

リサイクル事業の事業性(リスク・リターン)評価モデルとビール粕の事例¹

刈屋武昭 明治大学ビジネススクール kariya@kisc.meiji.ac.jp

藤田大輔 アール・イー・システムズ(株)

本稿の狙いは、廃棄物資源の企業間取引によるリサイクル事業の事業構造に共通する典型的な定量的モデルを提案する。それは、廃棄物資源排出企業 A とその資源を引き取りプラント施設などにより中間処理するリサイクル企業 B と、そのリサイクル製品を原料として買い取る企業 C の間の価値の流れの関係と事業性(リスク・リターン)を評価するモデルである。リサイクル企業 B に焦点を当てながら、A-B-C に関わるリスクを識別し、キャッシュフロー変動のモデル化を議論する。

このモデルの応用として、ビール粕・リサイクルの事業性(リスク・リターン)評価分析をシミュレーションに基づいて行い、モデルの有効性を示す。そのシミュレーション分析では、本稿では、ビール企業 A から引き受ける排出物受託量の変動等に関わる不確実性に限定し、リサイクル業者 B の事業性評価を分析することを目的にする。リサイクル業者 B のリサイクル製品を企業 C に売却して得られるキャッシュフロー分析は次の研究テーマとする。

モデルは、リサイクル事業への投資分析や、リサイクル施設・貯蔵施設の保有の仕方などへの意思決定モデルとして利用可能である。さらに、このモデルは、リサイクル事業の支援政策のあり方に対しても、一定の役割を果たしうるであろう。なお、本稿ではリスクは、収益性の変動をもたらすものとして定義し、下方リスク(脅威)だけでなく、上方への機会も含むものである。

1 地球サステナビリティと環境問題とCSR

リサイクル事業の重要性は、観念的に理解していても、実際の進展は満足いく状況ではないが、ビジネスの視点からその合理的な理解もゆつくりと進み、そのリサイクルサービス事業の合理的な事業性評価への視点が重要になっている。一方、この領域に関しては、地球のサステナビリティの視点を核にして、

- * 社会全体の廃棄物資源への関心・意識(消費者、企業)の高揚促進
- * 廃棄物資源を不可避免的に作り出すわれわれの生産消費活動プロセスのあり方と
- * そのプロセスにおけるCSR(Corporate Social Responsibility、企業の社会

¹ 刈屋の部分に関して文部省科学研究費基盤研究(C) 16530139 の補助を受けた。記して感謝する。

的責任)のあり方

- * それを資源としてリサイクルしていく社会的なサービス業(リサイクル業者)のあり方
- * 市場を形成育成していく上での明確な政策(行政)・サービス

などとの有効な相互関係がまずもって重要であることはいうまでもない。

社会全体としてみたときの環境問題への意識の高まりは、気候変動の拡大などを通してゆっくりとしかし着実に進みつつある。京都議定書に基づくCO₂を中心とした排出規制も2008年にスタートし、日本は2012年にはCO₂の排出を1990年比6%、現在比約13%–14%を削減することが要求されている。日本がその約束を実行できるかどうかは、枠組みで認められたCDMなどによる排出権の確保等今後の活動にゆだねられている。加えて、30%以上の削減が必要なカナダは脱退の可能性を述べるなど、議定書の枠組み自体維持可能性に関して厳しい状況にある。

一方、このような環境意識の高まりとともに、社会全体からの企業の価値創造活動のあり方に規律が要求されつつある。その規律は、規制に基づくものと社会倫理に基づくものがある。社会倫理に基づく規律の要求は、規制への要求として現れることもあるが、いずれにしても企業の価値創造プロセスに一定のルールを要求するもので、企業の利益のあげ方に社会性を求めるものである。すなわち、企業の価値創造活動の前提として、当然のことながら企業は社会の一員(法人)としてルールを守ること(CSR)が求められ、それができない企業は市場への参入資格が認められない、という社会的な理解が進みつつあるように思われる。企業には多くのステークホルダーがあり、また企業はそれ自体で価値創造をしているのではなく、社会的な価値連鎖のなかでのネットワーク・関係性の中にあるので、ひとつの企業の不祥事や犯罪は多くのステークホルダー(供給者、株主、従業員、消費者、一般国民、行政)に影響を与える構造にある。このネットワーク性・関係性は、ますます複雑かつ広範になりつつある。

このような進化の中で、企業経営をめぐる環境はますます透明度が要求されている。実際、単に財務報告だけでなく、企業は環境報告、知的資産経営報告、リスクに関する報告、CSR報告、内部統制の有効性の報告などがステークホルダーから要求されている。

