.1	84.9	23.9	79.2	57.2	115.3	90.5	151.4
設備の取得	-160.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0
投資CF	-160.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0
資本金の増減	200.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
財務CF	200.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現預金の増減	47.2	7.4	27.1	84.9	23.9	79.2	57.2	115.3	-69.5	151.4
期首現金預金残高	0.0	47.2	54.6	81.7	166.7	190.6	269.8	327.0	442.4	372.9
期末現金預金残高	47.2	54.6	81.7	166.7	190.6	269.8	327.0	442.4	372.9	524.3

(11年目～20年目)

(単位：百万円)	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目	19年目	20年目
当期純利益	108.2	158.9	142.8	193.6	177.5	228.3	212.2	263.0	246.9	297.7
減価償却費	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
売掛金の増加	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
棚卸資産の増加	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
買掛金の増加	-4.4	8.6	-5.8	10.0	-7.2	11.4	-8.6	12.9	-10.0	14.3
営業CF	123.8	187.5	157.1	223.6	190.3	259.7	223.6	295.8	256.9	331.9
設備の取得	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0	0.0	0.0
投資CF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0	0.0	0.0
資本金の増減	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
財務CF	0.0	0.0	0.0	0.0						
現預金の増減	123.8	187.5	157.1	223.6	190.3	259.7	63.6	295.8	256.9	331.9
期首現金預金残高	524.3	648.1	835.6	992.7	1,216.3	1,406.6	1,666.4	1,730.0	2,025.8	2,282.7
期末現金預金残高	648.1	835.6	992.7	1,216.3	1,406.6	1,666.4	1,730.0	2,025.8	2,282.7	2,614.6

6.2.5 自社商品開発・ライセンス事業の価値評価 (DCF 法)

新事業を行うにあたり、資金調達や事業売却など検討する上で事業価値評価は重要な判断材料となる。現状の財務計画を前提とした事業価値を検討することで、事業戦略やアライアンス戦略などの更なる検討を行う上で重要な指標、ヒントを得ることができるので有用である。

事業価値評価の方法としては、純資産法に代表されるコストアプローチ、マルチプル法に代表されるマーケットアプローチ、ディスカウント・キャッシュフロー法

(DCF法)に代表されるインカムアプローチがある。今回検討を行う自社商品開発・ライセンス事業は新事業であるので、将来生み出す価値についての検討が必要である。よって、事業価値の評価については、上述の3法の中ではDCF法が適していると判断し、同法により20年目までの事業価値を求めた³⁾。

DCF法による事業価値を求めるにあたり、以下を前提条件とした(表6-18)。

- 前提として、先に立案した財務計画の数値を用いた。
- 資金調達には1年目に100%エクイティで行い、借入れは無しとした。
- リスクフリー・レートは、10年物国債の平均利回りとして3%とした。また、マーケット・リスクプレミアムは5%とした。
- β については、本事業はライセンス型であり、類似する上場企業として創薬ベンチャーが考えられたが、本事業は食品分野とすることとしているため、開発にかかる費用や成功報酬の額の算定など大きく乖離している。よって、ここでは、仮に1とした。
- 有利子負債の利率は5%とし、法人税率は30.62%とした。
- 自己資本コストの計算結果は8%となり、負債比率は0であることから加重平均資本コストは8%となり、この値を割引率とした。

表6-18 加重平均資本コスト(WACC)の前提数値と計算

出所：超入門企業価値経営³⁾を参考に筆者作成

	項目名	数値	設定根拠
Y_f	リスクフリー・レート	3%	10年物国債の平均利回りとして想定
Y_p	マーケット・リスクプレミアム	5%	過去の市場実績データ DCF法の実務における一般的なレベル
β	ベータ	1	類似企業をが見つからないので、ここでは仮に1とする。
Y_d	有利子負債の利率	5%	銀行借入れ金利
T	法人税率	30.62%	
E	株主資本価値	$E/D+E=1$	無借金の資本構成
D	有利子負債価値	$D/D+E=0$	

自己資本コストの計算 $Y_e = Y_f + Y_p \times \beta = 3\% + 5\% \times 1 = 8\%$

WACCの計算 $WACC = (E/D+E) \times Y_e + (D/D+E) \times Y_d \times (1-T) = Y_e = 8\%$

上記前提により算出された20年経過時の割引現在価値は7億6,530万円となった(表6-19)。次にターミナルバリューを下記の計算式で求めた。

ターミナルバリュー = 残存簿価 / (1+割引率)²⁰

残存簿価は8,000万円で、割引率は8%を適用した。その結果、ターミナルバリューは1,720万円となった。

よって、DCF法による事業価値は7億8,250万円となり、有利子負債の価値はゼロであるので、株主資本価値は7億8,250万円となった。ただし、これは、自社商品開発・ライセンス事業のみの価値評価の結果であり、OP社の既存事業であるライブラリー構築・販売事業および化合物探索受託事業についての価値評価は含まれていない。

表 6-19 DCF法による事業価値評価

(1年目～10年目)

