

バイオマス資源を用いた飼料化システムに関する研究

2013

岩手大学大学院

連合農学研究科

生物資源科学専攻

岡地慶直

目次

第1章 はじめに

- 1.1 世界の食糧資源をとりまく環境・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
- 1.2 市況変化（1）エネルギー原料、穀物類に発生した市況変動
- 1.3 市況変化（2）蛋白原料である大豆に関する市況変動
- 1.4 飼料資源生産加工の鍵
 - 1.4.1 世界の農地の現状について
 - 1.4.2 バイオマスコンビナートの定義
- 1.5 本研究の目的について

引用文献

第2章 資源作物を活用したコンビナートの後背地の開発・・・・・・・・・・18

- 2.1 はじめに
- 2.2 実験方法
 - 2.2.1 明日葉ソルガム栽培圃場設計
 - 2.2.2 平成23年度明日葉ソルガム大量栽培実証(ヤマセ地域)
 - 2.2.3 平成24、25年度明日葉の栽培実証（未利用地）
 - 2.2.4 塩害ファイトレメディエーション実証（農業振興センター連携）
 - 2.2.5 塩害ファイトレメディエーション実証（研究施設内試験）
- 2.3 結果及び考察
 - 2.3.1 明日葉ソルガム栽培圃場設計
 - 2.3.2 平成23年度明日葉ソルガム大量栽培（ヤマセ地域）
 - 2.3.3 平成24、25年度明日葉の栽培実証（未利用地）
 - 2.3.4 塩害ファイトレメディエーション実証（農業振興センター連携）
 - 2.3.5 塩害ファイトレメディエーション実証（研究施設内試験）
- 2.4 まとめ
- 2.5 結論

引用文献

第3章 多孔質炭素材料・ウッドセラミックスを用いた遠赤外線乾燥について・・45

- 3.1 はじめに
- 3.2 実験方法
 - 3.2.1 ウッドセラミックスの吸水性能

- 3.2.2 ウッドセラミックスを用いた乾燥実験（乾燥温度及び速度実証）
- 3.2.3 葉柄の形状と乾燥最適化
- 3.2.4 ウッドセラミックスの焼成温度毎の乾燥速度比較試験
- 3.2.5 ウッドセラミックスを装着させたコンテナ乾燥庫を用いた
スイートソルガムの遠赤外線乾燥試験（スイートソルガムにおける
飼料化工程の実証）
- 3.3 結果及び考察
 - 3.3.1 ウッドセラミックス吸水性能
 - 3.3.2 ウッドセラミックスを用いた乾燥実験（乾燥温度及び速度実証）
 - 3.3.3 葉柄の形状と乾燥最適化
 - 3.3.4 ウッドセラミックスの焼成温度毎の乾燥速度比較試験
 - 3.3.5 ウッドセラミックスを装着させたコンテナ乾燥庫を用いた
スイートソルガムの遠赤外線乾燥試験（スイートソルガムにおける
飼料化工程の実証）
- 3.4 まとめ
- 3.5 結論
- 引用文献

第4章 エクストルーダーを用いた飼料原料の改質工程の開発について・・・65

- 4.1 はじめに
 - 4.1.1 エクストルーダーを用いた飼料原料等の改質工程意義
 - 4.1.2 エクストルーダーによる加工工程の概略及び取組構想
- 4.2 実験方法
 - 4.2.1 エクストルーダーを用いた飼料原料の加工後の消化酵素による
可溶化物量の測定
 - (a) 玄米の利用率改善
 - (b) 蛋白原料の利用率改善
 - (c) 玄米及び菜種粕混合処理物における利用率の相乗効果
 - 4.2.2 玄米及び菜種粕混合処理物の鶏の代謝エネルギー測定
 - 4.2.3 地域資源である玄米及び明日葉混合処理物の飼料化
 - 4.2.4 明日葉の着色系付加価値飼料素材化(素材化事例案)
 - 4.2.5 明日葉、スイートソルガムの飼料化実証(搾汁工程後処理)
 - (a) 明日葉、ソルガム搾汁残渣の飼料化（嗜好性改善）
 - (b) フィステル装着牛を用いた明日葉の部位毎(葉、茎)の消化性
試験

- 4.3 結果及び考察
 - 4.3.1 エクストルーダーを用いた飼料原料の加工後の消化酵素による可溶化物量の測定
 - (a) 玄米の利用率改善
 - (b) 蛋白原料の利用率改善
 - (c) 玄米及び菜種粕混合処理物における利用率の相乗効果
 - 4.3.2 玄米及び菜種粕混合処理物の鶏の代謝エネルギー測定
 - 4.3.3 地域資源である玄米及び明日葉混合処理物の飼料化
 - 4.3.4 明日葉の着色系付加価値飼料素材化(素材化事例案)
 - 4.3.5 明日葉、スイートソルガムの飼料化実証(搾汁工程後処理)
 - (a) 明日葉、ソルガム搾汁残渣の飼料化(嗜好性改善)
 - (b) フィステル装着牛を用いた明日葉の部位毎(葉、茎)の消化性試験
- 4.4 ウッドセラミックス遠赤外線乾燥及びエクストルーダー改質工程による波及効果
 - 4.4.1 新業態の開発案
 - 4.4.2 収入構造の多元化
 - 4.4.3 地域資源産業企業像、資源作物(バイオマス)ファーマーの定義及び図柄
- 4.5 まとめ
- 4.6 結論
- 引用文献

第5章 バイオマス物流のLCA評価について・・・・・・・・・・・・・・・・・・104

- 5.1 はじめに
 - 5.1.1 物流のLCA計算方式の基本
 - 5.1.2 物流形態毎のLCA計算手法
- 5.2 計算方法
 - 5.2.1 海運のLCA評価と活用法
 - 5.2.2 モーダルシフト及び実証事例
 - 5.2.3 飼料製品のLCA評価
 - 5.2.4 ペレタイザーによる輸送性の改善手法の実証及び国内、国際流通事例
- 5.3 結果及び考察
 - 5.3.1 海運のLCA評価と活用法
 - 5.3.2 モーダルシフト及び実証事例

- 5.3.3 飼料製品の LCA 評価
- 5.3.4 ペレタイザーによる輸送性の改善手法の実証及び国内、
国際流通事例
- 5.4 バイオマス物流の成功の為のポイント
 - 5.4.1 一貫物流
- 5.5 まとめ
- 5.6 結論（ウッドセラミックスの遠赤外線乾燥の課題）
- 引用文献

第 6 章 まとめ 125

- 6.1 本研究の第 1 章より第 5 章までの成果、課題
 - 6.1.1 資源作物の導入による新産業創出の可能性
 - 6.1.2 太陽光のエネルギーとウッドセラミックス遠赤外線効果を用いた
エコ乾燥
 - 6.1.3 エクストルーダー加熱加圧処理により消化酵素などの働きを
最大化する可能性
 - 6.1.4 バイオマスは物流である
 - 6.1.5 地域と人々を豊かにする地域資源の開発時代となる可能性がある
- 6.2 考察 (1) バイオマスコンビナートとその技術のもたらす効果
- 6.3 考察 (2) 経済、貿易、農業の南北問題、食料危機及びその解決策
 - 6.3.1 国家の基本(国民に対する食とエネルギー保証)
 - 6.3.2 先進国（地域資源活用内需振興新産業）及び農業国家(高度利用
資源化産業)
- 6.4 考察 (3) バイオマスコンビナートによる課題解消の可能性
 - 6.4.1 現在、新興市場、後進国の都市部で起こりつつある大きな変動
- 6.5 緑の富と雇用の体系的構築について
- 6.6 地域資源循環型社会の創出について

引用文献

謝辞

第1章 はじめに

1.1 世界の食料資源をとりまく環境

米国農務省によると、2050年頃には世界人口は現在の70億人より90～100億人前後に増加すると予想され、①後進国の人口増加、②中進国の食の西洋化、③バイオ燃料や既存の生命資源系加工産業（製粉、精米、油脂、飼料、野菜、果実加工、発酵工業等）の需要増、により世界の食糧資源生産は倍増が必要と考えられている [1]。特に食料問題研究家のレスターブラウン博士は、食料や生活関連資材の輸入地域であるアジアは今後の需要増により、重大な困難に直面すると指摘している [2]。米国をはじめとするシェールガスの台頭により、化石燃料関連市況や穀物市況が目先一巡した昨今、今後の焦点は食料を中心とした生命資源対策の強化、とりわけ穀物加工業等と比較すると資源利用率の低い飼料畜産業やバイオ燃料の製法の改良や代替資源の開発が必要と推測されている。指摘された論文 [2] よりすでに9年経過したが、ブラウン博士の予言した通り、その後の中国の畜産需要は増大し、大豆輸入量は図 1.1 に示されるように急拡大を続け、中国は政府系農業関連機関、インドは大手植物栽培企業、韓国は財閥グループが世界の穀物生産適性ある農地の所有権や長期利用権の獲得および自国民を投入した農業生産事業を始めている。従来の穀物メジャーの穀物集荷システムによる供給体制の限界および自国の農業生産事業の機会損失を認識した輸入国は、海外各国で土地収奪、いわゆるランドラッシュを始めた [3]。大豆の約18～20%が油脂（食品向け）、約80%が大豆粕（動物飼料向け）で配合飼料の10～20%に使用される。

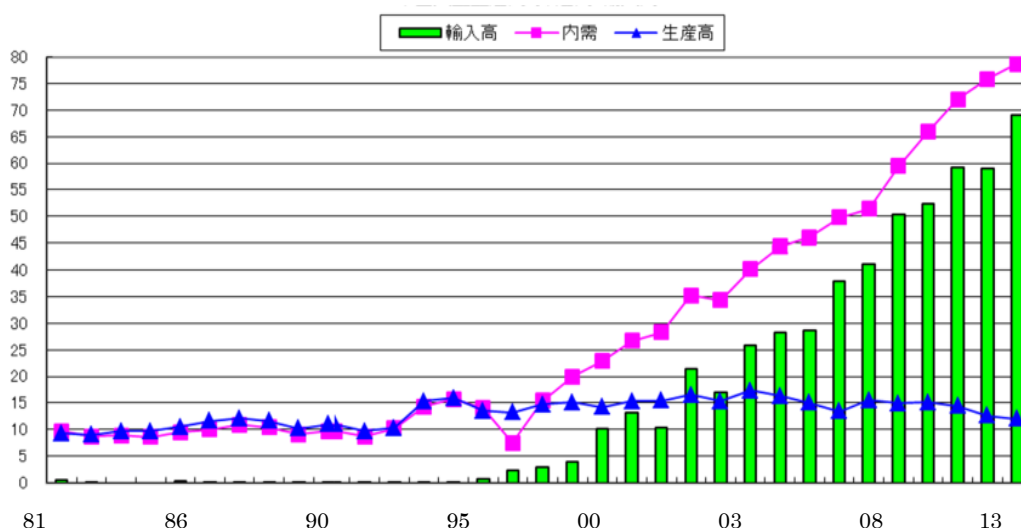


図 1.1 中国の大豆の関連統計（中国の大豆の生産高、内需、輸入高）

横軸：穀物年(1981年～2013間の統計、米国農務省データ) 縦軸：百万トン（単位）

食料との競合で批判はあるが米国やブラジルのバイオ燃料産業は産業政策的に穀物、油糧穀物、さとうきび産業に対する需要産業、農産物に付加価値をつける内需振興策として高い評価を受けているが、日本ではあまり認識されていない。これは、米国の場合、輸送用燃料等の基礎資源の海外(この場合中東)依存を嫌う世論を背景に、自然エネルギー政策の一環及び、農村地域の雇用対策を兼ねて、制度設計された事も要因と推察される。

飼料畜産業は現存する食料需要産業の中で最大であるだけでなく、特に中進国で食の西洋化により、急激な需要の増大が想定される産業である。故に、世界の食料需給に最も影響を与えている産業であり世界の指導者や関連産業従事者は将来のために何ができるか方策を考え準備する事が必要である。米を除いた、粗粒穀物、大麦、油糧作物の合計の 48%以上が飼料用途と考えられている[4]。畜産資源の効率改善は過去の動物栄養学上の多くの試みの結果、既に限界に達したと考えられており[5]、今後の有望な開発領域は言及されていない現状にある。米国内の飼料需要はコーン総需要の 60~70% (コーンエタノール政策が米国内で普及する前はコーン総需要の 70~80%)、麦類の総需要の 30~40% (蛋白切れ麦は飼料用途等)、大豆の総需要の約 70%を占めていた[4]。大豆総需要の内 20%は食用油用途が占めている。米国農務省の統計によると、飼料需要とバイオエタノール需要は拮抗した 2 大国内需要となっている。それに加え、中進国等の食の西洋化により飼料需要の爆発的な需要増が表面化したのは最近であり、今後は世界の食料生産と並びその効率化、資源の多角化の開発は益々重要課題となると業界関係者より認識されており、具体的な手法選択のタイミングと考えられる。この食料産業の中で、飼料畜産業の資源化効率の改善および穀物子実以外の資源ソースの多角化はバイオ燃料以上に今世紀前半の資源産業において世界の指導者、関係者が解決すべき重要な課題と認識される。

食料危機の実態は、IT(情報技術 information technology)による情報の加速化、地方から都会への急激な市場および人口の集中、食料生産地域の急速な資源生産力の疲弊(連作障害、塩害、土壌、水資源、農業の基礎インフラを支える担い手等の喪失)等が挙げられる[1]。どの国も食とエネルギーの生産を国民に対し保証する国家政策は不可避で、世界有数の工業国家かつ世界最高の食文明を有するといわれる我が国は、その潜在力を発揮し、成長産業化を可能とする産業技術を統合し、新しい農業関連産業創出に動く時期とも考えられる。

人間の主食である食料や動物の飼料はエネルギー源である炭水化物と脂質、蛋白質、微量成分より構成される[6]。現在の我が国の食文化は、第二次大戦後の復興時期に国内の食料不足を背景に米国の穀物余剰の食糧援助を契機として、食の西洋化が本格化し、学校給食に乳製品、パン食を導入されたことでもたらされ通常ではなしえない早さで急激な変化が定着したといわれる。その結果、主食の食糧である米以外の穀物は巨大な内外価格差もあり、輸入産業が基本形となった。特に旺盛な畜産需要を賄うため戦後導入された大規模畜産業は畜産物の低コスト化に貢献する国内の雇用促進事業として設計され、日本は世界有数の模範的穀物輸入国として世界の穀物取引に貢献することになった。現在の産業設計

はその当時の設計のままであり、すでに到来しつつある資源高時代に対応する産業再構築はT P P (trans pacific economic partnership 環太平洋経済戦略協定)などの参加も含め、今後の課題と考えられる。

飼料化システム開発のためには、社会的背景も含め、現状の理解、分析が重要である。まず戦後の食料産業の経緯につき国内専門家の見解は以下の通りである [7]。

1. 戦後需要の伸びた農作物は、食の西洋化に伴い必要とされるパン、パスタ類等製粉原料の麦類や、酪農製品や畜産飼料用途向けのコーンや牧草など、欧州の乾燥気候における普及種であり、多くが欧米の乾燥地農業に適性のある栽培種であった。故に必ずしもアジアモンスーン気候や日本の地勢、国情を生かした作物ではなかった可能性がある。

2. 当初、食品輸入は熱帯の果物等、希少性が尊ばれるものに限定され、一般には国内農産物が優先された。

3. 所得倍増政策で大量の都市勤労者が創出されたが、国内農業が需要増の全てを満たすことなく、それら不足の食糧需要分（特に原料）の大部分を海外に依存することになった（第1次産業から第2次産業、そして第3次産業へと産業構造のシフトがおこった）。

4. 輸入増加は畑作に適した、小麦、トウモロコシ、大豆などの穀類が中心の時代から 80年代になると、円高が進み、かんきつ類、肉類にも自由化の波が押し寄せた。しかし、消費者動向や外食比率が高まるに連れて、野菜や果物の多くは年毎、季節毎の生産量（豊作・凶作）や端境期をなくした通年供給の利便性をもとめる時代になり、海外から食料品が流通体系に組み込まれていくことになった。歴史の長い国で、食文化が短期間に激変した国は世界でも日本と韓国ぐらいといわれている [8]。

技術面でも戦前から続いた米作中心の慣行農耕に機械化などの導入を行ったが、昭和 40年代より食の西洋化に起因して、米食の需要低迷が基調となり減反政策、生産抑制政策が中心となった。国内の雇用対策等で導入された畜産業にしても、牛向けの粗飼料を除き、特に畑作の資源作物等、増収系の技術開発が遅れた経緯があり、農産物の味覚等の嗜好性関連技術などは優れているが、穀類や油糧作物等は飼料米や転作奨励の食品大豆等にとどまり、生産技術開発に関しては海外先進国と比較して、優位とは言い難い状況にある。

1.2 市況変化 (1) エネルギー原料、穀物類に発生した市況変動

今世紀に入り、穀物、油糧穀物の国際市況のトレンドは明らかに新しい時代に突入した。1990年代より、試験的事業であったコーンエタノール事業が、2000年に入って、米国の政策として本格的にはじまった。その結果、エタノール産業は世界最大のコーンの産地である米国産コーンの生産量の約3分の1を消費する一大需要産業となった。しかし期末在庫水準は低下し、投機筋の格好のターゲットとされ過去に無い水準を記録した。コーンは化石燃料や金などと連動する投機商品となり、その関連産業の事業採算は極めて危ぶまれる不安定な環境になった。米国シカゴ穀物取引所のコーンおよび小麦価格（ブッシェル当り

価格、セント) の 5 月限月の先物の価格推移を図 1.2 に示す。なおコーンの場合 39.37 ブッシェルが 1 トンの換算値を活用している。人間の生きる糧である穀物が金や石油と同じ投機商品になったことを理解し、これに対する十分な対策が必要と考えられる。

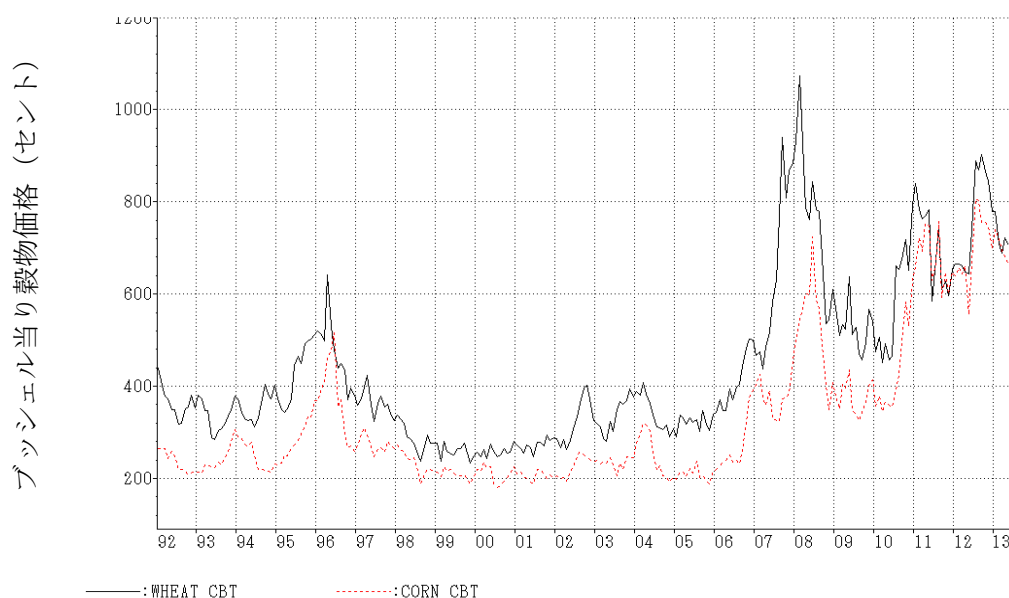


図 1.2 1992 年 1 月より 2013 年までの 5 月限月ブッシェル当たりの価格シカゴ穀物取引所(CBT)、コーン(corn)、麦 (wheat) の 5 月限月の先物相場推移表
 収穫年度(1992~2013 年下二桁表示)

図 1.3 は米国のエタノールの消費量である(単位、10 億ガロン)。ブッシュ政権下、特に石油枯渇に対する不安感も醸成され、エタノール政策が本格化し、米国において歴史に残る速度でエタノールプラントの建設ラッシュが発生したことにより、世界の穀物価格は激変した。それは図 1.1 に示す中国の大豆需要の爆発的拡大とも関連する。穀物全体の生産量、需要量は各地域ともに増加し、特に生産量ではアジアが世界の 4 割を占め、人口増加や経済発展が著しいアフリカの需要が、生産量の伸びを大きく上回っている[4]。2007 年の米国エネルギー自立・安全保障法による再生可能エネルギー基準においてもコーン由来のバイオ燃料の使用量が 2015 年以降は 150 億ガロンで頭打ちし、需要は鈍化、セルロース由来原料が今後の争点となると考えられている [9]。近年の中国の大豆輸入を除外すれば、日本は世界最大の穀物輸入国であり、①穀物 (旧食糧庁入札、麦類全般)、②飼料穀物 (コーン、マイロ)、③油糧穀物 (大豆、菜種、ゴマほか) は米国の極東戦略の優等生として、急速に成長した。

1970 年代から 80 年代にかけ、米国では構造不況産業であった穀物生産業に対する付加価値産業化が求められている中で、コーンエタノール産業は先導事業として導入されていた。石油文明および大量消費文明の代表であった米国は、中東諸国による石油資源支配に対する国民の拒否反応もあり、農業不況対策と石油資源の枯渇懸念よりコーンエタノール政策

の本格的導入を行った。短期間に世界最大の穀物生産地帯のコーンベルトにおけるトウモロコシの大型需要の出現は市場関係者に大きな衝撃を与えた。

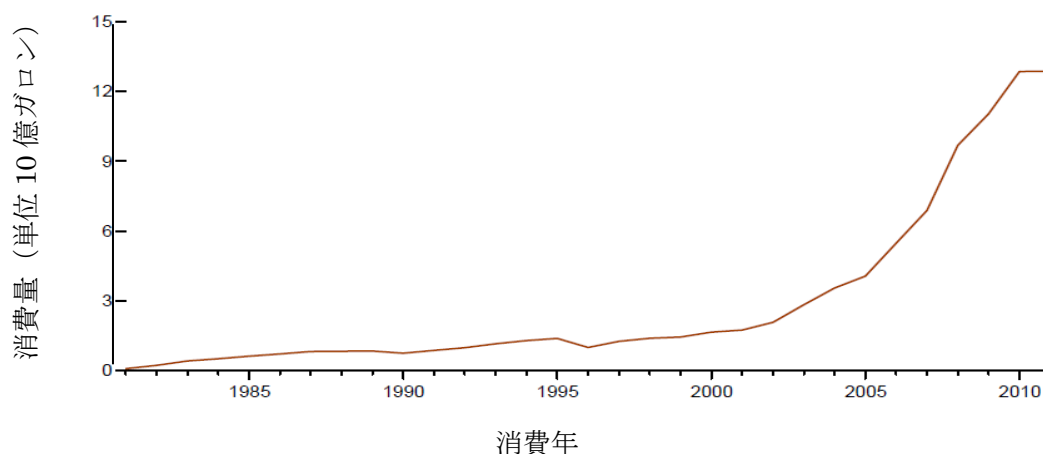


図 1.3 米国エタノール消費量 推移(1981年より2011年迄) [10]

注) 1 ガロン=約 3.785 リットル

1.3 市況変化 (2) 蛋白原料である大豆に関する市況変動

我が国では大豆は食品原料と考える方が多いが、世界市場では大豆の搾り粕（大豆粕）は飼料原料の中でも最大、最良の蛋白素材と認識されている。大豆粕は世界最大の飼料用、植物蛋白資源であり、近年の価格高騰にも関わらず、図 1.1 に示された中国の大豆の爆発的輸入拡大が続行中である。注目すべきは中国の大豆輸入をはじめアジアの輸入超過は今後も拡大すると考えられている。図 1.4 にシカゴ市場での大豆の価格推移を示す。

中国の自由化政策、改革開放路線以降、食の西洋化が進み、特にリーマンショック前後では、著しい大豆の需要増加および期末在庫の減少による投機筋の投機熱も加わり、市況高騰がみられた。1.2 で指摘した如く、米国のコーンエタノールの急増と期を同じくして、畜産業の近代化が進行し、特に飼料用蛋白質の原料である大豆を中国が 2012 年に 60 百万トン輸入を記録し、2013 年も 69 百万トン（図 1.1 2013 年 輸入高）を大量輸入中であることが知られる。ちなみに米国農務省発表の世界の大豆生産高は 281.72 百万トンで世界の大豆輸入高は 104.45 百万トンであり中国の輸入量の大きさが認識される。世界の国際貿易の中で、歴史上、前例のない規模での油糧作物における大陸間移動の意味するところは小さくない[4]。大豆は今や穀物油脂のなかで最も高価かつ動物の成長に高効率な飼料用蛋白質の供給作物であり、目先、国内の経済活動の調整時期といわれ、鶏インフルエンザ騒ぎがあっても旺盛な需要が収まる傾向は一向に見られない [11]。中国の改革開放路線が生み出した巨大な飼料需要（飼料は元々世界で最古、かつ最大の循環型再利用、エコ産業であった）は飼料を含む食糧大增産、バイオマス産業の高度利用開発時期に到来していると考

えられる。

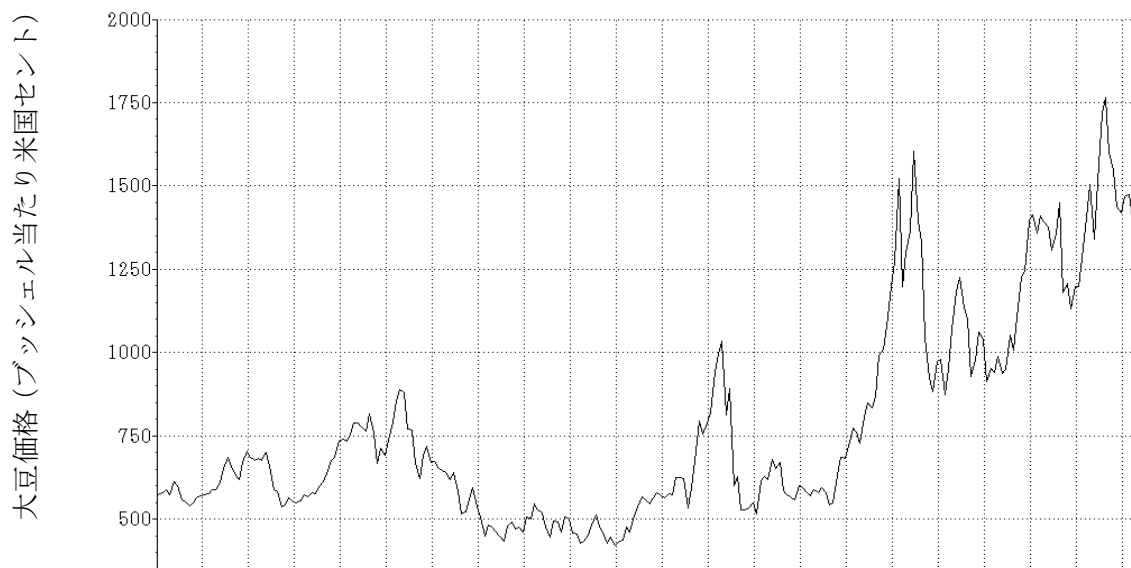


図 1.4 シカゴ大豆先物、5月限、過去 11 年チャート

収穫年度(1992 年～2013 年下二桁表示)

(大豆 1 トンは 37.33 ブッシェル)、楕軸 250 セントより 2000 セント/ブッシェル

1.4 飼料資源生産加工の鍵

化石燃料の枯渇時代を契機として産業革命以降、あらゆる産業の基盤となった鉄や石油など化石燃料資源は長い論議(環境負荷、化石燃料資源枯渇)を経て、産業としての成熟期を超えたと認識されたが、今世紀に入り中国など中進国の経済開放による大型需要等に支えられ、資源価格は堅調に推移している。

古くから多くの生命産業工業の提案、提唱がなされており、日本では循環型、欧州ではバイオサイクル、米国でも近年、持続的可能な農業(Sustainable Agriculture)という概念が定着しつつある。日本では高度経済成長時代から、先見の明ある識者より、次世代の産業理念の提唱として生命産業コンプレックスの提唱がなされてきた[12]。

1.4.1 世界の農地の現状について

土地利用の観点より栽培可能農地面積のマクロでの分析によれば、現在世界では 12 億 ha の農地を使用しているものの、なお 3 億 ha ほど使用していない未利用面積がある。また森林を破壊することには繋がるが、南米やサハラ以南アフリカを中心に 11 億 ha ほどの農地

を造成することが物理的には可能と推察される。穀物を大量に安価に生産できる遊休農地については、悲観論も多く、見解は分かれているが、現在使用している農地（総栽培面積）と使用していない農地（休耕地）、それに拡張可能な農地をあわせると 26 億 ha にもなり、これは農地として現在使用している面積の 2 倍以上である [13]。世界には休耕地も多く、又農地拡張の余地は存在するものが高騰しても穀物の面積当たりの売り上げは青果と比較すると安く、容易に生産面積が増えず、2013 年は米国が大豊作との報があり市場は一服感がでているが急激な増産が見込めない状況である。

1.4.2 バイオマスコンビナートの定義

この世界の食糧資源環境の劇的な潮流の変化を我が国は諸般の情勢よりまだ産業政策的に反映しきれていない可能性がある。行政側から見れば、市況高騰は従来の政策の未達成な領域の産業政策を普及できる可能性が高まったと認識される。ドイツのバイオガスの普及事例を見ても明らかなようにバイオマスの領域において適切な政策誘導が参加者のインセンティブと合致すると、投資を生み、本格的な民間参入に繋がる事が認識されている。

市場の競争や需要家向け市場の品質標準がかなり高度化されており、具体的にバイオマスを有効資源に転換する工程開発が必要と考えられている。特に品質の幅が大きく、又物流面でも輸送性を高めるなど、コストを下げて既存資源と比較した場合の使用メリットを創出するには、いくつかの工夫が必要と考えられる。農林水産資源の特色を踏まえた統合された技術体系および運営手法を後背地の原料供給と合わせて連携させ、資源を生産する後背地と加工場との一体的運営が必要である。資源高の時代は地域に存在するバイオマス資源を循環型有利利用するノウハウを集積した産地および加工コンビナート方式が優位と認識され、過去いくつかの提案がなされている [14-17]。

バイオマスコンビナートの具体的な先導事例としては 2005 年に石油化学企業など 101 社で作る「財団法人化学技術戦略推進機構（現財団法人化学研究評価機構）が石油化学から生物化学コンビナートへ」と銘打ち、温室効果ガスの排出を大幅に抑制するのを狙い「バイオマスコンビナート構想」を立ち上げ民間 19 社と 5 大学等が共同で技術開発に着手した。このプロジェクトはサトウキビの搾り汁を発酵させアルコールを作り、これを化学反応でプラスチックの主要原料のエチレンや、プロピレンに変えるものであった。このときのバイオマスコンビナート構想は、バイオマスを原油由来の原料に置き変えるものであるが、近年では新たなバイオリファイナリーという技術コンセプトが加えられ、化学資源の代替策としてだけでなく、さまざまな用途が考えられ高い経済性展望が予想されている [16]。

1.5 本研究の目的について

本研究の全体戦略及び構図を図 1.5 に示す。現在の世界の標準形である穀物加工ビジネスと比較し、取組メリットを生む設計が求められており、

① バイオマス、資源作物を利活用し競争力を有する飼料化システムの基本系を構築する（現在の鶏、豚向け飼料の標準形である穀物、穀物加工副産物の品質、価格、量において代替できるシステム開発は穀物余剰時代の 1990 年代までは不可能と考えられてきた）。

②各章毎の要素工程の主たる課題の解決策を示す。

③第 2 章資源作物利用、第 3 章ウッドセラミックスの遠赤外線効果、第 4 章エクストルーダーによる高度利用、第 5 章 LCA に優れたバイオマス物流等の工程の一体的利活用及び最適化により、飛躍的に競争力を有する飼料化システム研究を目指す。

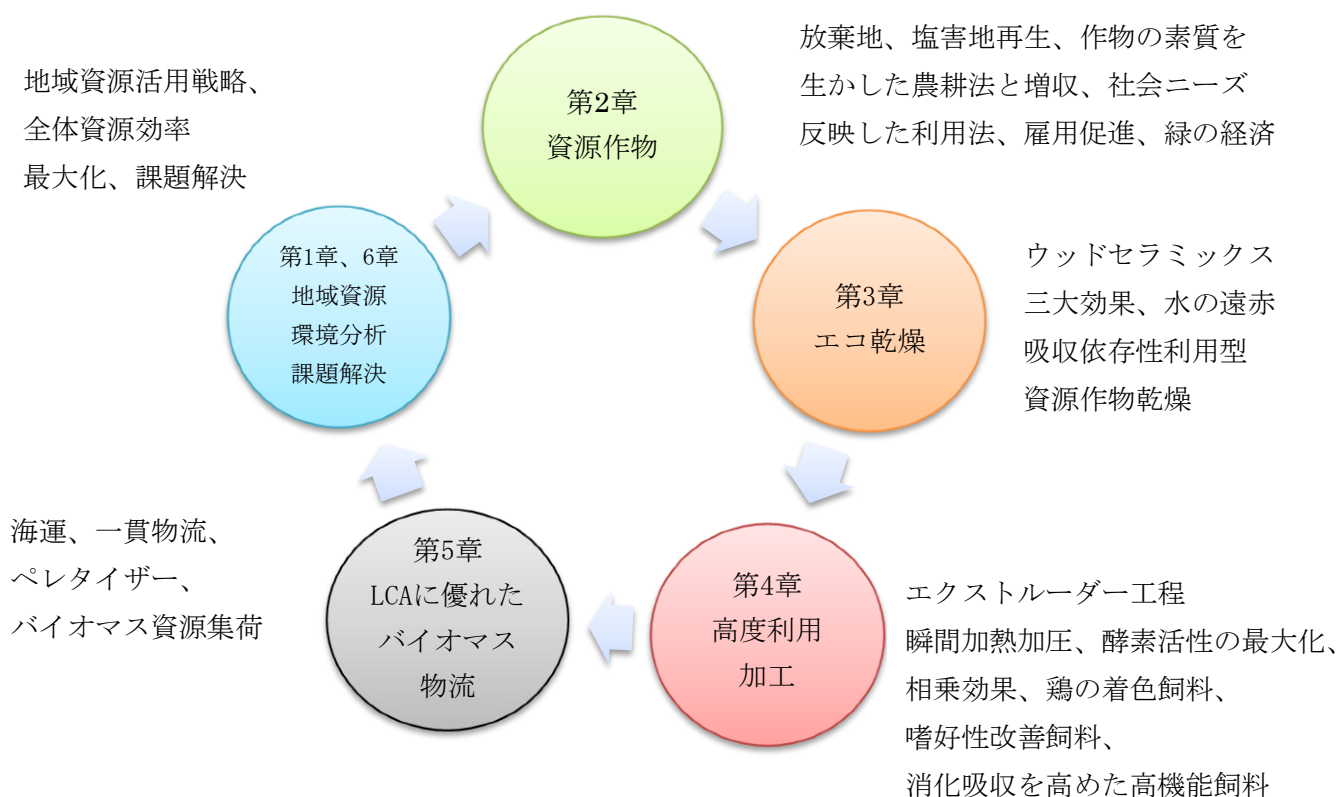


図 1.5 研究の全体戦略

本研究では飼料原料領域では、競争力がないと言われる国内農林水産関連の未利用資源の潜在力を見直し、競争力創出を目的として、高騰する飼料資源環境の中で、選択肢となり得る植物素材および栽培法の選択、加工工程、中間素材化までの一貫システムを飼料化システムと見なし、市場において導入メリットがある競争力を有する資源化システムの開発研究を行った。まず日本国内での事業化可能領域を飼料原料とした場合、現実的な国内での収益事業として競争力を成立させるためには加工工程の実証のみならず、農場の大型化により、原料となるバイオマス資源の安定した品質と量と価格の確保が重要であり、徹底した生産工程の効率化、統合、一体的利活用を前提とした開発となる。

第 1 章では世界の飼料原料の標準系であるコーンおよび大豆粕の市況変動と今後の穀物相場の見通しより、競争力を有する飼料原料の生産加工を行う基盤につき分析を行った。現在の牛を除く鶏豚向け配合飼料原料の 70%前後はこのコーン及び大豆粕あるいは菜種粕等の植物粕で構成されている。本研究の目的は代替性あるシステムの基本形とその要素工程及びシステム全体の競争力を構築することである。

第 2 章では、投入資源の競争力、即ち資源作物の場合、日本の国土、気候、地勢などでの生産性等より、供給面での価格競争力の創出を有する作物を選択し、大規模生産方式の実証を行った。対象植物の選択に加え、栽培手法、物流の低コスト化等の関連領域の小実証も必要と認識されたため、具体的な事業化事例を示した。今後、国内で予定されている放棄地、国内生産事業市場の再整備、契約栽培事業などを実現可能とする要素技術、あるいは資源競争力の基本となる農産物生産方式を見直し、低コストによる資源作物生産方式の実証例を概略した。本研究の基本骨子は現在（2013 年）の 1 ドル 95 円から 100 円前後の円安になってもなお巨大に存在する内外価格差の為、米作以外の穀物生産をほぼ 100%近く海外資源に依存する穀物、油糧、配合飼料産業などの既存産業や近年政策的に設計されつつあるバイオ燃料産業等を可能な領域より融合させ、現実的に有望な成長産業化を可能とする工程の創出においている。又、植物生命力を活用した土壌再生事業（ファイトレメディエーション）による、休耕地と塩害地の再生エンジニアリング手法について導入などの実証および分析を行った。塩害地を想定し、炭入り堆肥の利用などの検証も行い解決策の探査及び実証を行った。

第 3 章では第 2 章で生産される安価な飼料作物を含むバイオマス資源を用い、バイオマス事業での基本工程として、ウッドセラミックスを活用した遠赤外線乾燥について資源領域での活用法を実証した。過去多くの遠赤外線の研究がなされてきたが、ここではウッドセラミックスの複合機能、遠赤外線効果や吸水性、蓄熱の 3 大効果の検証を行った。バイオマス利用の課題となっている飼料原料を中心にした乾燥工程の実証を行った。ウッドセラミックスによる遠赤外線乾燥工程では、過去未利用で廃棄されてきた資源の多方面での利活用が期待される。特に高水分含有物は、日本やアジアモンスーン地帯などにおける品質確保が難しく、多くが産地で廃棄処分あるいは経済価値を最大化できていない現状があり、水分を 80%から 30%前後まで、低コストで下げることが必要で、市場ニーズは多い。乾

燥は最大の殺菌手法でもあり、腐敗による品質劣化の防止策ともなっている。高水分含有物の圧搾、搾汁より残渣利用までを設計し品質の安定する水分 10%前後まで品質劣化なしで如何に進めるかを設計することになるが、一体的運用により安定かつ易消化性素材開発が可能となる。

第 4 章では高度利用がもとめられる領域におけるエクストルーダー、瞬間加熱瞬間冷却利活用手法の開発と、飼料原料領域では代謝エネルギーの改善可能性等の実証を行った。飼料原料領域での有望領域として、高効率素材と低利用率資材との混合加熱処理による高度利用化など、資源高騰対策などに有効な、既存飼料原料に代替性を有する、素材化の可能性が示唆された。

本研究の対象領域は食料の中でも量的に最大品目である飼料原料においた。鶏や豚の動物に対するエネルギー供給作物であるコーン（澱粉市場）や増体で貢献する大豆粕（蛋白質）等の国際市況商品が、世界の食糧、飼料市場における価格指標となっており、その標準系市場で生産される飼料原料や畜産物が、需給を反映し市場価格を形成している。近年資源を取り巻く環境が変わり、あらゆる加工業、付加価値産業がその原料を確保できないと事業存立が危ぶまれる産業となった。特に第 3 章のウッドセラミックスの遠赤外線乾燥及び第 4 章のエクストルーダーを活用した改質工程について、多くの課題に対して現実的な答えを出すために、生命資源に関する生命資源生産複合体並びにバイオマスコンビナートの資源化工程を想定し、数多くの実証を行った。対象産業である飼料産業用の消化酵素反応の評価系を活用し、バイオマス素材の改質加工工程を分析し、最適化について考察した。バイオマス素材の単体あるいはバイオマスの混合により、未利用素材であるバイオマスを活用し、素材の加熱加工および可溶化速度の改良実証を行った。対象物は既存の飼料用穀物原料、副原料、バイオマス系資源作物（明日葉やスイートソルガム等）である。

本研究ではその中で旺盛な成長性を示し、国内での量的生産が可能なものを取り上げ、既存素材の効率や競争力を上回る高効率化改質工程を連続的に行うことを基本形に導入することで、従来バイオマス領域では実践できなかった未利用資源の新領域となる高度な利用化が可能となることを示すものである。従来は未利用資源の大半がいわゆる駄物（市場価値がないもの）として廃棄されており、有償処理（お金を支払って処理する）をしていた素材の資源化を行う。この乾燥工程及びエクストルーダー加工の連続式で、1. 多段階用途向け素材（バイオマス）を分汲し、2. 予定された加工区での資源効率の最大化し、3. 食品や飼料では輸入資源相当の高効率品質を低価格で生産し、4. 低効率と考えられてきたバイオガスや燃焼用資材あるいは既存の加工工程の資源効率の高効率化を行う。5. 雇用や産業創出の基盤となり得る粗利構造、付加価値や市場価値の創出工程の基本形を実証する。

結果その地域利用型資源工程（コンビナート）はその地域でもっとも競争力を有する資源事業推進産業複合体となり得、輸入原料とのシナジーを含め、その地域を活性化する資源関連企業の事業展開の主導的支援企業となる事が期待される。現在の我が国の産業設計にはほとんどこの地域資源を活用してその地域に貢献する産業設計が存在しておらず、か

つての資源安時代の設計の儘となっている。

第 5 章ではバイオマス事業の律速となる比重の改良策、輸送性の確保としてのペレット工程、エコ物流および LCA 実証を行った。基本の LCA 計算モダリティシフトの潜在力分析を行った。過去多くの地域で内需振興型の産業創出が叫ばれながらも、市場での本格利用の律速となっている要素工程は ①乾燥コスト、②高度利用加工法、③物流コスト、④輸送形態である。これらを一つの利活用工程と仮定し、コストの極小化や、付加価値化の工程化を未利用資源の領域で、物流および配合飼料加工の環境負荷、改善手法の分析を中心に試みた。現在、穀物資源がほとんど輸入になっているのは大量輸送の普及により、海外の資源が高騰したといっても安価に入手できる故である。過去の資源安時代に、有償廃棄や焼却処理されてきた資材や有機物の素材化、資源化工程を再整備し、多段階に利用できる基本工程化を再設計するとともに、開発案を作成した。日本国内の物流を活用する手法として港湾の有効利用、輸出企業と輸入企業の連携により、素材の輸送特性の改善、バラ物流の活用手法などでの可能性が認識された。

第 6 章では本研究における各要素工程の基本系のまとめ、および今後の課題とその解決策を述べた。特に乾燥工程の低コスト化領域で太陽光エネルギーを活用した集荷保管拠点であるカントリーエレベーターや、エクストルーダーやペレット化を利用した資源流通を大型物流で普及する手法などによる課題解決策を提示し今後の研究課題とした。