価値創造とCSRと環境

CSRの考え方としては、企業は自らの価値創造活動プロセスに関して、商品・サービスの品質に関して責任を負うだけでなく、その生産活動で排出される原料粕などの廃棄物資源や、耐久消費財に代表される消費後の商品廃棄物資源に対しても責任を一定の範囲で要求されている、という考え方に進化している。それは、現世代の責任として、地球という人類の生存基盤を将来世代にできる限りよりよい形で残すと

いう基本的な理念に基づくものであろう。その限りにおいて、発展途上国の発展のプロセスに対しても、先進国の一定の責任もあろう。

いずれにしても、企業のCSRの考え方の進展とともに、環境への視点を彼らのミッションステートメントや行動規範に盛り込み、ステークホルダーとの積極的なコミュニケーションを通して、コーポレート・ブランドの確立をするなど、企業はそれを自らの価値創造戦略の一環として理解していく流れにあらう。専任部署を設けるなどして、企業文化の質の高揚とともに、より有効な価値創造を求めようとする企業も増えている。そのような企業では、従来の「環境報告書」を拡張し、人類・社会への貢献を上位概念においた「サステナビリティレポート」として発行している企業もある。このような活動報告は、環境対策や環境配慮型商品の導入の発展として、企業が自らのCSRの実行についてのステークホルダーとのコミュニケーションに他ならない。そしてそれが企業の長期的価値創造力を高めるものである、という認識も高まりつつある。実際、消費者が意識する商品のあり方や、車に代表されるように商品性の価値認識は、単にその商品自体の機能や品質だけでなく、「環境へのやさしさ」や「製造過程での労働者の人権」、「遺伝子組み換え問題など安全安心に関係する原材料の使用」など経営プロセスにかかわったCSRへと広がり、規律ある経営プロセスも商品性の一部となりつつあるのである。企業における廃棄物資源処理コストもその商品性を高めるブランド・評判プレミアムなど「CSRプレミアム」の一部と理解することもできよう。

外部からも、環境政策や産業界の環境対策についての厳しい要請があり、企業は社会的な要請に対応しなければならない。特に日本においては、企業自らによる環境経営促進、環境マネジメントシステムの導入、環境報告書、環境会計、Life Cycle Assessment や Design for Environment の活用、環境ラベルの取得、環境効率への取り組み、グリーン購入・購買の進展等、たえず企業への環境経営における意識の高揚や、実際の環境経営のプロセスの開示など透明性が要求されている。実際には、2005年4月に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」に様々な分野ごとに排出削減目標が定められている。

リサイクル事業と本稿の狙い

本稿では、このような環境問題に関わる企業環境の進化の中で、バイオマス関連を中心としたBtoBリサイクル事業の事業性(リスク・リターン)分析に関わる定量的なモデル分析の枠組みを定式化する。バイオマスに関していえば、上記閣議決定の計画では、約4,690万トンのCO₂の排出削減を見込んでいる。バイオマス利用促進プログラムとして「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定された。そこでは、エネルギー利用を含むバイオマス資源の積極的な導入促進に向けて、本格的な施策措置が講じられつつある。2007年4月よりバイオエタノールを混合したガソリンも販売され始めた。

日本に賦存するバイオマス資源の多くは、農林業残渣や動植物性残渣、製材廃材に代表されるとおり、廃棄物資源としては未活用のまま処分されている。このような廃棄物系資源をバイオマスとして利用することにより、廃棄物資源の適正な処理・活用につながり循環型社会の構築が促進できる。

具体的にはわが国では年間 6.2 億トンの廃棄物資源が発生し、そのうち 51%がバイオマス系資源である。このうち、40%が循環利用(マテリアル用途、エネルギー(サーマル)用途)されているものの、56%が中間処理における減量化(焼却・乾燥、脱水、濃縮)、5%が最終処分されている。これについては付録 1 に説明する。これら循環利用されているもの以外について、例えば中間処理における有効な活用を通じ、循環型社会の構築、地球温暖化防止に寄与できると考えられる。

そのような状況のなか、企業が廃棄物資源を委託するリサイクル事業・施設の重要性は増している。その中で重要となるのは再生を行う工程であり、リサイクル事業の事業性(リスク・リターン構造)が大きなファクターを占める。