(単位：百万円)	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
税引き後営業損益	-14.9	-14.2	5.9	61.9	4.1	54.8	38.8	89.5	73.5	124.2
減価償却費	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
売掛金の増減	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
棚卸資産の増減	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
買掛金の増減	2.1	1.6	1.2	3.0	-0.2	4.4	-1.6	5.8	-3.0	7.2
営業CF	7.2	7.4	27.1	84.9	23.9	79.2	57.2	115.3	90.5	151.4
設備の取得	-160.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0
投資CF	-160.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0
フリーキャッシュフロー	-152.8	7.4	27.1	84.9	23.9	79.2	57.2	115.3	-69.5	151.4
割引率 8%	1.08	1.17	1.26	1.36	1.47	1.59	1.71	1.85	2.00	2.16

A 割引現在価値	-141.5	6.4	21.5	62.4	16.3	49.9	33.4	62.3	-34.8	70.1
B ターミナルバリュー										
C DCF法による事業価値 A+B										
D 有利子負債の価値										
E 株主資本価値 C-D										

(11年目～20年目)

(単位：百万円)	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目	19年目	20年目
税引き後営業損益	108.2	158.9	142.8	193.6	177.5	228.3	212.2	263.0	246.9	297.7
減価償却費	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
売掛金の増減	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
棚卸資産の増減	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
買掛金の増減	-4.4	8.6	-5.8	10.0	-7.2	11.4	-8.6	12.9	-10.0	14.3
営業CF	123.8	187.5	157.1	223.6	190.3	259.7	223.6	295.8	256.9	331.9
設備の取得	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0	0.0	0.0
投資CF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-160.0	0.0	0.0	0.0
フリーキャッシュフロー	123.8	187.5	157.1	223.6	190.3	259.7	63.6	295.8	256.9	331.9
割引率 8%	2.33	2.52	2.72	2.94	3.17	3.43	3.70	4.00	4.32	4.66

A 割引現在価値	53.1	74.5	57.7	76.1	60.0	75.8	17.2	74.0	59.5	71.2	765.3
B ターミナルバリュー											17.2
C DCF法による事業価値 A+B											782.5
D 有利子負債の価値											0.0
E 株主資本価値 C-D											782.5

6.2.6 考察

今回の自社商品開発・ライセンス事業のモデルでは、1年目に資金調達を行い、設備を導入して、かつ開発に係る資金は、受託型共同開発で企業からの資金で事業を行う設定とした。評価の結果、投資価値がある事業であると考えられた。また、このモデ

ルでは設備を新規に導入する前提で評価を行なったが、既存の設備を使用する前提であれば、初年度の資金調達を行う必要は無くなり、さらに、価値が出てくると考えられる。一方、今回の検討ではパプロバ藻体を利用したサプリメントの例を根拠とした検討であったが、売上そして収益率を向上させる方法については検討するべきで、少量で付加価値の高い商品の開発を行うべきであると考えている。そうすることにより価値は向上するのではと考えている。

パプロバの場合、高付加価値品として抽出物としての化粧品原料や医薬品などへの適用が考えられる。化粧品原料については、すでに大手化粧品メーカーおよび製薬会社と共同開発を行うことが決定しており、開発後は両社に化粧品原料として供給する予定となっている。現時点では、使用に適した抽出物量などが検討できていない状態であるので、損益計算までは至っていないが、引き続き開発を継続し、事業性を見極めていく予定である。

今回検討したモデルの考察に戻り、生物資源ビジネスにおけるバリューチェーンの中下流に位置する企業と予めアライアンスを結ぶことができれば、①下流に位置する企業の資金でOP社がシーズを開発する、②中流に位置する生産プロセス開発・検討を行う企業で生産量を増加させる、③下流に位置する商品企画、販売を得意とする企業で販売するという流れが構築でき、それぞれの企業にとってのシナジーが発生することが予想され、OP社が目指す持続可能で強固なビジネスモデルの構築が実現できる可能性が高まると考えられる。

中流に位置する企業の候補としては神戸大学発ベンチャーのバックカス社が挙げられる。

下流に位置する企業としては、例えば製薬会社A社が挙げられ、現在アライアンス構築に向けた調整が進んでいるところである。製薬会社A社とは、パプロバ事業において、機能性表示食品としての開発、化粧品原料としての開発、また、パプロバ以外の微細藻類を中心とした生物資源全般を利用した商品開発における連携が開始されている。

次項で、具体的にバックカス社および製薬会社A社とのアライアンス戦略について検討する。

6.3 アライアンス戦略

6.3.1 OP社の提供価値

OP社の提供価値を、アライアンス先からの視点で図6-2にまとめた。

生物資源ビジネスにおけるバリューチェーン上での上流部分が OP 社の既存事業（①ライブラリー構築・販売事業、②化合物探索受託事業）にて活動している領域となり、中下流が新事業として開始した③自社商品開発・ライセンス事業（パプロバ事業含む）の活動領域となる。