引用文献

- [1] Reardon T. and Berdegue J. A., The rapid rise of supermarket in Latin America: Challenges and opportunities for Development, Development policy review 20(4) Overseas development Institute, 317-334 (2002)
Reardon T. 「流通革命における新たな現実」食料安全保障 国際シンポジウム Partnerin agriculture, 米国農務省ミッション講演 (農水省 2010 年 4 月 7 日)
- [2] レスターブラウン フードセキュリティー誰が世界を養うのか 第 3 章 途上国のホットコール「もっと肉を」第 10 章 グローバルセキュリティーを目指して (株) ワールドウオッチジャパン, 63-91, 271-304 (2005)
(原書) Brown L. R, Outgrowing the earth: the food security challenges in an age falling water tables and rising temperatures. WW Norton & Company (2004)
- [3] NHK 食料危機取材班 ランドラッシュ激化する世界農地争奪戦 農地争奪時代の幕開け新潮社, 13-22 (2010)
- [4] 米国農務省統計局発表 (Aug. 2013) 粗粒穀物、大麦、油糧作物世界生産 米国農務省統計局 (2103)
- [5] Roberts P. 食の終焉 ダイヤモンド社, 358-366 (2012)

- [6] 倉田忠男, 脊山 洋右, 野口忠, 鈴木恵美子 基礎栄養学 (食生活と健康 株) 東京化学同人, 9-25 (2004)
- [7] 農林水産省報告書 平成 25 年版 食料・農業・農村白書 第 2 章 食料の安定供給の確保に向けた取り組み, 53-138 (2013)
- [8] 末松広行, 食料自給率の「なぜ」扶桑社新書, 26-39 (2008)
- [9] 米国政府, エネルギー独立性及び安全保障法 (H. R. 6) EISA 2007 (2007)
- [10] 米国エネルギー情報局 (EIA) の年次報告書 Annual Energy Review 2011 (2012) <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual>
- [11] 農林水産省報告書 海外食料需給レポート (2012)
(<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/index.html>)
- [12] 小島慶三 文明としての農業 生命産業コンプレックス ダイヤモンド社, 55-56, 159 (1990)
- [13] 川島博之 世界の食料生産とバイオマスエネルギー 2050 年展望 第一章 土地利用と食料 1.3 休耕地 東京大学出版会, 10-21 (2008)
- [14] 柴田和雄, 木谷収 バイオマス生産と変換<上>学会出版センター, 215-222 (1981)
- [15] 木谷収 バイオマス - 生物資源と環境 コロナ出版, 91-103 (2004)
- [16] エコマテリアルフォーラム 第 2 章バイオマスコンビナートの概要とプロジェクトモデル バイオマスコンビナート資源化工程の作出検討プロジェクト 報告書 農林水産省 平成23 年度 農山漁村 6次産業化対策事業に係るバイオマス資源活用促進事業 緑と水の環境技術革命プロジェクト事業社)未踏科学技術協会, 10-11 (2011)
- [17] 中川仁 第 7 章 草本系バイオマス バイオマスハンドブック第二版 (株) オーム社, 30-37, 59-67 (2009)

第2章 資源作物を活用したコンビナート後背地の開発

2.1 はじめに

米以外の穀物資源をほぼ 100%輸入している我が国でバイオマス資源確保の方策として、放棄地やヤマセなどによる軽度の障害地を安価に活用し、日本の気候や地勢に合った増収系の種苗を機械農業手法によって低コスト栽培する手法を本章で実証した。木質や草本植物の加工物やリサイクル資源が主力と考えられているバイオマスのカテゴリーの中に資源作物が認識されており [1-2]、バイオマスの産業化の重要な位置を占めている。世界ではすでに植物生産による、食料、食品以外に飼料や工業原料、エネルギーを作るための原料となる作物を資源作物という概念が定着し、栽培事業が普及している。エネルギー源や製品材料とすることを主な目的に栽培される植物としてコーンや菜種などの農産物やヤナギなどの樹木が該当するが、様々な植物がその用途により資源作物になると考えられている。バイオマスの産業化の観点より見ると、森林資源やリサイクル資源は供給面での制約を受けやすいという課題がある。資源作物を活用することで成功した事例がドイツのバイオガス事業の普及等で知られる。元々欧州のバイオガス事業は畜産糞や汚泥処理の為の低効率運営がなされていたが、2004年の改訂エネルギー法により、放棄地の気候に合う、コーンや麦類のエネルギー作物を本格的に導入し、畜産業の未利用資源である畜糞や放棄地利用のエネルギー作物等を軸としたバイオガス発電、熱利用を産業政策として導入し、生産者収入を倍増させ、畜産業の業態転換に成功した事例が報告されている [3]。日本の場合、国土、地勢は世界有数の森林国家であり、山際、山間地、塩害地、傾斜地等が多く放棄されている事が認識される。資源作物候補として、日本の地勢、放棄地環境における適性、高頻度収穫などの特性を持つ、東京都八丈島の明日葉の越冬耐寒性種、及び、耐乾燥性と旺盛な植生で知られ動物嗜好性が高いアフリカ原産のスイートソルガムを防虫柵、日蔭柵の含みももたせ選択し、日本の地勢、気候を生かした、草本資源による生産方式の基本形の実証を試みた。

本章では我が国の休耕地の実態を踏まえ、資源作物や救荒作物によるヤマセ、塩害、放棄地の実態にあわせた、明日葉の資源作物生産方式の実証を行った。本章での実証内容の前半は4年に渡る東北、北海道を拠点に、明日葉のヤマセ気候の野外における生産性調査、海外資源との競争を可能とする旺盛な植生と低コストの生産性の実証、後半では明日葉とバイオマス資源を活用した、塩害農地の再生の実証試験を行った。

なお、ファイトレメディエーションとは植物の生命力で土壌や水や空気を浄化する手法をいう。植物が気孔や根から水分や養分を吸収する能力を利用して、土壌や地下水、大気汚染物質を吸収、分解する技術のことである。植物の根圏を形成する根粒菌などの微生物の働きによる相乗効果で浄化する方法も含む。本章後半では主に津波震災で塩害地となり普及が遅れている農地を植物の生命力で再生することを塩害ファイトレメディエーション

ンと定義し、その農地再生、収穫物の利用などの研究を行う。

明日葉の場合、八丈島の海岸線で生息し、予備テストの結果でも耐塩性を有することが示されていることから、津波による震災地での利用を検討するため、数か所で予備実証を行った。現在、震災地での実用化実証が始まっている。

2.2 実験方法

2.2.1 明日葉ソルガム栽培圃場設計

本章では明日葉及びスイートソルガムの隣接栽培の圃場設計を行い、明日葉ソルガム圃場と呼称し、ヤマセや軽度の塩害による障害地、未利用地における農耕の実証を行った。我が国の特殊な地勢、気候、放棄地などでの旺盛な植生で、海外の作物の生産性とコストにおいても競争できる可能性のある植物を選択条件に設定し、過去の畑作の通念とは別に、国産の旺盛な成長性ある種苗の探査を行った。食履歴が長くあり、ヤマセ地域や森林域でも生育可能である事を選択条件に入れたため、かなり困難な作業であったが、調査の結果、成長性のすぐれた日蔭作物の明日葉を選択した。また明日葉栽培における日蔭柵や防虫柵用として青森県での栽培実績もある耐乾燥性に優れたスイートソルガムを選択し、明日葉に対する虫よけ効果や、苦味のある明日葉の嗜好性改良資材としての用途についても検討した。

研究計画の設計にあたり重視したことは、わが国の独特の地勢、アジアモンスーン気候、降雨量が 2000 ミリという気候なども生かし、塩害地や放棄地において植生を最大にする手法を考案することである。飼料用の資源である以上、乾物換算のコスト競争力は国際市場標準の品質と価格が要求される故、海外と比較し、生産高を最大にする手法を検討し実証することとした。

2.2.2 平成 23 年度明日葉ソルガム大量栽培実証（ヤマセ地域）

昨今、世界の食糧需要の高まりや、バイオマス政策の普及にともない、わが国の放棄地の利活用議論が盛んである。増収系の資源作物、塩害、ヤマセ、急勾配にある農地などの放棄地に適応した増収系資源作物の栽培と、新たな農耕法による解決策の検討が必要である。

そこで本節では平成 20 年から 22 年にかけて、ヤマセや濃霧等の発生で知られている北海道黒松内町、新日高町の予備調査研究を行い、平成 23 年から 24 年にかけて、行政公募を活用して、青森県の上北郡、陸奥市、東通村など、10 数か所を県の産業技術センターや協力企業と行った調査や実証内容について記載する。同時に、日蔭を適作とする明日葉の越冬耐寒性種の実証試験を青森県、岩手県及び生産者の協力、支援により、上北郡、雲雀平、

北上市などで行った。

実証地にヤマセ気候で有名な青森県の上北郡横浜町の畜産組合と連携し、畜産組合の牧場の隣町である雲雀平の約 1.2ha の採草地を試験圃場に設定した。松林の隣地に圃場を設計し、森林や山際での栽培環境も考慮に入れ、放棄地での越冬耐寒性の明日葉を試験対象として、生産性試験を挙行了。丁度、明日葉栽培の希望者である畜産組合が牧場環境整備で欧州でのハーブ畜産を研究途上であり、本件と協力体制を組み、明日葉の野外実証を行った。

平成 23 年 6 月に明日葉を定植し、11 月 5 日～17 日に収穫することで、生産性実証を行った。効率の良い収穫機の候補として、数機種検討したが、大手農機メーカーが販売予定としていた大豆収穫機を借りて、収穫試験を行った。

1) 試験圃場

青森県の上北郡雲雀平の採草地において、平成 23 年 6 月～24 年までの間、風力発電設備の下かつ、松林の隣地で明日葉を栽培し（日蔭作物の増収確認）、初年度の生産性試験を行った。栽培圃場面積は 1.2ha とした。明日葉の圃場設計図を図 2.1 に示す通り作製した。

作製趣旨は、従来の穀物などの経済作物と異なる特質をもった日蔭作物かつ収穫頻度が多いことで知られるセリ科の明日葉の特性を生かした大量栽培圃場設計である。

①当該地域は、ヤマセ地域における日蔭作物の収量の確認（生産性試験）、②スイートソルガムとの混播、防虫柵などの基礎試験、③森林隣地での日蔭地の明日葉の植生を趣旨に設計した。

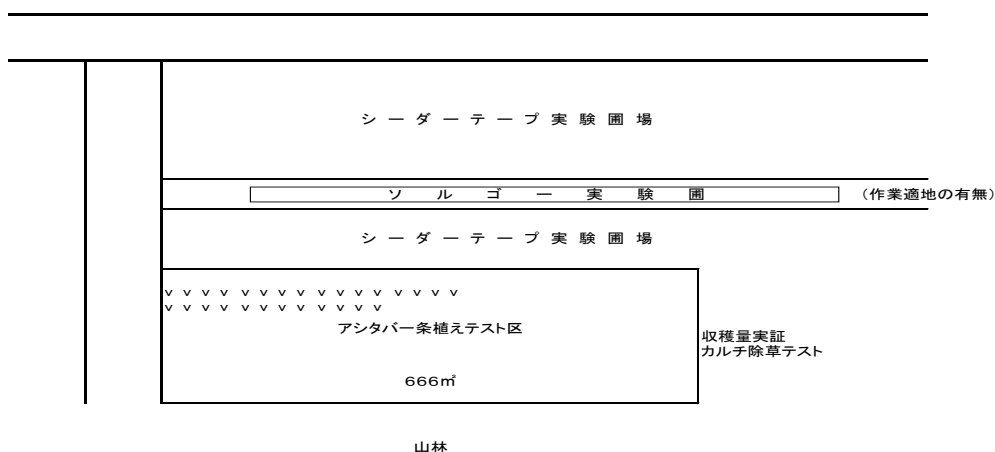


図 2.1 圃場実証設計図

2) 実施スケジュール

明日葉(青森県上北郡雲雀平)の定植は、青森県の生産者に依頼し、6月12～15日に手作業で行った。収穫作業は平成23年11月5日に予備作業を行った後、11月17日、11月24日、11月29日、11月30日に举行された。

3) 測定内容及び計算式は坪刈りを数か所で行い以下の通りその平均重量に栽培面積をかけ、生産量を計算した。

$$\begin{aligned} & \text{平均重量 (坪刈り重量の数か所の平均値)} \times \text{栽培面積} \\ & = \text{栽培面積における生産量 (kg)} = \text{重量 (ton)/ha} \end{aligned}$$

4) 収穫実証

農機メーカーの大豆収穫機を転用し収穫機械実証も行った。農機メーカーの開発によるハウレンソウ収穫機、乗用収穫機、大麦若葉の収穫機などが事業化され、明日葉収穫にも転用可能と考えられる。本研究では初年度の明日葉の生産性について定植テスト区で収量の実測を行った。図2.2は圃場試験の状況を示す(平成23年夏)。



図 2.2 青森県上北郡雲雀平で圃場実証の様子(平成23年夏)

本章で扱った資源作物対象として(1)明日葉の越冬耐寒性品種、(2)スイートソルガムを選択し、(1)は乾燥試験や分析試料対象用及び東北地方における越冬耐寒性品種の生産性実証試験を、(2)は乾燥試験および分析試料用の試作を行った。以下その詳細を補足する。

実験材料 (1) 明日葉の越冬耐寒性品種

東京都原産の明日葉の越冬耐寒性品種（種苗法による品種登録：理恵第 14641 号）を使用した。茨城県での平成 21 年度の栽培履歴を、表 2.1 に示す[4-8]。

表 2.1 明日葉の栽培管理データ（栽培記録よりの抜粋）

年度	実施時期	作業防除	土づくり	
平成 21 年	2 月～5 月	耕起、マルチ	施肥 明日葉用肥料	
	3 月～5 月	定植		
	5 月～6 月	アブラムシ駆除 サンクリスタル		
	6 月～8 月	除草		
	7 月～9 月	刈り取り（収穫）		
	平成 22 年	3 月～	収穫開始	
		5 月	アブラムシ駆除 サンクリスタル	追肥 明日葉用肥料
6 月除草				

図 2.3 に明日葉圃場外観を示す。旺盛な植生で、地上部が葉柄であり、地上 10cm にある成長点以上を伐採、収穫しても再現性あることが確認されている。特に東京都八丈島周辺で長年栽培されてきた純粋国産種の明日葉（学名 *Angelica keiskei* Koidzumi）は、多年草であり、従来の北限は茨城県とされたが、これに越冬耐寒性をつけた登録品種（原生林明日葉）を選択した。日蔭植物として森林と共生するセリ科の食用植物で、旺盛な成長力を示す珍しい種苗である。八丈島では江戸時代より長きにわたり食履歴がある。明日葉は地面より 10～15cm の所に成長点がある。その成長点以上の地上部の部位を収穫後 15 日前後で再生するやわらかい新葉、15～30 日の中葉、30 日前後以降の熟葉・根部分に大別され部位毎に商品化されている。青果市場出荷には主に新葉と呼ばれる柔らかい若葉部分が出荷されており、食材、サラダなどに使われている。他の部分は八丈島などで中葉は食品原料、熟葉や茎は飼料などに利用されている。その他に、根部分などの食材利用として天ぷらなどでの普及事例が知られている。

他の選択理由としては、動物産業に販売先を求める以上、コスト競争力が必要であり、また大豆粕のように、食材としてのある程度の食履歴がある素材で食材や機能性素材の残渣利用となればかなりの価格競争力が期待できる。食履歴の有無は資材の産業化する場合重要で、履歴のない植物を飼料等の資材とする場合膨大な調査、検証が求められる。高頻

度収穫が可能である特性も従来の普及種の弱点（天候などに左右される）を補う素材となりうる可能性がある。



図 2.3 明日葉の試験圃場外観(茨城県の試験圃場)

現在、明日葉は八丈島や本州や九州の企業生産者ほかで野菜や健康食品向けの高頻度収穫による生産手法、あるいは健康食品企業の根や茎にあるフラボノイド取得用の栽培手法などが商業的に進んでいる。健康食品企業がフラボノイド取得のためよくつかわれる手法で、受粉後の爆発的増収特性を活用した、資源作物利用、バイオマスクロップとしての生産手法、バイオマスの利活用研究では日が浅く、今後の課題となっている。日本の農業の生産性は海外に及ばないと考えられてきたが、国産種を活用した生命資源のバイオマスクロップとしての生産性の確認や耐塩性などの活用手法を本章で検討することとする。

実験材料 (2) スイートソルガム

図 2.4 にスイートソルガムの試験圃場を示す。スイートソルガムは平成 20 年～22 年にかけて青森県においてメタノール生産を視野に実証されてきた。元々スイートソルガムは牛の粗飼料としてかなりの栽培実績があり研究者の間ではバイオマスクロップとして注目され、既に、企業による海外生産など研究がおこなわれている古い種苗である。熱帯アフリカ原産で、イネ科の一年草の植物・穀物である。日本国外での呼称、ソルガムをそのまま用いることもある。古くは中国での呼称であるコーリヤン（高粱）とも呼ばれた。主要な栽培食物のひとつであり、穀物としての生産面積ではコムギ、イネ、トウモロコシ、オオムギに次いで世界第 5 位である。熱帯、亜熱帯の作物で乾燥に強く、イネ、コムギなどが育たない地域でも成長する。原産地はアフリカ、エチオピア、スーダンといわれ、古くか

ら甘味、および高嗜好性飼料として発酵関連の研究者より注目されてきた。当素材は古くから、残渣も酵素処理により非結晶構造をもつ糖へと有利利用可能な作物として認識されてきた。需要を持つ企業の契約再栽培種としての開発普及が期待されており、大手種子メーカーが国内でも販売している。東北地方でも4m前後の高さまで成長を示す。



図 2.4 宮城県仙台市太白区のソルガム圃場

図 2.5 に宮城大学（宮城県仙台市）のスイートソルガム（WRAY、風立ち種）の写真を示す。



図 2.5 スイートソルガム(左図は甘味種の WRAY 種、右図、飼料用風立ち種)

平成 24 年に宮城大学圃場においてスイートソルガムの収穫を 1 月 17 日、1 月 18 日に挙行し、宮城大学圃場より青森県産業技術センターへ納品した。生産物は第 3 章、第 4 章の乾燥、加工実証に活用した。本研究では主に、明日葉とスイートソルガムの乾燥、明日葉との複合栽培適性試験などを行った。ヤマセ地での栽培記録がなく、又、東京都の八丈島の海岸線の栽培履歴より塩害耐性なども通念的に言われてきたが、栽培記録が十分になく、本章での研究課題とした。

現在、スイートソルガムや稲などは、酸処理や酵素処理により、飼料およびバイオ燃料、化学製品への応用開発研究が盛んに行われている。今後、資源作物系のバイオマスの利活用が進むと予想される [9-12]。

なお米国ではコーンなど穀物加工によるバイオエタノールの生産より、セルロース由来で環境負荷が少ないとされるスイッチグラスやコーンストーバー（コーンの子実以外の地上部の有機物部分の事で、その全量の畑投入は害虫の発生につながり、増収の妨げとなるとの議論がある）に転換が始まりつつある。米国政府の国策に従いセルロース由来のエタノール開発が徐々に本格的に始まっていくと考えられている。DUPONT CELLULOSTIC ETHANOL/DUPONT STOVER HARVEST COLLECTION PROGRAM の情報によると、2012 年より年産 3000 万ガロンのセルロース由来のエタノールプラントを約 \$ 200mil かけて、アイオワ州のネバダにおいて建設中で来年 2014 年に操業開始予定である。土壌分析を行い、土壌に必要以上の有機物はむしろ成長の阻害要因となるとして、コーンストーバーを収穫し、エタノールの資源化に供する試みが始まりつつある。本確的なバイオマス産業化の試みとして注目される [13]。

2.2.3 平成 24、25 年度明日葉の栽培実証（未利用地）

わが国の気候や地勢にあった野菜系作物の低コスト栽培手法開発が必要である。特に優良農地、優良農産物の基礎概念のほか、実際の耕作放棄地、遊休農地（ヤマセ地、寒冷地、塩害地を含む）で、国産種苗による大規模栽培の可能性を実証する必要がある。平成 23 年に青森県或いは北海道ほかで明日葉の栽培実証を、平成 24、25 年に岩手県の大手生産者の協力で以下に示す方法で、未利用地での野外試験を行った。資源作物の低コスト化で課題となるのは明日葉に限らず旺盛な植生、繁殖能力がありながらも、その種子の発芽率、発芽時期などの課題をもつ種苗が多く、事業化の律速になっている課題がある。明日葉の場合も発芽率は 70%前後であるが発芽時期の特定ができず、資源作物化には安価な育苗システムの確立が望まれた。今回はその課題解決のため北海道の甜菜の育苗システムの明日葉の育苗実証、大量栽培圃場などの実証を行った。

平成 24 年度に岩手県北上市での明日葉の大規模生産およびスイートソルガムの防虫・日蔭柵としての利用性について予備試験を行った。明日葉の育苗を北海道で行い、得られた育苗を岩手県北上市の大農の協力で栽培試験を挙行了。明日葉は隣の投入が必要な作物

であるため、鶏糞の多投入型の農耕実証を行った。

初年度は虫よけの為の防虫柵としてスイートソルガムを設計し、明日葉の育苗の隣地に播種した（6月12日～15日）。5月末に元肥鶏糞堆肥を57.9 t/ha（堆肥の過去の成分は水分約30%、N=2～2.5%、P=2～3%、K=2～3.5%）、オール14を60kg（ha換算）投入した。8月～11月はオール14を毎月10kg（ha換算）、平成25年は4月半ばに1回追肥が実施された。

2.2.4 塩害ファイトレメディエーション実証（農業振興センター連携）

平成23年度秋に、塩害耐性の予備実験区に土壌を敷き詰めた箱を準備し、明日葉の苗を各箱に数株ずつ定植した。海水の塩分濃度は3.5%として知られる故、調整し同じ濃度を灌水として使用した。30cm×45cmの塩ビの箱に土壌をいれて、夏期に海水を灌水として、数回栽培した（適正の見極め試験）。

平成23年10月15日より11月21日に人工海水添加区で、発芽成長した新芽についてNa分析を行った[10]。

震災直後の平成23年、12月に八戸市の農業経営支援センターでも海水濃度での灌水実験の栽培試験を行った。

野外における、塩害地での試験手法および概況報告を以下に示す。

2.2.5 塩害ファイトレメディエーション実証（研究施設内試験）

ファイトレメディエーションの効果の計測を以下条件で行った。

1) 植栽条件

黒木土と鹿沼土を重量比1:1で混合した土壌7.5kgを入れたプランター（20cm×59cm×16cm（高さ））に、人工海水を溶解した水溶液を添加・混合し、塩分濃度1.0～4.0%土壌を調整した。さらに、これらの土壌に、粉炭と堆肥を施用した。

粉炭は通常の木炭、堆肥は市販の生ごみ堆肥を用い、明日葉苗の植栽時に、土壌の含水率を50%となるように調整した。土壌のpHは5.8～6.2程度であった。一つのプランターに明日葉を3ポット（明日葉2株/ポット）ずつ植栽した。

表 2.2 に示す食品廃棄物由来堆肥の品質のばらつきを試料 A, B で測定分析した。

表 2.2 食品廃棄物堆肥の成分分析

分析項目	平成 21 年 2 月 24 日採取	
	試料 A	試料 B
窒素全量(乾物%)	3.2	3.8
アンモニア態窒素(mg/100g 乾物)	151	102
硝酸体窒素(mg/100g 乾物)	46	35
リン酸全量(乾物%)	1.9	2.0
カリ全量(乾物%)	1.2	1.1
C/N 比	10.2	9.9
水分 (%)	20.5	16.4
炭含量(乾物%)	10.1	14.7
pH	8.55	8.60

表 2.3 に、明日葉植栽実験に用いたプランター土壌の構成条件と植栽計画を示す。

表 2.3 プランター土壌の構成と明日葉の植栽 (○) 計画

10a に対する投入量換算		土中の塩分濃度 (%)				
		0	1	2	3	4
炭と堆肥の 施用量 (kg/10ha) ◎成長旺盛 ○成長阻害小 △成長阻害大 ×枯れ大 (目視)	① 施用なし	----	○	○	----	----
	② 炭 500kg+堆肥 500kg	○	○	○	○	○
	③ 炭 1000kg+堆肥 1000kg	----	○	○	----	----
	④ 炭 500kg	○	○	○	----	----
	⑤ 堆肥 500kg	----	○	○	----	----

明日葉は 2011 年 11 月 26 日に植栽し、温度 18~20℃、湿度 (RH) 30~40%の恒温恒湿室に設置した。光の照射条件は、光源として蛍光灯を用い 8:00~14:00 は 6,000lx、14:00~17:00 は 3,000lx となるように設定した。明日葉の成長量や Na の吸収量を決めるために、2012 年 1 月 8 日に明日葉の葉を採取した。灌水は適宜、プランターの下穴から流出しないように、各プランター当たり 500mL ないしは 1,000mL 行った。この灌水方法は、水の流出により土壌中の塩分濃度を変化させないためである。なお外観測定、評価は目視で行った。

2) Na 濃度の測定

明日葉の葉（枯葉・新芽）と根茎、プランター内の土壌を採取した。室温で 1 日以上風乾した後、105℃で 24 時間以上乾燥させ絶乾試料を得た。これを、粉砕機で粉砕し分析試料とした。分析試料約 5g をケルダールフラスコ（300mL）に投入し、硝酸 30mL と硫酸 1mL を加え加熱し、更に過塩素酸 10mL を加えて徐々に加熱し、湿潤灰化した。得られた溶液を濾過しながら 100mL に定容し、これを試料とした。原子吸光装置（(株)島津社製 AA-630）を用いて試料溶液の測定を行い、Na 濃度を求めた。

2.3 結果及び考察

2.3.1 明日葉ソルガム栽培圃場設計

図 2.6 に明日葉及びスイートソルガム圃場の基本設計図を示す。栽培圃場計画図（10a 当り）スイートソルガム 2 畝、明日葉 8 畝により、スイートソルガムの日陰を活用した明日葉の圃場設計である。右手にある一畝毎の株数を図 2.6 の右図に示す。日陰作物の明日葉は夏の強光に弱く、遮光が必要で日陰柵を検討した結果、東北で栽培履歴があり、動物嗜性の高いスイートソルガムが選択された。

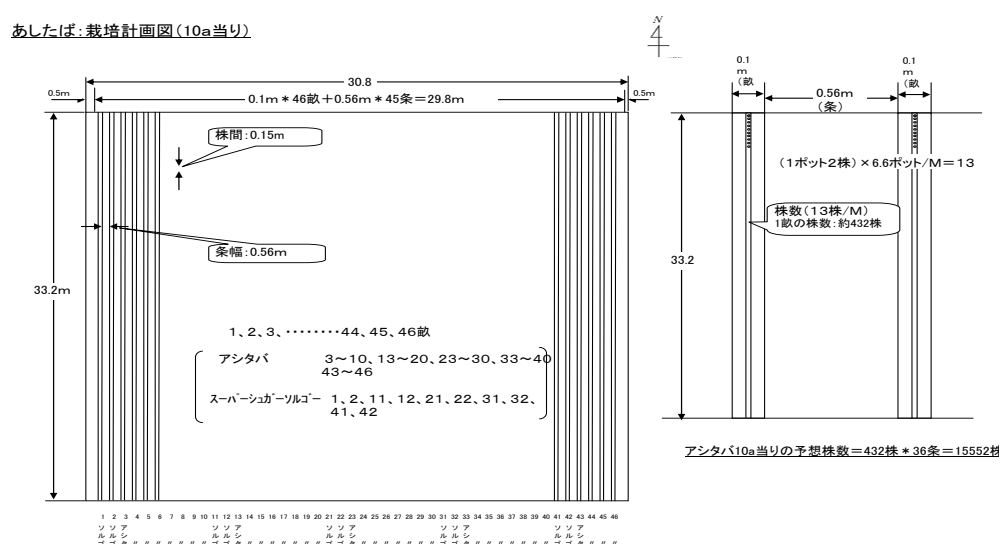


図 2.6 栽培計画基本設計図

明日葉ソルガム圃場の設計趣旨は従来の伝統農耕の野菜の定植方式および一部マルチを利用した、手作業中心の栽培収穫形態より、潜在的に存在する大型市場をとらえるカスケード（多段階市場向け）圃場開発である。業務用食材や飼料向け市場はすでに国際競争に

さらされている領域のため、国際標準での価格および品質水準において、事業性を確保できる設計を前提とした。対象市場は①生鮮、②業務用食材、③機能性飼料原料向けを可能とし、増収の最大化及び機械化によるコストダウンと、収益構造の多段階かつゼロエミッションによる方式を導入した。低コスト化、市場のニーズである減農薬化、徹底した増収を意図した農耕法案を導入した。

2.3.2 平成23年度明日葉ソルガム大量栽培(ヤマセ地域)

平成23年に青森県上北郡雲雀平ではヤマセ地帯の採草地において、松林隣接での試験栽培を行った。図2.7に明日葉の収穫前の生育状況を示す。左端がスイートソルガムである。右端が松林の設定で日陰作物の植生をヤマセ地で収穫量を確認することにした。図2.7、図2.8はヤマセで有名な、青森県下北半島上北郡の雲雀平の採草地での試験圃場である。風力発電施設の横下、右手にある松林を森林環境と想定し、未利用地におけるヤマセ気候環境での明日葉の越冬耐寒性種の試験圃場とし以下の結果を得た。

1)生産量測定

数か所の坪狩りを行い、平均し、栽培地の平均面積に換算し666m²トンでha換算、1.8トン、28トンha当たりの収穫量が確認された。又図2.8に示す収穫を大豆収穫機で行い、実際の収穫量の実測も行った。本生産性試験の実証結果では10トンパックに10袋を収穫した。長野加工場向け、貨車積みで長距離輸送用で6袋、青森産業技術センターでの乾燥用で4袋収穫を行ったが合計で1.8トン前後であることが確認された。6袋で1トン前後であることが貨車重量スケールによる測定で、確認された。

2)大量栽培、収穫の作業性

農機メーカーの開発によるハウレンソウ収穫機、乗用収穫機、大麦若葉の収穫機など既に事業化されている収穫機により明日葉やスイートソルガムを収穫可能であることが確認された。

以上より、本年は遅れた定植で活着が懸念される環境下での収穫および測定であったが、年3回収穫すれば、推定70トン超の生産が可能と考えられる。通常では機能性素材であるクマリンにより明日葉には苦みが残るが、寒暖の差が大きい地帯で栽培した青森産は糖度が改善され甘味が残ると好評であった。

課題として大豆収穫機利用は収穫スピードが速いため、収穫物の積み込みに用いる並走車の設計など、作業の機械化や効率化等が必要との認識になった。

該地は経済作物には不適地と言われているが、かつては芋の産地であった。日陰作物の

明日葉の植生は特異であり、日照時間は早朝の 2 時間に十分取れば、旺盛な植生を示すといわれているため、定植時期が遅れたにもかかわらず十分な生産性が示されたと考えられる。特に松林隣での植生が良く、日陰作物としての植生が目視で観察された。更なる実証測定が必要である。

図 2.7 の収穫前の明日葉圃場に示すように、植物同士の相性は良好で旺盛な植生を見せた。右端の松林隣地では旺盛な成長を見せた。



図 2.7 収穫前の明日葉圃場(青森県上北郡雲雀平 採草地内未利用地
左端がスイートソルガム実験栽培、右端が松林)

図 2.8 に収穫の様子を示す。松林側より収穫した。



図 2.8 明日葉の収穫状況 (青森県上北郡雲雀平
平成 23 年 11 月 11~17 日)

2.3.3 平成 24、25 年度明日葉の栽培実証（未利用地）

図 2.9 には岩手県北上市での栽培試験概況を示す。平成 24 年は岩手県北上地方は 8 月まで早魘被害が多く、明日葉の成長は低迷したが、スイートソルガムは耐寒性を発揮し旺盛な植生を見せた。9 月末に大量の降雨があり、明日葉の栽培はかなり回復した。初年度は早魘年度にて目視での調査となった。



図 2.9 岩手県北上市に於ける生産性実証圃場外観（平成 24 年 9 月岩手県）

図 2.9 の右側のように、スイートソルガム（ソルガム種は耐乾燥性に優れ、成長は順調）を明日葉の日蔭柵および防虫柵として設計した。林隣接地、放棄地利用での実証を行った。初年度より収穫されたが、公式生産量測定には至らなかった。

図 2.10 に 2 年目の圃場外観、図 2.11 に圃場の明日葉栽培内部状況を示す。平成 25 年 9 月 27 日に収量測定を行った。2 年目は旺盛な植生を示した。収量が極めて多いことが予想され、内部の様子なども調査をおこなった。

明日葉は古くから、研究者の中では、食履歴や増収で知られており、アジアモンスーン地帯での新しい資源作物として社会に貢献する可能性を有し、本研究でも多角的に検討予定である。



図 2.10 鶏糞（燐）多投入、明日葉圃場（平成 25 年度 5 月岩手県北上市）

図 2.11 に旺盛な植生が確認され、2 年目の圃場の様子を観察（平成 25 年度は、9 月末に収量を測定）した。



図 2.11 鶏糞(燐)多投入、明日葉の生育状況（平成 25 年 5 月岩手県北上市）

図 2.10、図 2.11 にある如く、2 年目は爆発的な増殖傾向を示し、9 月末時点で表 2.4 の様に結果を得た。栽培圃場面積は約 30 a で株数は 60 cm×15 cmの株間で定植されており、株数を確認した結果 33, 300 株であった。試験的に 10 株を 10 箇所より採取し、平均重量を測定した。1 株当たり平均 3.96 kgとなり、推定収量 30 ha 3.96 kg×33, 300 株=131, 868 kgとなった。131ton は生の茎葉(地上部)の収穫推定値で、ha 換算 439. 56ton となった（明日葉の地上部水分測定値は 85~90%、表には水分概算値 90%を使用し、乾物換算値推定を行

った)。

表 2.4 に面積当たりの収量を示す (2013 年 9 月末時点での測定)。

表 2.4 面積当たり収量 (ha) 換算

	株間	平均株重量 (3.96Kg)	単位当たり収量
30a(3反)	60 cm x 15 cm	33,300 X 3.96Kg	@131.87 トン
1ha(10反)	60 cm x 15 cm	111,000 x 3.96Kg	@439.56 トン

表 2.5 に示す如く、明日葉の乾物数量、成長性を比較しても、トウモロコシだけでなく、バイオ燃料で有名なエリアンサスを超える数値を放棄地で記録したことになる。明日葉は成長に燐を必要とすると言われるが、米国のコーン、ブラジルのサトウキビが乾物計算で 20~60 トンレンジであることを考慮にいと東北の放棄地の利用において、海外の資源作物と比較が可能な水準の旺盛な生産性が確認出来たと考えられる。

元々明日葉は生鮮野菜として栽培した場合、地上部の葉部分のもっとも若い新葉部分を収穫する。他の部分は主に食材用途に使われる。定植後 2 年~3 年は平均 40 から 50 トン/ha 生産され、地上部の地上 10 センチ前後にある成長点以上は収穫しても、再現性があると認識され、高頻度の収穫が可能とされている。おおよそ 3~5 年で、抽苔すき込みし、再定植のサイクルで生産されているが、かなりの高頻度での収穫管理、特に夏場の網掛、遮光などが無いと抽苔する。

今回の北上での実証では初年度は早魃被害もあり少量の収穫にとどまったが、資源作物的生産である。2 年目は図 2.10、図 2.11 にある如く旺盛な植栽をみせた。ここでは 9 月末時点での収量測定報告を示したが、最終的なバイオマスとしての収量はより大きくなると思われる [14-15]。

この 3 年間でこの植物の野菜としての植生とバイオマスクロップ産業用途の最大化を試みた。我が国の東北の環境下でも一部食材や生鮮市場を照準でき、最終年にはバイオマスクロップとして生産量で海外市場と競争できる潜在力が確認されたと考えられる。これにより期待される国産作物による多段階向け (5F, food feed fiber fertilizer fuel 等) 生産事業の可能性が認識された [14-15]。

なお、多段階利用として考えられている領域は、現在存在する 1) 生鮮野菜と、2) 健康食品向け青汁パウダーの他に、女性用の健康食品向け単体のタブレット用途が拡大中である。今後、増加すると見込まれる高齢者の為の食材、食品ブランディング (加熱加工し酵素失活させた冷凍加工品原料)、食材パウダー、飼料パウダー (後述)、ペット用、バイオ

燃料用などの可能性を有すると考えられ、さらに研究が進むものと思われる。

表 2.5 多年生イネ科植物のバイオマス生産量 (COOPER1975 より抜粋 [16])

気候	草種	乾物収量 (kg・m ² ・年)	1日当たり収量 (g・m ² ・日)	場所
熱帯	ネピアグラス	8.47	23.21	プエルトリコ
	サトウキビ	6.41	17.56	ハワイ
亜熱帯	ギニアグラス	5.11	14.00	沖縄県石垣島
	エリアンサス (3年目)	4.23	11.59	種子島
温帯	バミューダグラス	3.01	8.25	テキサス州
	スイッチグラス	1.60	4.38	米国中西部
	トウモロコシ	2.38	17.24	岩手県
	(P3540)		生育日数 138 日	

今回の実証圃場

	明日葉 (理恵 14641)	4.36	24.22	岩手県北上市
	2年目		生育日数 180 日	
	水分 90% 暫定利用		4月～9月 2013	

$$1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{年}) = 10\text{t}/(\text{ha} \cdot \text{年})、1\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{年}) = 10\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{日})$$

明日葉のバイオマスクロップとしてのバイオマスの最大量は採種時期の11月から年末ごろが最大になると考えられており、調査予定である [16]。

2.3.4 塩害ファイトレメディエーション実証 (農業振興センター連携)

図 2.12、図 2.13 に予備実証概況を示す。いずれも目視では、明日葉の生育には大きな影響は見られなかった。土壌塩分を測定したが、0.7%前後の塩類集積と測定され、このレベルでの土壌における塩類集積では明日葉には障害を起こさない可能性が確認された。他の震災地での実証事例で、大型種苗であるコーン、大豆類はこのレベルでも発育障害となる事例報告がある [17]。この結果、青森県八戸市の判断で、図 2.16 の野外実証試験を挙

することになった。



図 2.12 塩害試験中の明日葉の外観
(左が無塩区)



図 2.13 予備実験区(箱)の様子
(バケツに 3.5%濃度の塩水)

図 2.14 はプランターの明日葉の耐塩性実証試験結果を示す。Na の取り込みを濃度で確認した。明日葉の場合、成長不良は、葉等の部分が黄色になる。

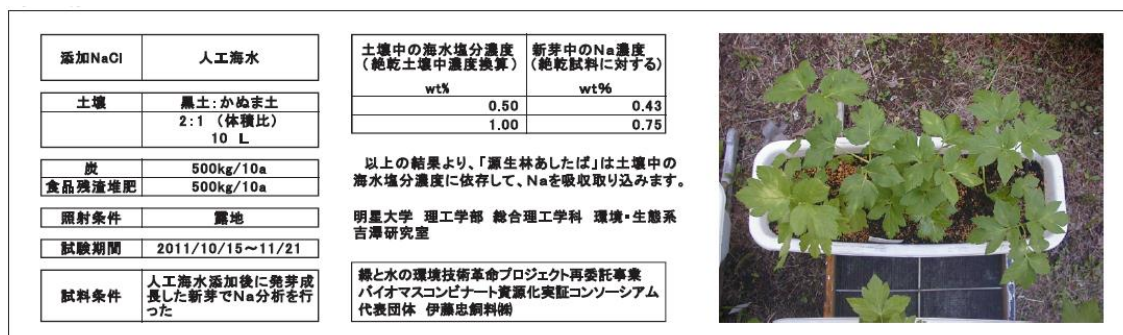


図 2.14 耐塩性実証実験

注) 本研究中に、2011 年秋に八戸市の農業振興センターより、明日葉の耐塩性の実証希望が寄せられ、協力した。ポッド苗に散水をせず、塩水を 6~7 回散布され、耐塩性が確認された。

平成23年、青森県八戸市の農業振興センターにおいて、耐塩性、耐寒性に関する実証を植物ハウスの中で海水濃度の塩水を給水して行われた。又市内の被災地での野外実証の結果、図2.15の通り明日葉の耐塩性、耐寒性の確認がなされた。以下は市のプレスリリースの内容を示す。計測の結果、土壌中の塩分の濃度は0.7%で順調な生育を示した。

原生林あしたばの耐塩性、耐寒性試験

■目的 塩害土壌において、イチゴ以外の作物についての耐塩性及び耐寒性のある作物の選定

■八戸市農業経営振興センター内試験

I 露地
II 施設内<①センター床土(5プランター) ②センター床土+炭+堆肥(5プランター)>
※②について
床土100kgに対して炭5kg(1袋)と松じいの有機堆肥1L
炭…美炭くん(5kg/袋)
堆肥…松じいの有機堆肥(25L/袋)

□作業
10月13日 プランターへ土入れ定植準備
10月14日 土壌分析(2種)
10月14日 定植

調査区名	土壌分析結果	備考
調査区1 堆肥+炭入り	EC0.17、pH7.1(6.6)	詳細分析有り
調査区2 慣行	EC0.12、pH7.1(6.5)	詳細分析有り
調査区3 堆肥+炭入り(海水)	EC1.76、pH6.8(6.6)	かん水は海水使用
調査区4 慣行(海水)	EC1.62、pH6.7(6.4)	かん水は海水使用

※土壌分析結果のpHは水を加えて測定したpH(H₂O)。()内はKClを加えて測定したpH(KCl)。

平成23年11月4日の状況(施設内)

調査区1



調査区2



調査区3



調査区4



■現地試験

調査区	土壌分析結果(10/14)
調査区Ⅰ	EC0.17、pH7.2(5.9)
調査区Ⅱ	EC0.03、pH7.3(5.2)
調査区Ⅲ	EC0.26、pH5.6(4.7)
調査区Ⅳ	EC0.04、pH6.8(4.7)

※土壌分析結果のpHは水を加えて測定したpH(H₂O)。()内はKClを加えて測定したpH(KCl)。

※定植はⅠ～Ⅲは10月8日、Ⅳは10月18日

調査区Ⅰ



調査区Ⅱ



調査区Ⅲ



調査区Ⅳ



平成23年11月4日現在

センター内及び現地試験ほ場何れも、活着良好。(要追肥)
塩害土壌においても生育確認。(定植後約1ヶ月時点で新葉展開及び新根を確認)

八戸市農業経営振興センター

図2.15 明日葉の耐塩性、耐寒性試験

図 2.16 に 2012 年の冬に八戸市の震災地で行われた明日葉の実証試験の様子を示す。活着を確認したのち秋口に越冬耐寒性試験を行った。明日葉の場合、東北地方では冬場一度枯れた後、翌年、生育するかが越冬耐寒性の評価としている（九州、四国は枯れず年中収穫できる）。本実証では肥料不足でも生育は可能であった。3 年目の 2014 年は、別の圃場設営が現地でなされ、土壌改良を行ない、商業生産の準備を進めている。



図 2.16 明日葉の塩害地における栽培実証（八戸市 震災地）

2.3.5 塩害ファイトレメディエーション実証（研究施設内試験）

震災地の復興を迅速に進める手法として、塩害を植物やバイオマスの力で修復する手法を塩害ファイトレメディエーションと定義し、実証を試みた。塩分含有土壌に明日葉を植栽し、実験室規模（恒温恒湿室）で管理し、明日葉の成長量と塩分吸収量を測定することにより、明日葉植栽による塩害土壌のファイトレメディエーションの可能性を検討した。併せて、堆肥の施用による明日葉の成長促進効果も検討した。

世界のあらゆる国はその自国にあった植物が存在する。こと資源に関し、生物多様性を尊重し、その国の増収種苗、栽培手法、農耕の最適化利用方法が存在すると考えられる。本研究では東京都の島嶼原産である明日葉を活用し、塩害及びヤマセ地域といった通常は商業的農業生産が困難であると考えられている地域における、農地再生、一部生産事業の可能性につき検討を行った。