しかし、多くのリサイクル事業・施設は、その技術の未熟性や、事業性の欠如、補助金優遇による事業構築の怠慢により失敗しているケースも多々見受けられる。これは、事業プランを構築する段階において、廃棄物資源を排出する側のニーズとリサイクル先の市場ニーズの把握が十分できていないことに起因していることが大きい。また、事業を継続するにあたり、将来の事業性(リスク)分析を行うことが重要であるが、近年の環境意識の高まりから発生した新興市場であることから、依然、その領域は経営の未整備である状況が続いている。

このような問題意識から、本稿では、バイオマス資源を有効に活用するリサイクル事業に焦点をあて、廃棄物資源排出企業とリサイクル事業会社との関係にかかわる収益構造を主とした事業性(リスク・リターン)分析の枠組みをERM(エンタープライズリスクマネジメント)の視点から与える。将来の不確実性を考慮した事業性モデルを構築し、それに起因するファクターである事業構造を分析して、施設のキャパシティの制限のもとで、収益最大化問題を議論する。

なお、リサイクル施設を計画するにあたり、重要なことはリサイクル後の市場性つまり、アウトプットの確実性である。燃焼による熱利用やボイラーによる発電利用、生物化学的変換による堆肥化等、全ての事象は、確実にリサイクルされなければ廃棄物を排出する企業の CSR 推進における価値創造を毀損することとなり、事業を構築するに至らない。

本論文では、リサイクルプラント施設の収益構造の不確実性について分析することを主眼としていることから、問題を単純化するためにアウトプットについては、確実にリサイクルされていることを前提とし、事業性評価モデルを構築することとする。

本稿の内容は次のとおり。

2節 リサイクル事業モデルの枠組み

3節 ビール粕のリサイクル事業の事業性

4節 廃棄物資源発生量の季節変動に対応する受託量の最適化

2 リサイクル事業モデルの枠組み

本稿のモデルの枠組みとしては、ビール会社、飲料水会社のように、製品・サービスの製造過程において、商品生産のための消費済みの原材料が粕として排出され、その処理に関わるリサイクル事業の収益性・リスク分析に有効なB-to-Bモデルを考察する。もちろん、ビール会社や飲料水会社は、消費者が商品消費によって発生する容器等のリサイクル問題にも関係する。この後者の C-to-B リサイクル事業問題に関しても、本稿のモデルの構造は拡張可能で有効であると考えるが、リサイクル資源（製品廃棄物資源）の収集問題が全国的な広がりを持ち、リサイクル業者間の競争要因も含めて不確定要因が複雑になる。それゆえ、ここでは原材料粕マテリアル・リサイクル事業に焦点を当てたモデルを議論をする。説明の都合と理解の容易性を確保するために、ビール会社を例にとって説明する。以下モデル構築の枠組みを次の3つの問題に分けて議論する

I 原材料粕リサイクル事業の構造

II 事業のリスク(不確実性)

III 事業性・リスク分析のモデル

I 原材料粕リサイクル事業の構造

バイオマス関係の原材料粕のリサイクル事業は次の3者が関与する。

- 1) リサイクルサービスの購入者(原材料粕排出会社A)
- 2) リサイクルサービス・商品生産会社(リサイクル事業会社B)
- 3) リサイクル再生商品購入者(C)

価値の流れは、理論上はCがBからの商品を購入するのであるから、 $A \rightarrow B \rightarrow C$ であるのだが、Cの商品価値が小さいため、Bはコストをかけてリサイクル商品生産の原料としての原材料粕を購入すると事業は成立しえないのが一般である。そこで、Aは価値創造の「CSRプレミアム」を企業Bに移転する。すなわち、Aはマイナスの価格でBの原材料資源をBに売却する。いわゆる「Aから見た廃棄物処理アウトソーシングの委託料」と多くの場合理解されているものであるが、より成熟した社会では企業Aの社会的責任コスト、さらに積極的に言えば「企業の品格・ブランド構築投資」である。Bはその結果、キャッシュフローをAとCから得ることになる。この構造がリサイクルビジネスの特徴であり、社会的にこれを支援する法的な枠組みや企業の環境CSRへの理解を基礎にしている。これを図示したのが図1である。