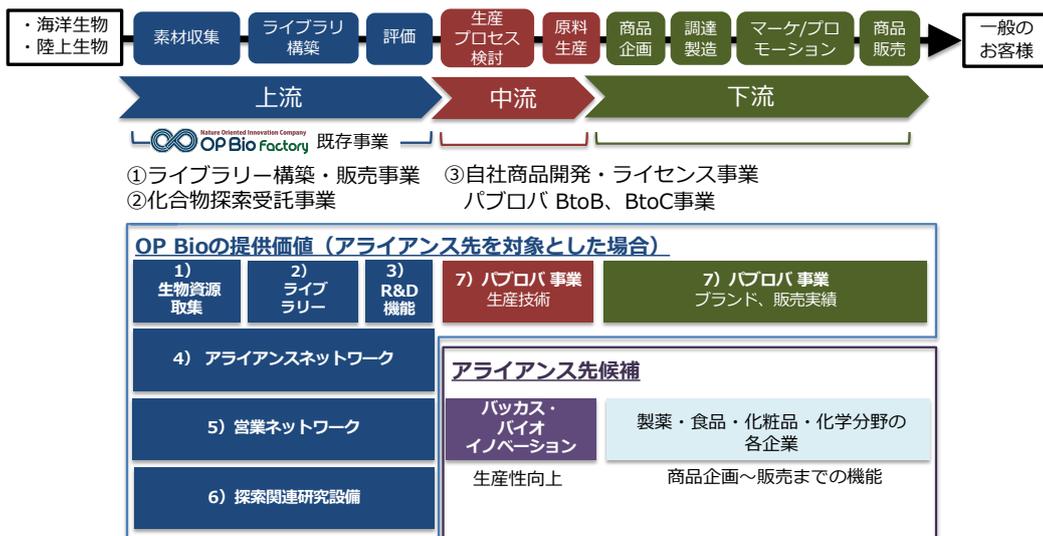


図 6-2 生物資源ビジネスにおけるバリューチェーンと OP 社の提供価値

表 6-20 に、それぞれの領域における OP 社の具体的な提供価値についてまとめた。それらは、1) 生物（遺伝）資源収集、2) ライブラリー、3) R&D 機能、4) アライアンスネットワーク、5) 営業ネットワーク、6) 探索関連研究設備、7) パプロバ事業に分類できる。アライアンス先候補として記載したハッカス社および製薬会社 A 社について、具体的な例として以下で検討を進めたい。

表 6-20 OP Bio 提供価値概要

項目	定性的価値の説明	
	内容	実績
1) 生物（遺伝）資源収集	<ul style="list-style-type: none"> 環境調査会社で培った全国に広がる素材収集（海洋、陸上）のプロフェッショナルのネットワーク 海洋生物は、浅海から深海までのサンプルを収集可能 	<ul style="list-style-type: none"> 100名（機関）以上のサンプリング協力コンタクト先構築 500地点以上でのサンプリング実績
2) ライブラリー	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリー構成（海洋生物、植物、微生物：放線菌、糸状菌、乳酸菌、酵母、微細藻類、抽出物、化合物） 伝承機能性情報データベース 抽出物含有化合物データベース 	<ul style="list-style-type: none"> 多くの企業での利用実績 Pavlovaを輩出している 自社研究による結果、創薬関連特許化合物3個（内2個は関係先で開発中）および共同研究先で論文化した化合物多数存在
3) R&D機能	<ul style="list-style-type: none"> 生物生態、評価、天然物化学、スケールアッププロセス検討（微細藻類）分野のプロフェッショナル人材が所属 天然物研究（医薬、食品、化粧品、化学、環境各分野）に必要な研究関連機材を保有、また、沖縄県保有設備を利用可能 多様なアッセイを実施可能（RI以外） クライアントの要望に寄り沿うきめ細やかな受託サービス提供 	<ul style="list-style-type: none"> シーズ探索業務を、延べ100社以上の企業、公的機関から受注 医薬、食品、化粧品、化学、環境と幅広い分野で幅広い評価手法での探索実績 きめ細やかなサービスが受け入れられた結果高リピート率を維持 自社ライブラリーを活用した化合物取得実績（2化合物は連携先と共同でPCT出願後、連携先で開発中） 自社ライブラリーから見出したPavlovaの事業化 営業ネットワークと合わせて構築された受託事業基盤
4) アライアンスネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> 沖縄を中心に全国の漁師、漁協、公的研究機関（大学、JAMSTECなど）および農業関係者とのネットワークを保有 アッセイ、微生物大量培養受託会社とのネットワーク 	<ul style="list-style-type: none"> 海、陸を問わない多様な生物資源サンプリング実績 自社では行えないアッセイや研究開発、スケールアップなど外部機関の連携実績
5) 営業ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> 専門研究者営業による営業機能を保有 100社以上との取引実績に基づいた効率的な直接営業 コスモバイオやフナコシなど中継ぎ業社との連携 	<ul style="list-style-type: none"> 100社以上の機関との直接取引口座を保有
6) 探索関連研究設備	<ul style="list-style-type: none"> 素材採取、抽出物作製、アッセイ、化合物精製・同定、スケールアップ検討など天然物の研究開発からスケールアップ検討（微生物、微細藻類）まで実施できる機材、設備を保有 沖縄県バイオ関連施設2箇所に入居していることで共通設備を利用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 自社保有設備、沖縄県施設の共通機器を利用することで天然物研究関連の多様な業務が可能となっている 沖縄県バイオ関連施設2箇所においてラボを賃借中（現有ラボ面積を今から新たに借りることは実質不可能） 沖縄ライフサイエンス研究センター裏手敷地にてフォトバイオリアクターを構築
7) Pavlova事業	<ul style="list-style-type: none"> 自社保有ライブラリーから見出した微細藻類Pavlovaを利用した事業 微細藻類の培養技術を利用した受託事業 	<ul style="list-style-type: none"> 世界で初めて、Pavlovaの商業規模での高密度大量培養に成功 健康食品素材としてのPavlovaの利用は世界初 Pavlovaの原料生産（自社）から最終商品（外注）まで生産フローを構築、販売 増産時の損益シミュレーション完了 商品開発、販売希望を表明している企業が複数存在 中国化学メーカーからPavlovaを扱いたいとのオファー 原料商社複数社からPavlovaを扱いたいとのオファー Pavlova以外の多様な微細藻類の培養実績 培養設備を用いて、Pavlova以外の株の培養受託事業も実施