1) 明日葉成長の耐塩性

図 2.17 に塩分濃度 0%の土壌での明日葉の生育状況を示す。塩分濃度 0%の土壌では、炭・堆肥を施用した土壌において、ともに 3 株とも成長が促進した。特に、炭+堆肥を施用した系において、成長が旺盛であった。

表 2.6 プランター土壌の構成と明日葉の成長状況

10a に対する投入量換算		土中の塩分濃度 (%)				
		0	1	2	3	4
炭と堆肥の 施用量 (目視) (kg /10ha) ◎成長旺盛 ○成長阻害小 △成長阻害大 ×枯れ大	① 無肥料	----	○	△	----	----
	② 炭 500kg+堆肥 500kg	◎	○	△-×	×	×
	③ 炭 1000kg+堆肥 1000kg	----	○	△-×	----	----
	④ 炭 500kg	◎	○	△-×	----	----
	⑤ 堆肥 500kg	----	○	△-×	----	----

表 2.6 にプランター土壌の構成と明日葉の成長状況の関係を、記号で示す。成長状況は塩分濃度 1%まではあまり成長阻害が確認されず好調で塩分濃度 0%の土壌での明日葉と同様の生育状況であった。2%以降は成長阻害を示した (----は実証を省略した区)。

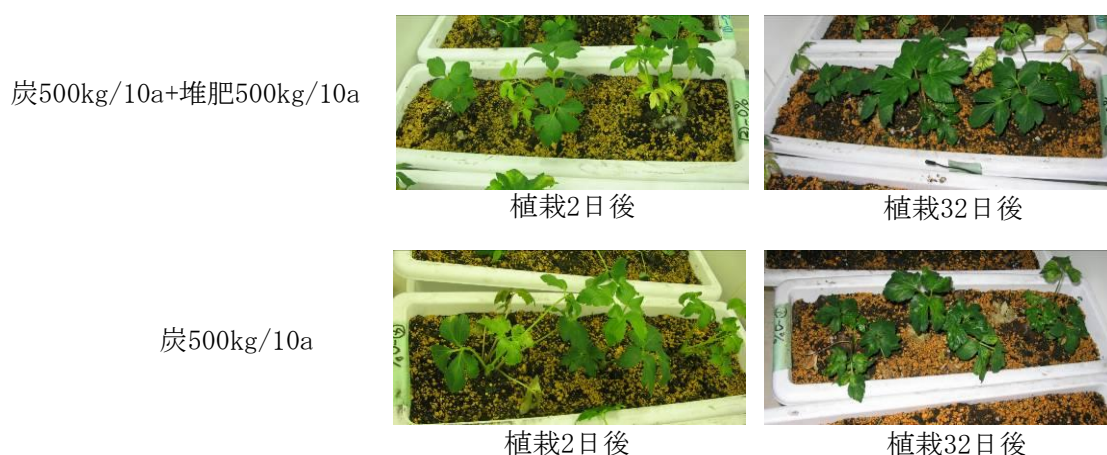


図2.17 塩分濃度0%土壌での明日葉の生育状況

図 2.18 に植栽 16 日後の塩分濃度 1%の土壌での明日葉の成長状況を示す。塩分濃度 1%の土壌での植栽 16 日後の明日葉の成長は、塩分濃度が 0%の土壌と比較して、ほぼ同等の成長が観察された。しかし、時間の経過に従い、多少の成長阻害が認められた。

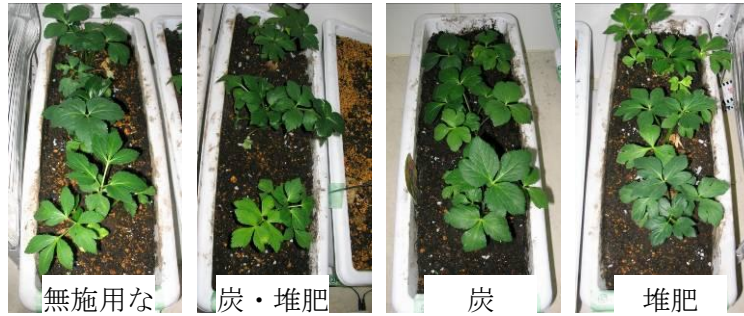


図2.18 植栽16日後の塩分濃度1%の土壌での明日葉の生育状況

図 2.19 に、塩分濃度が 2%の土壌の植栽 32 日後の明日葉の成長状況を示す。施用なしの土壌では、32 日後まで枯れは認められなかったが成長阻害は大きかった。炭と堆肥を施用した土壌や、炭のみを施用した土壌、堆肥のみを施用した土壌では、3 ポットが枯れた。枯れたものの中には、新芽が出るものもあった。



図2.19 植栽32日後の塩分濃度2%の土壌での明日葉の植生育成

図 2.20 と図 2.21 に各々示すように、塩分濃度が 3%、4%の土壌では、植栽後、直ちに枯れ始め、3%では植栽 25 日後までに、4%では植栽 13 日後までに、全ての葉は枯れた。葉の表面には食塩の微細結晶が観察された。

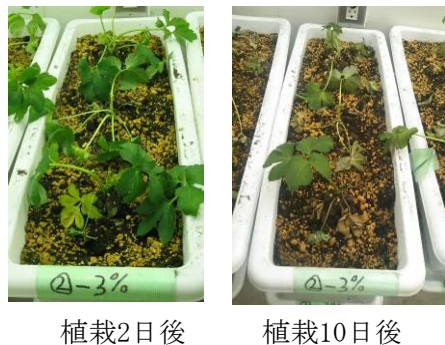


図2.20 塩分濃度3%の土壌での明日葉の育成状況

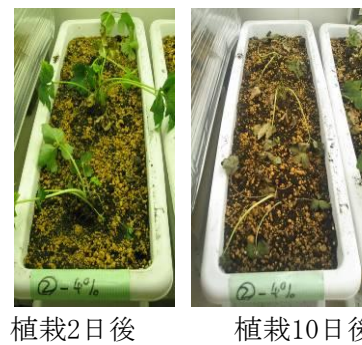


図2.21 塩分濃度4%の土壌での明日葉の育成状況

2) 明日葉の成長に関する炭・堆肥の施用効果

塩分濃度1%での炭および、堆肥投入区を設計し、施用効果を実証した。表2.7及び表2.8にある同じ設計で10アール当たり、①施用なし、②炭500kg/堆肥500kg、③炭1000kg/堆肥1000kg、④炭500kg、⑤堆肥500kgで同じ植栽条件で行った。

図2.22と図2.23に各々、塩分濃度1%の土壌プランターの3ポットの明日葉から成長した新芽と根の、風乾重量と絶乾(dry)重量を比較して示す。炭と堆肥各々1000kg/10aの土壌(条件③)において、成長した新芽と根の重量が最も増加した。

表2.7に施肥状況、図2.24に新芽と根の概観を示す。

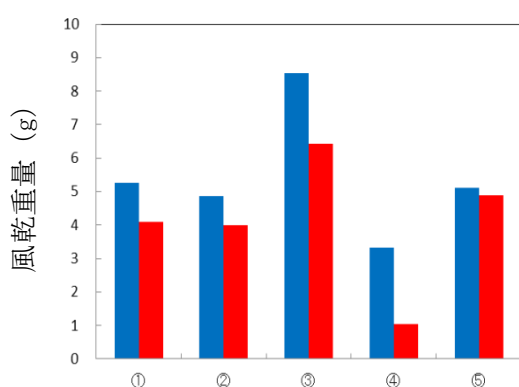


図2.22 アシタバの根と新芽の風乾重量 ■:根、■:新芽

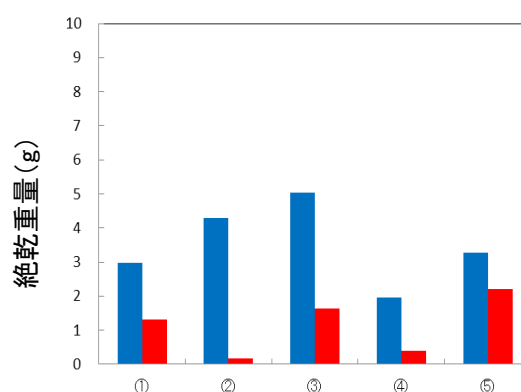


図2.23 アシタバの根と新芽の絶乾(dry)重量 ■:根、■:新芽

表2.7 ①~⑤各区の施用状況

	塩分	炭	たい肥
No	w t %	kg/10a	kg/10a
①	1	0	0
②	1	500	500
③	1	1000	1000
④	1	500	0
⑤	1	0	500



図2.24 新芽と根

3) 塩分濃度1%の土壌で育成した明日葉による除塩効果

表2.8で示したように、塩分濃度1%の土壌で育成した明日葉の葉(wet)における含水率は、平均値で82%であった。従って、年間予想収穫量9.18t(wet)/10aから絶乾状態の年間予想収穫量は、1.65t(dry)/10aとなった。炭と堆肥を各々1000kg/10a施用した土壌での明日葉の葉(dry)のNaCl濃度は、6.21wt%のため、葉中のNaCl量は0.102t/10a・年が推測された。この値が、明日葉による除塩効果となる。

表 2.8 明日葉の地上部（葉）によって除塩できる NaCl 量

	塩分濃度	炭	堆肥	生葉予想収穫量	含水率	絶乾葉予想収穫量	NaCl 濃度	葉中の NaCl 量
	%	kg/10a	kg/10a	t (wet) / (10a・年)	w t %	t (dry) / (10a・年)	w t %	t / (10a・年)
③	1	1000	1000	9.18	82	1.65	6.21	0.102

4) 塩害土壌（1%）のファイトレメディエーションの可能性

プランター（20cm×60cm=1200cm²、深さ 16cm）の面積に、44g の塩分を添加し、塩分濃度 1%を調整した。10a の圃場において、同様の塩分濃度 1%の土壌が深さ 16cm まで存在すると仮定すると、土壌中 NaCl 総量は 0.367 t /10a となる。

$$44\text{g} \times (10\text{a}) / (1200\text{cm}^2) = 0.367 \text{ t} / 10\text{a}$$

多くの野菜類の生育可能な塩分濃度を 0.3%とすると、除塩しなければならない NaCl 量は、0.257t/10a となる。明日葉による除塩効果は 0.102t/10a・年が推測されたため、除塩には 2.52 年が必要となる。

降雨や降雪による除塩効果も勘案すると、2 年以下で野菜が植栽できる状況まで除塩できる可能性がある。なお今件で対象に行ったのはあくまで東日本大震災のような一時的な海水による被災地条件を設定した。従来より塩分が地下水より上がるエリア、あるいは恒常的に塩類が追加される塩害地は降雨と追加される塩分を評価し、削減される塩分を計測し、投入植物が成長可能か確認する必要がある。

2.4 まとめ

1. 明日葉の成長に及ぼす土壌塩分の影響は、塩分濃度 1%では成長阻害は小さかった。
2. 塩分濃度が 2%になると、成長阻害は大きく 35 日程度で枯れが発生した。
3. 3%では 13 日後までに、4%では 25 日後までに全ての葉が枯れた。あくまで 1%前後の軽微な塩害に耐性があると考えられる（八戸の場合も 3.5%の灌水で成長阻害報告はなかったが、土壌中の塩類集積は 0.7%前後との報告であった）。
4. 塩害土壌への明日葉植栽により、2.5 年で野菜が植栽できる状況まで除塩（塩害ファイトレメディエーション）の可能性が示された。なお今回のファイトレメディエーションの計算方式は一時的な津波などでの塩分の除染であり、恒常的な塩分が地下水や土壌よ

りあがる場合は、追加される塩分と雨水による流出などの差額を計算することになる。

5. 本章の目的でもあるが、わが国の気候、地勢に適合し、かつ、農耕的工夫、機械工法の導入、鶏糞、炭等のバイオマスの導入により、他の農産物と比較して日蔭作物である明日葉の特性を生かし、ヤマセ地域や軽度の塩害地での植生の可能性が確認された。長い食履歴のある植物は資源化には重要で、かつ明日葉の耐塩性のような救荒作物の形質を保有する作物の大量生産方式が確立できれば、現存する生鮮市場や健康食品以外、飼料やエネルギー等として、カスケード開発が可能となりうるので、米国やブラジルのような広大な平地面積を持たずとも、経済的な競争力を創出できる可能性が認識される（森林との共生では自然薯なども考えられた）。東南アジアなどでは酸性土壌でキャッサバなどが知られている[18]。2年目あるいは3年目の抽苔時期前は野菜あるいは薬草として高頻度、高収穫の上に、抽苔時期に乾物換算で9月から11月に10数倍の乾物となる旺盛な植生を示した。

6. バイオマスである鶏糞、あるいはバイオマスを原料とした製品である炭を活用し、植物の力を最大限に利用した抽苔を前提とした資源作物生産はおそらく新しいバイオマス時代の試みとなるだろうが、現在は健康食品企業が小規模でフラボノイド抽出工程で行っているようである。明日葉の場合、現在日本各地、震災地での普及が進んでいるが、高頻度収穫を生かした、野菜や健康食品としての潜在力のほかに、その抽苔前後期における巨大な植生を生かしたバイオマスクロップとしての事業モデルが今後アジアモンスーン地帯で期待される。主に機能性飼料やエネルギー原料などが対象市場となるだろうが、今後も野外実証が継続的に進められる予定となっている。

2.5 結論

本章ではアジアモンスーン地帯の我が国の地勢気候を生かした、救荒作物としての種苗を選択、機械収穫、バイオマス利用等、資源作物的生産手法を導入し、作物の生産コストを削減し、競争力を創出する農耕法の基本形の実証を試みた。越冬耐寒性種の明日葉は初年度は土壌適合性で、成長力は40～50トンであり（12か月 青森県上北郡雲雀平）、青森県では旺盛な植生を示したが、岩手県の圃場2年目（岩手北上市）で授粉期後、約400t/haを記録し、東北拠点においても、バイオマス資源としても、海外での競争が可能な生産性が確認された。既に先駆的な生産者が震災の塩害地で、フルシーズンでの商業用生産をはじめており、東北地方での生産データの確保、軽度の塩害地での商業生産のテスト事例を増加させていく予定である。

放棄地の利活用手法につき、過去商業用生産が困難とされた日本の薬草系種苗による、東北拠点の放棄地利用において、低コストの大量栽培方式の可能性を示した。本工程利用により、生鮮、食材、飼料、バイオ燃料など多段階利用方式の基盤をなす低コスト生産シ

システム案が示された。又同時に本方式により、従来より経済作物栽培には不適とされた、ヤマセ地域や軽度の塩類集積地、放棄地でも資源作物として利用できる可能性が示された。現在震災地での実証状況は順調で、製品面での味覚改善などが青森県上北郡雲雀平で既に報告がある。本格的な事業化には詳細な実証支援が各分野より必要と考えられる。

もう一つの成果は、東京都八丈島原産の明日葉を通じ、アジアモンスーン地帯かつ、島国で広大な土地を持たない森林国の我が国でも、同一作物による、野菜や薬草のみならず飼料やエネルギーや資源作物としての多面的な生命資源として貢献できる可能性が示された。

引用文献

- [1] 柴田和雄 木谷収 バイオマス 生産と変換<上>学会出版センター, 215-222 (1981)
- [2] 木谷収 バイオマスー生物資源と環境 コロナ出版, 91-103(2004)
- [3] 淡路和則 ドイツにおける再生可能エネルギーの現状 都市と農村をむすぶ 2月号 23-35, (2012)
- [4] 米倉浩司 高等植物分類表 北竜館 ISBN, 978 - 4 - 8326 - 0838-2 (2010)
- [5] 大場秀章(編書) 植物分類表 アボック社, ISBN978 - 4 - 900358 - 61 - 4 (2010)
- [6] 米倉浩司, 梶田忠 “*Angelica Keiskei* Koidz.” BG Plants 和名ー学名インデックス (YList) (2012)
- [7] ウィキペディア アシタバ概要 フリー百科事典ウィキペディア (Wikipedia)
<http://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=アシタバ&oldid=50547328>
- [8] 文部科学省 科学技術・学術審議会・資源調査分科会 報告書 5訂増補日本食品標準分析表 (2005)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/.../05031802.htm
- [9] 岡部敏弘, 広瀬孝, 織田勝也, 阿保博文, 水戸貴志, 鹿内明範, 種市幸司, 山本忠道りんご搾汁残渣を利用したウッドセラミックスとその利用リンゴ搾汁残渣の蓄熱材としての利用青森県産官学共同研究推進事業 平成 13 年度 青森県工業試験場報告, 194-200 (2001)
- [10] バイオマスコンビナート実証コンソーシアム, 第 2 章 後背地、資源作物大量栽培システム実証 平成 23 年度 農林水産省 緑と水の環境技術革命プロジェクト、バイオマスコンビナート資源化工程の技術実証報告書, バイオマスコンビナート実証コンソーシアム, 184-224 (2012)
- [11] 三石誠司 空飛ぶ豚と海を渡るトウモロコシ 穀物が築いた日米の絆 第 4 章 穀物パートナーシップの半世紀 日経 BP コンサルティング, 113-157 (2011)

- [12] 塩谷哲夫 飼料米の発想技術的展望「エサ米」の技術的展望 財団法人
農林統計協会, 27-46(1982)
- [13] DuPont Cellulostic Ethanol DuPont corn stover harvest collection program
<http://biofuel.dupont.com/cellulostic-ethanol/>
- [14] 浦野豊 新品種[原生林あしたば]ほかの植物に比べ約2.6~20倍のCO₂の吸収能力
を実証 農学研センターHP (2009)
<http://www.nougakuken.com>
- [15] タカラバイオ株式会社 明日葉とは タカラバイオ株式会社 HP (2013)
<http://agribio.takarabaio.co.jp/technology/ashitabaka>
- [16] 中川仁 第一部第七章 草本系バイオマス 表 2.1 多年草イネ科植物
バイオマス生産量 (COOPER 1975 より抜粋) バイオマスハンドブック 株
オーム社, 30-37 (2009)
- [17] 日本作物学会、東日本大震災による・津波への作物栽培対応情報、作物の塩害
の整理機構とその対策農業及び園芸 2月号一部改編(2012)
<http://www.cropscience.jp/earthquake/kondo.html>
- [18] ウィキペディア キャッサバ概要 フリー百科事典ウィキペディア (Wikipedia)
<http://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=キャッサバ&oldid=48786622>

第3章 多孔質炭素材料・ウッドセラミックスを用いた遠赤外線乾燥について

3.1 はじめに

1) 乾燥について

乾燥技術は太古の昔より、天日乾燥をはじめ多くの工程が存在するが、現在の市場に普及しているものの大半は①伝導伝熱乾燥、②対流伝熱乾燥(熱風乾燥)、③輻射伝熱乾燥・放射伝熱乾燥の3つに分類される。これらの多くが大量に化石燃料を利用したものである。欧米では穀物加工などの大型乾燥の大半が化石燃料(LNG ガスなど)を利用した大量加工によるコストダウン方式である。エタノールプラントの残渣乾燥コストは製品3円/Kgといわれているが[1]、日本、アジアの気候で特にその湿潤な湿度、設備規模より、海外と比較すると、低コスト化が困難とされてきた。本研究での要点である飼料原料や食料領域での資源化工程は乾燥コストそのものである。海外の加工業とのコスト競争を比較し、我が国の生産業がコスト競争力を保有することが重要である。また同時に、品質面でコストと安定した品質と量など厳しい市場要件を満たすことが必要である。

2) 多孔質炭素材料ウッドセラミックスについて

ウッドセラミックスとは青森県産業技術センター工業総合研究所で開発された、多孔質炭素素材である。木材及び木質材料とフェノール樹脂との複合材料を炭化、加圧して得られる多孔質炭素材料である。図3.1(a)に製造工程の基本形を示す。

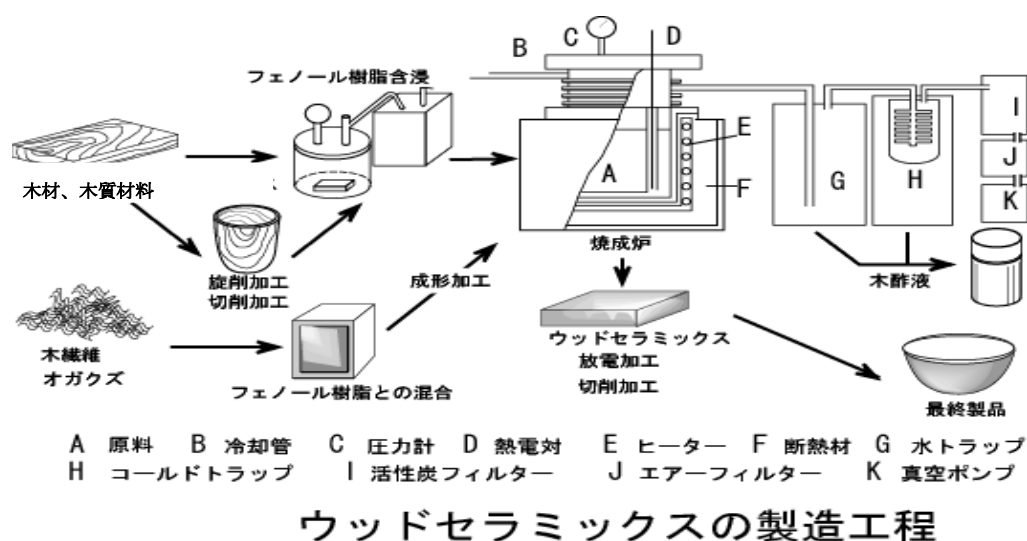


図3.1(a) ウッドセラミックスの基本製造工程

ウッドセラミックスの製造方法には上図 3. 1 (a) の工程表の矢印に示される如く、表の左上にある①木材又は木質材料にフェノール樹脂を含浸・硬化させた後、炭化したものを加工する方法がある。A-F 工程でウッドセラミックスの素材化を行い、その後最終製品加工、及び木酢液製造工程他を G-K で行う。又同じく②木材又は木質材料にフェノール樹脂を含浸・硬化させた後、炭化する方法で行う。③木材繊維やおがくずとフェノール樹脂を混練・熱圧縮熱整形したものを炭化する方法がある。また従来はフェノール樹脂は、石油系フェノール樹脂であったが、近年植物系液化物によるフェノール樹脂の開発が進んでいる。この植物系液化物は木材を炭化する際に得られる木酢油と木質系材料を混合することで作製することができる。

本研究では低コストの遠赤外線放射材料用に粉末法を考案し実証した。製法はまずフェノール樹脂と木炭粉を混合し、練り合わせプレスした後にフェノールの効果温度である 130℃で加熱し、成型を行い、再度 800℃で焼成を行った（粉末法 図 3. 1 (b)）。

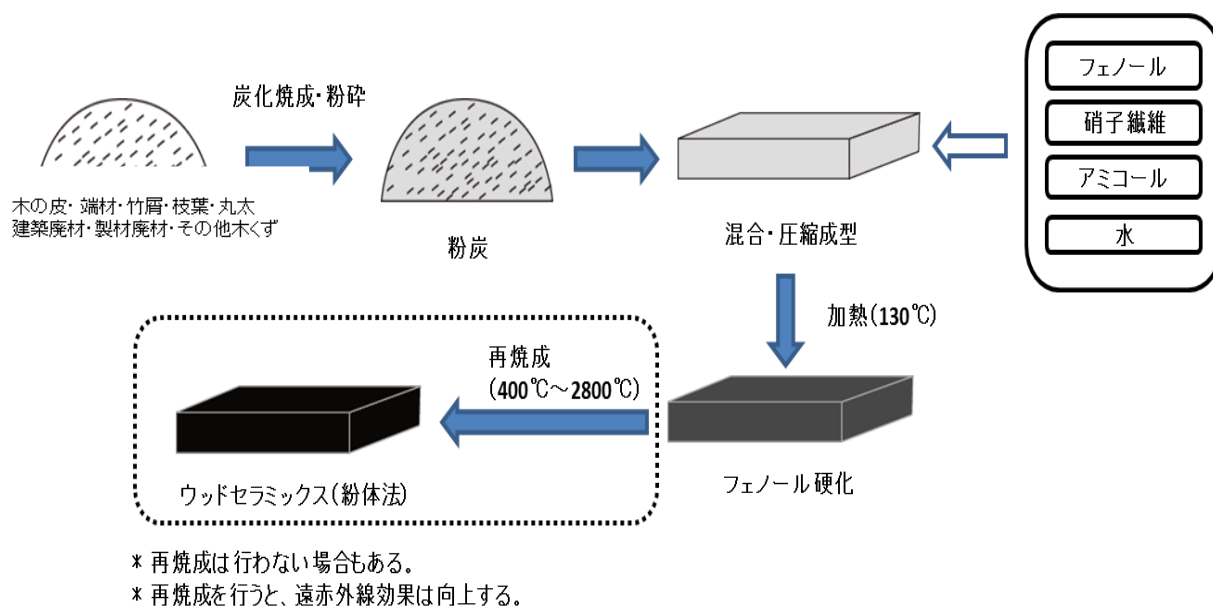


図 3. 1 (b) 粉末法によるウッドセラミックス製法

今回は農業や飼料、畜産、食料、食品などの環境における乾燥工程に於いて、ウッドセラミックスを乾燥資材として活用する試みであり、低コスト化のため粉末法での研究開発を行った。

3) 遠赤外線効果について

バイオマスの事業化の中で、特に大きな領域となる可能性のあるものに、飼料原料及びバイオ燃料などがあげられている[2]。

特に飼料原料加工業は見方を変えると、人間が食料にする畜産物を、生命資源として大

量に生産、加工する素材加工産業である。畜産は需要面で今後も有望領域であると同時に、現在のコーン、ソイ、ダイエット（コーンよりエネルギー、大豆粕より蛋白質を主に摂取する動物栄養学上最も効率のよい飼料の配合の事）について価格、量含め代替性のある原料を探索することは決して容易でない状況にある。特に人類が穀物を選択し、穀類を食料資源として栽培し、ビジネスとして普及してきた歴史には理由があり、その凝縮された栄養分はもちろんであるが、畑の中での天日乾燥により、水分を下げ、輸送性や、保存性に優れていた事がきわめて大きいと考えられている。

本研究では品質劣化を伴わない有機物乾燥のなかでランニングコストがもっとも安価かつ低温領域での乾燥を可能とするのは遠赤外線乾燥であると考えた。その中でも、リサイクル性があり、いくつかの遠赤外線以外の相乗作用があり、周波と遠赤外線の研究が知られるウッドセラミックスを用いた遠赤外線乾燥の実証を行った。

ウッドセラミックスは優れた遠赤外線性能を有しているといわれる。図 3.2 に FT/赤外線（日本スペクトル社 660plus）を使った遠赤外線放射線エネルギー測定装置を示す。この装置を用いて、7mm 厚、直径 40mm の大きさの焼成温度 800℃の試験体で遠赤外線周波数域率と遠赤外線放射線エネルギーの測定記録を確認した。

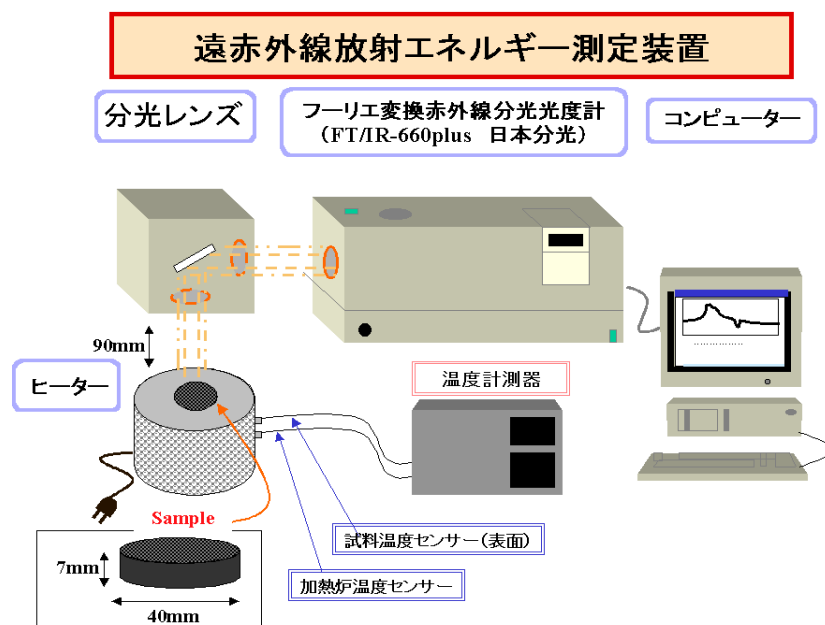


図 3.2 遠赤外線放射エネルギーの測定方法

FT-IRとは、フーリエ変換赤外分光光度計（Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR）のことで、主に有機化合物の構造推定（定性）を行う分析装置である。赤外線を分子に照射すると、分子を構成している原子間の振動エネルギーに相当する赤外線を吸収する。この吸収度合いを調べることによって化合物の構造推定や定量を行うのが赤外分光法である。赤外分光法を行う装置として、初期から最近まで主流だったのが、回折格子を用いた分散型赤外分光光度計である。その後、技術の進歩とともに、レーザー光による波数モニター・移動鏡を有する干渉計・コンピューターによる電算処理部を有するフーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）が現在の主流となっている。フーリエ変換とは、一言で言えば「重なりあった異なる周波数の波を、周波数毎に分離する方法である。

エネルギーの放射形態での伝達プロセスは電磁波である。赤外線、可視光線、紫外線、X線、電磁波等の光である。遠赤外線エネルギーを放射、吸収することを放射効果といい、 $3\sim 25\mu\text{m}$ の領域（金属を除く）は物質に当たると吸収され、分子や結晶を振動させることで熱エネルギーに転換される[3]。水が遠赤外線を良く吸収し、 1mm の厚みがあればほとんど遠赤外線を吸収し透過することはない。水は遠赤外線を吸収して分子振動を起こし、熱に変換されて熱放射を行って効率的に内部まで温めるものである。

図 3.3 は焼成温度 800°C のウッドセラミックスの 69°C におけるスペクトル放射率の測定結果である。 $5\sim 25\mu\text{m}$ の波長領域においては、黒体に対し、ほぼ 1 の類似した放射線を示した。

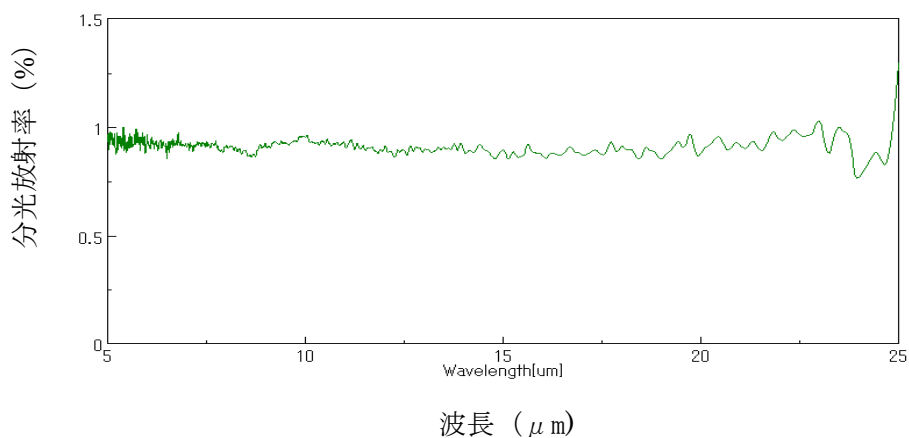


図 3.3 焼成温度 800°C のウッドセラミックスの 69°C における分光放射率

図 3.4 には 69°Cにおける分光放射エネルギーを示す。図 3.4 が示すように、800°C焼成のウッドセラミックスはほぼ黒体に近い分光放射エネルギー量を示している。この結果より、ウッドセラミックスは極めて優れた遠赤外線性能を有しているといえる。

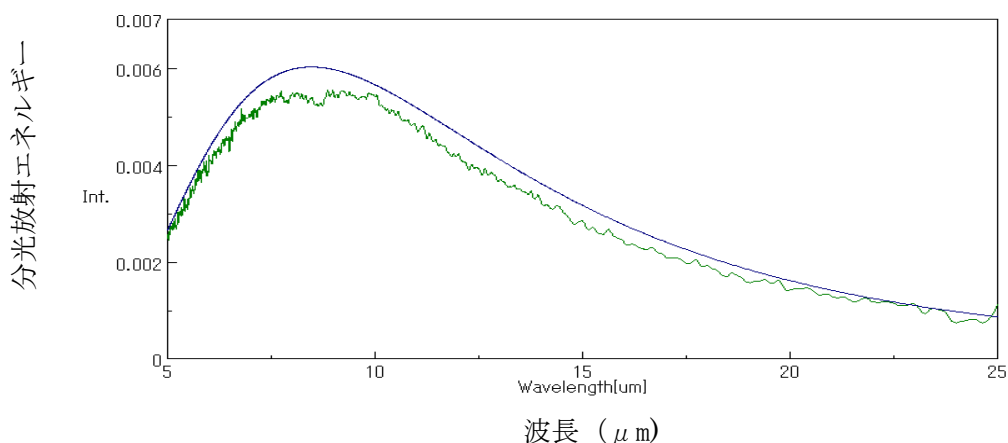


図 3.4 焼成温度 800°Cのウッドセラミックスの 69°Cにおける分光放射エネルギー

炭素は遠赤外線や赤外線の標準放射体である黒体に最も近い特性を有する物質として発光体利用されている。多孔質炭素材料・ウッドセラミックスの遠赤外線放射は、標準放射体である黒体とほぼ同様の遠赤外線放射を行っている。物質に吸収されやすく、分子や結晶を振動させ、熱エネルギーに転換される。

4) ウッドセラミックスを用いた乾燥実験について

本章では、乾燥対象を明日葉とし、ウッドセラミックスの遠赤外線性能を使用したエコ乾燥により、明日葉（耐寒性品種:源生林明日葉）の適正な乾燥条件と、ウッドセラミックスを用いた乾燥の有効性の検証を行った。この品種については高頻度で収穫することが可能でありまたヤマセ地域や塩害地でも耐性が明らかにされている [3]。現在、明日葉は生鮮野菜および健康食品である青汁の 12 種類の原料の一つとして知られる。乾燥に際し、栄養成分の劣化がなく、安価な乾燥方法について検討した。栄養成分の劣化を防ぐためには低温および短時間での乾燥が必要である。今回、乾燥に用いたウッドセラミックスは遠赤外線に優れ[4-5]、ヒーター等[6-9]で有効利用が可能であることが多く報告されており、野菜、穀物、穀物加工品などの乾燥にも有効であると思われる。乾燥コスト及びその品質確保が困難であったため、多くのバイオマス資源は廃棄されている実態がある[3]。本研究に於いて、ウッドセラミックスの 3 大機能である、遠赤外線、吸水、蓄熱効果の相乗効果を検証し、ウッドセラミックスによる遠赤外線乾燥が高水分含有バイオマスの乾燥に活用できるかどうか実証を行った。対象物の明日葉の葉柄相当部分はレタスなどと同等で乾燥

が容易であるが、茎相当部分は表皮が固く、繊維も強固で切断断面より凝固し易く、難易度が高い乾燥対象物であると認識されている。

まず、3.2.1でウッドセラミックスの吸水性能試験を行い、その乾燥素材としての能力を確認した。次に3.2.2で明日葉を用いて、ウッドセラミックスの遠赤外線乾燥温度および乾燥速度の実証を行った[3]。3.2.3で葉柄の形状と外観、色調、栄養成分の適正温度条件の実証を行った。乾燥し難い茎部分の最適乾燥形状化を比較実証試験（無施用区、カット、スライス等）を行った。3.2.4、3.2.5ではウッドセラミックスの遠赤外線効果を実証すべく、乾燥機（恒湿恒温機）の内側にウッドセラミックスパネルを張り、無施用区、500℃、800℃のウッドセラミックスの焼成温度毎に乾燥の比較試験を行い、適性焼成温度の検討を行った。最後に飼料化を念頭に、スケールアップ実証の為に、コンテナ乾燥庫を用いスイートソルガムの乾燥試験を行った。

3.2 実験方法

3.2.1 ウッドセラミックスの吸水性能

ウッドセラミックスの3大機能は遠赤外線放射体、蓄熱、吸水機能と言われる。遠赤外線放射体は自然物含め数多く存在するが、これらの機能を兼ねそろえた複合素材は確認されていない[10]。そこで、ウッドセラミックスの吸水性能の測定を行うこととする。

図3.5に測定現場を示す。210mm ×100mm ×30mm（市販のレンガの半分のサイズ）の杉の木とウッドセラミックスについて、恒湿恒温機（(株)カトー シルバリーエンペラー型 3FB-2096）を使用し、各々105℃ 2時間で乾燥を行うことで、水分含有率などの条件をそろえた。温度は45℃、湿度を上げ80%の環境で吸湿させ水分含有率変化を比較し、測定した。

3.2.2 ウッドセラミックスを用いた乾燥実験（乾燥温度および速度実証）

前述第1段階の実証において明日葉の乾燥の適性温度条件を確認するため、以下の実験を行った。

乾燥には図3.5に示すように恒温恒湿機を使用し乾燥実験を行った。乾燥温度は45、60、80℃を基本とし、湿度はすべて30%とした。また、ウッドセラミックスパネルを、アルミ板に張り、図3.5の恒湿恒温機の側面・上面に設置し、ウッドセラミックスの遠赤外線効果について比較を行った。なお、棚の上部では、風速3m/s、中部では1m/sとなり棚の上下で風乾効果が異なり、同一の実験においては、風乾効率で差が出ないように考慮して実験を行った。

含水率の定義は木材乾燥の標準形である JAS Z 2101 に準拠した。

乾燥前重量及び乾燥後重量をそれぞれ、 W_b [g]および W_a [g]とすると、含水率 H_w [%]は次式で与えられる。

$$H_w [\%] = \frac{W_b [\text{g}] - W_a [\text{g}]}{W_b [\text{g}]} \times 100$$



図 3.5 恒温恒湿機の外観

又、恒温恒湿機を 45, 60, 80°C（湿度 30%）の 3 条件に設定した場合のウッドセラミックスの遠赤外線効果について検証を行った。なお色差形は LCH 法を起用し明度と彩度を計測した。LCH 法は明度と彩度、色相より成り、より鮮明に、数値化された色差評価に定評があり起用した。Lab 法は Lab 表色系の色度図で確認できる。LCH の L は明度を表しており、明度は他の色差 Lab 表色系と同じである。C は彩度差で値が大きくなると鮮やかで小さくなると、くすんだ色になる。h は色相角度をあらわしており、a 赤方向の軸を 0°C として、反時計方向の色相にとりその角度が、90 度であれば黄色、180 度であれば緑といったように色調特に褐変をより明瞭に把握する LCH 法を選択し、成果物の品質管理を色調変化をより正確に把握するものである。

3.2.3 葉柄の形状と乾燥最適化

第 2 段階として、乾燥し難い茎の部分の最適乾燥形状化と比較試験を行った。明日葉の茎部分を 1) 無加工、2) 10~15mm にカット、3) 10~15mm カット+つぶし（粉碎）、4) 1mm 以下にスライスを行い、45°C 湿度 30% の条件下で乾燥した。乾燥時間と測定時の重量減少の関係を計測した。計測手法は時間毎に重量を量り、均衡状態になった試料を 105°C、2 時間で乾燥後計測し、各時点毎の水分を計算する手法を採用した。計算式は乾燥前重量及

び乾燥後重量をそれぞれ、 W_b [g]および W_a [g]とすると、重量比 H_w [%]は次式で与えられる。

$$H_w [\%] = \frac{W_b [\text{g}] - W_a [\text{g}]}{W_b [\text{g}]} \times 100$$

3.2.4 ウッドセラミックスの焼成温度毎の乾燥速度比較試験

ウッドセラミックスは500℃、800℃の2種類の焼成温度のものをを用い乾燥時間を測定し、乾燥効果を比較した。

明日葉のカットした葉柄の重量が50%まで減少する時間を測定し、ウッドセラミックスの及ぼす乾燥時間短縮効果について比較を行った。省エネ効果を計測するには正確には、電流計の時間の定点測定を同時に行う必要がある。なお色差計はLCH法を起用し明度と彩度を計測した。

含水率の計算方式を以下に示す。計測手法は木材乾燥の標準形であるJAS Z 2101に準拠した。乾燥前重量及び乾燥後重量をそれぞれ、 W_b [g]および W_a [g]とすると、含水率 H_w [%]は次式で与えられる。

$$H_w [\%] = \frac{W_b [\text{g}] - W_a [\text{g}]}{W_b [\text{g}]} \times 100$$

3.2.5 ウッドセラミックスを装着させたコンテナ乾燥庫を用いたスイートソルガムの遠赤外線乾燥試験（スイートソルガムにおける飼料化工程の実証）

高水分含有資源作物であるスイートソルガム2種類（風立・WRAY）について、乾燥後の物性及び成分の評価を行い、飼料としての可能性を検討した。

2012年の2月に宮城大学の圃場より採取した、米国原産の甘味種であるスーパースイートソルガム（WRAY種）を収穫し、コンテナを設置し、その内部にウッドセラミックスを装着した杉箱で表3.1に示す乾燥を行い乾燥度合いと飼料としての適性を評価した。廃油による熱風およびウッドセラミックス装着区と無施用区でサンプルを多数乾燥し、乾燥温度、乾燥時間毎にサンプルを14検体取得し、乾燥度合いと時間の傾向を確認した。

水分の計測法は試料2gを正確に量ってアルミニウム製秤量皿（あらかじめ乾燥して重さを正確に量っておいたもの）に入れ、135±2℃で2時間乾燥し、デシケーター中で放冷後、重さを正確に量り、試料中の水分量を算出した。計算式は次に示す。

H_w : 含水率 [%]

M_0 : ひょう量瓶の質量[%]

M_1 : 乾燥前の試験体を含むひょう量瓶の質量[g]

M_2 : 乾燥後の試験体を含むひょう量瓶の質量[g]

$$H_w[\%] = \frac{M_1 [\text{g}] - M_2 [\text{g}]}{M_1 [\text{g}] - M_0 [\text{g}]} \times 100$$

表 3.1 各試料の乾燥時間

NO.	乾燥温度	乾燥時間	備考
1-1			乾燥前
1-2	58.0℃	11 時間	
1-3			搾汁残渣・乾燥前
1-4	58.0℃	8 時間	搾汁残渣
1-5	55.0℃	7 時間	
1-6	62.0℃	4 時間	
1-7	56.0℃	3 時間	
1-8	59.0℃	4 時間	
1-9	44.0℃	2 時間	ウッドセラミックス
1-10	45.0℃	3 時間	ウッドセラミックス
1-11	33.0℃	4 時間	
1-12	33.0℃	4 時間	ウッドセラミックス
1-13	43.0℃	6 時間	
1-14	43.0℃	6 時間	ウッドセラミックス

一般成分分析は以下の手法で行った[4]。

まず、試料の前処理は粉砕機（フォースミル・大阪ケミカル（株））にて粉砕を行った。水分は前述の通り算出した。

粗たん白質は 試料 1 g を正確に量ってケルダールチューブにいれ、ケルダール用分解促進剤（アクタック（株））を加え、さらに硫酸 10ml を加えて振り混ぜた。そこへ過酸化水素 10~20ml を反応液が透明になるまで加え、420℃で 1 時間分解後放冷し、イオン交換水 50ml を加えて試料溶液とした。自動分析装置（FOSS 製 2300Kjeltec Analyzer Unit）を用