バックス社のビジネスモデルは、統合型バイオファウンドリを利用して受託ビジネスを展開してゆくというものであるが、同社がこれから受託事業を構築していく上で、OP社の営業ネットワークを即戦力として活用できると考えている。また、バイオファウンドリを運用していく上で、例えば、特定の機能を持った新規酵素の探索などを行う場合、独自の生物（遺伝）資源ライブラリーにアクセスできることは大きなメリットとなる。

また、酵素を始め新規化合物探索に係る R&D 機能、関連設備を保有していることにより、その探索効率、スピードが向上する。更に、ライブラリーに目的の生物（遺伝）資源が存在しなかった場合、新規に野外から収集してくることも可能となる。バックス社の事業領域には競合企業が複数社存在するが、OP社の機能を吸収することにより、競合企業との差別化にも役立つと考えている。

次に、製薬会社 A 社は、医薬、スキンケア領域での事業展開を行なっているが、近年機能性食品など食の事業にも進出している。OP社の機能は上記各領域における新素

材の探索、そして、事業化に係る開発まで実施できることは有用であると考えている。

また、OP 社+バッカス社と製薬会社 A 社が連携することで、①OP 社がシーズを開発する、②バッカス社で生産量を増加させ、③製薬会社 A 社が商品企画、販売するというエコシステムが構築でき、それぞれの企業にとってのシナジーが発生することが予想される。

連携の具体的な方法としては、業務委託契約、共同研究契約、資本業務提携、および M&A などが考えられる。ここでは、OP 社をバッカス社が買収 (M&A)、そして製薬会社 A 社とはアライアンスを結ぶという想定で検討を進めてみたいと思う。

6.3.2 純資産法に基づいた企業価値評価

6.2.5 項では DCF 法を用いて、既存事業 (ライブラリー構築・販売事業、化合物探索受託事業) を除く自社商品開発・ライセンス事業のみについての価値評価を行なった。ここでは純資産法に基づき、のれん代を含めて、既存事業も含めた OP 社全体の価値評価を行ってみた。のれんとは、企業が保有する無形固定資産のことで、ブランド力や技術力、ノウハウなどを指す。

OP 社の場合、2020 年 3 月期の純資産は約 1 億円である。しかし、ここには無形固定資産、ブランド力、技術力、ノウハウは反映されていないので、のれん代も含めた検討を行ったので、以下に検討結果を示す (表 6-21)。

検討を行う上で、2 つのパターンで検討した。パターン 1 はライブラリーの価値を重要視したパターン、パターン 2 はライブラリーの価値を下げた価額設定としたパターンである。それぞれのパターンにおける価額の算出根拠詳細は、以下の各項目中に示した。

1) 生物 (遺伝) 資源収集

OP 社では、海洋を中心に全国の漁師や漁協、大学等のアカデミア、公的研究機関とのネットワークを構築しており、必要に応じて各地のサンプルを収集することが可能である。OP 社のベースは環境調査会社であるため、海洋に限らず陸上生物のサンプリングにおいてもネットワークを保有している。このネットワークは具体的価額を算出することが困難である。

2) ライブラリー

保有しているライブラリーは、微生物株、微細藻類株、抽出物（微生物、微細藻類、海洋生物、植物）、単離化合物で構成されている。価額を算出するにあたり、根拠として、OP社で実際に販売している価格を適用した。

微生物および微細藻類株については、パターン1ではExclusive販売価格（1株50,000円）を適用、パターン2ではNon Exclusive価格（1株15,000円）を適用した。抽出物については各パターンともに同一価格（1mg販売価格4,000円）とし、化合物についてはパターン1では高価格化合物単価（1mg販売価格200,000円）を適用し、パターン2においては低価格化合物販売価格（1mg販売価格30,000円）を適用した。

保有データベースについては、パターン1では販売単価200,000円で100セット販売した場合の価格、パターン2ではパターン1と同一価格で50セット販売したケースで算出した。

その結果、パターン1では11億5,000万円、パターン2では3億7,800万円と算出された。

3) R&D 機能

OP社においては、有用な化合物を生産する生物や新規化合物を探索するプラットフォーム（人材、ノウハウ）が最大の価値である。ノウハウは金額を算出するのが困難であるので、ここでは、2019年度探索プラットフォームを使用して受託した案件の合計金額を適用して、1億3,000万円とした。この数字は各パターン共通としている。