いて試料溶液の測定を行い、粗たん白質含有量を求めた。

粗脂肪は試料 2g を正確に量って円筒ろ紙に入れ、その上に脱脂綿を軽く押さえるようにして入れた後、100℃で 1 時間乾燥した。これをソックスレー抽出器に入れ、脂肪秤量瓶（あらかじめ 100℃で乾燥し、デシケーター内で放冷後、重さを正確に量っておいたもの）に連結し、ジエチルエーテルを加えて 4 時間抽出した。次に、円筒ろ紙を取り去り、ジエチルエーテルを回収した。脂肪秤量瓶をはずしてジエチルエーテルを揮散させ、100℃で 2 時間乾燥し、デシケーター内で放冷後、重さを正確に量り、試料中の粗脂肪量を算出した。

粗灰分は 試料 2g を正確に量るつば（あらかじめ 580℃で 2 時間加熱し、デシケーター内で放冷後、重さを正確に量っておいたもの）に入れた。これを穏やかに加熱した後、580℃で 2 時間加熱して灰化し、デシケーター内で放冷後、重さを正確に量って試料中の粗灰分を算出した。

カルシウム・りんは上記、粗灰分を測定した後の灰化物を少量の水で潤し、塩酸を徐々に加えて 100ml のメスフラスコに移し、20 分間煮沸した後放冷した。これを水で攪拌し、ろ紙（5B）でろ過したものをカルシウムとりんの試料溶液とした。

カルシウムは試料溶液 5ml を 50ml のメスフラスコに正確に入れ、干渉抑制剤液（塩化ストロンチウム六水和物 152.1g を適量の水に溶かした後、塩酸 416.6ml を加え、1L に攪拌したもの）5ml を加えて水で攪拌したものを原子吸光光度計（（株）島津製作所製 AA-6200）によりアセチレン-空気フレーム中で波長 422.7nm の吸光度を測定した。同時に、カルシウム標準液について、試料溶液の場合と同一条件で吸光度を測定し、検量線を作成して試料中のカルシウム量を算出した。

りんについては試料溶液 5ml を 100ml のメスフラスコに正確に入れ、フェノールフタレイン試薬 1 滴を加え、アンモニア水(1+3)を加えて中和し、硝酸(1+6)で微酸性とした。この液を適量の水で希釈し、発色試薬（モリブデン酸アンモニウム 54g とバナジン酸アンモニウム 2.24g をそれぞれ適量の水で溶解。2L のメスフラスコにバナジン酸アンモニウム溶液を移し、硝酸 500ml を加えた。そこへモリブデン酸アンモニウム溶液を加え、水で攪拌したもの）20ml を加え、水で攪拌後 30 分静置し、分光光度計（（株）日立ハイテクノロジーズ製 U-2800）により波長 420nm の吸光度を測定した。同時にりん標準液について、試料溶液の場合と同一条件で吸光度を測定し、検量線を作成して試料中のりん量を算出した。

3.3 結果及び考察

3.3.1 ウッドセラミックスの吸水性能

図 3.6 にウッドセラミックスレンガと木材の水分吸収力の比較を示す。ウッドセラミックスは杉材の3倍もの吸湿性があることがグラフより確認できる。ウッドセラミックスは、遠赤外線性能に優れ、優れた吸湿効果を有するため、野菜類や穀物、副産物の乾燥に有用であると言える。従来では重要と認識されなかった低温領域での乾燥時間の大幅な短縮は、高水分含有物の資源化工程に貢献する可能性がある。多くの海外の乾燥工程が化石燃料依存型の熱風方式の大型乾燥ジェットミルであるが、ウッドセラミックスの遠赤外線、吸水、蓄熱の相乗効果による省エネルギー乾燥は高湿度環境下の東南アジア等において、より効果を発揮する可能性がある（以降表にはウッドセラミックスを WCS と省略形で表示する）。

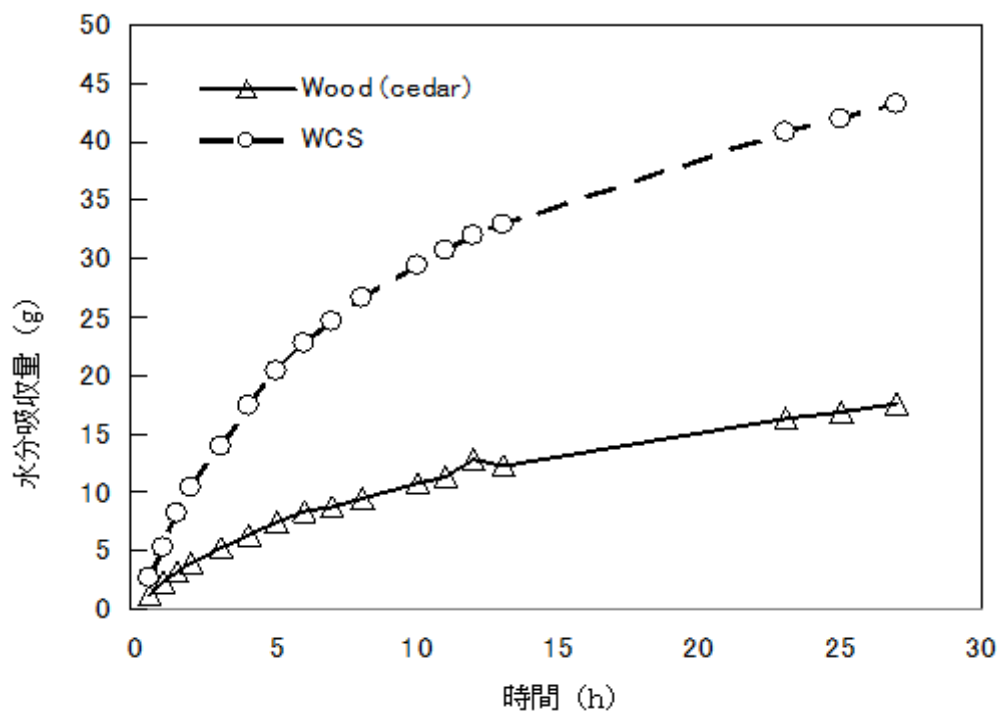


図 3.6 ウッドセラミックスレンガと木材の水分吸収力の比較（45℃ 湿度 80%）

3.3.2 ウッドセラミックスを用いた乾燥実験（乾燥温度および速度実証）

飼料作物の観点より見れば、明日葉の葉部分の品質は、飼料の標準形であり良質な乾草とされるアルファルファミール（デハイ）を上回るものである[11]。また、茎および根は繊維質が豊富であり、牛用の粗飼料としての利用も期待され、乾燥技術の確立が急がれている。

図 3.7 に乾燥後の明日葉の形状を示す。先ず第 1 の実証条件の外観の観点より明日葉を、数 100 グラム採取し、(a) カットなし、(b) 15mm に粉砕し、(c) 0.5mm にスライス、(d) 粉砕し 60℃で乾燥し、以下の外観を得た。



(a) カットなし



(b) 15mm にカット



(c) 0.5mm にスライス



(d) 粉砕

図 3.7 乾燥後の明日葉の形状

乾燥条件は飼料原料として利用する場合、栄養素の劣化および安全性の確保のために水分含量を 15%以下に抑える必要があり、本実験においては約 10%の乾燥まで乾燥を試みた。カビ類の発生を防止するために、穀物で 15%以下、副産物はバラつきがあるので 10%以下の水分含有量が飼料取引の現場では取引条件や商習慣として採用されている事が知られている[12]。

まず第 1 段階の実証実験として粉砕サイズによる適正条件の研究を行った。生の明日葉をフードプロセッサーで 0.5mm 以下にスライスすると、10 分前後で褐色変化が観察され、品質劣化の傾向がでた。適正なカットサイズは部位によっても違うが、ペレット状での粉砕サイズが脱色防止には有効と考えられる。明日葉の場合、(成長点より先が葉柄ともいうが)葉柄相当部分は乾燥しやすく、茎部分の特に断面が通常、糊塗し、きわめて水分が蒸散し難い形状になる。よって茎部分の乾燥効率改善にはスライスで 1mm 以下にすることが望まれるが、酸化速度も速く、その兼ね合いが難しい植物である。今回は図 3.7 の (a) より (d) まで、粉砕なども加え多くの試みを行った。乾燥を可能とするサイズは 10~15mm サイズのペレット状が望ましい形状という結果になった。植物の組成ごと、部位ごとでも最適、乾燥条件は異なると考えられ、個別に検証が必要である。なお乾燥物の含水率の測

定法は測定時間ごとの重量測定および、最終均衡状態になったものの乾燥を行い、計測する方式を採用した。

以下、複数の結果が得られた。

1) 乾燥温度における含水率の変化

図 3.8 に 45、60、80℃各々の温度で、茎、葉の乾燥を行った際の乾燥時間と重量変化と時間とのグラフを示す。実験の結果、乾燥前の重量と比較して、葉が 10%、茎が 20%で平衡状態となることが確認できた。各々の試験体を 105℃ 2 時間で乾燥し、含水率を求めると、この状態では葉、茎共に約 9%の含水率であった。

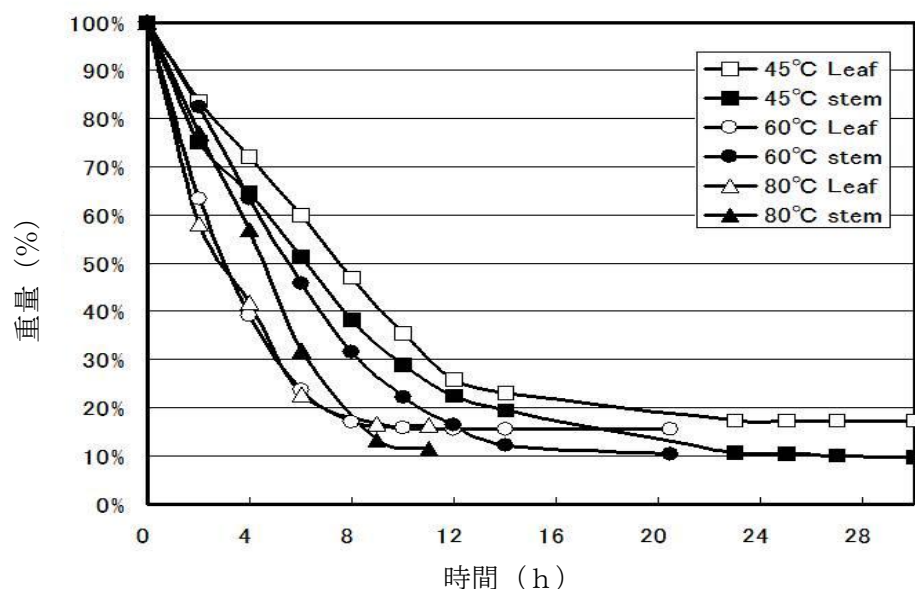


図 3.8 乾燥重量と時間の関係

3.3.3 葉柄の形状と乾燥最適化

図 3.10 に明日葉の加工形状毎の乾燥時間と重量の関係を示した。図 3.7 で示した形状に於いて、速度を重量比で比較したものを示した。カットをしない状態では、均衡状態までの乾燥には約 70 時間を要するが、ペレット状に加工することにより、約 20 時間に短縮できた。更にスライスすることによって乾燥時間を 7 時間へと大幅に短縮できることが確認できた。このことにより、葉柄の乾燥は形状に大きく左右することが確認できた。また、薄くスライスすることによって、図 3.9、表 3.2 に示すように、わずかの時間で酸化が進み、明度が落ち、色の鮮やかさが落ち（彩度）、色相は緑から黄色に移る。このため、スライスは乾燥時間においては好ましいが酸化防止の対策無しでは好ましい乾燥とは言えないと考えられる。



表 3.2

明日葉のスライス(0.5mm)の際に生じる色差
(LCH 法による)

	明度	色相	彩度
	L*	c*	H
スライス	69.7	42.2	109.2
	↓	↓	↓
	57.8	27.1	103.4

図 3.9 明日葉のスライス状 CUT (左図)
10 分後の外観 (右図、酸化が始まっている)

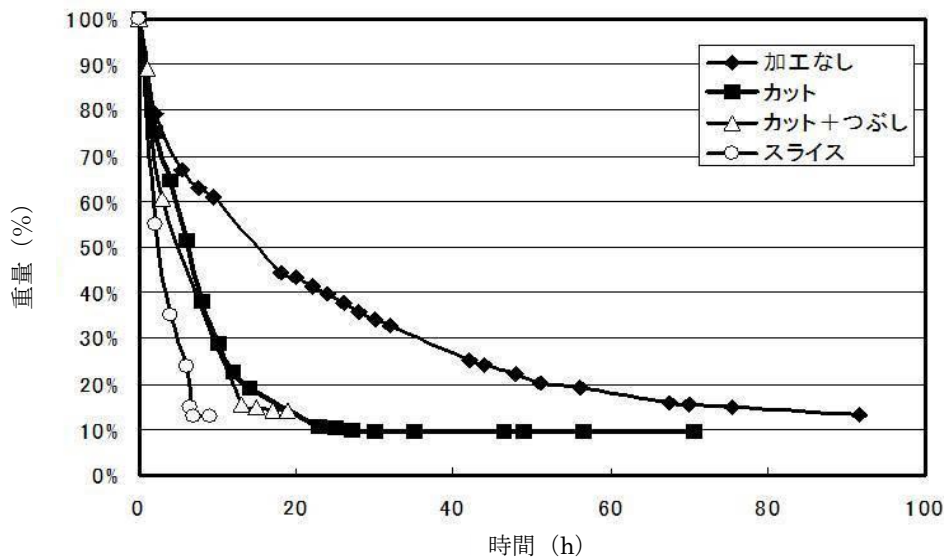


図 3.10 明日葉の乾燥時間と重量の関係 (加工形状による違い)

色変化について図 3.9 と表 3.2、図 3.11 と表 3.3 に明度と彩度を示す。45℃では、乾燥前後で明度や彩度の変化が小さく、ほとんど褐変を観察されなかったが、60℃以上では温度上昇に伴って、褐変が生じた。また十分に乾燥した後は、105℃で乾燥を行っても明度や彩度の変化が小さく褐変が少ないことも確認できた。このため、十分に低温乾燥を行った後であれば、殺菌のために 80℃で高温殺菌処理を行っても、褐変は少なく、高温殺菌が乾燥最終工程に可能であることが確認できた。明日葉の乾燥の色変化より観察を行うと、初期は 45℃、乾燥仕上げ時は殺菌のため 80℃が好ましいといえる。表 3.2、表 3.3 には色相や彩度をより分かり易い LCH 法を採用し、色調変化を把握した。LCH 法とは L は LIGHT (明度) C は CHROMA (彩度) H は HUE (色相) を示し、通常の色差計といわれる LAB 法よりより鮮明に光の濃淡を示す識別法といわれる。今回は色差計で建築塗装業界でよく使われるよ

り鮮度を反映した評価による比較測定を行った。

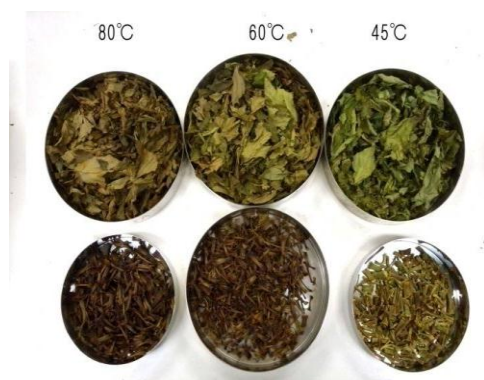


図 3.11 乾燥温度による明日葉の色調
(下段 105 度で再度乾燥)

表 3.3 明日葉の色の变化 (LCH 法による)

明日葉		明度	彩度	色相
		L*	c*	H
葉	乾燥前	65.4	58.6	114.1
	45°C	50.4	24.6	131.9
	60°C	47.6	17.1	84.2
	80°C	48.0	17.0	84.0
茎	乾燥前	69.7	42.2	109.2
	45°C	46.0	7.0	132.2
	60°C	47.7	11.0	96.3
	80°C	39.8	3.2	58.8
全乾 葉	45°C	45.4	9.9	89.1
	60°C	48.7	11.9	76.7
	80°C	40.8	4.8	53.3
全乾 茎	45°C	44.0	8.4	83.8
	60°C	39.9	3.5	29.9
	80°C	34.5	1.2	270.6

3.3.4 ウッドセラミックスの焼成温度毎の乾燥速度比較試験

ウッドセラミックス 500°Cと 800°Cの乾燥速度比較試験の結果を図 3.12 に示す。800°C焼成のウッドセラミックスを用いることにより、従来の乾燥では約 5 時間かかっていた乾燥 (50%重量減少) が、ウッドセラミックスを使用することによって、3.5 時間と 30%の時間短縮が行われたことが確認できた。800°Cのウッドセラミックスを利用することにより省エネ乾燥の可能性があり、大幅な乾燥エネルギーの節約が可能であることが確認できた。また焼成温度の低い 500°Cのウッドセラミックスを使用した場合は、焼成温度の高い 800°Cと比較して、大きな時間短縮、省エネ効果の可能性は確認できなかった。

本実験より以下のことが確認できた。明日葉の乾燥において、図 3.11、表 3.3 に示す様に 45°Cの低温乾燥では褐変が最も少なく、視覚的にも良好な乾燥が可能である。また、一度、十分に乾燥したものは高温で再加熱を行っても褐変が少ないことが分かった。このため 45°Cで十分に乾燥したのちに、殺菌のために 80°C以上で再乾燥することが望ましいと考えられる。葉柄の乾燥においては、そのままの形状では乾燥が困難で、カットやスライス加工によって乾燥速度の向上を図ることが可能であり、乾燥速度を上げるためには薄くスライスすることが望ましいが、酸化による褐変が発生するため、酸化防止策を考える必要がある。酸化防止対策を行わない場合、茎をペレット状にカットする乾燥が最も好ましい乾燥方法である。また、ウッドセラミックスを乾燥に用いることにより約 30%の乾燥時間

の短縮が確認できた。焼成温度による、遠赤外線放射率およびエネルギー乾燥効率の差が明らかにされたが、本章でウッドセラミックスを活用した、効率的乾燥工程の基本形の確認がなされたと考えられる。

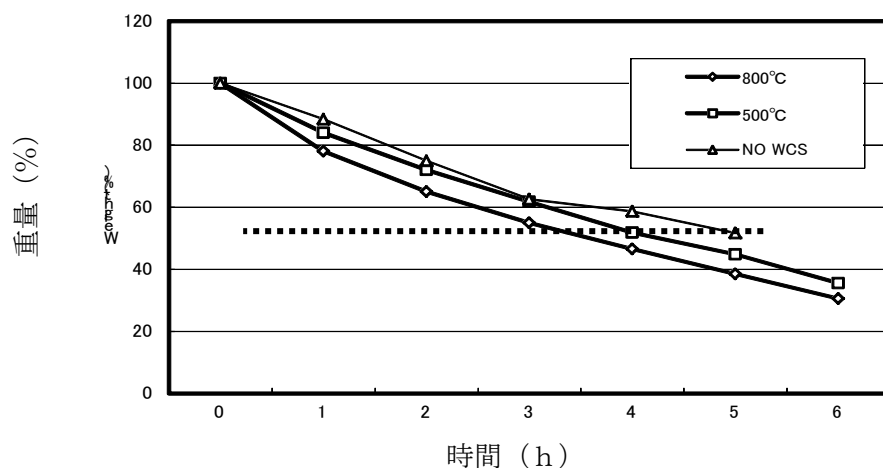


図 3.12 乾燥時間と重量の関係（焼成温度の異なるウッドセラミックスの遠赤外線効果比較）

3.3.5 ウッドセラミックスを装着させたコンテナ乾燥庫を用いたスイートソルガムの遠赤外線乾燥試験（スイートソルガムにおける飼料化工程の実証）

図 3.13 に含水率と乾燥時間、図 3.14 に含水率と乾燥温度の WRAY 種の乾燥における関係性を示した。赤い点がウッドセラミックスを活用した乾燥である。結果としてウッドセラミックスを使用した場合のほうがより短い時間、低い温度で低い水分量に達している傾向があった。今後試験工程の最適化を検討する。又風立ち種は倒伏性に優れ、甘味は WRAY 種ほどないが、茎が太く増収性が高いため、畜産では牛用の粗飼料として人気がある。飼料原料化の最優先課題は動物の嗜好性確保であり、本素材との混合により、高品質な嗜好性改善飼料として開発できる可能性がある。飼料原料の前提は動物嗜好の確保でもあり、コーンや穀物資源に集中した現在の素材の多角化を検討する際に嗜好性の改善を安価に行えるこの素材は重要と認識される。

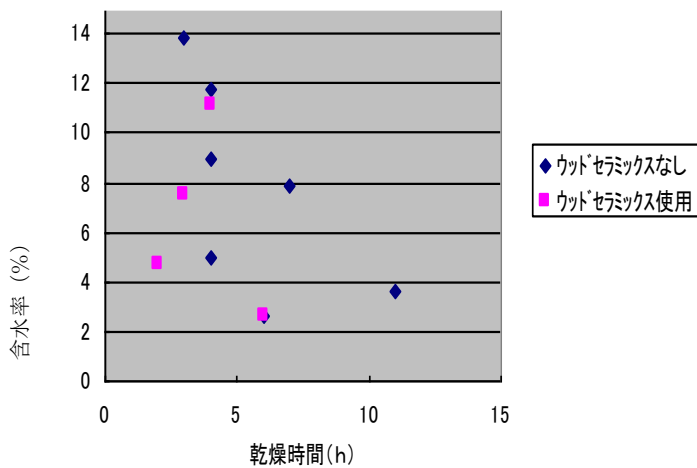


図 3.13 含水率と乾燥時間の関係

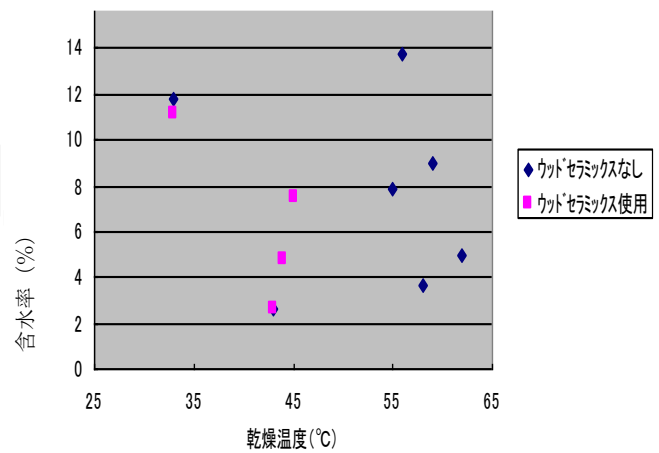


図 3.14 含水率と乾燥温度 (°C) の関係

今回ソルガムは2種類使用し、甘味種である WRAY 種、倒伏性にすぐれた風立ち種の乾燥を行った。図 3.13 に WRAY 種の乾燥についてウッドセラミックスを使用した乾燥と使用しない乾燥の比較を行った。表 3.1 に示すように、サンプル NO. 1-11 と 1-12、NO. 1-13 と 1-14 に関して同じ乾燥温度、同じ乾燥時間で乾燥をして、ウッドセラミックスの優位性を証明する実験を行ったが、水分量がほぼ同じという結果になり大きな優位性を証明するには至らなかった。しかしながら、図 3.13、図 3.14 に示した結果をみるとウッドセラミックスを使用した場合のほうがより短い時間、低い温度で低い水分量に達している傾向が確認でき他実験と同じく省エネ化傾向が確認された。このことから、ウッドセラミックスを使用した場合と使用しなかった場合の水分量の変化を時間毎に詳細に測定したり、乾燥温度をどこまで下げることができるかなど、より細かい測定をすることで最も効率的な乾燥方法を導き出すことが可能である。

表 3.4 では一般成分値をバガス、ビートパルプ、アルファルファミール (デハイ) などと比較した[11]。粗たん白質、カルシウムは劣るものの、同等な成分値となり、燐に関しては約 2 倍の数値となった。また、水分に関して今回の乾燥実験では低いもので 2.5~5.0% と非常に低い結果となった。保管時の腐敗やカビ防止の観点から、水分を下げる必要はあるが、必要以上に水分を下げることはコストの無駄遣いにつながるので、水分 10%前後に下げる一番良い乾燥温度と乾燥時間を求めることが必要である。第 4 章で示された、嗜好性も勘案すると、飼料原料としての適性は既存原料に劣らないと考えられる。

表 3.4 スイートソルガムと参考原料の成分値（単位は重量%）

		水分	CP	FAT	ASH	Ca	P
WRAY種	NO.2	3.62	5.44	1.79	6.00	0.19	0.14
WRAY種	NO.5	7.90	5.28	2.12	5.83	0.23	0.18
WRAY種	NO.6	4.94	5.51	1.60	8.12	0.31	0.20
WRAY種	NO.7	13.79	5.74	2.02	7.92	0.23	0.19
WRAY種	NO.8	8.94	5.75	1.49	8.28	0.27	0.20
WRAY種	NO.10	7.46	5.64	1.72	7.65	0.25	0.19
WRAY種	NO.11	11.75	4.77	1.19	7.35	0.16	0.18
WRAY種	NO.12	11.16	5.00	1.72	7.94	0.25	0.19
WRAY種	NO.13	2.63	6.03	1.71	7.47	0.23	0.17
WRAY種	NO.14	2.66	6.08	1.61	7.75	0.19	0.18
WRAY種	平均	7.49	5.52	1.70	7.43	0.23	0.18
風立種	NO.6	4.90	5.90		8.27		
風立種	NO.7	3.08	6.81	1.43	8.23	0.20	0.20
風立種	NO.8	4.54	6.47	1.31	8.79	0.26	0.21
風立種	NO.12	15.95	5.68		7.27		
風立種	NO.13	2.77	6.52	1.33	8.49	0.23	0.20
風立種	NO.14	3.69	7.11	1.13	8.99	0.27	0.21
風立種	NO.16	6.96	6.17		9.27		
風立種	NO.17	5.87	6.52		7.51		
風立種	NO.18	5.58	6.51		8.33		
風立種	NO.19	3.84	7.04	1.13	9.05	0.27	0.20
風立種	NO.20	2.54	6.72	1.34	9.31	0.33	0.22
風立種	平均	5.43	6.50	1.28	8.50	0.26	0.21
飼料標準	バガス	15.50	1.60	0.80	2.10		
飼料標準	ビートパルプ	13.40	10.90	1.00	5.00	0.59	0.09
飼料標準	アルファルファミール(デハイ)	9.30	17.50	3.00	9.60	1.43	0.26

3.4 まとめ

1. 未利用資源の資源化の重要領域はその乾燥の質とコストである。天日乾燥が飼料や食品などの基本形であったが、日本は降雨の多いアジアモンスーン地帯でもあり、乾燥工程は至る所に必要で、ウッドセラミックスの 1) 遠赤外線放射体、2) 調湿効果、3) 蓄熱効果を活用し、風乾燥、未利用熱、ヒートポンプなどの統合利用で高品質低コストで乾燥できる可能性が示唆された[3][10]。米国の60万トン級のバイオエタノール残渣の日量処理量が1000～500トン級の乾燥工程のランニングコストが3円・kgといわれているが、バイオマスの

有効利用および自然エネルギー、排熱、廃油利用などの活用において 5 円・kg 前後のコストで照準可能と考える[10]。

2. 飼料や多くの素材産業の原料には非破壊的乾燥工程が基本で、飼料やバイオマス等の資源化工程に乾燥工程を組み込むことが期待される。第 4 章で研究するエクストルーダーは水分 30%以上のバイオマスを基本的には構造上扱えず、本工程との連続式による飼料資源化工程が有望な資源を生み出すうえで基本形となる可能性がある。

3. 特にコスト面ではウッドセラミックスの利用により乾燥時間を 30%削減できる可能性がある。低温環境下でこれだけの乾燥効果が示される素材は現存せず、今後の実用化が期待される。過去のウッドセラミックスの研究では、ウッドセラミックスが黒体に近いものとして、放射エネルギーのピーク値における試料温度の試算によると $2\mu\text{m}$ の場合では 1200°C 、 $3\mu\text{m}$ の場合では 950°C 、 $4\mu\text{m}$ の場合では約 700°C となる[13-14]。本章では従来の遠赤外線研究に加え、高効率な乾燥工程の創出につながる、水の遠赤吸収波長依存性[2]を原理的に導入し、農林畜水産業やバイオマス資源の乾燥工程に貢献する可能性が認識される。農林畜水産業や関連加工業界の加工現場での乾燥は大きな需要は存在するが、水の遠赤吸収波長依存性の原理を利用した資源化システム開発は未だなされておらず、乾燥現場での化石燃料依存状況は変わっていない。水は遠赤外線を吸収して分子行動を起こし、熱に変換されて熱放射を行い効率的に内部まで温めるものである。水あるいは水を含んだ素材の遠赤吸収波長依存性利用およびウッドセラミックスの遠赤外線放射体の焼成温度等の最適化 [13-14]により、バイオマス領域における、非破壊的資源化工程の基本形が示されたと考える。

3.5 結論

ウッドセラミックスを用いた遠赤外線乾燥は、遠赤外線放射体としての内部からの非破壊的加熱及び吸湿、蓄熱の相乗作業より、過去の少量の高級な植物乾燥領域や暖房などの利活用研究がなされてきたが、世界中で始まっている農業残渣やバイオマス資材の資源化に貢献する可能性が示された。食料やバイオマス系の資源の乾燥は現在でも天日乾燥及び自然乾燥が基本形となっており、降雨の多い地域たとえばアジアモンスーン地帯では雨期での操業を止めたり、未利用残渣を廃棄している現状がある。化石燃料の高騰、中国や新興国の需要の高まりなどにより、新たなシステム開発が求められている。次章以降に示される、搾汁加工、加熱加工やペレット加工などとの連続式工程の前処理として、本研究は高水分含有物の乾燥工程に活用される可能性があり、今後バイオマスの乾燥領域で事業化実証される見通しである。

引用文献

- [1] エコマテリアルフォーラム第6章プロジェクトモデル実現のための技術的課題
調査結果 - その3 バイオマスコンビナート資源化工程の作出検討プロジェクト
報告書 農林水産省 平成22年度 農山漁村 6次産業化対策事業に係るバイオ
マス資源活用促進事業 緑と水の環境技術革命プロジェクト事業社)未踏技術協
会, 324-364 (2011)
- [2] 木谷収 4利用5廃棄バイオマス バイオマス—生物資源と環境—コロナ社, 49-68
- [3] 渡辺敦夫, 清水研賢食品工業における電磁波の知用 (1) 化学技術誌 MOL, 120-128
(1988) <http://www.enseki.or.jp/tokusei.html>(社) 遠赤外線協会 (2007)
- [4] バイオマスコンビナート実証コンソーシアム II. 品質標準形のための実証
IV. 乾燥工程の実証 平成23年度 農林水産省 緑と水の環境技術革命プロジェク
ト バイオマスコンビナート資源化工程の実証 成果報告書, 61 - 88, 131-183
(2012)
- [5] 辻純一郎, 岡部敏弘, 高崎明人, 須田隆夫, 山本良一遠赤外線ウッドセラミッ
クスヒーター 木材学会国際会議 (2008)
- [6] 岡部敏弘ウッドセラミックスの開発の現状, 木材工業, Vol. 51, No. 12, 570-574
(1996)
- [7] 岡部敏弘, 斎藤幸司多孔質炭素材料の新展開 多孔質炭素材料ウッドセラミッ
クスの開発と応用化学工業 Vol. 47, 272-277 (1996)
- [8] J. Tsuji, T. Suda, M. Otsuka, T. Okabe, Effect of density on electrical
characteristics of *woodceramics* as far infrared heater, Trans Mater Res
Soc Jpn, Vol. 29, No. 5, 2535-2538 (2004)
- [9] 岡部敏弘, 広瀬孝, 大塚正久, 小澤理子, 有井忠, 黛敏男, 辻純一郎, 千葉久夫,
柴田聡多孔質炭素材料ウッドセラミックスを用いた住宅用融雪システムの研究
青森県工業試験場業務報告書 Vol. 2002, 194-205 (2002)
- [10] 広瀬孝, 岡部敏弘 (青森県工試) りんご搾汁残渣を利用したウッドセラミックス
とその利用 農業用遠赤外線 放射ネットの開発 青森県工業試験場業務報告
Vol. 2001, 201-203 (2002)
- [11] 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構編 中央畜産会 日本標準飼料
成分表 (2009年版) 4971 アルファルファミール (デハイ) 4974 (サンキュア) 中央
畜産会, 132-133 (2009)
- [12] 飼料輸出入協議会 第5節 粗飼料 飼料原料ガイドブック 副原料編 飼料輸出
入協議会, 89-112 (1997)
- [13] K. Shibata, T. Okabe, K. Saito, J. Tsuji, R. Taneichi, Y. Kumagai Use of wood
ceramics to far-infrared radiation body Thethird international conference
onEcomatetials, 194-197(1997)
- [14] 斎藤幸司, 大塚正久, 堀切川一男, 伏谷賢美, 岡部敏弘 (監修) 木質系多孔質炭素材料
ウッドセラミックス 5.3 ウッドセラミックスの遠赤外線放射特性 (株) 内田老鶴圃,
166-168 (1996)

第4章 エクストルーダーを用いた飼料原料などの改質工程の開発について

4.1 はじめに

食品加工にエクストルーダー装置の利用が盛んになったのは我が国では1970年代の後半からであり、現在では多様な製品が登場している。エクストルーダーの最大の特徴はスクリー回転により、材料を移送しながら、材料の内部発熱や外部からの加熱および材料の粘性や充填による内部での圧力発生により連続的な高温高压状態を装置内部に生み出し、改質反応、殺菌、乾燥などの加工を行うことである[1]。回転数により加熱時間や圧力を調整でき、また投入速度により加工密度の調整が可能である。本研究ではいまだ深く研究されていないバイオマス資源を用いて、非破壊的な飼料化改質および殺菌、乾燥を行う事がテーマでもあり、回転数、温度、圧力による高温高压攪拌処理による改質工程を研究した。

研究の主たる目的は不溶性成分を可溶化し、消化性の向上（消化率、消化速度）に貢献する工程技術（特に養鶏、養豚向け飼料における難消化性澱粉、蛋白、脂質、ヘミセルロース領域の易消化）の開発である。実証を穀物系、蛋白系の既存原料、繊維系バイオマスを中心に行った。

4.1.1 エクストルーダーを用いた飼料原料等の改質工程意義

第2章で生産された競争力のあるバイオマス素材を第3章での遠赤外線乾燥による乾燥により、30~60%の水分を低減した後、本章では乾燥改質を行い、従来未利用であったバイオマスの利用率を改善し、高度利用資材に転換する工程を実証研究した。以下の4点はその骨子である。

- 1) 本研究の押し出し成形機は樹脂成型型であり、プラスチック成形で普及している。エクストルーダーは過去、食品、穀類膨化加工、大豆製品加工が標準利用法となってきた[1]。
- 2) 殺菌（欧州では加熱飼料が基本）、混練、改質（利用率）、乾燥、利用速度、利用率を改善することによる効率化したシステムをバイオマス産業に導入する手法について研究した[2-3]。
- 3) 地域に埋蔵する未利用資源と既存の飼料原料の混合、放棄地を利用した資源作物、或いは、その未利用部分を活用した、使用メリットのある飼料原料などを創出するための基本形を確立した。
- 4) ウッドセラミックス遠赤外線と連続方式を用いることで高効率かつ価格競争力を有す

る地域資源(膨化食材や、消化吸収を高めた高機能飼料)を創出する可能性について検討した。

欧州の機械メーカー等の研究で、加熱加圧加工は油脂の歩留まりや飼料の消化率を上げることが知られていたが、コスト競争の激しい業界である飼料業界では穀物余剰時代の2000年頃までは業界の関心が高まらず、低温での膨化加工工程や、浮餌等の水産飼料やペットフードなど成形利用にとどまった[1-2]。サルモネラ菌などによる汚染の懸念が高まり、欧州系の飼料会社では、水蒸気加熱加工及び、瞬間加温120℃前後のエキスパンダーが普及したが、日本やアジアではコストと利用率の観点で、サルモネラ菌対策と若干の利用率の改善にとどまり、改質工程には至っていない。飼料原料の加工は原料選択、資源多角化の点はまだ成長途上と認識される。第1章で明らかにされたが、2008年のリーマンショック以降の穀物価格(ドルベース2.5~5倍)が高騰局面となり、近代化とともに、食の西洋化が進んだ中国のかつて記録にない程の大豆の大量輸入が表面化している[4]。世界は食品、飼料用の蛋白と澱粉、油脂等をいかに安価に入手できるかが、問われる時代に突入した。

エクストルーダーの特徴はスクリー回転により材料を搬送しながら、材料の内部発熱や外部からの加熱および材料の粘性や充填による内部での圧力発生により、連続的高温高压条件を装置内に生み、改質反応や殺菌工程を短期間に行うことである[1]。本研究では従来型のエクストルーダー工程と異なり、一部工程を改良し、圧力負荷を高め加熱加圧工程を1~15秒で瞬間的に高温高压冷却し、飼料原料や発酵原料領域などで改質を実現する低効率資材の高効率化工程を実証するものである[2-3]。

前処理のウッドセラミックスによる遠赤外線乾燥と連続式で、エクストルーダーの瞬間加熱瞬間加圧方式を用いることで、東南アジア等、利用可能なバイオマス資源を厩大に保有しながらも廃棄している未利用資源を大量に瞬間乾燥及び改質し、集荷・加工・保存することが可能となる。乾燥農業系の穀物の大量生産を低コストで推進する事に限界がある日本やアジアの国々にとり、有効な代替資源の創出法は地域資源生産の手段となる可能性が認識されている。

今回はより圧力が均質に付与できる樹脂型の2軸押出し成型機、エクストルーダーを実験機として活用した。市場には改質工程候補はいくつか存在するが、飼料やバイオ燃料領域では採算の観点より、実用化されていない。その為、エクストルーダーの利用は一部の高付加価値の特殊用途品に限定されている現状がある。有機物の資源化効率改善にとって、重要なことは、非破壊的条件下で最大限に改質することである。過去の多くの試みはバジジ式での資源領域のコスト試算であり、海外の乾燥コスト比較(kgあたり2~3円(乾燥製品ベース))でのランニングコストが高かったため実用化に至らなかった。

4.1.2 エクストルーダーによる加工工程の概略及び取組構想

穀類、穀物加工副産物などの低水分粉末素材のエクストルーダーによる加工は以下のように行う。

図 4.1 に示す制御盤を整備し、製造条件(各ヒーター毎の温度、回転数)を設定する。図 4.2 に示す上部奥に見える逆三角形のフィーダー(投入口)より加工対象物を投入する。投入物の水分は最大で 30%までとする。それ以上は空回りするおそれがあり、前処理で乾燥、あるいは乾燥物の前処理を行い加工可能な水分に調整する。投入物はペレットサイズとする。図 4.3 の右上のフィーダーで加工対象物の投入速度を設定し加熱する。図 4.4 に示す中央部分より本格的に加熱攪拌し圧力をかけながら加熱部を通過させることで、高温・高圧の処理を行う。図 4.5 のモーターの動力で搬送力は決まる(本試験機は処理能力は時間 100~250kg である)。図 4.6 は野菜残渣と玄米の加工品である。



図 4.1 制御盤
(樹脂業界仕様)



図 4.2 二軸エクストルーダー
及びシリンダー



図 4.3 二軸エクストルーダー
(上の円筒が投入口、調整可能)



図 4.4 中央部分(ヒーター)



図 4.5 動力部分



図 4.6 改質野菜、玄米加工品

表 4.1 に性能一覧表を詳述した。

明日葉ソルガム、りんごジュースかすなど高水分含有物の場合は、エクストルーダー単体での加工が難しいため、搾汁後、第 3 章で詳述した遠赤外線乾燥との連続加工法を前提とし乾燥物で実証した。

設定温度は 6 か所、アルミ鑄込の加熱シリンダー毎に温度を設定し、初めの 3 シリンダーは 20～50℃で最後の 3 シリンダーを穀類の場合高めに設定し、穀物、植物粕は 250～300℃を基本形とし実験を行った。スクリーの回転数は 300rpm（分毎の回転数）であり、主電動機は電流計 20A を操業の基本として操作される。

表 4.1 本研究で使用するエクストルーダーの概略

機種型	SCREW 径	回転	主電動	熱	Heater (材質)	水冷
ベント型二軸押出	57mm	295 (分)	45W	直接加熱	アルミ 鑄込み	蒸留
成形機	押出量	回転数レ ンジ (分)	補助 電源	加熱温度	設置数	
動力 37W モーター	250Kg	150 ～300	可能	100℃ ～400℃	6 か所	

本章ではエクストルーダーを用いることで、主に現在普及している高騰する穀物、飼料資源の競争力に匹敵あるいはコスト競争力で優位に立てる飼料の素材化を試みる。なお、現在の大型畜産農場で普及している配合飼料原料の殆どが、日本飼料標準の成分表に登録され、公定法により認定されたものである。その原料の栄養成分、代謝率などが製品の袋に表示されていれば、国内市場で大量使用ができるシステムとなっている。牧草類や発酵バガスなど一部バイオマス資源系での登録実績は存在するが、大規模なバイオマス資源の利活用体系構築は今後の課題と認識される。

牛の牧草や国産の飼料原料以外、特に単胃動物である鶏豚用の原料は消化率、利用率の高い穀物、油糧穀物およびその加工残渣である植物粕類より構成されている。広大な平地に恵まれず、又長年の減反政策が行われてきた我が国は、大量の飼料原料を確保することが容易ではなく、牧草など牛用用途以外の飼料原料の穀物資源は国策の飼料米以外ほぼ 100%を海外産の穀物あるいは穀物加工副産物に依存する原料構成となっている。価格を市場に転嫁しにくい畜産業よりみると、過度な穀物依存についての抜本的な対応策が必要な状況となっている。

食料や飼料では熱や圧力を適度に与えることでその消化性を高めたり消化速度を早めたりすることが可能である。バイオマスの加工の現場でもその活用法は検討されているが、そのメリットと投資効率が合わず、実用化事例は多くないのが実情である。特に今回検討した樹脂用押出成型型 2 軸エクストルーダーは、均質な圧力、熱を短期間にかけることが可能であり、現在、未利用あるいは廃棄されている物やバイオマス資源を、これにより有望な改質素材へと改善することについて検討する。

4.2 実験方法

4.2.1 エクストルーダーを用いた飼料原料の加工後の消化酵素による可溶化物量の測定

動物の消化形は複雑で、これを代替する簡便な評価形は未だ発明されていない。業界では動物の成長に重要な蛋白質や炭水化物、繊維の消化酵素を投入し、可溶化された物質量を Brix 値（糖度）で測定し、可溶化物量や消化のし易さを計測することで、素材をスクリーニングする手法がとられている。これらを本章でも評価の基本形に利用した。多くの原料の消化適性を評価する手法としては、酵素の評価系での可溶化率の改善適性を見ることが知られている [3]。

本研究での酵素の評価系には糖度計の Brix 値（屈折率）を使用した（以降 Brix 値と統一する）。

Brix 値の測定は ATAGO ポケット糖度計 PAL-J<Japan>を使用するが、正確には糖度測定ではなくその屈折率を利用した可溶性固形物の濃度測定を活用することになる。エクストルーダー処理原料 0.5g をフラスコに採取し、蛋白質消化酵素溶液である 0.2%ペプシン水溶液（pH2.0）を加え、37°Cの湯浴で 4 時間インキュベートし消化処理を行う。この際 0, 1, 2, 4 時間で Brix 値を測定し可溶化物の増加を確認する。消化処理終了後、水酸化ナトリウムを添加し酵素を失活させる。これ以降の消化液には時間の都合もあり、複合酵素溶液を使用した。デンプン質、脂質、タンパク質の消化酵素溶液であるパンクレアチンの 0.3%溶液に、セルラーゼおよびヘミセルラーゼを各 0.3%となるように調整し pH は 7.8 とした。セルラーゼおよびヘミセルラーゼを添加した理由は、エクストルーダー処理によって繊維質の一部を利用性のある成分へ変化、もしくは消化しやすい形へ変化させ、消化させ易くする事を狙うためである。セルラーゼ及びヘミセルラーゼを最適 pH 域でパンクレアチンとは別に反応させることが望ましいが、実験の作業上パンクレアチンの pH 域で混合液として反応させた。パンクレアチン系の消化処理についてもパンクレアチン同様に Brix 値測定を行った。消化処理後、トリクロロ酢酸を添加し反応を止めた。図 4.7 に以上を図式化する。

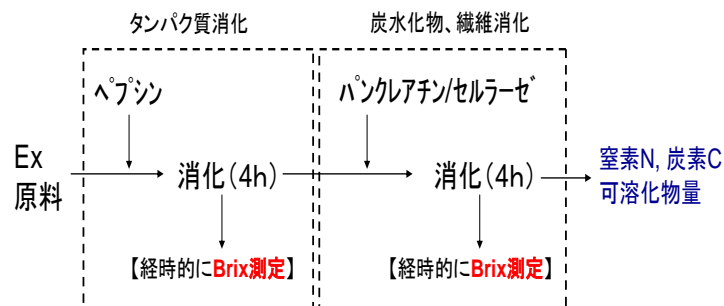


図 4.7 エクストルーダー処理物の簡便評価法

上記、Brix 測定で絞り込んだ原料について窒素および炭素の可溶化物量を測定する。上述の Brix 測定した溶液を採取し、遠心分離器にかけ上澄み液と残渣とに分け、回収した上澄み液を濾過し、得られたろ液を水溶性蛋白質測定試料とし、J- SCIENCE LAB Co., Ltd. (株) ジェイ・サイエンスラボ社の JM3000CN の燃焼法により、全窒素、全炭素同時分析装置で測定した。Brix 値測定は簡易的であり可溶化度が迅速に分かる。一方、酵素溶液に溶解した物質が何であれ測定値にカウントされ、その詳細が分からないことが難点であるものの、飼料原料の条件出しやバイオマスの素材のスクリーニングなどは膨大な数の検体の絞り込みを行う必要がある。もともと Brix の糖度計の基本原理は 100g の中に糖分が何 g 含まれているかを百分率で表すと同時に、糖分（グルコース）以外にも塩分、酸、エキス（アミノ酸、ペプチド）など溶け込んでいるもの全てを合算して可溶性固形分と称しており実態は、100g の中に可溶性固形分が何 g 含まれているかを表す。バイオマスの飼料向けなどの加工工程等の最適化を行う場合、膨大なデータの中よりまず素材の易消化性を確認することは必須で、これを活用することで、素材や加工条件の絞り込みが飛躍的に容易になると考えられる。

蛋白質は加熱前には可溶性および不溶性の成分があり、この中でも可消化および難消化の成分に大別される。加熱を受けることにより難消化性蛋白質の一部が可消化蛋白質（低分子、アミノ酸等）へ変化することを期待する [3]。しかし同時に加熱によって蛋白変性やメイラード反応が起こり、本来可消化であった部分の一部が難消化性となることも考えられる。このように加熱による原料の消化性は改善のプラスとなれば「消化性の向上」であり、低下となれば「消化性の低下」となる。これを確認するため、窒素および炭素の可溶化物量を測定する。二度加熱や過加熱が消化性の低下につながることは判明している [5]。

炭水化物についても同様に可溶性および不溶性の成分があり、このうち後者は可消化および難消化の成分に分かれる。加熱により α 化され難消化成分の一部が消化可能となることが期待される。また、蛋白質同様に可溶化であった一部が分解やメイラード反応等で難消化となる可能性がある。繊維質は反すう動物以外の動物では極めて消化率が低い。これは可溶性の繊維質であっても同じである。畜産生産者や飼料メーカーやバイオエネルギー

市場より見れば、高騰する穀物資源以外に新しい資源の領域が出現するわけで、加熱することによりこの一部を短鎖へ分解し、飼料中の添加酵素で分解し易い形とする、もしくはさらに短鎖となりグルコースなどの加工業が利用可能な成分へと変化することを期待している。

脂質については加熱されることにより一部加水分解を受ける可能性が考えられるが、基本的には成分の変化はないと考えられる。このような成分変化を捉えるためにエクストルーダー処理前後における窒素（N）及び炭素（C）の可溶化物量を調査する。本評価系を本章の基本評価系として採用した。

4.2.1(a) 玄米の利用率改善

国産で最も普及している穀物は飼料用米であり、長い歴史がある。飼料米はコーンや他の穀物と成分は若干異なるが、エネルギー作物としては他穀物とほぼ同等の栄養評価が定着している。玄米の糊化温度は65～70℃であることが知られており加熱温度、圧力により、細胞に存在する内容成分が有利に利用される可能性が存在する。飼料のエクストルーダー処理は、コスト面からすると採算が合いにくいいため、一部の代用乳（子豚用）や養殖魚などの浮き餌にしか普及していない状況である。まず玄米の利用率の改善について実験を行った。

国産の玄米をエクストルーダーにかけ、4.2に論述した、酵素の評価系でエクストルーダー処理による、蛋白等の窒素成分、でんぷん、糖類などの炭素の可溶化率の改善を検証した。以下①材料、②装置、③実験条件の明細を示す。

- ① 実験素材は市場で調達できる国産玄米とした。
- ② 実験装置として使用するエクストルーダーは通常食品加工で使用される機種とは異なりより改質の容易な、樹脂成型二軸エクストルーダーの実験装置を使用した。明細は表 4.1 に示す通りである。通常のエクストルーダーを改造し、加熱、加圧を強化したプロセスであるが、以下の加工処理を行い、加工物の評価試験を行った。
- ③ 実験条件は玄米にエクストルーダー処理を行い、可溶化状況を酵素の評価系で測定した。回転数の300回転（1分間）、加温は前の6ヒーターの前半は50℃の低温とし、冬場でもあり品温を上げるため、最終出口で350℃とした（2011年1月～2012年2月に挙行）。

実験内容は加熱処理を行い、まず処理物を1) 所定酵素で処理物のBrix測定を行い、次に2) 窒素、炭素の可溶化物の測定を行った。さらに3) エクストルーダーの回転数（1分間）毎の処理物を試作し、最適可溶化率の条件だしを行う事とした。

4.2.1(b) 蛋白原料の利用効率改善

蛋白原料で普及している、大豆粕、菜種粕のエクストルーダーの利用実証を行った。実用化例が一部あるが、動物の増体に重要な、植物蛋白原料の加熱による効率化実証を本方式で行う。第1章で指摘したように、今後の世界の食糧資源の最大の問題は動物向け蛋白質及びエネルギー資源の効率的利用法あるいは代替システムの開発にかかっているといえる。よって、特に増体に重要な動物向けの蛋白質の大豆粕、菜種粕を本工程で改質し効果を実証した。すでに大豆粕のエクストルーダー商品の登録は数件なされている。

大豆粕、菜種粕を同条件で加熱加工を実施し、酵素評価法、窒素、炭素測定を行った。加熱温度は350℃、回転数は300回転とした。

4.2.1(c) 玄米及び菜種粕混合処理物における利用率の相乗効果

同上条件で (a) (b) の無処理区、加熱加工区の単独加熱結果に加え、玄米、菜種粕を3:1に混合処理した区についてエクストルーダーの利用実証を行い単独区との比較を行った。糊化加工は食品化学では知られた古典的な技術であり実践例は多々あるがバイオマスの効率化に利用された研究や動物の消化との関連での研究はまだない。まず既存資源での混合物の相乗効果につき実験を行った。

4.2.2 玄米及び菜種粕混合処理物の鶏の代謝エネルギー測定

大豆粕の加熱加工で消化率が上がることは知られている [3]。2007年以降資源高騰時代に突入した感があるが、国産の菜種等の普及もあり菜種粕の高度利用の目処を付ける意味でも可溶化率を高めた素材を飼料とした際の動物の代謝率を検証する必要がある。今回は制度的にも国内で定着している玄米と菜種粕との混合物をエクストルーダーで加熱加工し、玄米・菜種粕の二種混合処理物の鶏における代謝エネルギーについて以下のように測定した。飼料原料の評価で最も重要な評価系はこの代謝エネルギー (ME) となっている。

① 実験材料は国内の油脂メーカーより調達した玄米及び菜種粕を3:1の率に分け混合した。本研究はエクストルーダーの回転数を300rpm (一分間での回転数)、出口温度を350℃ (加熱成果物を活用した配合飼料の鶏の代謝率、代謝エネルギーの測定用) に設計した。

② 測定方法は、菜種粕・玄米処理物の鶏における代謝エネルギーの測定とし (日本科学飼料協会による)、わが国の公定法における代謝エネルギーの推定値を測定した。加熱加工を玄米、菜種粕玄米混合物を各々で実施し、その差額より菜種粕の代謝率、代謝エネルギーを暫定推定値とすることとした。科学飼料協会の公式規定では、20サンプルを送付し平

均値で効果を動物試験で実証し、審議会に登録成分が認可されれば、日本飼料標準登録値として認定され、顧客に成分表示することが可能となり本格的に流通可能となる。

③ 測定条件、供試動物：ブロイラー専用種雄（チャンキー、約8週齢）を16羽供試した。期間は7日間で、体重の測定、糞の測定など行った。供試品のGE（総エネルギー）、ME（代謝エネルギー）および代謝率を公定法に基づいて測定した。

4.2.3 地域資源である玄米及び明日葉混合処理物の飼料化

具体的に国策となっている飼料米の利用を検討する。飼料ビジネスや畜産は畜産の飼育技術および飼料のメリット原料すなわちコーンや大豆粕が果たす動物栄養上の経済効果を、格安原料で実現する競争とも言える。如何に飼料コストをかけないで消化吸収に優れた蛋白原料を確保し、最適化するのが、穀物価格高騰時代に求められる重要領域となっている。未利用資源の中では野菜類にリーフミール蛋白や卵に着色効果のあるキサントフィルがあることは知られている。過去は穀物価格が安価な時代が長く、加工コストと素材のメリットが相殺になり、使用メリットがなかったが、1)殺菌、2)葉物、野菜系残渣、3)芋類等の残渣、の組み合わせで使用メリットのある飼料原料が形成される可能性がある。第2章に示した旺盛な植生をし、日本の放棄地でも安価に生産可能な明日葉と、日本の国産澱粉の最大素材である飼料米の組み合わせで飼料原料化を検討した。

4.2.1で詳述した酵素法により玄米、明日葉を3:1の比率で混合した加熱加工処理物を無施用区、加熱加工処理区でBrix（屈折率）の変化を測定した。玄米は市場での調達品とし、明日葉は高水分で通常廃棄される残渣を搾汁し、熱風乾燥したペレットを使用した。繊維系素材は穀物と比較して、加熱温度に褐色変化を起こしやすいので、温度調整が必要である。加工条件は玄米の糊化温度を勘案し、エクストルーダーの加熱温度は同様350℃、回転数を300rpmとした。

4.2.4 明日葉の着色系付加価値飼料素材化(素材化事例案)

採卵鶏に対する「原生林明日葉」の飼料化の可能性を確認するため、「原生林明日葉」の乾燥葉を5%配合し、老鶏に給与して4週間の試験を行った。本試験では、特に課題となり得る卵殻質の改善を目的として、卵の生産性と品質に対する明日葉飼料の影響を確認した。

実験方法と実験材料は以下に示す通りである。

試験期間：1/18～2/14（4週間）

試験場所：飼料メーカー研究所 成鶏舎（708日令）

供試鶏：ジュリア

供試羽数：10羽×2処理×3反復＝60羽

試験処理区：①対照区：CP14.6、ME2860（成鶏用市販飼料に準じる）

②試験区：対照飼料に明日葉（葉部分）を5%添加

測定する主要項目は以下に示す通りである。

飼養成績：産卵率（毎日）、飼料摂取量（毎週）

卵質成績：個卵重、卵殻強度、卵黄色、ハウユニット（隔週）

飼料の切り替え時に発生する、切り替え効果を切り替えショックというがその確認のために、開始より3日間の摂取量・産卵率を記録した。

卵殻強度測定計により卵殻強度を機械によって測定した。この機械により卵に圧力をかけ、卵が割れた際の強さをもって卵殻強度とした。卵殻強度適性値は3.0KG/CM²あれば問題がないとされており、殻の固さを管理するため、飼料に炭酸カルシウムなど添加することで固さを調節している。

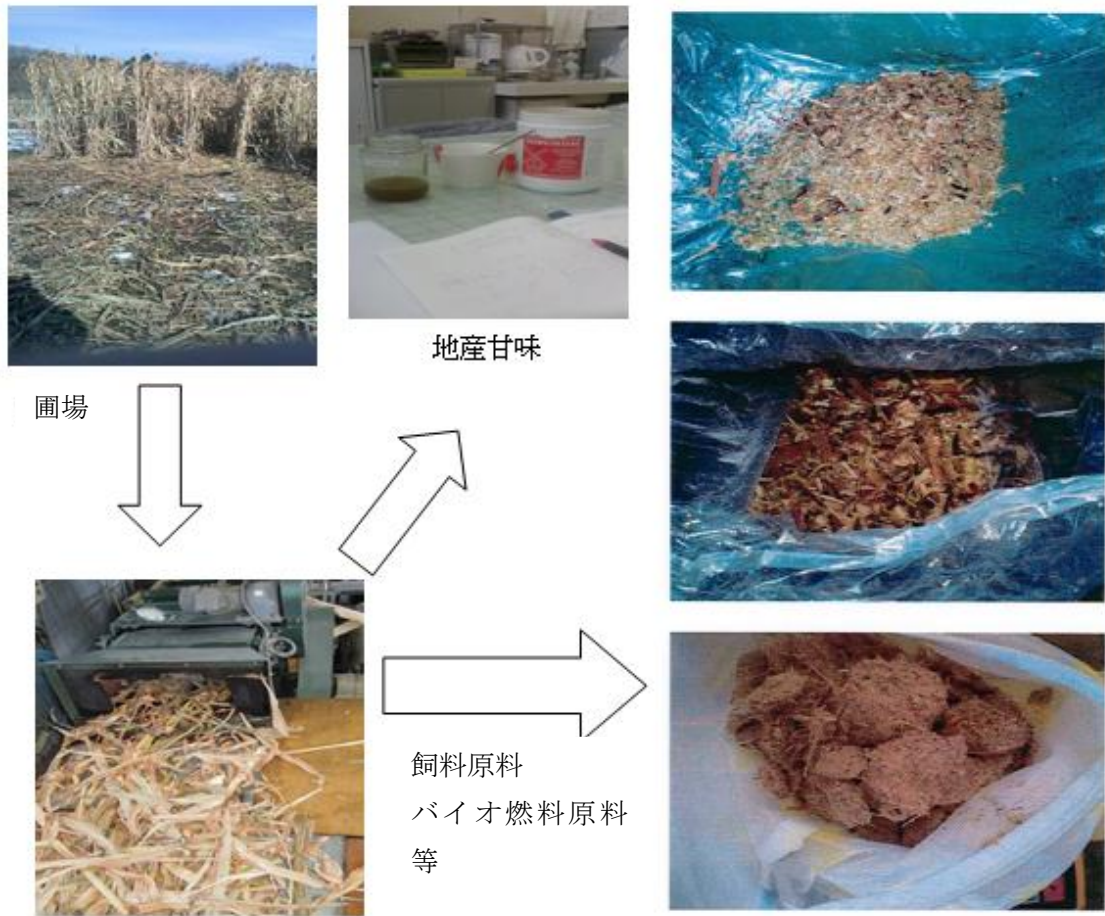
卵黄色の測定については、従来から「ロッシュ ヨークカラーファン」（1984年改訂）を基準とし、このカラーファンと対比することによって色調を判定していた。「ロッシュ ヨークカラーファン」は、色調が15段階に区分されており、数値の大きいものほど黄色の度合いが濃く、数値の低いものほど淡い。一般的には、カラーファンNo.の数値が8～9程度あれば問題がないとされているが、最近では特色を持たせて消費者の購買意欲の増進をねらい、カラーファンNo.10～12程度の濃い色調のもの供給を希望する量販店もある。現在業界では着色剤として、パプリカ、マリーゴールド花卉抽出物などで黄色系の色調を、カンタキサンチンやアスタキサンチン等の着色剤で赤色系の色調を確保しており、Labの色差計で顧客と商談時に色を決めている。今回は明日葉の葉にある色素を活用しその代替性を見極めを行った。

ハウユニット（Haugh unit）とは鶏卵の鮮度を表す指標の一つである。卵の質量と卵白の盛り上がりの高さから求められる。ハウユニットは、産卵直後で90前後を示し、時間の経過とともに減少する。ハウユニット60未満の卵は家庭用には不相当とされている。ハウ単位とも呼ばれる。この指標についても調査した。

4.2.5 明日葉、スイートソルガムの飼料化実証(搾汁工程後処理)

青森県でのスイートソルガムの実証事例を述べる。圃場より収穫したスイートソルガムを搾汁工場のスクリュープレスで圧搾、搾汁後、汁は煮沸して甘味(黒糖風味)製品となる。この煮沸液は現在米国のアイオワ州で特産の甘味製品になっている。残渣をそれぞれ3.5mmのクランブル、20mmのキューブ状、ペレットへ加工することを試みた。

図4.8にスイートソルガムの搾汁工程(栽培、加工製造等の概略案)を示す。以下の試験工程により生産された成果物を3.2.5および4.2.5(a)にて研究材料とした。



搾汁工程
スクリープレス
圧搾工程

ソルガム残渣
(形状)
クランブル加工
マッシュ (残渣)
キューブ形状加工

図 4.8 スイートソルガム搾汁工程

スイートソルガムは第 2 章で実証された如く、強靱で乾燥に強く、放棄地においても旺盛な生産性を示す。また土壌改良資材としての報告例もある。国内の放棄地や震災地で栽培することにより、各種の甘味料や発酵食品として利用することができ、またその残渣も優良な飼料原料になる可能性が示唆されている。

4.2.5(a) 明日葉、ソルガム搾汁残渣の飼料化（嗜好性改善）

筑波大学農学部の実験動物である 3 頭のホルスタインは、通常穀物およびチモシーで肥育されているが、この乳牛は明日葉を給仕しても食欲を示さず食さなかった。味覚感受性の薄い鶏以外の動物は一度穀物給餌に馴致されると、薬理効果のある薬草などの嗜好を喪失する傾向があり、事業化の場合の障害になっている。

そこで嗜好性に定評のあるスイートソルガム粉碎物ペレット (15mm 径) 25% と明日葉 25%、飼料米 50% のエクストルーダーペレットを試作した。加熱温度は 120 度、300 回転条件でのペレットを製作し給餌した。

4.2.5(b) フィステル装着牛を用いた明日葉の部位毎(葉、茎)の消化性試験

牛の生産性(肥育、搾乳)が最も良好となる栄養摂取状態は、例えば蛋白質についてみると摂取した約 65% がルーメン(第 1 胃)で、約 35% が上部消化管(第 4 胃から小腸)で消化利用される場合である [2]。このときルーメンで分解されずに通過できる蛋白質を「バイパス蛋白質」という。一般的に牛に適した粗飼料は、ルーメンでの消化速度が穀物、粕類、糟糠類より遅く、よく反芻に関与する事とされている [2]。この点から、飼料給餌メニューを設計するにあたっては使用原料のルーメン内での蛋白質の利用・分解性や繊維質の消化速度を把握する必要がある。そこで、フィステル牛を用いて明日葉のルーメンでの繊維質や蛋白質の分解・消化性を把握する為に本調査を飼料メーカーの協力で行った。

明日葉のルーメン内における分解・消化性を調査するにあたって、アルファルファヘイキューブおよびイナワラを比較対照とした。粗飼料の中で、イナワラはルーメンでの分解速度が非常に遅い。一方アルファルファヘイキューブは分解速度が比較的速く、粗蛋白質の割合が高いため、比較対照としては最適である。



図 4.9 ナイロンバック



図 4.10 フィステル牛と投入蓋

試験飼料である明日葉の葉、明日葉の茎、アルファルファヘイキューブ、イナワラを別々に同量の 20 g を図 4.9 に示すナイロンバックに詰めて、フィステル装着牛のルーメンに投

入した。ナイロンバックの目の大きさは試験飼料が外に出ず、ルーメン内液、ルーメン内微生物が飼料に浸る非常に細かいものとした。フィステル装着牛とは、図 4.10 の様にルーメンが存在する部位（矢印）に蓋の取り外し（図 4.11, 図 4.12）が簡単にできる器具を外科的に装着した個体で、その部位より飼料を投入し、経時的に取り出して消化性等を調査できる。投入取り出し以外の時において蓋は、密封されていてルーメンの摂取内容物が飛び出さないようにしっかり固定されている。

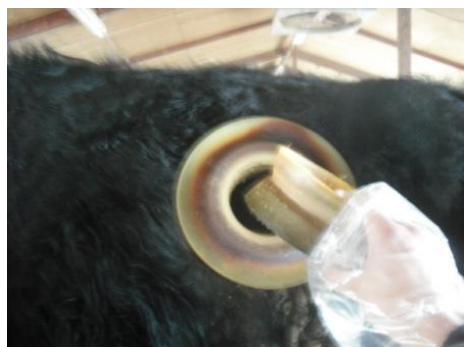


図 4.11 蓋の取り外し



図 4.12 投入口

本調査ではフィステル装着牛(生体重 600kg)を2頭用いて行った。これらの牛は市販配合飼料 3kg/日、粗飼料（チモシー）4kg/日を給餌されている。各試料を計量後ナイロンバックに入れ、ルーメン内に投入した。投入後 0、4、10、24、48 時間後に試料を回収し、流水で洗浄後乾燥させ、分析に供した。

4.3 結果及び考察

4.3.1 エクストルーダーを用いた飼料原料の加工後の消化酵素による可溶化物量の測定

酵素評価系の実施は本章全体で行われ、その結果及び効果は本章全体に記載されている。動物栄養学における資源のスクリーニングや発酵における最適化のために、酵素の評価系は多用される [3]。厳密に言えば、動物栄養学上の消化吸収は複雑で、究極の正確な分析法は動物実験以外は存在しないが、飼料原料の加工条件を求めたり、素材のスクリーニングを行う為には有効な手段である。選択された素材、条件の絞り込みを行い、最終的には動物の複雑な消化メカニズムより、動物実証を行うことになる。本方式でスクリーニングの後、動物の消化液や人工内臓などを用いた研究が進んでいる状況である。

4.3.1(a) 玄米の利用率改善

1) 酵素法による測定結果

表 4.2 より加工後に可溶化率を示す Brix 値が急速に上昇することが確認されたことから、蛋白質形等の可溶化率がかなり上昇した可能性がある。図 4.13 (a) により、動物の成長に必須な蛋白質の可溶化率を示す加工後のペプシン消化率の著しい改善傾向が示され、図 4.13 (b) ではバンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ等の酵素による、蛋白、糖、繊維の可溶化率の改善も確認された。人間が米を加熱し食する事と同様で本加熱加工条件での可溶化の改善傾向が確認され、消化速度が改善する可能性も確認された。

表 4.2 エクストルーダー処理物の Brix 値測定での可溶化率変化

	ペプシン消化率				バンクレアチン/セルラーゼ/ヘミセルラーゼ消化率			
	0h	1h	2h	4h	0h	1h	2h	4h
加工前	0.5	0.7	0.9	0.9	5.7	5.7	5.9	6.1
加工後	1.8	2.9	3.1	3.2	6.6	7.0	7.2	7.3

(100gram 当たりの可溶化物量濃度(%) と速度)

玄米には著しい可溶化固形分の濃度改善が確認された。これは蛋白分解酵素であるペプシンにより、加工後区の可溶性固形分が加工前区と比較して、4 時間で 100g あたり 2.3% の可溶化物が増加したことを意味する。又、同様にして、バンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼは 4 時間で可溶性固形物が加工前区と比較して、1.2% 増加したことを意味する。ペプシン酵素は動物の増体に重要な蛋白質を分解する酵素で、この可溶化量(率)と可溶化速度の最適化は飼料化の必要条件である[2]。ただし、動物の増体(商業生産では

成長を体重の増加で評価する) メカニズムは複雑であるため実際の生体動物を用いた実証が必要である。ペプシンは蛋白質分解酵素であるが澱粉の結晶体の中に蛋白が存在しているといわれており[1-3]、本工程によりその結晶体がこわれ消化が促進された可能性がある。

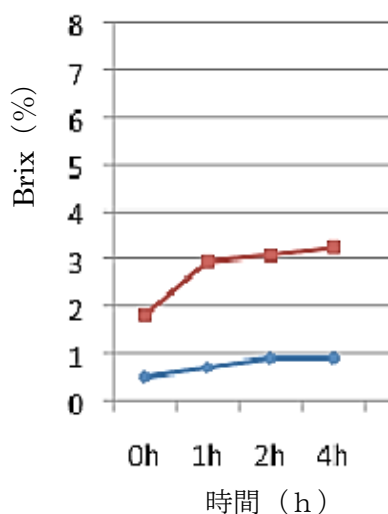


図 4.13 (a) 蛋白質可溶化物の増加 (ペプシン(蛋白質分解酵素)による)

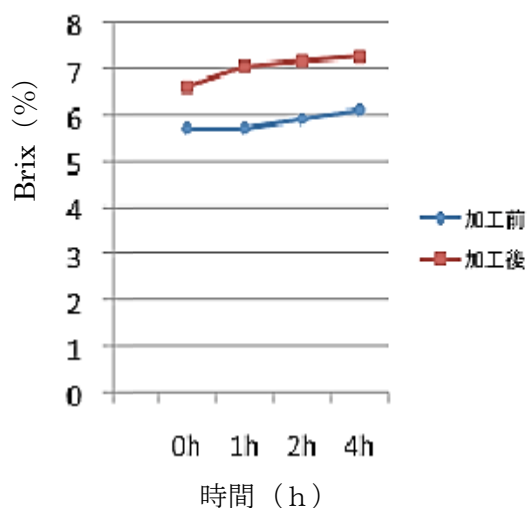


図 4.13 (b) 蛋白、糖可溶化物の増加 (パンクレアチン、ヘミセルラーゼ、セルラーゼの蛋白、繊維等の分解酵素による)

2) エクストルーダー処理物の窒素、炭素可溶化物量の測定

表 4.3(a)に玄米処理物の可溶化物量を示す。右下に示す窒素可溶化率 (57.9%→61.8%) で7%の改善、炭素可溶化率 (38.3%→79.1%) で107%の可溶化率が増えたことが確認されており、利用率が大幅に上がっている可能性が確認された。

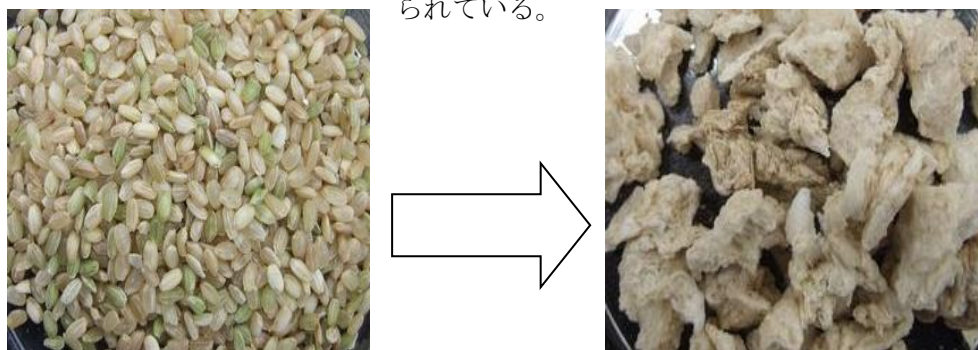
表 4.3(a) 玄米処理物の可溶化物量 (10 検体の平均値使用, 100gram 当たりの重量比%)

	ペプシン消化率				パンクレアチン/セルラーゼ/ヘミセルラーゼ消化率			
	0h	1h	2h	4h	0h	1h	2h	4h
加工前	0.5	0.7	0.9	0.9	5.7	5.7	5.9	6.1
加工後	1.8	2.9	3.1	3.2	6.6	7.0	7.2	7.3

窒素(mg)		窒素可溶化率	
加工前	5.69	3.29	57.9 %
加工後	6.70	4.14	61.8 %

炭素(mg)		炭素可溶化率 (%)	
加工前	197	75	38.3 %
加工後	219	174	79.1 %

図 4.14 に玄米のエクストルーダー加工前、加工後の外観を示す。玄米は膨化加工処理された形状になっており、栄養学的に見ても、栄養分の消化率(可溶化率)が上がることは知られている。



加工前

加工後

図 4.14 玄米のエクストルーダー加工前および加工後

なお、評価は可溶化速度および可溶化物の改善量を見て分析を行う。投入された酵素及び pH 調整剤、試薬など調整剤を控除することをブランク調整という [3]。改善度をより鮮明に把握するため、ブランク調整後(ペプシン区▲0.6、バンクレア、ヘミセルラーゼ、セルラーゼ区▲5.3 を控除)の数値を表 4.3(b)に示す(正味変動幅を以下把握するため以降ブランク控除後の数値で評価する)。

表 4.3(b) 玄米処理物の可溶化物量 (ブランク調整後の数値、可溶化物量の改善度を示す)

	ペプシン消化率				バンクレアチン/ヘミセルラーゼ/セルラーゼ消化率			
	0h	1h	2h	3h	0h	1h	2h	3h
加工前	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.6	0.8
加工後	1.2	2.3	2.5	2.6	1.3	1.7	1.9	2.0

(100gram 当たりの可溶化物量を重量%で表示する)

3) エクストルーダーの回転数による玄米の利用率改善手法 (回転数による改善手法)

図 4.15(a)にペプシン消化率、及び図 4.15(b)にバンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼと可溶化物量の変化を示す。回転数は 150rpm (当機種最低回転数) ~300rpm で実証を行った。(a) では蛋白分解酵素であるペプシンにより窒素可溶化物量は 150rpm の時に最大となった。動物の増体(成長)に最も重要な栄養素は蛋白質でこの利用率の改善が重要である。又、(b) では蛋白分解酵素であるバンクレアチン、繊維類の糖化酵素であるセルラーゼ、ヘミセルラーゼ区による可溶化物量は 150rpm 及び 200rpm (全く同量のデータ結

果)で優位となった。図 4.15 の比較分析では蛋白分解酵素であるペプシン消化酵素がエクストルーダー処理によりペプシン区では2.4%、バンクレアチン、ヘミセルラーゼ、セルラーゼ区では1.2%の可溶性物質がより増えており、ペプシン区ではペプチドやアミノ酸、バンクレアチンにセルラーゼおよびヘミセルラーゼ区ではアミノ酸や可溶性の糖類に転換が進んだ可能性が示された。安価なバイオマスとの組み合わせ加工および低効率資源の組み合わせにより、新しい効率的代謝機能をもつ飼料や発酵原料を設計できる可能性がある。

日本飼料標準にはすでにエクストルーダー処理による大豆粕で10%前後の代謝率を改善し、素材を改質することで登録がなされているが、コストメリットが相殺され、牛のバイパス蛋白以外あまり普及が進んでいない。そこでエクストルーダー加工による玄米の最適化を以下のように実証する。飼料米を給餌する場合玄米形状が多いといわれている。

又代謝について、牛は飼料米を多給すると代謝異常を起こすケースが有り、前処理研究が進みつつある。畜産物の場合には多給すると、卵の色は薄くなることが知られている[2]。

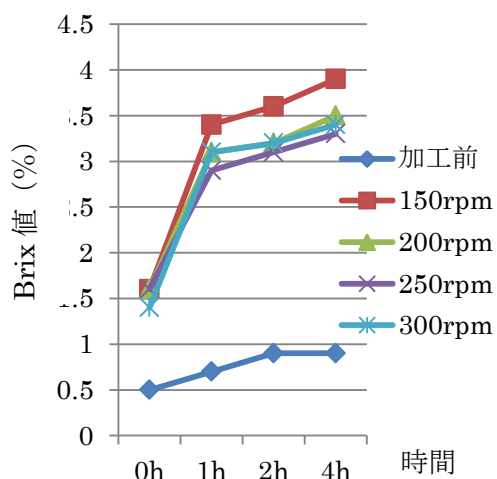


図 4.15 (a) 回転数と蛋白可溶化速度及び物量の変化(ペプシン分解酵素による) 横軸、反応時間。

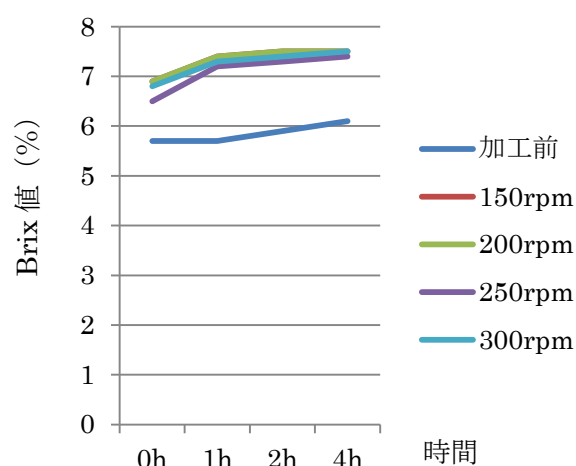


図 4.15 (b) 回転数と蛋白、糖可溶化速度及び物量の変化(バンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ分解酵素による) 150rpm と200rpm が同じ値にて緑色表示となった。横軸反応時間

4.3.1 (b) 蛋白原料の利用効率改善

大豆粕

表 4.4 に大豆粕のエクストルーダー処理物の酵素処理結果を示す。窒素可溶化率が炭素可溶化率とともに改善されたことがわかった。大豆粕は飼料用蛋白分野での最大品目であり、加熱加工による代謝のエネルギー改善は知られているところである [3] [5] (投入酵素、

薬剤ブランク調整後)。

表 4.4 大豆粕の利用率改善(100gram 中の可溶化物濃度 %)

	ペプシン消化率				パンクレアチン/セルラーゼ/ヘミセルラーゼ消化率			
	0h	1h	2h	4h	0h	1h	2h	4h
加工前	1.1	2.5	2.7	2.9	1.2	1.3	1.3	1.3
加工後	1.1	2.9	3.2	3.4	1.2	1.5	1.4	1.4

窒素		窒素可溶化率	
加工前	38.1	73.1	8%UP !
加工後	42.8	78.6	
炭素		炭素可溶化率	
加工前	210	72.0	14%UP !
加工後	232	82.3	

Brix 値では窒素可溶化量が 0.5%炭素可溶化量が 0.1%の微増であった。全窒素、全炭素同時分析による窒素可溶化率が 8%、炭素可溶化率が 14%増加した。

菜種粕

表 4.5 に菜種粕の利用率改善を示す。菜種粕は、大豆粕に続く飼料用蛋白分野での大型品目である。大豆粕につづき、菜種粕においても現在の蛋白原料での、可溶化率の改善傾向が確認された。大豆粕ではいくつかの商材が既に市場にあるが、別事例で明らかになったように、過度の熱、あるいは再加熱により蛋白の褐変反応を起こす可能性もあるため注意が必要である [6]。

菜種粕に関してはまだ大型の登録商品がなく研究途上にあると考えられ、本研究でも工程開発を検討した。また動物産業が穀物高騰で追加の加工賃を消化できない環境でもあり、本工程は従来型の飼料原料の高度利用もあろうが、今後の旺盛な飼料需要を考えると、バイオマス資源とのシナジーでの高度利用を課題とした検討をすすめることが求められる(ブランク調整後の数値使用)。

表 4.5 では Brix 値では窒素 0.5%、炭素 0.3%の増加が示された。全窒素 10%、全炭素可溶化物測定結果が 56%改善できた。加工前も加工後も粉碎粒度 0.5mmで粉碎して、評価しており、粉碎粒度等の差ではなく工程による熱圧力による改善と考えられる。

表 4.5 菜種粕の利用率改善

	ペプシン消化率				パンクレアチン/セルラーゼ/ヘミセルラーゼ消化率				
	0h	1h	2h	4h	0h	1h	2h	4h	
加工前	0.5	1.9	2.2	2.5	0.9	0.9	0.9	0.9	
加工後	0.9	2.5	2.8	3.0	1.2	1.3	1.3	1.2	

窒素		窒素可溶化率		
加工前	29.7	19.4	65.4	
加工後	33.6	24.2	72.1	

炭素		炭素可溶化率		
加工前	240	109	45.6	
加工後	231	164	71.0	

4.3.1 (c) 玄米及び菜種粕混合処理物における利用率の相乗効果

玄米・菜種粕（3：1）混合処理区の利用率改善を表 4.6 に示す。

表 4.6 玄米・菜種粕 3：1 混合処理物の利用率改善

	ペプシン消化率				パンクレアチン/セルラーゼ/ヘミセルラーゼ消化率			
	0h	1h	2h	4h	0h	1h	2h	4h
加工前	0.10	60.70	8		0.1	0.5	0.50	8
加工後	1.52	72.82	9		1.11	51.6	1.9	

(ブランク控除後の数値使用、100gram 中の物量)

加工前と比較してペプシン区で 2.1、パンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ区で 1.1 の可溶化物量増および蛋白消化酵素であるペプシン区でははじめの 1 時間ではかなりの高水準を示し、可溶化速度が速いことを示している。

分析を行うにあたり、無施用区(単体加熱前区)、単体加熱区、混合処理区の可溶化物量の分析をおこない、得た分析結果を次頁表 4.7 に示す。

バイオマスの資源化を行うにはまず必要条件として可溶化率を穀物並みまたはそれ以上に上げることが前提となり、玄米菜種区よりその可能性を分析した。評価分析の基準は単体加熱前区を 1 とし%表示とした。

表 4.7 玄米及び菜種粕（3：1）の加熱前区、加熱処理区の可溶化物量の分析

	ペプシン (a) 可溶化物量区 (%)	バンクレアチン/セルラーゼ /ヘミセルラーゼ区 (b) 可溶化物量 (%)	改善率
①単体加熱前区（加重平均 3：1 試算）	0.775	0.825	基準値 1（100%）とする
②単体加熱（加重平均 3：1 試算）	2.7	1.8	(a) 348% (b) 218%
③混合加熱区(1：3)測定値	2.9	1.9	(a) 374% (②の 7.4%改善) (b) 230% (②の 5.6%改善)

②単体加熱区、③混合加熱区（飼料米 3：菜種 1）を①単体加熱前区と比較すると 4 時間でペプシン区で 348～374%、バンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ区で 218～230%もの可溶化物量を記録した。単体加熱前区を 1 とし何%増加したかを算出した。

次に相乗効果を分析する為、単体毎の加熱し配合した場合を②を 1 として混合区③での改善度をさらに計算した。その結果、相乗効果として（仮称）複合代謝メカニズムの可能性が認識された。単体でも混合でも安価な飼料やバイオマスに付加価値を提供する可能性が強い。特に混合区では糊化圧力の相乗効果が見られ、既存飼料原料を高度に利用できる可能性が示された。今後は生体による実証及び最適化が期待される。

4.3.2 玄米及び菜種粕混合処理物の鶏の代謝エネルギー測定

行政の補助事業で行った実証試験を以下の表 4.8 に示した。菜種粕の日本飼料標準登録代謝エネルギー（Metabolized Energy、ME という）は 1740kcal であり [5]、今回の公定法による、2.19kcal は、25.86%改善と測定された（現在のエクストルーダー利用の暫定値であり、現時点での鶏豚類で登録されているものでは約 10%改善が登録最高値となっている）。

表 4.8 玄米菜種混合処理物の動物試験結果(ブロイラー)

素材名	総エネルギー (Mcal/kg)	代謝エネルギー (Mcal/kg)	代謝率 (%)
玄米処理物	4.23	3.71 (偏差 0.08)	87.8 (1.8)
菜種粕玄米処理物	4.3	3.34 (0.02)	77.7 (0.5)
菜種油粕	4.51	2.19 (0.10)	48.5 (2.1)

事業化には動物栄養ではもっとも重要な係数である FCR（飼料要求率）の最適化を行う必要がある。近年、採卵鶏の成長能力（産卵個数、死亡率、50%産卵率到達日数、産卵量、

体重、飼料要求率などが指標として測定される) が著しく改善しており、採卵鶏は産卵期間が長期化する傾向がある[7-8]。生産成績が同じであればより安価かつ環境に優しく消化の早い代替飼料資源に市場の関心が高まっている。又加熱による、阻害因子の無害化が認識されている [9-10]。鶏用飼料の加熱加工やペレット化に関しては、動物栄養業界で種々の知見があり、穀物多給型飼料の場合、加熱加圧加工は利点と欠点があるため、利用の際は個別の配慮が必要である [10]。

利点としては、1) 飼料中の利用養分およびエネルギーの利用率が向上するとともに、嗜好性も向上することがあげられる、2) 増体量、飼料要求率が改善される場合がある、3) 飼料の無駄が少ない、あるいは4) 飼料中のサルモネラ菌等が抑制される可能性も知られている、ということが挙げられる。逆に、欠点としては 1) 製造技術を要し、製造費が高くなる、2) 製造中にビタミンなどが熱で棄損あるいは残留物混入(コンタミ)で加配される可能性がある、3) 高温高湿時にカビが生えやすい問題などもあり得る、4) 飲水量が増える、5) 排泄物処理に問題が起こることもある、ということが挙げられ、総合的な判断と最適化の調整が必要と思われる。

酵素のデータや窒素及び炭素の可溶化速度のデータを、動物栄養分野のみならず、メタン発酵や有機肥料、土壌改良事業領域における工程化に生かし、設備の小型化、効率化等を図る事ができる。特に本研究の工程は低効率資源の高効率化に資する可能性があると認識される。過去重視されなかった、農業分野の活性化や、産業化に繋がる、1. 消化速度を速めた飼料、2. 資源の安定確保と成長性に優れた飼料畜産、3. 発酵速度の高速化された発酵事業、4. 効果的な土壌微生物の土壌改良剤の効能の高速化等、導入評価系がその新たな産業イノベーションの原動力となる場合が少なくない [11-14]。

4.3.3 地域資源である玄米及び明日葉混合処理物の飼料化

玄米単体でのペプシン酵素による可溶化物の増加(図 4.16(a))とバンクレアチン、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ酵素による可溶化物の増加および可溶化速度の改善(図 4.16(b))を示した。

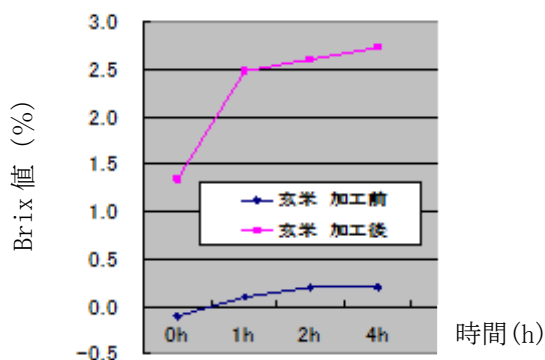


図 4.16 (a) 玄米の加工区のペプシンによる可溶化物量の増加

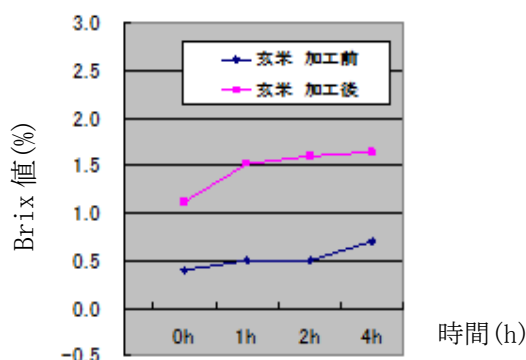


図 4.16 (b) 玄米の加工区のバンクレアチン、ヘミセルラーゼ、セルラーゼによる可溶化物量の増加

図 4.17 (a) (b) に示したように明日葉のエクストルーダー処理により消化率の改善がみられなかったのは明日葉の乾燥に高温加熱乾燥を使用した為と考えられる。