4) アライアンスネットワーク

これまで延べ500地点以上での生物資源サンプリングを支える海洋、陸上を問わないサンプリングネットワークを保有している。また、化合物探索受託事業で構築したアッセイ系機関とのネットワークを保有している。このネットワークは具体的価額を算出することが困難であるが、構築するのに最低3年程度はかかると考えられるため、年収1,000万円の人員が3年かけて構築したと想定して3,000万円とした。

5) 営業ネットワーク

専門研究者が営業を行い、受託実績を積んできたことにより構築された、クライアントの研究部門のキーパーソンと信頼関係の上に成り立ったネットワークを保有している。延べ100社以上との直接取引口座も保有している。受託事業を立ち上げるパッ

カス社にとっては非常に有効なネットワークとなると考えている。このネットワークについても具体的価額を算出することが困難であるが、アライアンスネットワークと同様に構築するのに最低3年程度はかかると考えられるため、年収1,000万円の人員が3年かけて構築したと想定して3,000万円とした。

6) 探索関連研究設備

素材採取、抽出物作製、アッセイ、化合物精製・同定、スケールアップ検討など天然物の研究開発からスケールアップ検討（微生物、微細藻類）まで実施できる機材、設備を保有している。また、沖縄県バイオ関連施設2箇所に入居していることで探索からスケールアップ、商品化実証までできる共通設備を利用可能である。

OP社で購入した設備（パプロバ関連は除く）の期首帳簿価格は2,800万円である。よって、各パターンともに期首帳簿価格を採用して2,800万円とした。

7) パプロバ事業

OP社で購入した設備の2020年3月期の期末帳簿価額は1億500万円である。よって、パターン1、2ともに1億500万円を採用した。

過去の研究開発投資額については約7,000万円とした。

そして、パプロバ関連の知財およびパプロバ事業の価値は2億円とした。これは、自社商品開発・ライセンス事業において4年間の受託型共同開発費として設定した2.7億円から過去の研究開発投資額の7,000万円を差し引いた額である。

合計して、パターン1、2ともに3億7,500万円と算出された。

上記1) から7) までで算出した価額を合計すると、パターン1で17億4,300万円、パターン2では9億7,100万円となる。

表 6-21 OP 社の価値評価（定量）

項目	パターン1	パターン2
1) 生物（遺伝）資源収集	● 海洋調査会社で培った生物資源収集技術：価額への反映は困難	● 海洋調査会社で培った生物資源収集技術：価額への反映は困難
2) ライブラリー	(生物資源) ● 微生物株：20,000 株 × Exclusive 販売単価 50,000 円 = 10 億円 ● 微細藻類株：1,000 株 × Exclusive 販売単価 50,000円 = 5,000 万円 ● 抽出物：10,000 サンプル × 1 mg 販売単価 4,000 円 = 4,000 万円 ● 単離化合物：100 サンプル × 1 mg販売単価 200,000円（高価格化合物単価）= 2,000 万円（データベース） ● 伝承機能性情報データベース（聞き取り、文献情報統合）：2,090 情報：販売価格 20 万円×100 セット = 2,000 万円 ● 抽出物含有化合物データベース：参考販売価格 20 万円 × 100 セット = 2,000 万円 合計：11 億5,000 万円	(生物資源) ● 微生物株：20,000 株 × Non Exclusive 販売単価 15,000 円 = 3 億円 ● 微細藻類株：1,000 株 × Non Exclusive 販売単価 15,000 円 = 1,500 万円 ● 抽出物：10,000 サンプル × 1 mg 販売単価 4,000 円 = 4,000 万円 ● 単離化合物：100 サンプル × 1 mg 販売単価 30,000 円（低価格化合物単価）= 300 万円（データベース） ● 伝承機能性情報データベース（聞き取り、文献情報統合）：2,090 情報：販売価格 20 万円 ×50 セット = 1,000 万円 ● 抽出物含有化合物データベース：参考販売価格 20 万円 × 50 セット = 1,000 万円 計：3 億7,800 万円
3) R&D機能	● 2019 年度研究受託額 = 1.3 億円（特許関連） 物質特許（国内）：1 件 物質特許（PCT）：2 件 製法関連特許（PCT）：1 件 用途特許（化粧品）：2 件 合計：1 億3,000 万円	● 2019 年度研究受託額 = 1.3 億円（特許関連） 物質特許（国内）：1 件 物質特許（PCT）：2 件 製法関連特許（PCT）：1 件 用途特許（化粧品）：2 件 合計：1 億3,000 万円
4) アライアンスネットワーク	● サンプリング協力先、研究協力機関ネットワーク構築：年収 1000 万円の人員 × 3 年 = 3,000 万円 合計：3,000 万円	● サンプリング協力先、研究協力機関ネットワーク構築：年収 1000 万円の人員 × 3 年 = 3,000 万円 合計：3,000 万円
5) 営業ネットワーク	● 営業ネットワーク構築：年収 1,000 万円の人員 × 3 年 = 3,000 万円 合計：3,000 万円	● 営業ネットワーク構築：年収 1,000 万円の人員 × 3 年 = 3,000 万円 合計：3,000 万円
6) 探索関連研究設備	(固定資産関連) ● 固定資産取得価額：3億9,000 万円 ● 期首帳簿価額： 2,800 万円	(固定資産関連) ● 固定資産取得価額：3 億9,000 万円 ● 期首帳簿価額： 2,800 万円
7) Pavlova事業	(固定資産関連) ● 固定資産取得価額：1 億4,300 万円 ● 2020年3月期 期末帳簿価額： 1 億500 万円 （過去の研究開発投資額）： 7,000 万円 (特許関連) 製法関連特許（PCT）：1 件 意匠：3 件 商標：1 件 (ハプロバ事業、知財の価値)： 2 億円 合計：3.75 億円	(固定資産関連) ● 固定資産取得価額：1 億4,300 万円 ● 2020年3月期 期末帳簿価額： 1 億500 万円 （過去の研究開発投資額）： 7,000 万円 (特許関連) 製法関連特許（PCT）：1 件 意匠：3 件 商標：1 件 (ハプロバ事業、知財の価値)： 2 億円 合計：3.75 億円
合計	17 億4,300 万円	9 億7,100 万円