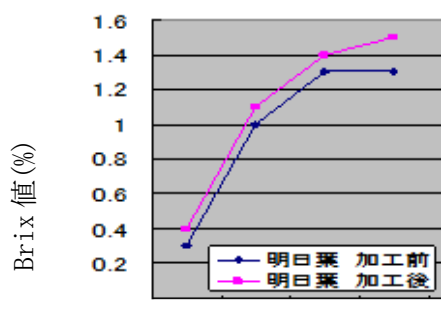


図 4.17 (a) 明日葉の加工区のペプシンによる可溶化物量の増加

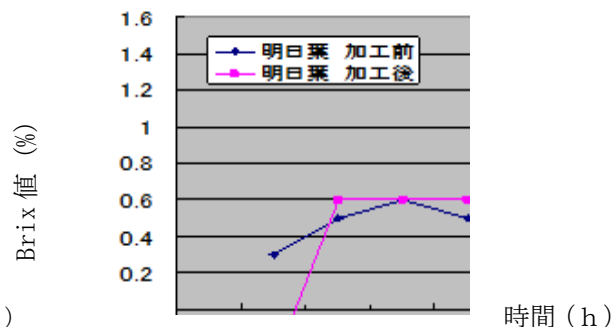


図 4.17 (b) 明日葉の加工区のバンクレアチンヘミセルラーゼ、セルラーゼによる可溶化物量の増加

図 4.18 (a) (b) に米と明日葉を 3 : 1 に加工した処理物のペプシン(蛋白)、バンクレアチン、セルラーゼ(蛋白、繊維)における可溶化率の改善を示した。加工前は利用率が低いと思われてきた素材で、過去は農産残渣としてはあまり利用されなかったが、前処理の乾燥工程との組み合わせで、従来は廃棄されてきた部位や非可食部が貢献資材となる可能性が見いだせた。動物実証が必要であるが、エクストルーダー工程を活用することでバイオマス資源や既存原料の弱点をカバーし、飛躍的に利用率を改善するなど付加価値を生むことで、低効率な資材が有望な飼料や食材あるいはバイオ燃料に転換される可能性が示された。その上、明日葉は採卵系飼料に投入されると黄色系の着色素材としての効果があり、動物栄養上のマイナス材料(栄養価、利用率が低い)を補正し、安価で嗜好性のある飼料原料として創出できる可能性がある。卵の黄色系着色剤であるパプリカやマリーゴールド花卉抽出物等は穀類同様高騰を続けている。特にアジアモンスーン地帯ではその気候を生かした米類と芋類の生産地が多いため食料や飼料として、現地で生産加工できる可能性が認識される。

明日葉：玄米=1：3

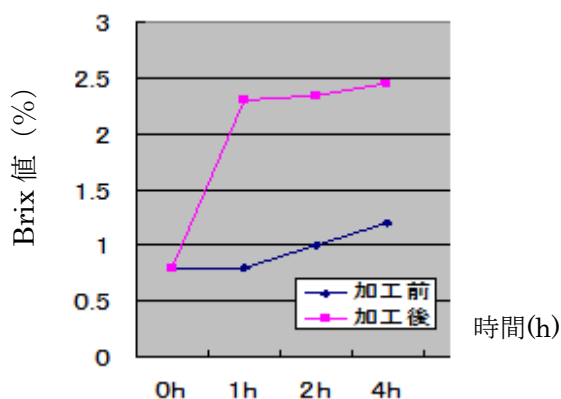


図 4.18 (a) 玄米明日葉 (1 : 3) 加工物のペプシンによる可溶化量の増加

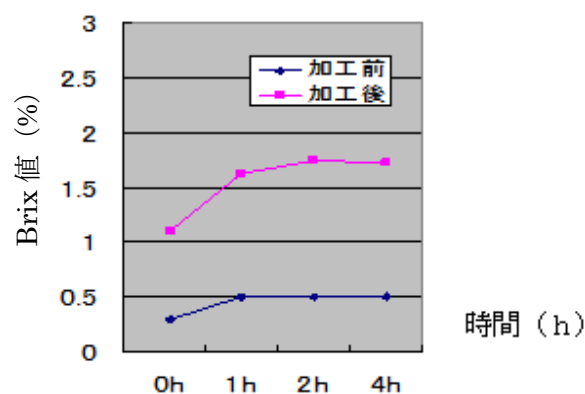


図 4.18 (b) 玄米明日葉(1 : 3)加工物のバンクレアチン、セルラーゼによるヘミセルラーゼによる可溶化量の増加

以上を集計し、玄米 3、明日葉 1 で加重平均行い工程による可溶化物量の比較を行った。ペプシン区(蛋白質分解酵素)、バンクレアチン、セルラーゼ区(蛋白質、糖分解酵素)では特に混合加熱区において、大きな可溶化物量の増加が認められた。計算公式は表 4.7 と同様①単体加熱前区を 1 とし②③との比較を改善率として%で表示し、また混合加工の相乗効果について②単体加熱の加重値を 1 とし③混合処理区の可溶化改善率を算出し()内に示した。

表 4.9 玄米明日葉(3 : 1) の加熱前区、加熱後区の可溶化物量の分析

	ペプシン (a) 可溶化物量区 (%)	バンクレアチン、セルラーゼ、 ヘミセルラーゼ区 (b) 可溶化物量 (%)	改善率
①単体加熱前区 (加重平均 3 : 1 試算)	0.475	0.65	基準値 1 (100%) とする
②単体加熱 (加重平均 3 : 1 試算)	2.4375	1.35	(a) 513% (b) 208%
② 混合加熱区(1:3) 測定値	2.5	1.75	(a) 526%(②の 2.6%改善) (b) 269%(②の 29.6%改善)

一般成分上の変化はほとんど検知されず、加熱加工による成分の減失はビタミン類のみであった。有効利用の必要条件はこの可溶化物量の飛躍的増大が重要であり、動物産業や食材、発酵産業の向けの個別実証はこの素材と高度利用工程の絞り込みにより実践される。

サマリー 混合処理加工による可溶化物量の増大（相乗効果）

表4.7 玄米菜種混合処理区(3:1)

	イブロン(β) 可溶化処理区 (%)	パコリアチン、 ペクチン、セル ロース区(β) 可溶化処理 (%)	可溶性
①単米処理区 (飼量平均 3:1(20%))	0.116	0.326	基準値 1(100%)と する
②単米処理区 (飼量平均 3:1(20%))	2.1	1.8	(a)54% (b)13%
③混合処理区 (3:1測定値)	2.9	1.9	(a)51% (②の 1.4%減) (b)23% (②の 6.6%減)

表4.9 玄米明日葉混合処理区(3:1)

	イブロン(β) 可溶化処理区 (%)	パコリアチン、 ペクチン、セル ロース区(β) 可溶化処理 (%)	可溶性
①単米処理区 (飼量平均3:1 (20%))	0.416	0.66	基準値 1(100%)とす る
②単米処理区 (飼量平均3:1 (20%))	2.416	1.36	(a)61% (b)20%
③混合処理区 (3:1測定値)	2.6	1.16	(a)63% (②の 2.6%減) (b)29% (②の 29.6%減)

4.3.4 明日葉の着色系付加価値飼料素材化(素材化事例案)

図 4.19 に示すように、明日葉に含まれる茎部分などの食べ残しが発生している。穀類などとの混合処理した改質形態などにより、飼料の“選り食い”が発生しないように、粒度をそろえるなど、改良する必要がある。表 4.11 の飼料摂取量で明らかのように、明日葉区で、試験開始時に切り替えショックと思われる食下量の低下がみられた。この明日葉区における食下量の低下は、2 週目まで継続したが、3 週経過時には対照区と同等に回復した。なお、表 4.7 に示すように (a)体重、卵重および(b)産卵個数、飼料摂取量には両区で大きな差異は無かった。

また、表 4.12 に、(a)ハウユニット、(b)卵黄色および卵殻強度を示した。卵質に関しても市販飼料区との差はなかった。

今回使用した「原生林明日葉」には、約 1500ppm のキサントフィルが含まれており[15]、この効果により、卵黄色が鮮やかになることが期待できる。今回の試験では、市販飼料に配合されている着色剤を使用しなくとも、同等の卵黄色となった。表 4.13 及び図 4.20 には糞の性状を示した。糞の性状差異は無施用区、明日葉区ともになく、市販飼料区と同等の糞中水分量であった。

採卵鶏飼料の商談ではカラーファン(卵の着色)について、赤色および、黄色の濃度を各顧客や市場のニーズに合わせて飼料設計することが通例となっている。国策である飼料米はこの色素がなく、安価な明日葉の残渣と飼料米の組み合わせによりその色調を調整できるため、新たなブランド資材として利用できる可能性がある。特に表 4.14 の卵黄色カラーファン評価表に示された L(輝き)、a(赤)、b(緑)でこの b 値の高さが明日葉の着色資材と

しての可能性を示している。ハウユニット（卵の鮮度の指標）および卵殻強度に関して、いずれの試験区も差がなく、卵殻質の改善はみられなかった。破卵、輸送性の観点から卵殻強度も管理されるが3.0以上あれば問題ないと考えられる。

表 4.10 飼養成績結果

	対照区	明日葉区		対照区	明日葉区
体重(g)			平均卵重(g)		
開始時	1,728	1,704	開始時	65.2	65.4
1週目	1,774	1,693	1週目	65.8	66.0
2週目	1,783	1,684	2週目	66.9	67.7
3週目	1,786	1,686	3週目	67.2	67.4
4週目	1,777	1,700	4週目	66.7	66.4

表 4.11 総産卵個数及び飼料摂取量

	対照区	明日葉区		対照区	明日葉区
総産卵個数(個)			飼料摂取量(g/羽/日)		
1週目	8.95	8.62	1-3日目	121.4	114.8
2週目	9.00	9.24	1週目	116.6	109.0
3週目	9.03	9.24	2週目	120.1	112.9
4週目	8.93	9.33	3週目	117.3	116.0
			4週目	116.5	116.0



図 4.19 明日葉区餌樋の様子

表 4.12 (a) ハウユニット、

	対象区	明日葉区
ハウユニット (ポイント)		
開始時	87.1	87.9
1 週目	84.8	86.1
2 週目	87.1	88.0
3 週目	85.5	86.3
4 週目	85.6	85.2

表 4.12 (b) 卵殻強度

開始時	3.26	3.24
1 週目	3.27	3.35
2 週目	3.48	3.33
3 週目	3.53	3.36
4 週目	2.98	3.33

(3.0 が評価ポイント)

表 4.13 糞中の水分量 (%)

対照区	明日葉区
77.1	77.2

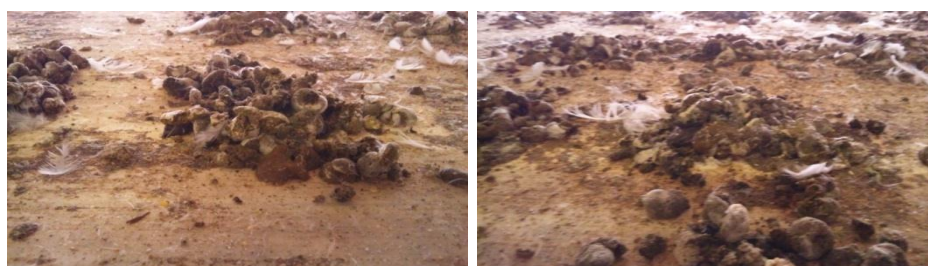


図 4.20 左図 無施用区

右図 明日葉区

表 4.14 卵黄色カラーファン評価

		対照区	明日葉区
YCF	開始時	10.0	10.1
	2週目	10.3	10.4
	4週目	10.7	10.6
原卵(4週目)	L	51.7	50.4
	a	12.0	12.1
	b	48.0	51.8
液卵(4週目)	L	49.4	48.4
	a	16.8	16.9
	b	71.9	71.8
加熱卵(4週目)	L	78.6*	76.8
	a	9.0	9.3
	b	63.0	74.2*

1) YCF(YORKCOLORFAN)、卵黄の色素分析 (L、a、b 色素分析評価) について

表 4.14 に示したように、L、a、b (色素分析評価項目) など、原卵および液卵の色差に関して、対象区も明日葉区も差がみられなかった。一方、加熱卵の b 値は上昇したことから、明日葉由来のキサントフィルにより、分析値どおりの着色効果が得られ、退色防止に有効であると言える。

2) 着色系飼料原料素材の開発

本項の工程により、1) 資源作物方式で生産された競争力を有する明日葉及びその残渣を利用する (第 2 章)、2) 明日葉の残渣利用物の乾燥 (第 3 章)、3) 明日葉と飼料米の相乗効果により消化率の良い加工プロセス (第 4 章)、4) 着色素材としての明日葉のカラーファン効果 (本実験結果)、5) 安価なメリットある素材、として開発できる可能性を示した。今後の詳細なるプロセス実証により、未利用である野菜、素材の一部で製造の最適化および、動物実証により、実用化が期待される。機能性素材カルコンは熱に強いことが知られており、エクストルーダー加工による機能性素材及び着色系リーフプロテイン素材としての利用が設計上のゴールとして期待される。

3) 4.2.3 地域資源である玄米及び明日葉混合処理物の飼料化、及び 4.2.4 明日葉の着色系付加価値飼料素材化(素材化事例案)の統合開発

エクストルーダー加工処理工程により、単体では有効利用処理できない素材の課題を補正し、最大化する可能性が認識される。今後の開発が期待される。

4.3.5 明日葉、スイートソルガムの飼料化実証（搾汁工程後処理）

4.3.5(a) 明日葉、ソルガム搾汁残渣の飼料化（嗜好性改善）

筑波大学農学部が保有する乳牛は平素穀物とチモシーで馴致されており、明日葉を嗜好せず摂取しなかったが、結晶しない甘味として知られているスイートソルガムの残渣と玄米との混合ペレットを給餌すると図 4.21 (a)～(e)に示す如く、嗜好性の改善が確認された。まず図 4.21 (a) 及び (b) に示したとおり、1頭ずつが用心深く賞味した。嗜好性が確認できると図 4.21 (c)、図 4.21 (d) に示す如く、一気に殺到した。明らかな嗜好性改善が確認された。



図 4.21 (a) 投与直後の写真 (b) 別のホルスタインが賞味



図 4.21 (c) 嗜好性を確認後、徐々に集まり (d) 三頭と奪い合うように給餌開始

穀物、チモシー馴致区で通常葉草などの嗜好性がない区であるが、ホルスタイン 3 頭の嗜好性改善が確認された。下図 4.21 (e) に食餌の様子と、図 4.21 (f) 加工品の外観を示す。



図 4.21 (e) 処理物給餌風景 (f) 明日葉ソルガム玄米加工品

図 4.21 明日葉、ソルガムの搾汁残渣の飼料化（嗜好性改善）

4.3.5 (b) フィステル装着牛を用いたの明日葉の部位毎(葉、茎)の消化性試験

図 4.22 に明日葉の葉、茎、アルファルファヘイキューブ、イナワラの平均乾物残存率の経時的推移を示す。消失率が遅いイナワラは、48 時間後でも約 90%は残存していた。比較的速い性質のアルファルファヘイキューブは、4 時間後で約 60%、10 時間後で約 55%、48 時間後では約 40%であった。これに対し、明日葉の葉は4 時間後で約 45%、10 時間後で約 25%、24 時間後で約 15%、48 時間後では 10%以下と非常に早く、ほぼ全てルーメンで分解消失した。

図 4.23 に浸漬 48 時間後の各サンプル写真を(1)～(4)に示す。明日葉の茎は 4 時間後で約 72%、48 時間後で約 50%残存しており、アルファルファヘイキューブよりやや遅い分解が観察された。葉の消失はとて早く、これまで調べた原料の中でも早い方である。それに比べて茎は遅く、イナワラほどではないがアルファルファよりも少し遅い程度と推測された。

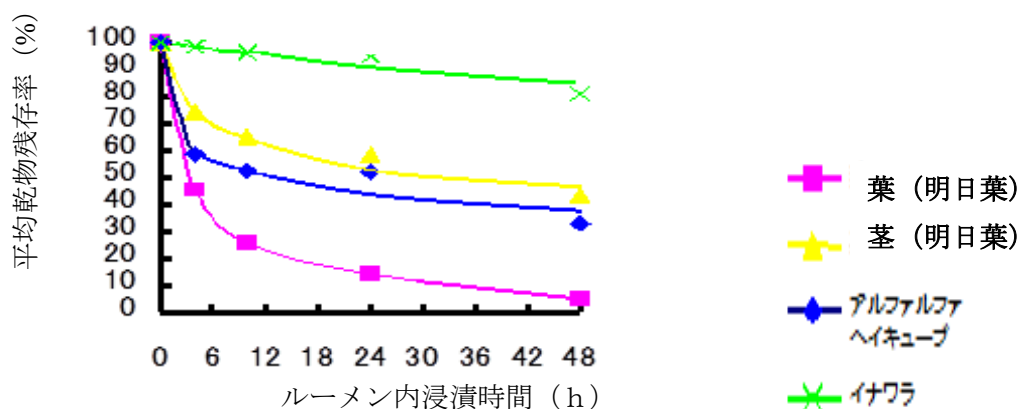
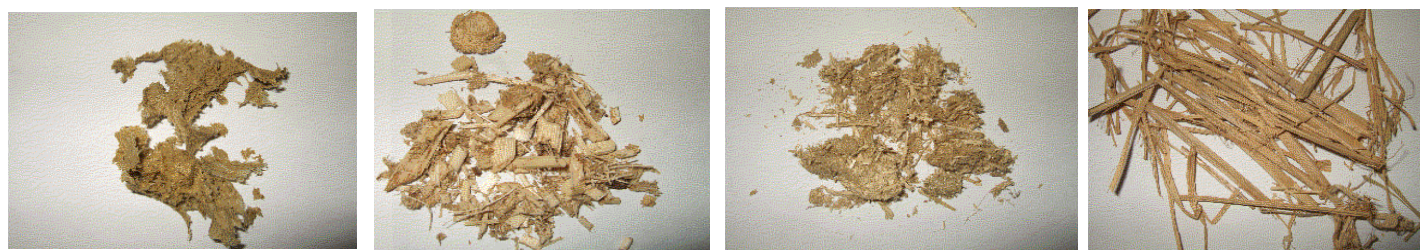


図 4.22 平均乾物残存率



(1)明日葉の葉

(2)明日葉の茎

(3)アルファルファヘイキューブ

(4)イナワラ

図 4.23 浸漬 48 時間後の各サンプル写真

明日葉の葉と茎それぞれの粗蛋白質の利用性が、一般的粗飼料と異なるので、牛に給餌する場合は、他の粗飼料との調整を行い、有効な反芻性、蛋白質のルーメンでの利用率、バイパス率を損なわない様に設計する必要がある。

エクストルーダーの混合処理加工により、明日葉はコスト競争力を有する粗飼料として利用できることが示された。またソルガム等との加熱加工により嗜好性を改善した飼料となることも示された。

温暖で湿潤な気候である我が国は飼料にカビが発生するリスクが高い。しかしエクストルーダー処理によりこのリスクを低減することができ、薬理効果含む高嗜好性混合処理物のペレット飼料として利用できる可能性がある。

4.4 ウッドセラミックス遠赤外線乾燥及びエクストルーダー改質工程による波及効果

4.4.1 新業態の開発案

地域資源産業の創出（バイオマス産業特に国内未利用資源と海外資源の合一により、競争力のある素材産業が出現する）の鍵となるのは、本研究で取り上げた飼料化工程および、太陽光やバイオガス等の自然エネルギーを活用した複合コンビナートであると思われる。

第1章および、第2章で、論述した如く、新たな業態でまず挙げられるのが、畜産業以外でなじみの薄い資源作物栽培事業である。本研究の主題はバイオマス資源を用いた飼料化システムの開発であるが、同時にドイツのように増収作物を畜糞とともに資源化するバイオガスあるいは木質バイオマスとの混合燃焼による地域エネルギーの新たな業態転換および新しい産業設計も合わせて考えられる。

日本の国土、地勢を考えると、畜産業の現在の設計では海外のような放牧型の肥育法を大規模に実行することは困難であり、別の設計も必要である。資源循環を屋外で行う面積にも限りがあり、導入資源の利用法を動物産業以外の需要産業で検討することも必要である。具体的には未利用地の耕作の大半を飼料やバイオ燃料に活用する手法が有望と考えられる。積極的に異業種と連携し、地域循環産業を、多段階（カスケード）加工業で輩出する選択肢を検討するべきと考える。今後の政策誘導にもよるが、商機があろうと考えられる。畜産業の健全な育成を検討するに、日本では限られた面積の利用方式で、エネルギー作物のみ生産し燃料化するという概念はそぐわず、むしろ日本の気候に合った、複数産業界向けの増収作物を奨励する方式を提案していくべきと考える。①飼料コスト削減、②畜糞の資源化利用（バイオガスや燃焼化）、③有機肥料資材の生産などに転換していく必然性がある。

関連産業は、飼料畜産や資源作物生産業や加工事業であるが、この意味するところは小さくない。食品加工、肥料等のほか、林業、建設、関連素材、種子、金融あるいは都会との連携事業、農と医連携、介護などとの連携事業などが考えられる。

過去、未利用バイオマスの大半がその水分管理の困難さゆえに廃棄されてきた経緯がある。技術統合により、大量なバイオマスの原料化、およびその前処理が安価に成立する可能性がある。本研究のテーマではないが、太陽光、風力のほかに地熱などの自然エネルギーや既存の工業における未利用熱利用の選択肢も考えられ、バイオマス資源の集荷システムの基本形となる可能性がある。技術統合のポイントは植物乾燥を自然エネルギーや遠赤外線、風乾燥、ヒートポンプなどを駆使して行うことであり、ランニングコストを極小化した工程が前提となる。

4.4.2 収入構造の多元化

図 4.24 に地域資源付加価値バイオサイクル、図 6.6 にバイオマスコンビナート及び後背地の経済効果鳥瞰図を示した。本章で示した工程が軸になり、事業の軸となりうる易消化性資材群を安価に多数創出できる可能性が認識される。最近議論が始まって来ているが、ここで研究した飼料産業は、莫大な資源を運営している畜産産業の最大品目かつ畜産生産者より見れば最大の支出要素である。従来は狭い面積での畜産物売上のみが収入で、飼料、種畜代、人件費、エネルギー、熱、堆肥処理などが支出要素である。堆肥などを軸に地域資源利用率の最大化の検討を行うべきと考える。想定される領域は畜産、農産、穀物加工、林業、加工メーカー、流通などであり、地域資源産業による収益事業を視野に入れる事が可能となってくる。ドイツ事例はエネルギーや熱であるが、日本の場合畜産や林業、大農、集落営農の新業態なども視野に入れる。

4.4.3 地域資源産業企業像、資源作物（バイオマス）ファーマーの定義及び図柄

図 4.24 に資源作物を用いた事業の資源循環の全体像を示す。もともと我が国の地域環境は平地面積には恵まれぬが、資源作物栽培、飼料加工、畜産飼料産業、木材加工業、物流、エネルギー、工業団地等、近年バイオマス産業として注目されている国内林業、製紙業などさまざまな異業種や自然環境が同一地域に混在している。その中でウッドセラミックス遠赤外線乾燥とエクストルーダーを組み合わせ、殺菌効果を活用し、小型で高効率かつ安全に資源生産する工程を構築できる [2]。エクストルーダーによる改質加工を有効に活用する前提は、投入物の水分が遠赤外線乾燥で約 30%前後に乾燥されていることであり、低ランニングコストによる最適化を検討する。本工程の結果、以下の業態における波及効果が予見され、今後、地域経済や既存業界の活性化が期待される。

- 1) 資源作物（バイオマス）ファーマー（放棄地利用、地域資源を集荷し、資源分級を行い、自社での利用あるいは以下に創出される事業パートナーに販売する）

現在米国中世部の穀物カントリーエレベーターに簡易な一般成分分析機器 (NIR マシン) が導入されているが、1980 年代後半～1990 年前半の穀物在庫対策でかなりの農薬が使われており、残留農薬問題が表面化した。これはコクゾウムシ対策で使用した農薬のマラチオンが輸入穀物の 60～70%に残留した事例である。日本の生協各社、穀物輸入商社、種子系バイオメジャー、穀物メジャーが米国内の内陸のカントリーエレベーターや各拠点に NIR マシン設置を普及し、品質証明などの標準形を構築したのは 1990 年代半ばである。現在の普及している食品品質のトレーサビリティの概念は、当時の日本の消費者と米国穀物集荷企業との合作が大きく基本形となっていることはあまり知られていない。まずコーン及び大豆が米国で普及し、その後、全産業に広がり標準形となった経緯がある。

資源が不安定な 21 世紀において、農業残渣などバイオマスの多岐にわたる素材を集荷する、カントリーエレベーターや次世代農家が資源として集荷、分別、乾燥し、自社使用するあるいは、企業に販売する試みがすでに始まっている。例えば米国 DuPont のコーンストーパー由来エタノール、欧州バイオガスプラント向け集荷事業事例がこれにあたる。我が国の場合のバイオマス資源集荷分別方式は以下の形態が考えられケーススタディーを以下行う。

従来型の配合飼料原料のスクリーニング方式は、1. 一般成分分析 (栄養成分の確認)、2. 代謝エネルギー (ME、代謝エネルギー)、3. 蛋白質、アミノ酸、4. 動物嗜好性、5. 糞の性状、6. 畜産物の形状、嗜好性、脂肪の質など多くの検証、評価を行う。日本の配合飼料の約 60～70%をコーン、大豆粕、菜種粕などが占めており、最終素材がこれらの国際標準資源と遜色ない品質及び価格を照準できるものである必要がある。

本研究では 4 時間後のペプシン酵素区による可溶化量測定値が 3～3.9、バンクレアチン、ヘミセルロース、セルラーゼ区では 6.5～7.5 であった (ブランク控除前)。まず、素材毎のその正確な 1) 可溶化速度、2) 可溶化量の評価には、投入時における酵素や栄養塩、pH 調整剤、試薬など物量を控除した。ペプシン区で▲0.5～0.6%、バンクレアチン、ヘミセルロース、セルロース区では▲5.2～5.6%を素材毎に計算し、ブランクとして控除し、素材適性および最適工程の客観評価を行った。以降の原料評価はその控除方式を使い、具体的に選別、効率化加工 (業態) フローを本章で実証する。

本研究ではバイオマス資源の動物の消化吸收を前提としている。よって対象素材について窒素、炭素可溶化率および酵素評価による可溶化物量傾向を把握し、その選択を経て、ペプシンの変動が大きいものを、液クロマトグラフィーにより、アミノ酸測定を行い評価する。同時に C 全炭素、N 全窒素の評価系での内容検証ののちに、鶏はチックアッセイ (ひよこによる試験) による反応確認、豚牛は生体による動物実験を経て、公定法の評価認定を受け商業化される。特にバイオマスや草本系の資源作物を安価に大量生産し、鶏豚の飼料とするためには代謝率や代謝エネルギーの飛躍的改善が極めて重要である。

又、穀物の成分として好まれるのは、品質面での難消化性成分である灰分 (アッシュ) や難消化性リグニン含有がほとんどないものである。バイオマスの品質は灰分や難消化性

成分の含有が多いものも多く、同じ植物由来でも部位により品質のばらつきが大きい。よって、最終商品化の時点で貢献できる素材および高度利用化工程の開発対象となりうるものは、このハードルをクリアできる要件を持っているものである。植物の場合、栽培条件や栽培環境、時期により品質が急激に変化する場合も多い。現在普及している糖度計を活用し、納入現場（オンサイト）でバイオマスを粉砕し、可溶化率で簡便に仕分けする手法はかなり有力であろう。実用的な評価系が産業を活性化させることは知られている。鶏、豚、牛の飼料原料を開発する場合、あるいは廃棄されているバイオマスの資源選択およびプロセス工程の開発は、まず粉砕された原料を蛋白や糖など消化酵素により可溶化物の量と可溶化速度を確認し、その後、動物の消化液での評価試験を行い、動物実証を行う手法が現時点では有効な資源化方式と認識される。本研究で示された4時間での酵素反応データが語るように穀物粉砕物より、消化速度、可溶化物量が標準系である穀物を大幅に上回る事例が多く確認された。

消化酵素による簡易評価系は動物の複雑な生体の消化より見れば十分ではないが、素材のスクリーニング峻別と加工プロセス最適化開発の効率化に重要な役割を果たすと認識される。バイオマスの多岐にわたる素材の資源化に係る、開発コスト、時間の大幅削減になり、高度利用事業化を加速するには大きな意義があると考えられる。原料の選択や工程の最適条件出しを行う場合、最終形では動物試験での綿密な実証が必要である。簡便な消化酵素、全窒素全炭素の同時分析装置など迅速なスクリーニングが有効と考えられている。

資源のスクリーニング(糖度計・屈折計を活用した素材および工程の選別手法)は、ルーメンを持つ牛の消化メカニズムが単胃動物向けの選択と全く異なることを考慮し、易消化性と難消化性のバランスをとる必要がある。

整理すると、草本系の資源化では以下の選別集荷スキームが考えられる。

[資源のスクリーニング手法]

まず可溶化速度、可溶化率の高い素材を糖度計（屈折計）で選択する（投入薬剤をブラックで控除）。ペプシンでは窒素可溶化率（速度）、パンクレアチン、セルラーゼヘミセルラーゼ区では炭素（糖）の可溶化率（速度）で変動幅の大きなものを選択する。さらに液クロマトグラフィーでアミノ酸等を測定する。全窒素、全炭素を測定機器で、残存物より炭素の残存量を測定し、素材の可溶性固形物を実測し、飼料用途での利用物及びエネルギー他と適性、汚染度グループ毎に分け、分級する。本手法により以下の素材領域のものが資源化事業として成立する可能性がある。

素材の基本形構築後、集荷システム開発に入る（優れた評価系のあるところに産業が創出されることは知られる）。

具体的には1)生鮮、穀物の場合は子実、2)食材加工、飲料加工、3)飼料原料（易消化性飼料原料）、4)バイオガス(発酵原料)、5)土壌改良材（易消化性原料）等である。既存原

料と比較した際同等以上に価格、品質、量がそろふことが採用の基準となる。動物栄養の基準にみたなくとも、可溶化率の高いものは、発酵やバイオガスに向けられ貢献原料となる。システム全体がゼロエミッションを基本にできることが資源効率の最大化には重要である。

バイオマス（資源作物を含む）を用いた有機物素材集荷、高度利用化プロセスフロー

本研究を活用したバイオマスコンビナート方式（米国の穀物集荷方式のバイオマス産業導入し、バイオマスを用いた飼料化システムとして最適化行う）シミュレーション結果を以下に示す。

生産地（放棄地、未利用地など）資源作物栽培～収穫、農業残渣

↓

バイオマス収穫（バイオマスカントリーエレベーター）

乾燥、糖度計

↓

地域収穫拠点（バイオマスターマイナルエレベーター）

分級、粉碎、品質管理（評価、Brix 値測定（糖度）計、アミノ酸分析、総窒素炭素計測）

↓

コンビナート（加工拠点、エレベーター）

分級（本研究の領域は、一般成分分析及び可溶化物量および可溶化速度）

↓

カスケード食材・機能性食材

本研究 鶏豚用飼料（単胃動物向けの資材）用飼料原料 ⇒ 飼料メーカー、畜産生産者

（易消化性かつ蛋白、でんぷん、油一般分析値で優位なもの、豚牛は嗜好性に敏感）

本研究 牛用飼料（ルーメン他消化系） ⇒ 飼料メーカー、畜産生産者

（易消化性ながらも繊維領域を含む、蛋白、油分など一般成分値で優位、動物嗜好性）

発酵原料（焼酎、アルコールなど）

バイオ燃料（ボイラー燃焼エネルギー、メタン発酵、エタノール、BDF、GTL）

炭化物、ウッドセラミックス、遅行性堆肥、土壌改良材（難消化リグニンアッシュなど）

などの商流の仮説が想定される（バイオマスの場合、品質の個体差、品質格差、成長段階により、物的特性もかなり変動するので、仕向け地が動物や発酵関連業界の場合、素材の分級により、資源の最適化利用が可能となる）。

2) 食材加工、食料、食材、飲料原料

リンゴ残渣と明日葉残渣加工品（ペプチン）の加工業を照準とする。エキスパンダー（水

蒸気での低温加熱)による加熱加工は油脂業界(大豆、菜種の前処理)で歩留まり改善の工程に利用されている。130~150℃前後の温度で食材化が期待される。エクストルーダーにより、より改質が進み消化酵素の働きが飛躍的に優れた混合素材へとなることが期待される。

3) 飼料(エクストルーダー素材)

多くの新業態参加者が予想されるが、高速、消化素材として畜産飼料、添加剤、ペットフード、水産飼料等の領域へエクストルーダー素材を活用し事業化できる可能性がある。水産飼料領域ではかつて欧州においてバルチック海が養殖汚染した問題を受け、従来型のマッシュやペレット型の飼料形態より、ゆっくり沈降し、ヘドロの発生が少ない浮餌型のエクストルーダーペレットを利用することが既に欧州のサーモン等を養殖する際の環境耐性型水産飼料として標準形となっている。

4) バイオ燃料(バイオガス事例)

2012年7月1日よりエネルギーの電力全量買付け制度が施行され、太陽光、風力、地熱、木質燃焼、バイオガスなどの自然エネルギーが注目されている。本研究の中心はこの飼料や発酵原料を軸とした資源カスケードの工程開発研究である。従来型の飼料原料である米を除く輸入資源の低コスト資材より、付加価値構造を構築するのが加工業の主たる役割であった。欧州や米国ではその輸送性、保全性、栄養などに優れた子実の加工業が飛躍的に進歩し、特にコーン、大豆、麦類、米類は人間の主食であるばかりでなく、その副産物を飼料産業と連携することで、多くの加工業が生みだされた。

現在の未利用資源の有効利用状況であるが、日本で廃棄、焼却処分されている有機物の多くが1. 素材(食品)、2. 飼料原料、3. バイオ燃料、4. 有機肥料としてのカスケード利用が可能で、エコ乾燥および瞬間加熱瞬間冷却法により、有意な資源となるのみならず、地域でも価格競争力を有する地場資源産業となる潜在力を秘めている。本研究では前述したように、飼料の酵素による可溶化速度の実証及び考察を行ったが、可溶化速度の最速化、最大化は複雑な動物消化—動物栄養学領域よりもむしろ、発酵槽工学領域により、直接的に経済効果をもたらすとも考えられている。

バイオマスを用いた資源開発において通常、穀物等が高騰すれば、その副産物も連動するが、この加熱加工により経営が安定することで技術的に以下のような事が考えられる。

1. 可溶化速度の高速化により、設備の小型化が可能となる。
2. 低効率資源と高効率資源の混合工程により、低効率資材の可溶化率を改善できる。

専門筋の意見ではバイオマスの中でもイナワラや木質などのようにリグニンなどにより

堅く結びついた構造物も多いので物理化学的な前処理や、爆砕処理改質による改質が必要とされてきた。本研究で明らかにされたことは、明日葉のような増収系で成長速度が速い植物は加熱加圧により褐変反応が起き易いため、低温乾燥が適していることである。しかし、汚泥、イナワラなどの利用率改善では汚泥との熱改質や爆砕での処理性能の改善が有効であると研究報告されている [11]。

本研究におけるエクストルーダーによる瞬間加熱瞬間冷却法は、低コストで植物細胞壁などに対する改質工程を一人数役をこなす可能性がある、連続式の強みを生かし、未利用残渣やバイオマス資源、そして増収可能でありかつ安価な草本系資源の有望な受け皿産業と考えられる。全体の資源循環の基本形の図柄を図 4. 24 に示す。

5) 基本形の提示(地域に存在する放棄地など地域未利用インフラ利用)

我が国は食料資源として価格競争力のある資源が存在せず、原料輸入、製品輸出を前提とし、多くの食糧資源を輸入しているが、今後のトレンドは、図 4. 24 に示すように、日本国内での競争力を有する資源作物の育成、あるいは海外素材との併用利用へと徐々に転換していく流れになる可能性がある。(+) は本工程での効率化可能領域を示す。

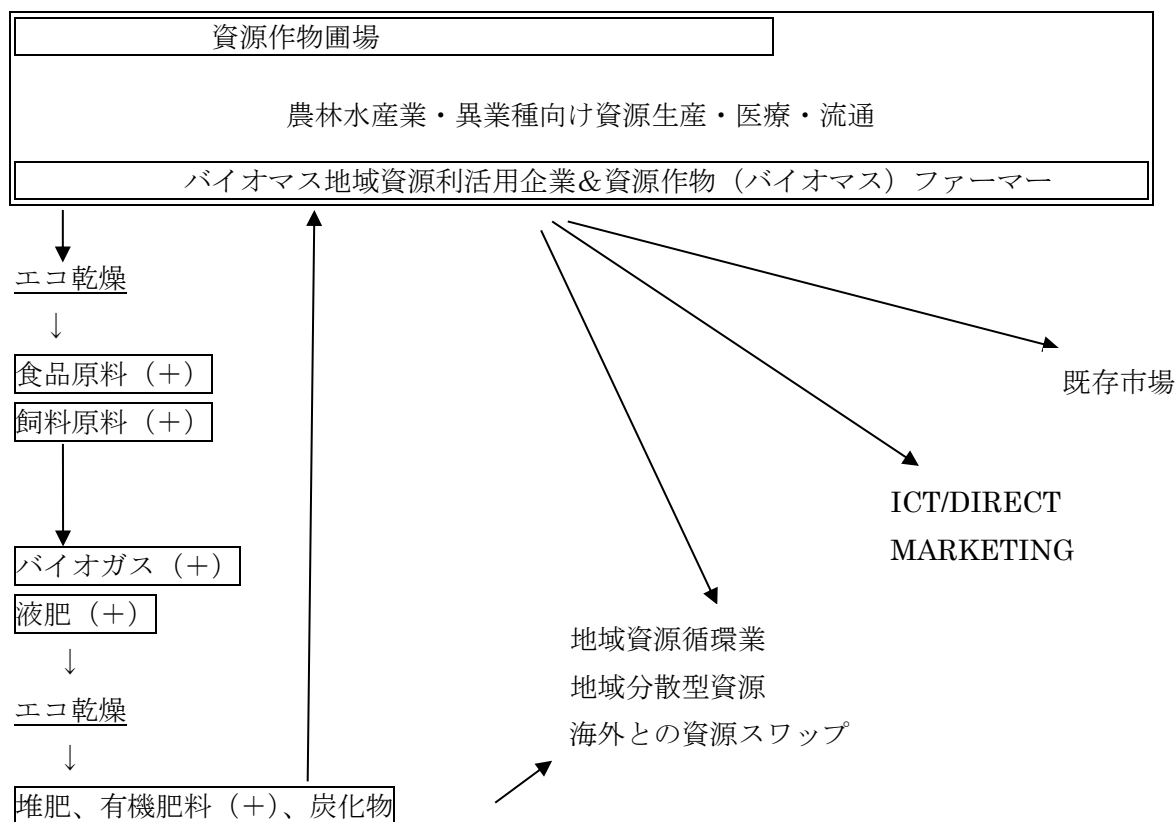


図 4. 24 地域資源の物質循環付加価値サイクル [11-17]

生産者、加工メーカー、流通各々が前頁の事業に参加し、地域資源を活用し収益を上げ雇用を促進していくことが、地域資源利活用企業あるいは資源作物ファーマーの目指す付加価値事業領域となるものと考えられる。

日本は素材を輸入穀物に過度に依存し、ブランド高級食材と大量廃棄物を生産する産業構図から、バイオマスや有機生産物残渣等の産業素材化や、内省化する食産業や林産業でのバイオマスエネルギー地域資源利活用型コンビナートへと転換する。ドイツは2004年の改正エネルギー法や資源作物の放棄地導入がイノベーションの契機となった[17]。自然エネルギー全量買付け制度(FIT、Feed in Tariff)がはじまり、エネルギー作物や熱利用補助金制度の導入もあり爆発的にバイオガス事業が拡大した。畜産エネルギーファーマー(現在8500超生産事業体)の生命産業複合体が形成されはじめている。産業界のインセンティブとして近代的な高効率の事業モデルに転換することが必要と認識される。日本の場合、飼料畜産や、エネルギー、肥料、林業の新業態が地域再生事業を構築する可能性がある。資源作物や企業コンソーシアムでの業態創出のメリットも視野に入れる必要があると考えられる。

4.5 まとめ

1. エクストルーダーによる加熱加圧工処理により消化酵素の働きが早くなることが確認された。表4.6(a)及び(b)では玄米菜種粕の加工前区、単体加熱区、及び混合処理物の評価分析を行い、公定法による代謝エネルギーの増大を確認した。今後はFCRの最適化について動物生体を用いて検証することが課題である。次に表4.6(c)と(d)では同様に玄米及び乾燥明日葉の加工前区、単体加熱区、混合加熱区の評価分析を行った。その結果、玄米と菜種粕及び、玄米と乾燥明日葉での蛋白、糖の可溶化速度と可溶化物量の顕著な増加が単体区(加重平均換算での評価)、混合処理区において確認された。特に玄米と乾燥明日葉混合処理区では単体加熱区と比較して、蛋白、糖の合計でさらに30%超の可溶化物量増加が相乗効果として確認され、今後のバイオマスの実用化研究に活用される事が期待される。

2. 草本系の植物素材や、明日葉など高水分含有草本作物の利用は、乾燥コスト及び登録成分より、表面価格が安価であっても、穀類基調の配合飼料用原料との栄養学的な競争や厳しい消費者のニーズ、安全基準に勝てない。よって、利用するメリットのない場合が多く、穀物価格高騰時にも一部の自家配合生産者に利用が限定されていた。ウッドセラミックスの遠赤外線乾燥と連携することにより、高水分含有の明日葉やスイートソルガムを発酵させず、代謝エネルギーや蛋白利用率を高めることで、採卵鶏用のペレット飼料として、あるいは嗜好性を改善した飼料原料として、生産加工できる可能性が認識された。穀類の高騰が長期的に予想される中、巨大な需要を生む、飼料やバイオ燃料、救荒作物、セルロー

ス資源として、バイオマスを活用できることになれば、食料自給率や世界の食糧問題の解決に貢献できる可能性がある。

3. 第4章で示された酵素の評価系を駆使して、遠赤外線による非破壊乾燥及びエクストルーダーの加熱加工により混合物を処理できれば、過去廃棄されてきたバイオマスおよび資源作物の生み出す経済的価値が最大化となる可能性が認識される。現在の標準系である穀物、油糧作物粕と比較して、エクストルーダー処理を活用することで、バイオマス資源を既存の穀物素材と同等に近い可溶化率、可溶化速度にすることができ、活用領域を拡大できる事の意義は計り知れない。世界の未利用農地は何らかの障害を抱えている場合が大半で、これらを生産地として資源作物(救荒作物)を栽培し、ホールクロップを飼料にすることで、新たなバイオマス産業を構築できる可能性がある。今後の詳細なる実証が期待される。