6.3.3 結論

6.2.5 項では自社商品開発・ライセンス事業のみについて DCF 法に基づいた価値評価を行った。その結果、7 億 8,250 万円という結果が得られた。ただし、これは既存事業（ライブラリー構築・販売事業、化合物探索受託事業）を除いた評価額であるので、既存事業を加えて評価を行った場合、更に評価額は向上すると考えられる。本件については今後既存事業も加えた企業全体での価値評価を行いたいと考えている。また、前項においては、純資産法に基づいた OP 社全体の価値評価を行った。その結果、ライブラリーの価値を重要視したパターン 1 において 17 億 4,300 万円と算出さ

れ、また、ライブラリーの価値を下げたパターン2においては9億7,100万円と算出された（表6-22）。

今回実施した2通りの価値評価においては、パブロバ事業については、サプリメント健康補助食品開発における実績データに基づいて評価したが、今後開発していく予定である化粧品原料や医薬品などの高付加価値品の例に基づいて価値評価を行った場合、評価額は更に上振れしていくことが予想される。直近では、化粧品原料の開発を化粧品メーカー、製薬会社と共同で実施予定であるので、価値評価を行うにあたり十分なデータが得られたところで改めて企業（事業）価値評価を行いたいと考えている。

表6-22 企業（事業）価値評価結果まとめ

項目	評価結果
DCF法に基づく事業価値評価 (既存事業除く)	自社商品開発・ライセンス事業 : 7億8,250万円
純資産法に基づく企業価値評価 (OP社全体)	パターン1 (ライブラリーの価値を重視したパターン) : 17億4,300万円
	パターン2 (ライブラリーの価値を下げたパターン) : 9億7,100万円

6.4 持続可能で強固なビジネスモデルの構築

第4章事業戦略で検討したように、バリューチェーンの上流はブルーオーシャンであり競合企業は元々少なく、上流に主軸を置きつつ、生物資源を利用したバリューチェーンを繋げば独自のポジションを形成できる可能性が高い。しかし、バリューチェーン上には大きなギャップが存在するので、OP社とバッカス社が連携することにより、一方ではパブロバの例で示したような新たな生産技術を取り入れることにより、また一方では合成生物学的手法を用いて生物自体の生産性の改善を行うことによりそのギャップを埋めることが可能となり、さらに、例えば製薬会社A社のように下流に強い企業とアライアンスを結んでおくことで持続可能で強固なビジネスモデルの構築が完成する（図5-3）。本研究におけるイノベーション・アイデアをもって実現する成果がこのビジネスモデルとなる。

製薬会社A社を例にすれば、医薬、化粧品、食品領域ということになるが、OP社+バッカス社の対象領域は幅広いので、例えば化学系企業やエネルギー系企業など多様な分野の企業とのアライアンスを強化していけば、更に強いビジネスモデルに成長させることが可能であると考えている。



図 6-3 アライアンス先との連携による持続可能で強固なビジネスモデル構築

参考文献および引用

- 1) コトラー&ケラーのマーケティング・マネジメント 第12版, 丸善出版 (2014)
- 2) 今日から即使えるコトラーのマーケティング戦略 54, 朝日新聞出版 (2011)
- 3) 超入門 企業価値経営, 中央経済社 (2011)

第7章 結論

以下に本研究論文の概要および成果を各章別に示す。

(第1章 序論)

筆者が創業したオーピーバイオファクトリー株式会社 (OP 社) では、海洋生物資源ライブラリーを構築・販売し、更に、ライブラリーを利用したシーズ探索サービスを提供している。生物資源を利用したビジネスのバリューチェーンを上流、中流、下流に分類すると、素材収集、ライブラリー構築、評価が上流にあたり、生産プロセス検討、原料生産が中流となり、商品企画、調達・製造、マーケティング・プロモーション、商品販売が下流と分類できる。OP 社の事業活動は上流に位置する。中流においては、①生産技術の不足や②生産性の低さから、そこがギャップとなり、物量が確保できず発見された有用シーズの開発が進まないことがしばしば発生する。よって、①および②の問題を解決してバリューチェーンを繋げることが OP 社の今後の事業成長にとって非常に重要な課題であると考えている。そこで、本研究では、これまで生産技術の不足で商業活用できなかった OPMS30543 株 (パブロバ) を近年技術革新が著しいフォトバイオリアクター (PBR) を用いて生産、事業化することで、上述の「①生産技術の不足による問題」の解決例として示し、また、もう一つの問題である「②生産性の低さによる問題」については、近年劇的に技術が進歩している合成生物学的手法をアライアンスによって活用することによる問題解決を実現したいと考えている。この2つの問題を解決することによりバリューチェーンをスムーズに繋ぐことができれば、OP 社が保有する多様な未利用生物資源の活用促進につながり、バイオ関連の「ものづくり」に大きく貢献できると考えている。これが、筆者が考えるイノベーション・アイデアである。

(第2章 先端研究)

パブロバは、フコキサンチン高生産株として発見された株である。ただ、有望な株であるにも関わらず、コンタミに非常に弱い株で、大量培養が出来ず、研究開発が止まっていた。しかし、PBR を活用することにより大量培養が可能になると考えられたので、基礎培養条件を検討するとともに、ラボスケールにて PBR を用いた培養検討を行なった。

最初に同属別種2株と比較したところ、フコキサンチン生産量が有意に高く、フコキサンチン生産株として有望であることが確認された。次に複数種の培地を用いて最適培地を検討したところ、IMK 培地が最適であることが分かった。また、窒素源としては NaNO_3 が最適であることが分かった。海水濃度は 25 %-100 % で生育が可能であったが、中でも 50 % 濃度が最適であることが確認できた。炭素源は、グルコース、酢酸ナトリウム、重炭酸ナトリウムを添加すると、バイオマス量が増加することが確認できた。また、グルコー

ス、メタノール、酢酸ナトリウムを添加するとフコキサンチン量が増加することが分かった。

ラボスケールでの培養器の検討においては、アクリルパイプ PBR を用いた場合に、コンタミネーションも無く、オープンタンクよりも多くのバイオマス量が確認され、約7倍の差が確認できた。また、一般的な水産餌量生産現場における *P. lutheri* のオープンタンク培養時のバイオマス量に比較して、外径 60 mm アクリルパイプ PBR 培養におけるパブロバのバイオマス量は約 5.7 倍であることが確認された。また、安定的に培養できることも確認された。よって、結論としてパブロバの生産にはチューブ型の PBR が向いていると判断された。

（第3章 技術戦略）

生産スケールの PBR の検討を行なった結果、横型のガラスチューブ製 PBR が適していると判断された。PBR 供給業者としては、英国の Varicon Aqua 社が適していると判断し、沖縄仕様で設計を行ない、2018 年 11 月に培養水量 1,100 L タイプ 2 基、2019 年 2 月に培養水量 7,000 L タイプ 2 基が完成した。その後約 1 年をかけて、計 11 回の培養試験を行った。その結果、夏季のバイオマス生産量は 0.98 g-DCW/L/Day、冬季は 0.80 g-DCW/L/Day という結果が得られた。藻体回収以降の生産フローを構築し、健康補助食品の原料試作を行なった。最終的には、濃縮物凍結品、乾燥パウダー、そしてパウダーをオイルに浸漬してビタミン E を添加した原料の 3 種類が完成した。有効成分であるフコキサンチンは非常に酸化しやすく、常温下での劣化が激しいが、オイルに浸漬することによって酸化を防止ことができ常温保管が可能となった。

パブロバは、かつてのユーグレナと同じく、新規素材で食経験が無いため、安全性試験も行なった。その結果、すべての項目で規制値以下であることが確認され、健康補助食品としての利用が可能であると判断された。

（第4章 事業戦略）

健康補助食品業界の外部環境を PEST 分析および 5 フォース分析により分析を行なった。PEST 分析の結果、健康補助食品としての事業化には追い風状態であると考えられた。次に、5 フォース分析の結果、OP 社は上流に主軸を置いたポジショニングをとることにより競争優位性を保つことが可能になると考えられた。

内部環境分析については VRIO 分析により分析を行なった結果、OP 社の既存事業およびパブロバ事業ともに企業内部の経営資源に基づく競争優位性は高いと判断された。

実際のパプロバの事業化については、オイル浸漬品を用いたソフトカプセルタイプで販売開始することにした。COVID-19 流行による巣籠もり肥満の解消と健康維持に着目し、フコキサンチン訴求型でダイエットサポートサプリとしての商品設計とした。フコキサンチンについては1日当たり2.4 mgの摂取で、体重減少効果が報告されているので、1日当たりのフコキサンチン摂取量を2.4 mg以上になるようにパプロバの導入量を調製した。商品名はパプロバ・エクササイズ・プラスとした。今回は健康補助食品としての販売であり、機能性を謳うことができないので、機能とは関係しない成分特性や開発元であるOP社の研究開発能力、沖縄、海といった背景を元に世界観を醸成し、ストーリー性をもって一般消費者をファンとして取り込んでいく販売戦略とした。これはユーグレナが販売初期に取った戦略に近いと考えている。

(第5章 知財戦略)