4.6 結論

バイオマス資源の高度利用工程の軸として、1)資源作物の利活用、2) 安価で環境負荷の少ない乾燥システム及び、3) 高度利用加工により、現在世界にある放棄地、障害地を活用することについて述べた。さらに1) 消化吸収に優れた食材、2) 飼料、3) バイオ燃料、4) 土壌改良材などを連続式工程によるコンビナートを拠点とした集荷システムとして構築できれば、競争力のある工程となる事を示した。本システム全体の実証は、新産業創出や、新産業創出や現在低効率の事業領域の業態改革等に活用される事が期待される。

引用文献

- [1] 本間清一, 村田容常 食品加工貯蔵学, 114-116 東京化学同人 (2004)
- [2] バイオマスコンビナート実証コンソーシアム 第1章バイオマスコンビナート資源化工程の実証 I. 飼料化工程の実証 II. 品質標準形のための実証 農林水産省補助事業 平成23年度緑と水の環境技術革命プロジェクト環境技術革命 補助事業報告書 バイオマスコンビナート実証コンソーシアム 1-19, 35-42, 89-90 (2012)
- [3] 中澤英次, 菅野益好, 若林真, 佐藤博之, 岡崎幸則, 堀河博 反芻動物用の製造方法特開 2006-14687 (2006)
- [4] 米国農務省統計局発表 (Aug. 2013) 粗粒穀物大麦油糧作物世界生産 米国農務省統計局 (2103)
- [5] 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構編 中央畜産会 日本標準飼料

- 成分表 (2009 年版) 7453 大豆粕 (エクストルーダー処理) 7501 ナタネ粕中央畜産会, 116, 118 (2009)
- [6] 横塚保, 茂木孝也, 福島男児, 安田敦醸造用蛋白の処理法特願昭 41-6903 (1971)
- [7] 奥村純市 9. 物の生産と栄養 産卵鶏の栄養 動物栄養学 朝倉書店 167-178 (1997)
- [8] Robert P., 食の終焉 The end of food ダイヤモンド社, 361 (2012)
- [9] 農林水産省畜産試験場ナタネ粕飼料のペレット製造条件が雛の甲状腺重量に及ぼす影響日本家禽学会会誌, 385-389 (1983)
- [10] 駒井亨, 麻生和衛, 小野浩臣 ブロイラー-食料の生産技術と経営-養賢堂, 220-2 (1978)
- [11] 野池達也 メタン発酵 技報堂出版, 105-154 (2009)
- [12] 徳安健 草本系原料からのバイオエタノール生産統合化技術開発農水省「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」委託プロジェクト 農林水産省農林水産技術会議事務局 (独)農業・食品産業技術総合研究機構, 17-18 (2012)
- [13] 小森昭彦, 森隆「セルロース系バイオマス糖化技術の開発。地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」委託プロジェクト 農林水産省「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」委託プロジェクト 農林水産省(独)国際農林水産業研究センター, 25-26 (2012)
- [14] 清水夏樹, 柚山義人, 佐藤正志 19 バイオ燃料原料としてのソルガム多収量米栽培における経済性とエネルギー収支地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発 農林水産省農林水産技術会議事務局 (独)農業・食品産業技術総合研究機構, 117-121 (2012)
- [15] エコマテリアルフォーラム バイオマスコンビナート資源化工程の作出検ジェクト農山漁村 6 次産業化対策事業に係るバイオマス資源活用促進事業 緑と水の環境技術革命プロジェクト事業 社)未踏科学技術協会, 344-346 (2011)
- [16] 金山公男, 馬場弘 第 10 章 ソーラーエネルギーのパッシブ利用 ソーラーエネルギー利用技術 森北出版 (株), 118-204 (2004)
- [17] 淡路和則 ドイツにおける再生可能エネルギーの現状 農村と都市を結ぶ 2012 2 月号, 23-35 (2012)

第5章 バイオマス物流の LCA 評価について

5.1 はじめに

LCA とはライフサイクルアセスメントの事で、主に個別の商品の製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用までの各段階における環境負荷を、CO₂ 排出換算で明らかにし、その改善策をステークホルダーと共に議論し検討することである[1]。本章ではバイオマス物流の LCA を計算する。バイオマス産業は、資源領域にあり、その流通する価格帯は市場によりほぼレンジが想定されている。即ち資源領域の取引形態は、乾物での大量輸送が基準となる場合が多い。飼料資源は特定拠点における価格なり品質なりの競争力が要求される領域で、他素材と比較して有意性が明らかでメリットがなければ他素材に代替される競争原理が常に作動している領域である。国際市場、飼料原料の評価でいけばエネルギー資源はコーン、蛋白資源は大豆粕が標準形であり、その成分が比較され、素材の市場価格が決定される。同時に、納入される工場や農場や物流拠点での価格上限よりその納入形態、物流手法もほぼ決定される実態がある。よって使用されるバイオマスの納入形態や物流手法の設計はその存立そのものとなる場合が多く、極めて重要な意味を持つ。通常、資源加工に関する価格運賃は素材価格の 10~15%以下であり、それ以上は継続的な取引として成立しない場合が多い。

同じバラ物流を通常の輸送形態で活用している穀物取引業界を例にとると、米国の穀物取引が標準形取引となっている。穀物集荷業では生産地帯を集荷拠点の後背地と定義し、穀物集荷物流拠点とその集荷後背地、生産者群と合わせ、産地、その物流及び資源の流通形態をパイプラインとしてとらえ、資源流通を恒常的に育成するシステムが作動しており、現在の穀物を生産する食糧資源ビジネスの基本形となっている。物流業者やトレーダーは 1) 生産者に対する市況情報、2) 販売支援等市場提供、3) 物流の競争力強化を、戦略的かつ恒常的に構築することがビジネスの基本となっている[2]。この米国の穀物システム、穀物産業複合体の強さは、世界の穀物関連産業の標準形となっている。今後、創出されると考えられるバイオマスの飼料用途関連物流はほぼこれに類する価格領域となる可能性が高く、資材の標準形が確立され、拠点運営、物流、価格変動の回避手法などが整備されると、かなりユーザーの利便性にすぐれた資源となる可能性がある。

本章では、想定される利便性ある物流形態の図柄の創出研究を試みた。木材の伐採集荷価格がバイオマス産業の律速であるとの議論が頻繁になされているが、資源基地の産業競争力の創出を検討する場合、生産地（森林や農地）における収穫手法のコストダウンの他この物流拠点の正しい選択が必要である。具体的には、貨車、海運等の大型輸送アクセスの有無、消費地への物流アクセス手法、後背地のスケールメリット構築が鍵となっている場合が多い。現在のバイオマス事業の成案事例は自社物流やリサイクル油などで安価に運営されているか、往復貨物を前提に構築しているか、大量輸送方式を導入する等、明らか

な競争力を有する物流システムが前提となっており、価格競争力の他に、輸送手段の地球環境負荷を極小化する配慮がなされている必要がある。

本章ではバイオマスの物流として活用されると想定される物流形態の LCA 評価を具体的にカーボンフットプリント算定により行った。また、第 2 章、第 3 章、第 4 章によって、過去流通しないと考えられてきた素材の流通資材化を可能とする手法の実証を試みた。さらに飼料業界では頻繁に使われているペレット化等、素材の比重を重くし、輸送性を高め、海運はじめモーダルシフトを活用し、流通領域を拡大し、集荷力を増強する手法を研究し、バイオマス産業での利活用での実証および考察を行った。

又本章の後半では車、EV（電気自動車）などの輸送手段毎の検討を行い、貨車、海運の LCA 評価と活用法について考察し、課題解決案として、我が国の長い海岸線、多数の港湾、島嶼等の保有する地勢、地形の活用法、湿潤な気候、異業種産業の港湾集中など、海運立地資源の保有国としての日本列島のインフラ面での潜在力を念頭におき、競争力の創出法を活用した、バイオマス産業図柄の設計および成立要件を実証、考察した。

5.1.1 物流の LCA 計算方式の基本

物流の LCA 計算方式の基本は 1. 目的・評価範囲の設定、2. インベントリ分析、3. 環境評価、4. 解釈の 4 つのステージから構成されると規定している[1]。第 5 章では今までの研究で確認されたように、物流経費とその環境負荷はバイオマス資源化の重要項目である。よって、循環型資源の生産加工基地であるバイオマスコンビナートの基本設計について、以下のように最適化利活用手法を研究した。

通常は上記既存のカーボンフットプリント制度で登録データベースにある、1. 各輸送手段及び種類、2. 分類、3. 名称、4. 単位（人 km/tkm）、5. GHG 排出量（kg-CO₂/単位）の分類に従い化石燃料使用量毎の GHG（温暖化ガス、グリーンハウスガス）排出量を計算し、対象素材や商品ごとの物流での GHG（温暖化ガス）を計算する[1]。本研究では、加工拠点であるバイオマスコンビナートにおいて、バイオマスを用いてカーボンニュートラル素材（植物のように再生産される素材）を素材化する加工プロセスを基本形においており、その素材を使用した商品は化石燃料由来でないカーボンニュートラル素材を使っている商品として認識される。

5.1.2 物流形態毎の LCA 計算手法

多くの資源を有利利用するには未利用資源の形状をペレット化するなど一次加工をし、大量輸送が可能となる形態にする必要がある。また資源集荷事業の成立は事業の基盤そのものでもあり、量と価格の確保が前提で、集荷圏が国内の近隣のみならず世界市場に広がる可能性がある。以下の形態を排出 CO₂ kg・ton で 1) 2) 3) にて整理した。以下カーボンフ

ットプリント制度施行事業におけるデータベース共通原単位を活用する。

1) 輸送手段毎の GHG (Green House Gass)・温暖化ガスの事] 排出量 (輸送手段毎の原単位)

種別	分類	名称	単位	GHG 排出量 (kg-CO ₂ /単位)
① 輸送	道路貨物運送	10 トン車 (積載率 62%)	tkm	0.149
② 輸送		20 トン車 (積載率 62%)	tkm	0.0949
③ 輸送	鉄道業[2] (貨物)		tkm	0.0109
④ 輸送	水運業	タンカー 80,000DWT 級	tkm	0.491
⑤ 輸送	水運業	コンテナ船 (4000TEU)	tkm	0.00952
DWT とは載貨重量トン数 (dead weight tonnage)		内航貨物船	tkm	0.0422
TEU とは twenty-foot equivalent unit、20 フィートコンテナ換算		プッシャーバージ台船	tkm	0.0332 (大型タンカー、外航船より低い)

2) 単位換算表によると燃料の比重は (*比重: $g/cm^3 = 10^6 g/10^6 cm = t/m^3 = t/kl$) である。

3) 燃料の比重

燃料	比重
A 重油	0.86
C 重油	0.84
灯油	0.79
軽油	0.83
ガソリン	0.73

この換算値を活用し、実際の運航距離を測定し、製品重量当たりの CO₂ を測定する。

5.2 計算方法

5.2.1 海運の LCA 評価と活用法

LCA の評価の際にいくつかの手法による差異が指摘されている。本研究では飼料素材をバラ貨物輸送する場合において、業界で航海の採算を計算するために用いる計算式を利用し環境負荷の比較を行うことで、どの手法が妥当かの検証を行った。温暖化対策法による計算公式はトンキロ法、海運業界は燃料法であり、実際の航海で運航している数値を使用し計算した。

(1) トンキロ法による計算方法の確認（温暖化対策法計算）

温暖化対策の計算方式を利用し、以下の①～④のとおり燃料を使用した場合に伴う CO₂ 排出量を計算した。

その場合の計算の前提となる数値は、①輸送距離を 16,899 km と認識し、②積載量 48,000 トン、C 重油使用量 1,100 トン 軽油油使用料を 80 トンとし計算をする。

燃料の使用に伴う CO₂ 排出量は、(燃料使用量) × (単位発熱量) × (単位発熱量当たりの炭素排出量) × (44/12) で算出した。

(2) 燃料法による計算方法（船会社での実際の運行で実際に使用している数値による計算方式）

輸送距離を 9200 Miles (17,038.4 km)、積載量を 48000 トンとした場合の比較を行った。

5.2.2 モーダルシフト及び実証事例

青森県での明日葉の飼料化により発生するカーボンオフセット計算を行った。モーダルシフト事例として以下に算定方式と事例を示す。

材料は明日葉、輸送手段として貨車輸送（青森県で明日葉を生産し、長野県の野菜加工農協、JA 佐久浅間農協迄納入した事例）と車輸送の比較を行った。栽培地より加工場の輸送については、全工程をトラック輸送した事例と今回行ったモーダルシフトの事例を比較した。後者については、東青森から長野までを鉄道輸送とし、それ以外をトラック輸送で行う事とした。以上について 5.2 の実験方法と同じ方式で LCA 評価を行った。

5.2.3 飼料製品の LCA 評価

本研究の主たるテーマはバイオマス資源を用いた飼料化システムの創出である。実際の飼料製品の LCA の計算事例がないため、ここでは国産飼料と輸入飼料の LCA を行った。具

体的には国産と輸入飼料のカーボンフットプリント試算の比較を行った。

配合飼料のフローは図 5.1 を使用した。飼料の環境負荷原単位は大きく分けて飼料作物の栽培と日本での配合飼料加工より成立していると認識され、以下の設定で、その計算を行った。

- ①飼料作物の栽培 0.0446t-CO₂/t (産業環境管理協会 Milca)
- ②配合飼料の製造 0.4589t-CO₂/t (産業環境管理協会 Milca)を使用した[1-2]。

輸入飼料の50%以上がトウモロコシであり、2010年の穀物用トウモロコシの輸入量は1,620万トンで、その89%が米国からの輸入である。また輸入量の約65%にあたる1,053万トンが配合飼料用として利用されている。このことから、現在の配合飼料作物の栽培および輸送(生産地-米国港-日本港)および加工(粉砕・ふるい分け、配合・混合)によるカーボンフットプリントの概算を行った。尚、計算にあたっては飼料のPCRが無い場合、ライフサイクル段階や輸送のシナリオは、野菜および果物のPCR(PA-BF-03)に準拠した。原単位は、カーボンフットプリント制度試行事業用CO₂換算量データベース(暫定版)ver.3を使用した[1-2]。積み出し港はメキシコ湾に面した米国ルイジアナ州の主要穀物積み出し港であるニューオリンズ港とし、揚げ地は飼料コンビナートのある青森県八戸港とした。

5.2.4 ペレタイザーによる輸送性の改善手法の実証及び国内、国際流通事例

飼料加工や食品、あるいはバイオ燃料にしても十分な資源の裏付けがないと原料確保あるいは物流経費が事業の律速となる産業である。バイオマスが有望事業でありながらドイツや米国のように日本でまだ本格展開していない理由は、海外と比較して、物流経費が高く、国内の農業規模が小さく、量や価格が国際市況に全くそろわない点である。資源は国際競争の産業であり、バイオマスを担いだ参加者の競争力を低下させる恐れがあるからである。

バイオマスの産業化はすばらしい概念である。その産業化を可能にするには、国内資材および海外のバイオマス、特に近隣諸国の未利用資源あるいは資源作物を大量栽培し、有望な資源加工産業やバイオマス産業が湾岸やレール市場に登場することが必要である。国内の放棄地と同時に、世界一の港湾大国として潜在的に保有する休眠資源価値を正確に認識し、それを活用する選択肢をそろそろ視野に入れ、新しい資源戦略や国富の概念を構築することが可能となってくる。

実験内容

本節ではバイオマスの輸送性の改善実証を行った。多くのバイオマス資源がその輸送性

の確保、改善ができないために事業化にいたらない現状は意外に認識されていない。わが国は平地に恵まれない問題はあるものの世界有数の港湾、海岸線大国であり、水資源や港湾の整備は過去の工業国家における成功と不可分でないことが近年認識されてきている。資源安、製品高の 20 世紀において、我が国は世界でもっとも有利な資源を安価輸入し、高度な加工品、工業製品を世界市場に供給する工業国家として成功したと言われている。それを支えるインフラが近年認識され、水資源や港湾、勤勉な国民性、モノづくりに欠かせない研究心などの結果、近年の繁栄があるとの指摘がある。今世紀に入り資源高時代を迎え、潮流は変わり、各国が資源効率の改善のみならず、リサイクルあるいはバイオマス、未利用資源を駆使した産業おこしが注目されている。都市鉱山などで工業素材のリサイクルがかなり普及したが、世界は化石燃料や穀物子実以外の部位より、新たな産業を創出する動きが顕著である。

日本は国際競争力の観点より資源作物領域における競争力が無いといわれるが、①物流特性の改善、②乾燥コストの削減、③土壌改良事業、④未利用地利用、⑤農機利用、⑥寒冷地を含む徹底した増収作物の研究、⑦動脈産業との連携による工程（飲料、甘味、機能性素材等、バイオ燃料の上位にある食品、飼料）の開発により木質バイオマスで事業化事例が出始めている。

ペレット加工機メーカー社製のペレタイザーで以下のバイオマスの輸送性改善試験を行った。沖縄での栽培中のネピアグラス、コーンの残渣を粉砕、乾燥したものに一部加水を行いペレタイザーにかけ比重を重くした。加温はしないが通常摩擦熱で 60℃前後の熱が出る素材が多い。試作素材は沖縄産ネピアグラス粉砕物（水分 2%、5mm 粉砕）と沖縄産コーンストーバー（水分 8.5%、5mm 粉砕物）とした。素材の加工法は以下の①～⑥に示す手順で行った。

①刈取り

②押切により、手動で 2 から 3cm に細断（この時点で水分 75 から 85%）

③5℃のプレハブ冷蔵庫に保管 4 日程度、順次④へ

④通風乾燥機（ADVANTEC FC62TD）にて、70℃、24 から 48 時間で乾燥

⑤ウィレー式粉砕器（池本理化工業 WT-150）にて、1mm の篩を通るように粉砕

⑥ 袋に入れ、送付する。

5.3 結果及び考察

5.3.1 海運の LCA 評価と活用法

1) トンキロ法による計算方法の確認（温暖化対策法計算）

温暖化対策の計算方式を利用し、以下の通りの燃料の使用に伴う CO₂ 排出量を計算した。

① 輸送距離は 16,899 km、②積載量は 48,000t、③重油使用量は 1,100t、④軽油使用量は 80t で、燃料の使用に伴う CO₂ 排出量は、(燃料使用量) × (単位発熱量) × (単位発熱量当たりの炭素排出量) × (44/12) で算出した。

- C 重油 1100 トンの CO₂ 排出量 (T は ton、tkm は ton/kilometer)
= 1100 (ton) × 41.7 (GJ/kl) / 0.94 (ton/kl) × 0.0195 (ton-C/GJ) × 44/12
= 3,489.09 (ton-CO₂)
- 軽油 80 トンの CO₂ 排出量 (GJ はギガジュール、Kl は kilolitter)
= 80 (ton) × 38.2 (GJ/kl) / 0.83 (ton/kl) × 0.0187 (ton-C/GJ) × 44/12
= 252,456 (ton-CO₂)
- C 重油と軽油の合計 (輸送距離 16,899.5 (km) = 0.0000461249 (ton-CO₂/tkm)
= 3,741.546 (ton-CO₂) ・ トンキロ当たりの CO₂ 排出量 (CO₂ 原単位)
= 3,741.546 (ton-CO₂) / 48,000 (ton) / 16899.5 (km) = 0.00461 (kg-CO₂ /tkm)
となる。

2) 燃料法による計算方法（船会社での実際の運行で使用している数値による計算方式）

• 輸送距離 : 9200 Miles (17,038.4 (km))

• 積載量 : 48000t

CO₂ 排出量 = 9200 (Miles) / 13.5 (Miles/h) / 24 (h) × 30 (ton/Day) × 3.1144 (ton-CO₂)

(燃料消費量は 9200 (Miles) / 13.5 (Mile/h) / 24 (h) × 30 (t/Day) = 851.858 (t))

= 2653 (ton-CO₂) / 48000 (ton) / 17038.4 (km) = 0.0000324389

(ton-CO₂/tkm) = 0.00324 (kg-CO₂/tkm)

1) と 2) の結果を比較すると、1) が 2) よりも 0.00137 (kg-CO₂/tkm) 多いという結果となったが、近似しているため、妥当性はある。数値の差異は、燃料の使用量で 1) は 2) よりも輸送距離は短い、燃料使用量は C 重油 X 1100 トン、軽油 80 トンで 2) の 851.85t よりも多いためである。今回の調査では、カーボンフットプリント (CFP) 算定方法を使用しており、市場ではトンキロ法を使用することが多いことも考慮に入れ、この二つの異なる方法で算定した結果を比較し、大きい数値を使用するというルールに従うことによって 1)

の CO₂原単位：0.00461 を使用することとした。

5.3.2 モーダルシフト及び実証事例

1. トラック輸送（10 トントラック、積載率 62%） 全体 CO₂ 4280Kg-CO₂
青森—長野 輸送の排出量は 919Kg-CO₂
2. 鉄道利用モーダルシフト事例 輸送（トラック+鉄道）
= 146kg-CO₂ + 56.6kg-CO₂ = 202.6Kg-CO₂
4% 1.6% （排出量 全体の 5・67%） 全体 CO₂ 3570Kg-CO₂

今回の算定ではトラックから鉄道へのモーダルシフトによりカーボンフットプリントを 20%削減した（5 トンコンテナ使用事例）。

5.3.3 飼料製品の LCA 評価

- 1) 配合飼料のライフサイクル・プロセス[2]を図 5.1 に示す。海外での飼料生産、輸出入、国内サイロ、国内加工、出荷（輸送）に整理し、詳細は以下の通りである。

輸入飼料フロー図

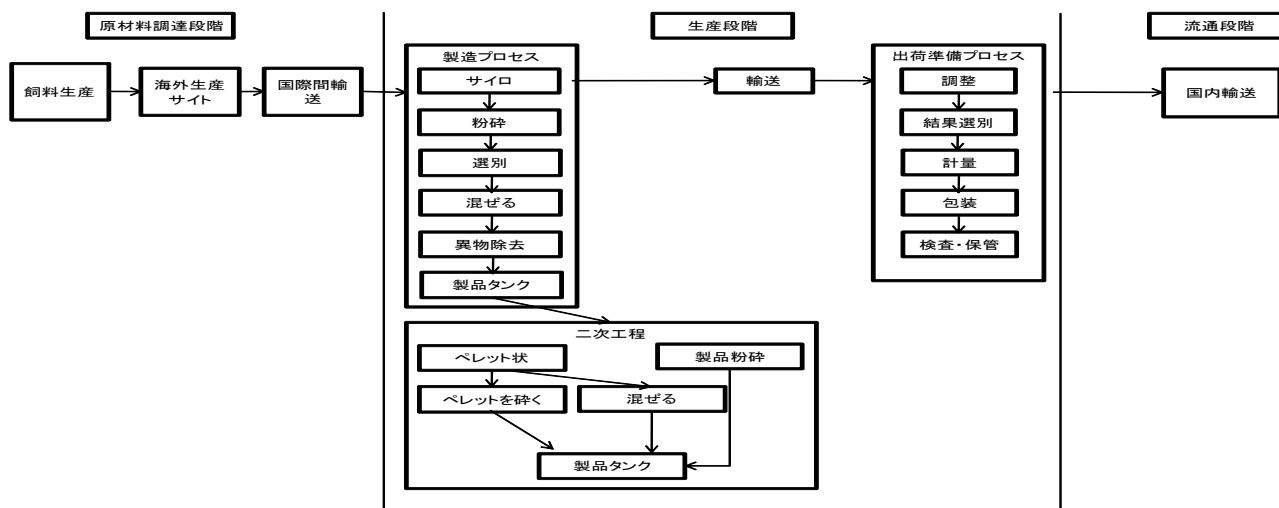


図 5.1 配合飼料のライフサイクル・プロセス

表 5.1 に輸入飼料原料(コーン 1053 万トン輸入事例)の場合の LCA 計算を示す。基本形は 3 つの領域より成り、第一が海外での栽培物流、二番目が日本国内での生産加工、出荷準備、第三が国内輸送で農畜産家に納入される。海外より輸入されたコーンは海外農家より河川

や輸出港に設置された集荷拠点で積み替え作業が行われ、国際物流により日本に運搬され、製造プロセスに乗り、サイロ保管より製造工程に乗る。製造プロセスは粉碎配合中心でその次に二次加工(配合やペレット化)出荷準備され、国内輸送されていく。

2) 配合飼料の全体構図 (バイオマスを用いた飼料化システムに関する研究)

表 5.2 には単純化し、米国で 10,000 トンのトウモロコシを飼料化した場合について環境付加の試算を行った。飼料作物の米国での栽培、生産より国内輸送、生産国内輸送、国際間輸送、配合飼料の製造時の電力量、配合飼料の製造時の重油使用量、配合飼料の製造時の工業用水量を合算しトン当たりの排出量(原単位)を算出した結果、0.147t-CO₂となった。

現在国内における主要な鶏豚向け配合飼料は、70%超が輸入穀物(コーン)及び副産物(大豆粕、菜種粕も 100%輸入原料の副産物)であり、その他として、糟糠類、ビタミン、ミネラル、アミノ酸、着色素材、飼料添加剤より構成されている。

3) バイオマスを用いた代替システム (飼料原料の一部代替)

本研究で想定したバイオマスを用いた代替システムの概況は次のとおりである。

まず、資源作物の大規模栽培および収穫を行い、収穫物を粉碎し、直ちに遠赤外線乾燥および風乾燥を行う。エクストルーダー加熱加工により殺菌、乾燥、消化酵素の効果を最大化し、飼料原料化を行い、輸送ロット毎に品質(水分やテストウエイト比重に加え第4章で研究した素材の可溶化速度や物量)などの管理、保管する。その後、配合飼料工場や自家配合農家に輸送される。

飼料米と、明日葉の残渣混合加工素材は、ソルガムなど嗜好性改善飼料により、消化率や機能性の市場ニーズを満たす必要性がある。

ドイツがコーンと麦類との資源作物を放棄地に導入する政策を 2004 年以降すすめて、低効率であったバイオガスを一大産業に育成した。そして米国がいよいよセルロース由来のバイオエタノールに舵を取った。

表 5.1 輸入原料の場合

プロセス名	活動量・シナリオ	原単位	二酸化炭素排出量
飼料作物栽培	生産量 1,053 万トン	0.0446 t-CO ₂ /t (※産業環境管理協会 Milca)	469,638 t-CO ₂
生産国内輸送 (海外生産サイト→港)	輸送量 1,053 万トン 輸送距離 200km 輸送手段 20 トントラック 積載率 75%	0.0813 kg-CO ₂ /tkm	171,218 t-CO ₂
国際間輸送 (港-港)	輸送量 1,053 万トン 輸送距離 16,899km 輸送手段 バラ積船 (48,000 トン)	0.00461 kg-CO ₂ /tkm (※温対法の計算式を利用)	820,793 t-CO ₂
配合飼料の製造時の電力量	製造量 1,053 万トン (製造時の電力量は、飼料メーカーの工場のデータを元に算定)	0.479 kg-CO ₂ /kWh	67,347 t-CO ₂
配合飼料の製造時の重油使用量	製造量 1,053 万トン (製造時の重油資料量は、飼料メーカーの工場のデータを元に算定)	2.92 kg-CO ₂ /L	15,401 t-CO ₂
配合飼料の製造時の工業用水量	製造量 1,053 万トン (製造時の工業用水量は、伊藤忠飼料の工場のデータを元に算定)	0.118 kg-CO ₂ /m ³	0.031 t-CO ₂
合計			1,544,397 t-CO ₂
原単位			0.147 t-CO ₂ /t

次に輸入原料 10,000t での負荷を計算する。また 5.3 では青森県産原料に切り替えることで、飼料のライフサイクルにおける輸送の二酸化炭素排出量がどの程度変化するか、試算を行う。

表 5.2 輸入原料の場合 (1 万トン)

プロセス名	活動量	原単位	二酸化炭素 排出量
飼料作物の栽培	生産量 1 万トン	0.0446 t-CO ₂ /t (※ 産業環境管理協会 Milca)	446 t-CO ₂
生産国内輸送 (海外生産サイト →港)	輸送量 1 万トン 輸送距離 200km 輸送手段 20 トントラック 積載率 75%	0.0813 kg-CO ₂ /tkm	163 t-CO ₂
国際間輸送 (港-港)	輸送量 1 万トン 輸送距離 16,899km 輸送手段 バラ積船 (48,000 トン)	0.00461 kg-CO ₂ /tkm (※温対法の計算 式を利用)	779 t-CO ₂
配合飼料の製造時 の電力量	製造量 1 万トン (製造時の電力量は、八戸の飼料工 場のデータを元に算定)	0.479 kg-CO ₂ /kWh	63.9 t-CO ₂
配合飼料の製造時 の重油使用量	製造量 1 万トン (製造時の重油資料量は、伊藤忠飼 料の工場のデータを元に算定)	2.92 kg-CO ₂ /L	14.7 t-CO ₂
配合飼料の製造時 の工業用水量	製造量 1 万トン (製造時の工業用水量は、伊藤忠飼 料の工場のデータを元に算定)	0.118 kg-CO ₂ /m ³	0.000029 t-CO ₂
合計			1468.6 t-CO ₂
原単位			0.147 t-CO ₂ /t

上記、表 5.2 より、1 万トンの飼料作物を栽培し、加工工場まで輸送した場合、輸入飼料は、輸送により 942 t-CO₂ が排出される。次に表 5.3 に国産原料の試算を行う。青森県のバイオマスコンビナートの例では、県内輸送（雲雀平-青森市）の場合 388t-CO₂ となり、輸入飼料の場合よりも 554t-CO₂ 減り、59%削減になる。

表 5.3 国産原料の場合（1万トン）

プロセス名	活動量	原単位	二酸化炭素 排出量
飼料作物の栽培	生産量 1万トン	0.0446t-CO ₂ /t (※ 産業環境管理協会 Milca)	446 t-CO ₂
国内輸送	輸送量 1万トン 輸送距離 68km (雲雀平-青森県 産業技術センター) 輸送手段 4トントラック 積載率 25%	0.571 kg-CO ₂ /tkm	388 t-CO ₂
配合飼料の製造時 の電力量	製造量 1万トン (製造時の電力量 は、青森県にある飼料工場の協力に よるデータを元に算定)	0.479 kg-CO ₂ /kWh	63.9 t-CO ₂
配合飼料の製造時 の重油使用量	製造量 1万トン (製造時の重油資料量は、伊藤忠飼 料の工場のデータを元に算定)	2.92 kg-CO ₂ /L	14.7 t-CO ₂
配合飼料の製造時 の工業用水量	製造量 1万トン (製造時の工業用水量は、伊藤忠飼 料の工場のデータを元に算定)	0.118 kg-CO ₂ /m ³	0.000029 t-CO ₂
合計			912.6 t-CO ₂
原単位			0.0913 t-CO ₂ /t

表 5.4 にエコ物流輸送の参考値を示す。さらに参考値として、県内輸送を低炭素輸送に切り替えることによる、二酸化炭素削減効果を試算した。製品化された EV トラックの燃費データが得られないため、乗用車サイズの EV と最高燃費の新型ガソリン車の二酸化炭素排出量を比較した。これにより EV 車はガソリン車より二酸化炭素排出量が、およそ 37%削減できることが分かった。削減効果を控えめに見積もり 30%とすると、県内輸送は 271.6t-CO₂ となり、輸入飼料の輸送 2709.6t-CO₂ と比較して 90%の削減になる。

表 5.4 国内原料・低炭素輸送の場合

<p><u>某乗用車(新型車)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃費性能：14.5km/ℓ ・県内輸送 68km の場合：$68/14.5 = 4.69\ell$ ・ガソリン排出係数：2.32kg-CO₂/ℓ ・二酸化炭素排出量：10.88 kg-CO₂
<p><u>某EV車</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃費性能：42 km/ℓ (米国 EPA データにより、34kWh =3.785ℓ→8.98kWh/ℓ) ・県内輸送 68 kmの場合：$68/42=1.619\ell = 14.54kWh$ ・東北電力排出係数：0.469kg-CO₂/ kWh ・二酸化炭素排出量：6.82 kg-CO₂ (二酸化炭素排出量 37%削減)

5.3.4 ペレタイザーによる輸送性の改善手法の実証及び国内、国際流通事例

1) ネピアグラス

バイオマスクロップとしてその旺盛な植生で知られる。現在は飼料用(牛)での栽培が多いが、バイオ燃料加工の動きがある。乾燥粉碎の原料比重は 0.21 (10%水分)、加水ペレタイザー加工結果は比重は 0.6(水分は 12%)であった。

2) コーンストーパー (コーンの実以外の地上部)

乾燥粉碎原料、原料比重 0.17、ペレット加工後比重 0.63 であった。通常のパラ輸送の下限である 0.6~0.7 の品質確保の可能性が確認された [3-4]。

比重 0.1~0.2 での集荷圏はトラックでの数十キロが限界である。日本の国内トラック輸送の場合、一日の運送料金 25000 円に加え、多大な GHG、CO₂ を排出する環境負荷型の最たる工程となり、遠距離輸送は飼料では成立しない現状がある。7~10 トン積載に対し乾燥物比重が 0.1~2 前後で、1~2 トン積載では運賃代だけで輸入原料よりも高コストになる場合が多い。車での輸送距離次第では海外より比重の重い穀物輸入の方がはるかにトン重量あたり環境負荷もコストも割高で競争力が無い事になる。大半のバイオマス原料は比重 0.7 以上となれば穀物同等となり、集荷圏は港湾立地の場合、世界市場よりの集荷が可能となり、大型加工業の成立条件となり得ることが明らかにされた。如何に安価なペレット化を行い集荷や受け渡し体制を組めるかが、バイオマスの有利利用事業化の律速要件であることは明らかにされた。

バイオマスの資源化の重要な管理項目が水分調整であることは、本研究で幾度と言及し

ている。エクストルーダーで瞬間加熱処理をすることにより水分含有物を 5~20%削減できる可能性がある。試験的に水分 30%のバガスのペレット化を試みたが容易にペレタイザーでも固まらず、発酵や前乾燥を実施した。水分を 15%以下に削減することによりバラ輸送性を担保する加工が可能であることも判明した。第 4 章で述べた様に、産地での最適化手法があれば安価かつ高利用率の産業資源集荷が現実的に可能になると考えられる。

3) バイオマスの輸送性の改善

コーンストーバー、サトウキビ、バガスのペレット化前の粉碎乾燥物の比重は約 0.15~0.2 前後であるが、ペレット化工程後は 0.6~0.7 前後と約 3 倍に到達した。水分調整および最適化ができれば産地比重で約 3~4 倍以上に比重が改良され、輸送性に優れた原料ペレット作成が可能であるとの推定がなされる。過去の 10 年での議論を経て、今後は穀物資源とは競争しないセルロースの資源化領域で、飼料、バイオ燃料を本格的に産業資材化する方向で米国をはじめ世界中が試験事業をはじめると思われる。

4) アジアにおける救荒作物利用

アジアモンスーン地帯の亜熱帯や熱帯にある東南アジアでは、多くの未利用地で膨大な農林産物の残渣やその地域の気候や土壌に適合性を有する救荒作物を、農地の再生を行いながら事業化する手法などが有望と考えられる [3][5][6]。

5) 地域におけるバイオマス物流対象素材（国際流通候補）

本研究はバイオマス資源を用いた飼料化システムの開発に関する研究であるが、対象領域は広範な領域が考えられる。かつては天日乾燥が農産物乾燥の主たる手法であったが、化石燃料の高騰で市場ではバイオマスの活用領域はあまり広がっていない。多くはこの乾燥と物流形態、高度利用のためのコストが投資と見合っていないことに起因する。穀物の増産で目先市況は安定すると言われているが、大半の農産物、農産物残渣、畜産廃棄物処理の現場では事業性の改善が求められており、対象市場は広範にあらうと考えられる。世界の資源開発の現場は既にセルロース系作物に舵を取っており、食料とは競合しない農業残渣やセルロース系資源その効率化領域は多岐に渡ると考えられる。

具体的には、既存穀物産業の乾燥の他にアジアモンスーン地帯のキャッサバや芋、コメ、稲わらのように、資源作物の加工残渣が植物系タンパク質や糖類になる工程が多く設計開発されており、本研究で行った酵素法による発酵速度の最速化、効率化が歩留まりや設備の効率化につながり今後の活用が期待される。

5.4 バイオマス物流の成功の為のポイント

日本においてバイオマス事業を推進する際の最大の律速事項は、たとえ廃棄物を活用しても物流である場合が多い。ある程度の規模以上の拠点で、競争力を有するバイオマス事業の物流を検討する場合、鉄道や船舶を用いた物流、モーダルシフトが不可欠である。

また、現在、世界の国際市況商品である飼料原料、土壌改良材、バイオ燃料素材等は、競争力維持のためには、大型港湾から 50km 圏内に加工基地（食品及び飼料の加工製造）を設定することが必要とされているように、加工基地の立地の最適化を図ることにより、さらに競争力を有することとなる。バイオマス事業の成功の為のポイントは以下の通りである。

1) 既存の資源加工業の利用

未利用バイオマス資源が発生する地域や食品廃棄物を排出する食品工場等の近辺にある既存の資源加工業を利用することで、バイオマス利用製品の生産効率化が図られる。

2) コンテナの利用

輸送の際に用いられるコンテナにエコ乾燥機能を持たせたグリーンコンテナを利用し、鉄道や船舶を用いて大規模輸送をすることでモーダルシフトが推進される。

3) 港湾の利用

市況に左右はされるが、資源は基本的に船舶による大量輸送システムを基本形としている。そのため、国内のバイオマス資源の輸送用に、港湾のホッパーやショアークレーンを整備することで、バイオマス資源のバルク積みによる輸送が増えれば、さらにバイオマス製品に競争力を付加させることができる。

4) バイオマス物流の基本形は、造粒加工等による輸送効率の改善、船舶や鉄道の利用の大量輸送によるコスト削減、グリーンコンテナの利用による乾燥化の効率化等で、原料 1kg 当たりで 5 円以下、製品 1kg 当たりで 10 円以下の物流体系を確保することが重要である。

物流コスト環境負荷最小化の工程が以下の①～④である。実はこの輸送による排出が負荷の重要項目でもある [2] [7]。

① 電気自動車

EV 車を使用することで 37%の CO₂ を削減する。

② 貨車物流

米国貨車の連結取引単位である Unit Train は 100~125 貨車 (1 貨車あたり 100 トンを積載している) である。日本は約 18m³ に 5 トンの積載制限ある 5 トンコンテナが基本ユニットで連結してある。1 貨車積み込みを 5 トンとし 5 両で 25 トンを積載する。

③ 海運

国内物流 (内航) は、米国の国内水運ミシシッピー川のバージ物流が有名で、水深 2~3 メートルでも艀を連結し、バラの大量輸送を展開している。10,000~20,000 t を輸送可能でフリートと称する艀 (1500~2000t) の穀物や石炭などバラ輸送し、艀をトウボートと呼ばれる動力船で後ろから押して運航している。

外航は、北米ガルフ (メキシコ湾港湾) の輸出港より欧州や、日本港湾、中国など大量輸送が行われており、パナマックス (パナマ運河通行可能最大船舶) で、西海岸積み出し港より穀物は環境負荷の少ない物流形態で運ばれている。

④ モーダルシフト (車より貨車、貨車より海運にシフトする)

飼料はエネルギーと並び、運賃の律速を生じる資源産業の領域に入ると考えられる。かような産業は物流経費を管理し、低コスト化するのが事業モデルの一部でもあり、恒常的に物流のコストダウン、モーダルシフトが行われる。

5.4.1 一貫物流

バイオマス資源の物流の特性より国内での産地から仕向地へ一貫通貫する納入方式 (自社集荷方式) が選択肢としてある。コンテナを集荷、乾燥・冷蔵、物流へと一貫して活用する方式が有効と考えられる (コンテナでの産地より顧客までの一貫物流)。農林水産資源を安価に産地より加工場、バイオマス拠点に入荷する手法は過去多くの研究検討がなされたが、その具体的事例の紹介および分析を試みる。

図 5.2 はロシア内陸部のチュメニ共和国にある有数の養鶏場での、飼料原料の集荷状況を示す。チュメニ共和国は世界でも有数の油田地域であるが、ツンドラ地帯で地域には穀物系の飼料原料を栽培するための適地がない。かつ内陸地域にて物流経費の制限があり、

海に囲まれた日本とはかなり異なる環境にある。周辺土壌は泥炭土壌で恒常的な土壌改良事業が必要であり、地域の牧草、およびライ麦などの水蒸気加熱ペレットを給餌している。図 5.2 (a)～(d) はロシアのツンドラ地帯に位置する養鶏場で内陸地、極寒地でもあり、穀物類は安価に入手不可能な環境にある。近隣の牧草をコンテナ貫方式で集荷し、天日乾燥したのち、工場で水蒸気加熱加工処理によりペレット化を行っている。この地域は有名な油田地帯であると同時に酸性の泥炭地でもあり、アルカリの鶏糞は地方政府の規制で土壌改良材として、ha あたり毎年 40 トンの投入が義務付けられている。100%の自給の飼料体制でしかも草本原料を主原料とする給餌方法は、日本では考えられない業態であるが、草本の葉などにリーフプロテイン (LP) が存在し、優良な蛋白質となることが知られている。穀物 (30%) とリーフプロテインの組み合わせ、及び加熱加工手法は大豆等の高騰時代の選択肢となる可能性はあろう。飼料作物中もっとも動物に好まれるコーンの弱点は、栽培適性の北緯南緯が限られている事である。本件は畜産業が地域の牧草資源及び土壌改良事業と連携した業態事例である。



(a) 収穫した牧草類



(b)加工工程外観



(c) 天日乾燥



(d)コンテナより搬出

図 5.2 ツンドラ地帯にあるロシア養鶏場での飼料用ペレット製造現場

今後の飼料、バイオ燃料の資源選択を考える場合、南方系の増収作物のほかに、この寒冷地における広大な未利用地の開発手法も検討されるべきと考える。

5.5 まとめ

1. 飼料原料の生産を、国内において環境負荷の少ないバイオ燃料やEVで集荷すれば確かにLCA上は負荷は少ない飼料原料を生産できる可能性はあるが、現在最も負荷の少ない物流は海運による大型物流及び貨車や船である。このLCA上有意性のある物流形態を駆使して、バイオマス産業の核となる資源集荷を行えば、地域資源と輸入資源を軸にした飼料原料あるいは地域資源を高効率に活用した配合飼料について新たな産業を創出できる可能性がある。

2. 穀物や石炭のようなバラ物流がビジネスの前提になっている産業では、その採算はバラ貨車（産地より、国内工場や輸出港）や海運大型船舶が前提となっており、このバイオマス産業は資源を扱う限りこの価格領域の制限を受ける。穀物取引、加工セクターやエネルギーセクター領域の資源化はこの物流コスト自体が事業律速となっているわけであり、ここを認識しバイオマス産業のシステム構築を図る必要がある。かような観点でいくと日本の貨車は積載重量制限が旅客車両を標準としているため、国内の貨車が5トンコンテナ（通称ゴトコン 18m³に5トンまでが積載制限）にみられるように特殊な形態を構築する必要がある。ただトラック輸送の価格競争力、環境負荷の限界もあり、今後の拠点選択には貨車ターミナル付近や隣接立地などを検討する必要がある。1970年代以降、米国の穀物メジャーが100~125両の貨車輸送の活用を可能とした貨車積み込み設備拠点に集中したのは、数万トンの穀物輸送を安価に推進できる貨車システムを保有している故に、貨車輸送による穀物、船物流による大量輸送集荷市場に集中し、農家と競争するトラック市場より撤退していった事象からも明らかである。資源産業は価格面で世界と競争できることが必要条件で、大型の飼料原料やエネルギー産業向け資源に照準する場合、この物流システムを経営の軸としておくことが必要とされる。

3. バイオマス資源の飼料化利用は畜産物の品質安定や動物栄養の最適化を継続的に行う産業でもあり、継続的な素材提供を前提とする。第4章で鶏の試験で論述したが、現在の鶏豚などの飼料は穀物および動物栄養学上生産性をもっとも高い状態に設定されている。急激な内容物の変更で、いわゆる切り替えショックが発生し、一時的に畜産生産効率が下がる報告があり、飼料メーカーはこのリスクを取らない顧客に対しては無理な設計を行わない商習慣となっている。基本は国内で各地と資源作物の周年供給のほか、海運、外航船を活用し、島嶼や近隣諸国との資源提携がもうひとつの資源化産業の創出手法である事を認識する必要がある。自国の資源対策で、自給率改善の為、海外と連携するということは矛盾や飛躍があるように見えるが、現実的に経営の観点に立つと、運営資源確保が保証されない事業が成立しないのは当然のことで、我が国の未利用地の利用法を最適化する為にも安定した周年での素材供給が飼料化の前提である。バイオマスの産業化のプロセスで、い

くつかの国と双方向で余剰資源を融通する新たな交易関係を（二国間排出権なども視野に）樹立する必要があると考えられる。特にアジアモンスーン地帯の亜熱帯や熱帯にある東南アジアでは、多くの未利用地で気候や土壌に適合する救荒作物を栽培し、その残渣をバイオマス利用することで資源を加工開発できる可能性がある[5-6]。国内において資源作物を駆使し、かつ海外諸国との提携方式によるバイオマス資源の提携、契約栽培など、あるいは未利用資源の資源スワップなどにより安定した資源事業を育成することが可能である。この手法は穀物やエネルギー産業ですでに企業が日常的に国際取引で推進している手法で、バイオマス等の新たな産業創出の現場での活用が期待される。

4. 動物栄養の専門家はリーフプロテイン[5-6] が優良な動物向け蛋白質である事を古くから認識しており、加工プロセス次第で食料やバイオマスエネルギーは製品及び副産物の関係になる場合が多い。バイオマス産業化の成功事例で有名なのはドイツで2004年の改正エネルギー法により、バイオガスの畜糞にコーンと麦のエネルギー作物を導入してガス量を増大させ、7年間で既に1兆円産業になった事例があり、保守的な農業関連業界の場合、既存産業の産業革新とする手法が有効とも考えられる。残渣は有機肥料として利用することが普及している。現在、米国中心にコーンストーバー [3-4] や繊維系作物であるネピアグラスやスイッチグラスを利用したエタノール及び機能性素材や飼料原料を開発している。バイオマスの産業化事例は低効率産業を高効率化することで始まっており、来るべきバイオマス産業の形態を明確に暗示していると考えられる。

5. 国内事例では現在明日葉の産業資源化が復興庁や文科省により震災県で開始されている。高齢者や女性向け、大型資材として、東京ブランド育成の動きが始まっている。元々豊かなバイオマスに加え、近年の近代化で循環型社会への転換が必要とされるベトナムやインドネシアは距離的に近く、環境負荷を軽減したバイオマス物流を双方享受できる可能性がある。継続性のある周年供給体制の確保や、余剰バイオマス、例えばアセアン諸国の酸性土壌対策の土地改良材とバイオマス原料のスワップ等、今後大きな資源不足に直面していくアジアの近代的な事業モデルの基盤となり得ると考えられる。継続性が重要な飼料業界としては現実的な資源対策となる取り組みに近づくことになる。

5.6 結論（ウッドセラミックスの遠赤外線乾燥の課題）

本研究で実証を行った工程のLCA 環境面での課題は以下のように考えられる。

まず、中古コンテナ活用乾燥による解決法が考えられる、高価な倉庫ではなく安価な中古コンテナなどを活用し、乾燥する事例報告がある[1]。東北地方に於いて、冬季の乾燥では廃油などの工程による乾燥温度管理は必須であるが、排ガス対応等セラミックスフィルターによる整備が必要となる可能性がある。

次に高水分含有物乾燥庫の選択肢（食品及び飼料の製作）があるが、ウッドセラミックスの効果である遠赤外線、吸水、蓄熱に加え、太陽熱利用や風乾、地熱、メタン発酵等のグリーンエネルギーを統合したバイオマス乾燥の実証が必要である。現在のところ木質バイオマスとして木材やおがくずでの事例があるが、草本では粉碎、圧搾を行い、本研究の結果を活用した熱循環乾燥庫を実証予定である。図 5.3 に太陽光エネルギー等の自然エネルギーを活用した木材乾燥庫の事例を示す。以上の工程に見られる如く、LCA にすぐれたバイオマスの物流や工程開発の時代となる可能性がある。解決すべき課題はあるものの、統合された小さな確かな技術と地域資源の活用はその地域の人、土地、地域資源の連携を生み、人々のライフスタイルの活性化及び地域の経済を独力で支える基盤ともなりえ、今後とも研究されていくものと期待される。



図 5.3 太陽光利用型乾燥庫（木材用）

引用文献

- [1] 農林水産省補助事業報告書（2012）平成 23 年度緑と水の環境技術革命プロジェクトバイオマスコンビナートコンソーシアム，バイオマスコンビナート資源化工程実証（2012）
- [2] 飼料輸出入協議会 飼料原料ガイドブック主原料編 UNIT TRAIN 米国バージガルフジャパン飼料輸出入協議会，66-77，177-195（2002）
- [3] Jeschke M and Heggenstaller A Sustainable corn stover harvest for Biofuel Production CROP INSIGHT trademark and service marks of Pioneer

- Hi-Bred International, Inc (2012)
- [4] DuPont Cellulostic Ethanol DuPont corn stover harvest collection program, (2013)
DuPont Biofuel solutions <http://biofuel.dupont.com/cellulostic-ethanol/>
- [5] 高野信雄 バイオマス 生産と変換[上] 第6章 牧草一リーフプロテイン 学会出版センター, 215-222 (1981)
- [6] 高宮和彦 野菜の科学 葉菜類 leaf protein concentrate 朝倉書店, 59-61 (1993)
- [7] 高橋政士 松本雅司 貨物列車 機関車と貨車の分類と歴史がわかる本 秀和システム, 166-207 (2011)

第6章 まとめ

本研究により、資源作物やバイオマス等の未利用資源をウッドセラミックスの遠赤外線乾燥及びエクストルーダー処理による混合加熱などにより、酵素活性を高めかつ混合処理の相乗効果を活用し、飛躍的に可溶化率を改良した易消化性素材(飼料原料、発酵原料等)へと創出できる手法が確認された。食糧資源の確保に備える傍ら、社会のニーズにあう利用を実現し、競争力を有する資材の資源産業(飼料原料、発酵原料等)を創出するための基本形を目指し成果を得た。

6.1 本研究の第1章より第5章までの成果、課題

6.1.1 資源作物の導入による新産業創出の可能性

第1章では、現在の食糧業界を俯瞰し、飼料畜産業が果たす役割を今一度整理し、バイオマス産業の中核的育成法の可能性を検討した。米国政府が穀物不況対策にコーンの子実利用のバイオエタノールを選択したが、結果として世界は飼料産業の需要の大きさを再認識した。時代は次の規範を求め動き出した印象がある。飼料やエネルギー等の巨大な需要をむしろ産業需要ととらえ産業を創出しようとする試みは、今後本格的に検討されるべきとも考えられる。本研究ではバイオマス資源を活用した飼料システムの開発に取り組んだが、加工産業設計をする意義をも論述した。この需要産業の業態改革により、地域資源を地域に貢献できるものへと加工するプロセスの一助となる可能性がある。このような手法は飼料に限らず、試験的な試みが数多く始まっており、今後の育成次第では新産業を生む可能性がある。

第1章に述べた様に、世界人口の増加や食の西洋化で食糧は増産が必要である。農地は潜在的にあり、特にその地域の気候風土地勢など勘案した資源作物生産および加工システムを開発することの必然性が明らかにされた。

第2章ではアジアモンスーン地帯に越冬耐寒性の明日葉やソルガムを、低コストで大量栽培する手法について、さらにこれらの作物によって塩害地をファイトレメディエーション出来る可能性について言及した。明日葉は、定植後、受粉時期を経て最終年に大量収穫できることからバイオマスクロップとしてバイオマス産業に利用することが望まれる(現在は明日葉の根より、機能性素材を採取するにとどまり他は廃棄されている)。本研究では食履歴がある明日葉という特殊な生命資源の素質を生かし、既存の未利用資源と融合することを試みた。これを医療、食品、飼料、畜産、発酵、エネルギー、肥料、土壌改良材製造業等に応用することで、日本は世界有数の生命資源国家として持てる強みを発揮できる可能性がある。

課題として明日葉は発芽率および発芽時期が不安定である点があげられる。甜菜糖方式

の育苗システムの開発や遮光などにより、明日葉のような日蔭作物を夏場の酷暑から管理する手法などについて継続的な実証が必要である。現在の所、植物の力による農地再生、ファイトレメディエーションは青森県八戸市や宮城県東松島市で継続し進められている。水資源も豊かな我が国において、気候、地勢にあった生産性の高い作物を新しい戦略でバイオマス資源として育成する手法により、産業競争力を有する多くの新産業候補や新業態を輩出する可能性が期待される。

図 6.1 に資源作物（明日葉、ソルガム）コンビナートの図柄を示す。今回示された旺盛な植生による素材の資源化は今後の課題となろうが、安価な乾燥工程の開発は継続的に進められていくと考えられる。

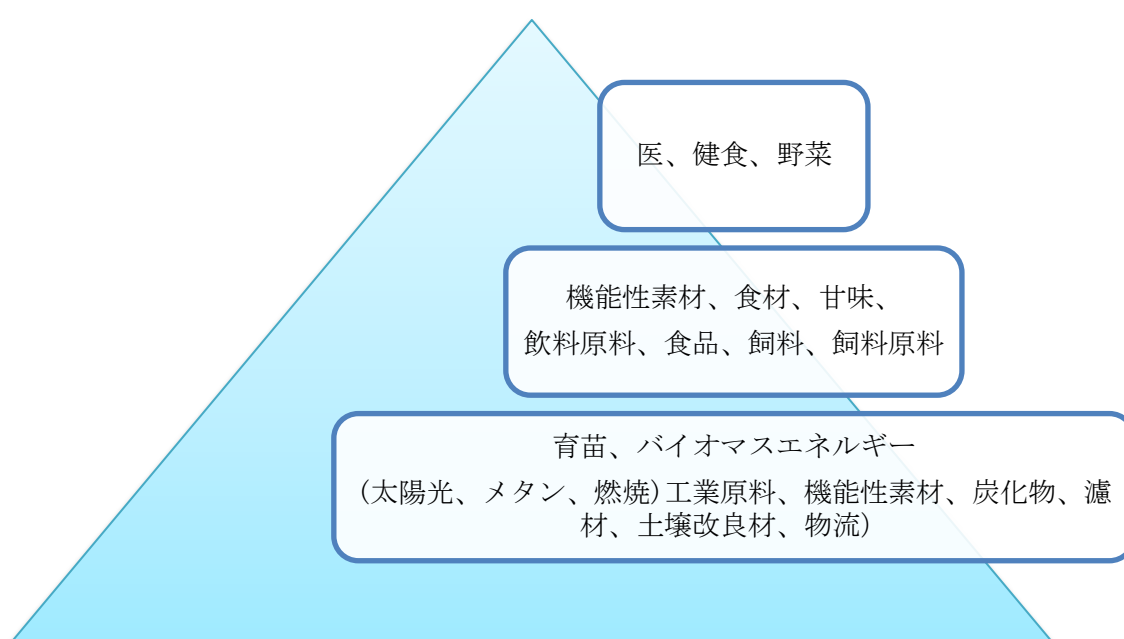


図 6.1 資源作物（明日葉、ソルガム 5F）6次産業化コンビナート

6.1.2 太陽光のエネルギーとウッドセラミックス遠赤外線効果を用いたエコ乾燥

図 6.2 に太陽光利用、ウッドセラミックス乾燥システム案を示す。過去の研究の結果、遠赤外線乾燥は農業環境に有望であるが、化石燃料依存度の削減やコストおよび処理量の拡大につき限界があり、飼料やバイオマス系の乾燥では天日乾燥するか廃棄や自然発酵での堆肥化などが主な処理方法であった。

第 3 章では、ウッドセラミックスによる遠赤外線乾燥工程の実証が明日葉やソルガムで行われた。30%前後の乾燥時間を短縮でき、省エネで乾燥できることが確認された。特に遠赤外線乾燥は通常乾燥とは異なり、植物を中より乾燥させるもので、乾燥品質が良く、大いに期待される。明日葉は 0.5mm でスライスすると、すぐ褐変反応をおこし、特に茎は乾燥が難しい植物である。又、飼料化の場合、資源領域で通用する低コストかつ大量な取扱

量での乾燥の実証が必要である。この課題解決策として太陽光のエネルギーとウッドセラミック遠赤外線効果を用いたエコ乾燥により、バイオマス資源化に貢献できる可能性がある。

もともと人類の長い歴史では農林水産物の乾燥は太陽光による天日乾燥が標準系であったが、明日葉などのような褐色反応し易い素材に太陽光の直射は不適で、直射すると直ちに酸化する。太陽熱および光エネルギーなどの自然エネルギーを、ウッドセラミックがもつ遠赤外線放射体の機能を活用し、乾燥工程に転換利用することで、未利用資源の低コスト乾燥に活用できる可能性が認識された。木質材乾燥、おがくずでの太陽エネルギーの利用（太陽光パネルをポジティブソーラーと呼び、太陽のエネルギーや光をそのまま活用する手法をパッシブソーラーという）の研究事例がある [1]。本研究では草本バイオマスのような高水分バイオマスを飼料化する際、遠赤外線乾燥により乾燥時間を短縮出来る可能性が示された。今後の課題として、バイオマス各種の前処理工程で課題となるランニングコストを極小化するために、バイオマス用のカントリーエレベーターを開発する必要がある。今後は技術統合を行いランニングコストを低下させることで、普及できる期待がある。特に乾季と雨季のあるアセアン諸国より開発実証の要望があるため、検討予定である。

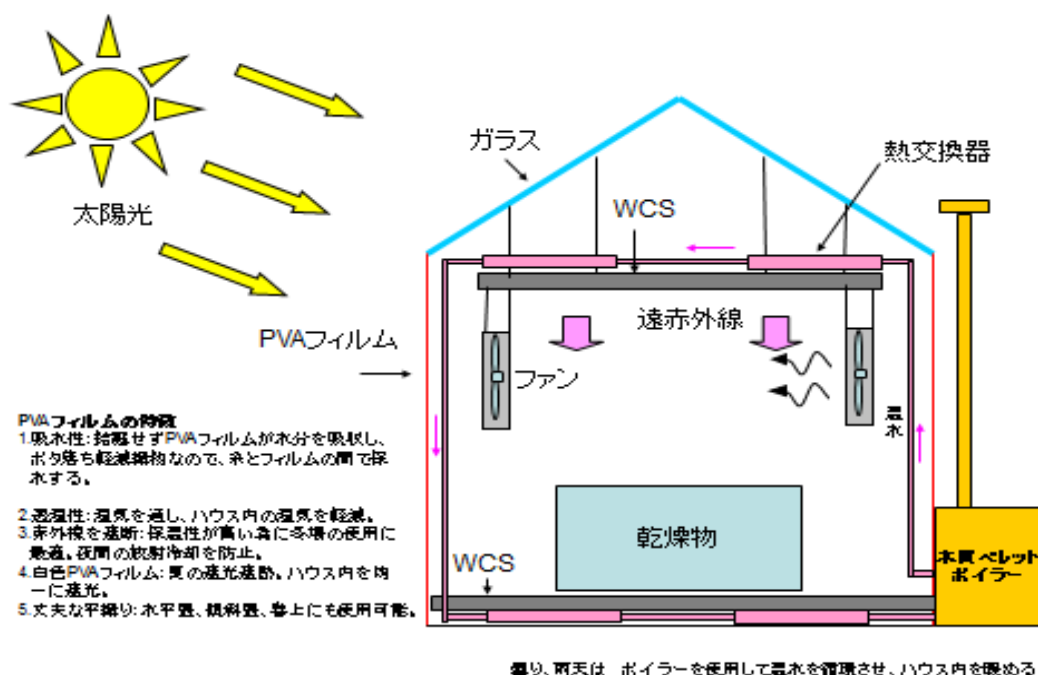


図 6.2 太陽光利用、ウッドセラミック乾燥システム

PVA（合成樹脂の一種ポリビニールアルコール）フィルムを利用し、風乾燥および太陽光をウッドセラミックに活用させ、ハウス内での遠赤外線乾燥を追求するモデルを実証した。アジアの雨季高温多湿の環境下で実力を出すシステムを検討予定である。

6.1.3 エクストルーダーの加熱加圧処理により消化酵素などの働きを最大化する可能性

第4章ではエクストルーダーによる改質工程の研究を行った。コストと効果のバランスが今後の実証課題となる。飼料の加熱加圧加工は動物の消化率を改善するためや飼料を殺菌するために、頻繁に使われている工程であり、同様にして爆砕工程等の効果も知られるところである。本研究で示された加工工程は、酵素処理などと並行して行うことで新しい素材市場を開発できる可能性を有している。価格及び標準形品質の双方を満たし、競争力を有する地域資源領域の創出につながる可能性がある。

バイオマスペレットの課題としては、品質規格等について標準化された規格が必要である事が挙げられる。現在、米国の穀物取引の基準品質が参考になる。つまり穀物取引は水分、容積重、被害重、異物などで決まっており、品質規定を定め、(品質値引きなど) Discount Scale[2]などの標準取引条件を設計することにより、安定した商取引の基盤となり普及できる可能性がある。飼料用ペレットは水分や容積重、蛋白、異物などの品質標準形を決め、バイオガス資源の水分と有機性固形物の分解率の簡易測定法があれば穀物に代わる流通資源として普及する可能性がある。第4章で示された手法により、バイオマスや資源作物領域にある草本植物などで食料資源を生産し、加工を展開できる可能性がある。現在、未利用地の多くが荒地であり、必ずしも従来の経済作物の生産に適していないとされる。この救荒地より生み出される作物の価値を最大化するには、その素材化プロセスの革新が必要である。人間や動物に共通しているのは消化酵素の作動する何らかの消化のメカニズムをもつことである。資源作物、救荒作物を活用し、農地を再生、農業生産を行いながらホールクroppを汎用性の高い素材として加工し、飼料資源化の工程で利活用できる。元々動物は食料の可食部分を餌にしていたが、消化吸收栄養素に優れた穀物が活用されるようになった。今後バイオ燃料の穀物よりの生産が規制されるなか、新たなアグリペレットを開発し、木質ペレットとともに流通させることが有効と考えられる。

6.1.4 バイオマスは物流である

第5章では飼料のLCA計算の他に、LCA上競争力有する貨車、海運を活用するバイオマス物流について国内、国際物流の基本形を研究した。海外と比較し、国内の資源生産力に課題がある我が国は、新たなバイオマス資源を確保し、集荷領域を拡大する必要性が認識される。日本は世界で有数の海洋国家であり周辺国とのバイオマス資源の活用に関し、相互にバイオマスを融通することにより互惠開発を創出できる可能性がある。

図6.3にバイオマス(ペレット)物流の図柄を示す。日本は世界有数の港湾大国でもあり、港湾での資源競争力には潜在力がある。従来は原料を輸入し、製品を輸出する加工貿易であったが、北南米や欧州のような広大な耕作面積を保有しない我が国は、放棄地において

極めて旺盛な植生を有する資源作物を機械農耕及び近隣諸国とのバイオマス物流を外航船で組むことで、効率的な資源産業が創出可能である。実はトラックなど車物流による資源の集荷量は、その集荷コストが律速となり限定的である。日本は平地面積に恵まれないが、世界有数の港湾大国で、近隣諸国との物流を小型本船で組む選択肢も視野に入れると、バイオマスの産業化の大前提である資源量の確保が可能である事が認識される。バイオマス資源の利活用産業の創出は安価な資源が大量に集荷可能であることが前提であるが、現在、多くの発展途上国が急激な近代化、食の西洋化等に直面し、廃棄物問題が表面化している。又バイオマス資源が豊富な国は多く存在する。食料、飼料、肥料や副産物、土壌改良材、バイオ燃料資材との交換による新たな交易関係を構築できる可能性がある。国内での都市と農村、国際的な共同開発の連携は有望な領域となる可能性がある。明日葉やソルガムのような日本の気候や地勢に合った資源作物及び地域に埋蔵する森林資源を、一部輸入資源と合算することで、日本はもう一つの飼料やエネルギーシステムを開発できる可能性がある。図 6.3 にその図柄を示す。易消化性アグリペレットの流通により、新たな雇用を内外で構築することで、日本の新しい外交として近隣諸国との関係構築となり得る。



図 6.3 バイオマス（ペレット）物流の鳥瞰図

第 5 章で取り上げたバイオマス資源を用いた飼料化システムの示す領域は広範であり、価格の安定が必要な飼料や発酵原料、バイオ燃料等の一角を占める可能性がある。将来的には木質系バイオマスペレットとならび草木系のアグリペレットとして流通を形成することも考えられる。中国の大量輸入で表面化したが、今後、食料資源が大幅に不足することが予想される。大量消費かつ大量廃棄しない、新しい循環型資源加工産業をアジアに創出

することで、有望な雇用促進産業を普及できる可能性がある。

6.1.5 地域と人々を豊かにする地域資源の開発時代となる可能性がある

第5章では物流LCA及びペレット工程による資源領域の拡大、提携国との未利用資源、残渣などでのバイオマス資源開発の可能性について述べた。循環型資源の取引や循環資源の周年供給体制、国情が異なる各国の余剰未利用資源の共同開発を整備することで、過去に議論されてきたような資源収奪や植民地農業ではなく、各国の未利用資源は互惠関係をもたらす可能性がある。これにより、双方向で成立させる資源開発、および地域資源加工産業や国際連携による資源開発産業創出の基盤を創出できるような国際協力体制となる。図6.4に示す様に地域資源事業化を核とし、農業、畜産、エネルギーの総合的コンビナートを構築できる可能性がある。特に我が国はドイツよりもはるかに人口密度は高く、創意工夫を行う国民性がある。軸となる産業エンジニアリングを先導的に固めることで、今後、有望な産業を輩出できる可能性がある。

地域資源高度化利用コンビナート



図 6.4 地域産業エンジニアリング図柄

地域産業の空洞化、内需振興策がもとめられるが、バイオマスの利活用産業を多段階（カスケード）利用事業とし、飼料やエネルギー、土壌改良における技術及び事業性検証が次の課題である。

6.2 考察 (1) バイオマスコンビナートとその技術のもたらす効果

先に述べた事をまとめると、以下の結論となる。

日本を拠点として米国、カナダ、ブラジルなどに匹敵する資源競争力を生み出すことは過去は議論の範疇外であった。昨今は循環型の経済学の普及が始まり、いくつかの欧州の先駆的国家では有機物はみな資源でありその最適開発手法を開発すればまだ様々な緑の産業が生まれる可能性について言及されはじめている [2-3]。

素材の評価法の構築が未成熟であるために、見落とされてきた資源がバイオマスには多く存在する。最も生産効率や製品化倍率の高い石油に関する、重合技術体系や既存の標準形により、世界の化学プラントは優良なモデルでありつづけている。しかし、近年産業技術の評価が変わりつつあり、地域に与える環境負荷のみならず、地域社会や循環型社会において、全体最適化事業に対する評価と必然性が認識され始めており、大きな動きになりつつある。バイオマスおよび生命資源は精度や効率面で既存の金属資源や化石燃料には及ばないとの指摘がある。しかし循環型資源であることや、地域資源を保全できること、そして地域社会の雇用促進に貢献できることなどから、その必然性が社会からも理解され始めてきている。

飼料原料の事業化のためには、未利用バイオマスと安価な輸入資材（例えば穀物残渣や救荒作物のキャッサバ等）を活用した加熱加工飼料について、消化吸收及び飼料要求率 feed conversion rate (FCR) の改善実証なども動物栄養学的に継続して調査する必要がある [4]。

資源作物の安価な製造には、平地と気候、土壌等の条件が必要である。日本の最適化を考えると、ドイツのようなエネルギー作物補助政策のみでは不十分で、食料や飼料やエネルギーなどの多様な国内生産に対するインセンティブを政策に導入し、世界に誇る食と環境技術、特に農林水産業や生命資源の生産に効果のある、統合技術集積およびそれを支える企業群、市民団体を作り上げるところが重要と考えられる。本研究で明日葉を事例としたように世界に冠たる資源輸入大国の我が国はその持てるノウハウや生命資源を異業種も含め糾合し、標準的作物を客観的に再分析し、生命の多様性や地域での自然環境を自らの手で最適化することで、独自の成長産業を創出する時期に来ていると考えられる。

6.3 考察 (2) 経済、貿易、農業の南北問題、食料危機及びその解決策

6.3.1 国家の基本 (国民に対する食とエネルギー保証)

あらゆる近代国家は国民の生活権である食とエネルギーを国民に対し保証する事が基本である。日本の良い点は他国に比べ国民性が勤勉であることだが、一方で新しい試みの普及に関してはかなり保守的でもあり、特区や規制緩和など十分な配慮や定着までの制度的

支援が必要な場合が多い。

6.3.2 先進国(地域資源活用内需振興新産業)及び農業国家(高度利用資源化産業)

従来、先進国の農業は国家補助により、生産者の自主性や、起業家精神が失われがちであるといわれてきた。しかし、本研究の技術開発領域でもある循環型資源による再生産方式、バイオマスコンビナート工法は農林畜産産業の業態改革に資するのみならず、既存の工業、サービス業の基盤ともなり得る、循環資源の産業集合体を構築するもので、新たな成長産業としてのロードマップにより、有望な産業となる可能性が存在する。本研究では資源化実証を小規模に行ったが、放棄地を循環型の生命資源生産基盤として再定義し、再生活用する戦略について考察した。本研究の各章で示した手法は基礎的実証ではあるが、中長期において、それらを統合利活用することにより、有望な地域資源産業の基盤となる可能性が存在する。

図 6.5 にドイツで普及した畜産生産農場の外観を示す。すでに畜産業でありながら風力発電、バイオガス、熱のビジネスを運営する新しい畜産経営複合体が多数出現している。これは畜産業の業態革新による産業創出ともいえよう。かような産業政策はすでに日本でもはじまっているが、本研究で示したように国内での資源作物や、乾燥、高度利用のメカニズムが競争力を持つことが極めて重要であろう。ドイツのバイオガス産業も、エネルギー作物を導入して以降、2004年の改正エネルギー法[3]で資源作物を本格導入した。エネルギー作物と畜糞のような国内未利用資源について資源作物の最適化を行い、その生命資源生産複合体を今後さらにもう一段最大化させることが期待される。



図 6.5 ドイツの畜産エネルギーファーム外観(畜産、メタン、風力発電併設)

農業の成長産業化あるいは食料など資源産業化の場合、海外連携は輸入を意味してきたが、これは穀物余剰時代の話である。これから創出されるバイオマス産業の設計図は、こと食料資源産業に関しては輸入資源と資源収奪のみではなく、利用されていない余剰バイオマスおよび資源作物を最適化したその地域を支えるハイブリッド産業化が現実的な選択枝となる可能性がある。

即ち本来の農業活動の設計により、本来あるべき、太陽光、水資源の浄化（セラミックスや微生物）、CO₂の資源化（光合成による資源循環）、土壌循環、N-窒素循環、C-炭素循環を徹底的に活用した手法の高度化を進めることが重要である。

以上の食料あるいはバイオマスを取り巻く新たな環境より、世界は今後食料の増産と同時に、飼料畜産とバイオ燃料の二つの巨大需要産業を再設計することが、必要かつ有望な新領域と認識される。本研究で検討した飼料化工程により、食料資源の高度利用を可能とする素材化工程の基本形を示し、食料資源産業や他産業のバイオマス利用に貢献できることを期待する。

2008年以降顕在化した食糧危機による高騰相場により、多くの穀物資源輸入国がウクライナやアフリカ諸国、南アジア、南西アジアの耕作地を購入するか、あるいは長期借用によるプランテーション化が発生し、その自国民の生活権などについて政治問題化している[5]。リーマンショック以降、穀物市場に投機資金が投入されコーン中心に穀物が石油などの化石燃料資源と連動する動きになった。今後も食の西洋化により引き起こされる畜産需要をどう賄うかがこれからの残されたテーマである。ICT（information communication technology）による都市に対する人口と富の一極集中により、新興国の本来行う食料自給や農業生産地域での担い手基盤の崩壊等の問題をもたらすことが懸念される。穀物資源の余剰時代とは別の体制、即ち地域における、環境、経済循環のバランスや、国家や時には国を超えて共同開発し、社会を安定させて地域に自立した循環型資源経済を復興していく仕事を国際的に各国が研究し、今後の食糧資源確保の時代の基幹産業として推進していくべきと思われる。

本研究で目指している飼料や食料やエネルギー関連加工産業、バイオマスコンビナートおよびそれを支える資源化工程は、国内では都会と地域で失われがちな経済循環を設計する事を出発点としてきた。しかし、世界或いは我が国がアジアやアフリカの諸国と今世紀、直面している課題を共同で解決する資源開発基盤となりえることも留意が必要と考える。

特に各国がその自国民に対する責任をもっている食とエネルギーは、今後、国家間で共有、共同育成し、各国の理想の国際関係の基盤となる共通の資源開発となり得るものと考えられる。

6.4 考察 (3) バイオマスコンビナートによる課題解消の可能性

6.4.1 現在、新興市場、後進国の都市部で起こりつつある大きな変動 [6]

1) 商流システムについて

米国が過去 100 年かけて、作りあげた WALMART に代表されるスーパーマーケットの商流システム構築は、ICT 情報革命の現在では 10 年で、中国のみならず世界中で推進され、加速化傾向にある。

2) 卸売市場について

中国は卸売市場も 10 倍に増加している。インドでも卸は 500 社だったものが今や (2010 年時点) 5500 社と、特に直近の 3 年間は何ものすごい速さでコールドチェーンが整備されている。実は輸出入はその国の農業育成に関して大きな問題ではなく、中国もインドも 5~7% の経済規模に過ぎない。手を打たねばいけない問題は、すさまじい速さで起こっている都市化、農村部より都会に対する人や市場の過度の集中であるが、人は仕事がある方に流れる。食の近代化により、短期的に国内農産物の消費や生産は増えるがその後の爆発的需要拡大を支える、農業、食料生産が徐々に弱体化傾向となる場合が多い。競争力のあるインフラ構築は、継続性のある設計と競争力を有する運用方法、及び制度的支援が必要である。

3) 都市化、市場形成について

国内の巨大なマーケット、特に所得格差故に都市に人口が集中し、農業生産地と消費地での所得格差が中国のみならず、どの国でも爆発的に拡大中である。都会への一極集中がかつてない早さで進行中であり、これにより巨大な収入格差が生まれ、市場の形成が都会に集中する。その結果、地方の農業の疲弊や環境悪化などに対し十分に配慮なされないと、農村経済の荒廃、病弊、食料危機の遠因となる傾向がでてきており [6] 解決すべき問題である。

4) セクター毎の分析

米国の識者分析によると、農家の生産部分の売上は 34% 程度であり、残りの 66% は加工、物流、小売業等に配分される。即ち富は地方になかなか循環、蓄積されないメカニズムとなっており、物質循環 (食料と堆肥) や環境循環 (光合性、CO₂、水資源) のような、最も確立が難しいこの経済循環を産業政策的、制度設計的に構築する必要が世界的に出てきて

いると考える。本件でのイノベーションとは我が国はじめその社会のニーズをいかに満たすかにかかる。農業を全産業の静脈産業として再定義し、モータリゼーションやIT革命で省力化された人口および労働力を多面的に投入した新産業として設計する時期とも認識される。

6.5 緑の富と雇用の体系的構築について

モータリゼーション、IT などにより既存産業では雇用は生まれにくい新しい時代に移行中である。本研究において派生する社会科学的側面は別研究とするが、本工程を利用した資源加工産業創出は従来型の競争社会により、識者が指摘するような都市の富や市場、労働力の一極集中により、喪失されがちな生産地帯と都市の経済循環、地域の自立などの問題点を解決するために産業創出の基本形となるシステム作りを念頭においた。いかなる優れた技術も市場に必要とされねば世に出ないからである。

1) 物質

もともと近代配合飼料が農業の未利用物から始まり（英国でビート大根の残渣利用といわれる）、昨今は近代的栄養学の観点より、高度な飼料栄養学産業が標準系として成立しているが、第1章でふれたように中進国、新興国（アジアなど）で急激に動物向け蛋白の使用が高まっている。特に飼料畜産需要が高まり（畜産物とその生産に投入される飼料の倍率は鶏の場合は1:2、豚は1:4、牛は1:7~20倍）、即ち人類が主食として使用する穀類の使用効率が極めて悪く、昨今の中国の大豆60百万トン超（本年は69百万トン）の輸入に見られるように、新たな資源化工程の開発が必要と考えられる（大豆は最も面積当たりの生産量に制限ある作物で、増収は難易度の高い作物である）。

バイオ燃料も1トンの農産物より300~400Litterのエネルギーを作る工程であり、約4500Kcalの飼料を動物は2800~3000Kcal消化する。双方ともに、資源効率の良い産業工程とは言い難い現状がある。この2つの巨大産業の効率化工程開発が、本件を含めバイオマス産業化の大きなテーマであるが、情報革命ICTで近代化が加速する昨今、これは食糧確保の観点より急務といえる。

本研究は食料系資源加工において量的に最大の品目である飼料の資源化を中心に行った。このプロジェクトの全体での普及予定であるバイオマス素材は、食材（機能性素材）、飼料（原料、添加剤素材）、バイオ燃料（メタンガス、エタノール、燃焼方式など）、工業原料、土壌改良材、有機肥料（欧州のバイオガス事例、P.K.N.の内容を保証した企画品の流通が既に始まっている）である。現在のバイオマスの利活用産業にこの飼料領域やバイオ燃料などの軸ができれば工程構築により本産業を本格的に展開できると考えられる。

2) 環境

バイオマスの資源化産業の定着は省エネ、CO₂の固定、都会の排出する有機物性の廃棄物の資源化などを可能とする。循環型エネルギーシステムによる資源循環、畜産、バイオマスの資源化工程により、新たな収益事業となる可能性が認識される。

3) 経済

過去もっとも達成が難しかったのは経済性が高い手法を技術的に成立させる工程を開発することであった。本研究で示された乾燥、加熱工程により、以下の領域で事業性の再評価を行った。想定される産業図柄と経済循環鳥瞰図を図 6. 6 に示す。

本件で想定した易消化性有機物工程の確立は酵素および微生物の力を引き出し、設備費を小型化し、廃棄物を減少させ、さまざまな分野で貢献する可能性がある。次頁の鳥瞰図（図 6. 6）に+で示したように易消化性新素材の利用によりメリットを享受する産業が勃興する可能性がある。

バイオマスコンビナート及び後背地（農山村版）の経済循環鳥瞰図

以下左が現状の模範的農業であり、本研究による高効率化可能産業領域を（+）とした。

（◎○事業領域 ▲未利用領域、経費負担支出領域）

（現在の日本の模範的農業）

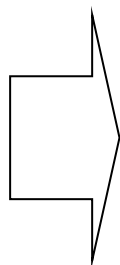
（バイオマスコンビナート後背地
資源作物大量生産複合体）

（高級ブランド農業）

- ◎農林畜水産生産
- 加工、○流通
- ▲残渣処理（農畜産、加工、流通）
- ▲未利用地
- ▲未利用人材

（ブランド&ゼロエミッション加工）

- ◎農林水産生産、加工、流通
- 同左
- 食材（+）
- 機能性素材（食品、飼料）（+）
- 飼料原料（+）
- 発酵素材（+）
- バイオ燃料（+）
- 土壌改良剤（+）
- 工業原料（環境調和資材（+））



地域資源利用率 10-20%

現行粗利 農産物生産収入

○ウッドセラミックス（+）

資源利用率 70%以上

- 農産物生産
- 放棄地利用資源作物生産（+）
- 資源作物集荷（+）
- 残渣集荷乾燥（+）
- 木質、アグリペレット加工（+）
- 有機肥料（窒素、磷、カリ（+））
- エネルギー生産、熱生産（+）
- 工業原料（カーボン他（+））
- ファイナンス、保険
- 物流（+）

（ドイツの畜産（飼料）エナジーファーマー）

新集落営農+企業コンビナート（国内・輸入資源の最大化）

事業収益

図 6.6 バイオマスコンビナート及び後背地（農山村版）の経済循環鳥瞰図

本検討はバイオマス資源を用いた飼料化システムの創出研究である。注目されることはドイツでは資源作物を放棄地に投入し畜産をバイオガスなどに連携させ業態改革を推進し、畜産生産者をエネルギー生産者との複合業態化に成功させた事実である。日本の場合、森林と海岸線にめぐまれた独特な地勢を有し、高い人口密度の同一地域に様々な産業が存在している。

現在はこの地域の連携が多くの規制を受け、業界毎の商習慣等の為もあり、殆ど存在していない構造となっている。この構造の強みを生かす戦略が必要と考えられる。特に飼料原料では100%海外を向いた、巨大需要を有する飼料畜産や林業、建設業、エネルギー産業を軸に国内にしっかりした制度設計を行い、参加者に資源効率の改善支援あるいは、規制緩和や排出権のように参加インセンティブを導入する事は多くの副次的産業を創出するものと認識される。先々の展開の見える業態改革の意思を持つ業界は、畜産以外にも林業や大農、建設業他、地元の農機等機械メーカー、地域の流通等多岐に渡る。ドイツ事例は農業や畜産と自然エネルギーおよびバイオマスエネルギー産業の業態革新が中心で、数十万人規模の地域雇用を創出したとされるが、わが国の場合、異業種数業種の連携は、業態縦割が強固で実現の難易度は高い。しかし人口密度も高く、資源活用量も多いことから今後の設計および軸となる産業の誘導如何によっては、短期間にドイツを上回るバイオマス産業を創出できる可能性がある。

6.6 地域資源循環型社会の創出について

以上により派生する産業構造により、失われた地域資源の利活用産業や植物工場による育苗（種の多様性）などを軸に据えたブランド農業、生態系などをモニタリングする IT Mapping による地域の水資源管理、空気、安全補修、森林資源、地域資源の管理、関連グリーンファイナンス事業や保険、消費地の販路、商業地域との複合リート、健康、介護などとの連携事業など都市と農村の双方向事業のほかに、地域での循環資源が成立し、多くの雇用産業が生まれる可能性が認識される。

又、自然エネルギー全量買付け制度がドイツで生まれ、特に2004年に改正エネルギー法により、放棄地にエネルギー作物を導入し（平地の15%まで）、それまできわめて不安定であった畜産農家収入が倍増した。オランダやイタリアは、嫌気性発酵の研究開発で知られるが、政策誘導で、畜産エネルギーファーマーを生みだしたことは記憶に新しい [3]。

我が国では特に土や水資源をきわめて大事にする国民性である。その土壌や水の浄化はこの生態系の資源循環より生まれることは知られている。江戸時代まで世界最大の循環型社会であったといわれる文明を持ち、環境産業を育成してきた日本にとり、バイオマスを活用することは、産業全体を更に付加価値化する大きな機会を与えてくれているとも考えられる。バイオマス領域では昨今、かつての産官学やベンチャーの草の根運動であった領域である。その後徐々に世界企業も技術革新により社会貢献しながら収益事業化を創出す

るという動きへ静かに移行している印象がある [3-4, 7-8]。国内でも環境負荷企業の事業提案やいくつかの論考が市場の関心を引きつつある。市場の指示を取り付け、新しい主要産業技術に育成される可能性が認識できる。今後も社会最適化を可能とする循環型資源の利活用研究に微力ながら精進する予定である。

引用文献

- [1] 金山公夫, 馬場弘 ソーラーエネルギーのパッシブ利用 ソーラーエネルギー利用技術—地球温暖化の抑制と持続可能な発展のために森北出版 188—204 (2011)
- [2] 飼料輸出入協議会 第 2 章 米国産トウモロコシの流通・取引 飼料原料ガイドブック 飼料輸出入協議会、43-77 (1998)、
- [3] 飼料原料ガイドブック 第 4 章 配合飼料の製造飼料原料ガイドブック 飼料輸出入協議会、210-276 (2002)
- [4] 淡路和則 ドイツにおける再生可能エネルギーの現状 農村と都市を結ぶ 2012 2 月号 No724, 23-35 (2012)
- [5] DuPont Cellulostic Ethanol DuPont corn stover harvest collection program, DuPontCellulostic Ethanol (2013)
<http://biofuel.dupont.com/cellulostic-ethanol/>
- [6] NHK 食料危機取材班, ランドラッシュ激化する世界農地争奪戦, 新潮社 115-210 (2010)
- [7] Reardon T. and Berdegue J. A., The Rapid Rise of Supermarket in Latin America: Challenges and Opportunities for Development, Development Policy review 20(4), Overseas Development Institute, 317-334 (2002)
Reardon T., 「流通革命における新たな現実」食料安全保障 国際シンポジウム Partner in Agriculture, 米国農務省の農水省における講演 (2010 年 4 月 7 日)
- [8] 藻谷浩介 里山資本主義 NHK 広島取材班, 角川書店, 117-203 (2013)

謝辞

本研究の遂行に際し、青森県産業技術センター理事 兼 所長 岡部敏弘先生、岩手大学農学部附属寒冷バイオフィロンティア研究センター教授 上村松生先生、弘前大学農学生命科学部准教授 田中和明先生にはご多忙中ご指導いただき、深く感謝を申し上げます。又、審査委員をお勤めいただいた山形大学農学部の生命環境学科教授 高橋孝悦先生、岩手大学のご関係者、勤務先の同僚、本件及び関連業務を長年ご支援いただいた内外の指導者及び関係者、職業能力開発大学校のご関係者の方々に、深く御礼申し上げます。

第 1 章では会社の同僚、物流関係者、穀物業界、種子、飼料畜産業界のご関係者、お世話になった海外国内の生産者の皆様、穀物業界関係者、バイオテクノロジー業界、シカゴ相場のブローカー諸氏に大変感謝いたします。第 2 章では資源作物の圃場関連ではこの風変わりな研究開発、作物栽培および試みを快く迎えていただきました青森県、岩手県の実験地での生産者の皆様、振興センターの皆様、加工メーカー様、明日葉の栽培では農学研センター 和地義隆代表、機能性研究では筑波大学生命環境科学研究科 宮崎均教授ほか、スイートソルガムの実証では宮城大学食産業学部 中村聡准教授に真冬にもかかわらず、収穫、乾燥等ご支援いただき大変お世話になりました。第 3 章では岡部所長 兼 理事、青森県庁のご関係者、茨城職業能力開発促進センター 辻純一郎様、特に広島職業能力開発促進センター 小川和彦様（講師、研究開始当時は職業能力開発総合大学校）に、大変お世話になりました。第 4 章、5 章では会社の同僚、バリューフロンティアの梅原由美子取締役、大野佳様にも支援いただき感謝申し上げます。又、プロセス技術面でバイオコンサルタント 中澤栄次様、笠原技術社 笠原敬介代表、社会科学面では地域事業研究所 山代勁二代表、畜産の農牧輪換を農工大名誉教授 塩谷哲夫先生にご指導いただき感謝申し上げます。本構想の立ち上げ時期、本研究の最初の理解者かつ無条件の支援者であられ、急逝された故若林真様（元味の素（株））のご支援は大変励みになりました。ご冥福をお祈り申し上げます。当方の案件を長くご支援いただいている国内外の皆様に衷心より謝意を申し上げます。最後に、全くの異業種参加にもかかわらず温かくご支援いただいた未踏科学技術協会、物質材料機構関係者、産官学、自治体ご関係者に改めて感謝の意を表します。