パプロバの開発成果をOP 全社へのプロモーションに活用することを踏まえた特許・意匠・商標戦略を検討した。

OP社の事業においては、既存事業はバリューチェーンの上流に位置し、パプロバ事業は中流から下流に位置している。特許出願は、パプロバ株の微生物特許およびパプロバの製造法について出願したが、この2つは既存事業の開発能力をプロモーションする位置付けとした。なお、パプロバの製造法については、クロロフィラーゼを失活させ、フェオフォルバイドの生成を抑える方法に関する特許で、これはパプロバ藻体を食品として活用する場合必ず通る工程であり、パプロバ事業において最も重要な特許となる。

シード作製のPBRは筆者が設計・自作した。本技術については、特許出願の要件は満たさないため、意匠出願として、当社の事業に関連する技術アピール用という位置付けとした。

最後に商標については、OP全体のブランディング、プロモーションにも関わるので、一目でOP社の製品であることが分かるようなデザインとした。当社の知名度を向上させるために、原料として使ってもらふ顧客（企業）には、最終商品に登録した商標を掲載してもらふべく交渉してゆく予定である。

(第6章 財務戦略)

パプロバ・エクササイズ・プラスの原価は、ボトル1本あたり3,800円と算出された。定価は原価率25%である15,200円とした。損益計画を検討したところ、定価販売においては十分収益が確保できる計画となった。しかし、実際の販売局面ではキャンペーン等を活用して販売促進を行うことになるので、現実的には原価率60%の6,300円～原価率

40 %の9,500円程度の価格で販売することになると考えている。次に、パプロバ事業を企業が買収して、更に生産スケールを200トンに向上させて事業を行なったと仮定した場合の事業シミュレーションを行なった。その結果、販売単価6,300円とした場合のROI（投資収益率）は49%となり、投資効果が高い事業であると判断された。

次にモデルケースとしてパプロバの開発例を参考に設定した事業の財務計画を立案した。パプロバの開発においては、シーズ発見後、4年で商品販売開始まで完了した。よって、4年を一周期として、開発～導出スケジュールを設定した。この前提で20年事業を継続した場合の損益計画、貸借対照表、キャッシュ・フロー計算書を立案し、更にDCF法を用いて20年目までの事業価値を求めた。その結果、株主資本価値は7億8,250万円となり、本事業を行う価値は十分にあると考えられた。

パプロバ事業については、サプリメント健康補助食品におけるの実績に基づいて評価したが、現在化粧品原料などの高付加価値品の開発を製薬会社A社と共同で実施中である。化粧品原料の開発完了後に価値評価を行った場合、評価額は更に上振れしていくことが予想される。今後、価値評価を行うにあたり十分なデータが得られたところで改めて企業（事業）価値評価を行いたいと考えている。

最後に、考案したイノベーションアイデアについて考察したい。生産技術の不足によるギャップについてはパプロバの事業化の例で解決策を見出したが、バリューチェーン上には生産性の低さが問題となるもう一つの大きなギャップが存在する。これについては神戸大学発ベンチャーのバックス社と連携して合成生物学的手法を用いて生産性の改善を行うことによりそのギャップを埋めることができる可能性が向上すると考えている。現在バックス者との連携方法については検討中である。さらに、下流に強い企業と予めアライアンスを結んでおくことでニーズに沿った開発が可能となり、持続可能で強固なビジネスモデルの構築が完成すると考えている。本研究におけるイノベーション・アイデアで実現するのがこのビジネスモデルとなる。

謝辞

本研究は、神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科バイオ生産工学研究室およびオーピーバイオフィクトリー株式会社にて行われたものです。

研究の立案から終始多大なるご指導とご鞭撻を賜った神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科の山本一彦教授、蓮沼誠久教授そして近藤昭彦教授に厚く感謝の意を表します。また、学位論文の予備検討において、詳細にご確認いただき、ご指導を賜った同研究科の石川周准教授に深く感謝の意を表します。

第2章、第3章におきまして、培養実験を行うにあたり、神戸大学先端バイオ工学研究センターの加藤悠一特命助教、台湾成功大学の張嘉修教授には多大なるご指導とご助言をいただきましたこと、また、オーピーバイオフィクトリー株式会社の藤原健史博士および渡邊崇史博士には実験補助をいただきましたこと厚くお礼申し上げます。また、第3章におきまして動物実験を行うにあたり大変お世話になりました共同研究先の琉球大学大学院医学研究科分子解剖学講座の高山千利教授、清水千草准教授に深く感謝申し上げます。また、学位論文執筆にあたり多くのご助言をいただきました株式会社クラシック・キャピタル・コーポレーションの山口直哉様、株式会社科学技術アントレプレナーシップの三宅秀昭様に心より感謝申し上げます。

なお、本研究の一部には、内閣府沖縄総合事務局の沖縄国際物流拠点活用推進事業の補助金を活用させていただきました。

2021年1月 金本 昭彦

神戸大学博士論文

「沖縄産微細藻類 OPMS30543 株の商業生産・事業化に関する研究」全 157 頁

提出日 2021 年 1 月 20 日

本博士論文が神戸大学機関リポジトリ Kernel にて掲載される場合、掲載登録日(公開日)はリポジトリの該当 ページ上に掲載されます。

© 金本 昭彦

本論文の内容の一部あるいは全部を無断で複製・転載・翻訳することを禁じます。