実際問題として、リサイクルプロセスが有効となるための重要な点は、企業AのCSRへの意識の高さに関わる問題がある。それは、AがBにごみ処理を依頼したのではなく、廃棄物資源として有効活用して、結果として企業Aの生産活動プロセスが環境保全に有効なプロセスの中にあることを確認することを意識するかどうかである。バイオマス処理の中にはBの施設に堆肥化されても山積みともなり、結果としてそれが腐敗してメタンやCO₂を排出するごみとなっている場合も少なくない。基本的には堆肥は過剰に生産されている。そのためAは、自らのCSRのとり方に関して、Bの製品がCもしくは消費者に有効に利用されることを確認することが求められよう。たとえばBの製品が電力であれば、そしてその製造過程から出る廃棄物資源が土と同等物であれば、それは許容範囲であろう。実際、バイオマスの場合、もともとの原料が植物などの土からのCO₂であるので還元的(カーボンニュートラル)である。

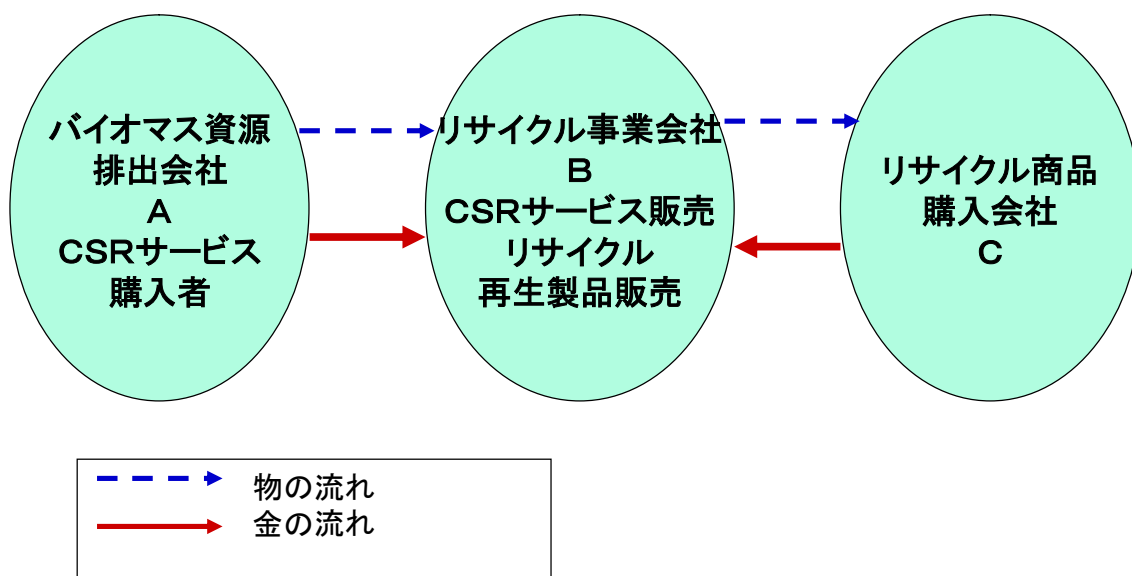


図1 リサイクル事業の関係

なお次節以降の事業性評価の実証分析では、データの問題等の理由により、B からCのマテリアル・リサイクル製品販売にかかる事業性評価は、企業Cが作る製品が飼料であるか他のものであるかによって、価格や不確実性の構造が異なる。したがって本稿では、A から B の部分に関する事業性を分析し、B から C へ供給する今後の研究課題とする。

II リサイクル事業者Bのリスク

以下ではリサイクル事業者Bの立場から、事業性(リスクリターン)分析の基礎として不確実性(以下リスクと同義語)の識別をする。このリスクの識別は、リスク分析や変

動モデル構築の基礎となる。リスクは定量可能な場合、モデル上変動を伴うものとして確率変数として扱う。

リスクの基本構造

- ① 処理委託者Aが処理受託者を選択する場合、通常複数リサイクル事業会社に対して入札に基づいて行われる。ただ、Aにとって、単一の事業会社Bにすべてを委託する場合、事業会社Bのコンプライアンスなどのリスクが間接的にAの評判などに影響を与える。それを避けるため、メインとサブの複数のリサイクル会社を選択するのが一般的なようである。その選択基準は、Bのリサイクル製品の内容と、Bへの信頼性と価格である。逆に言えば、Bにとってのリスクは、毎年入札によりメインの受託者として選択されるか、というリスクがある。これは、リサイクル製品の内容と、信頼性と価格を基礎にした入札ゲームの不確実性であり、モデル化が容易ではない部分である。
- ② このゲームに関して、結果としては委託受託価格（通常毎年リサイクル業者の入札により決定）は毎年変動する。入札価格設定では企業Aの工場立地とBのリサイクル施設の距離にかかる地域性がある。またリサイクル業者間の競争環境にも依存する。
- ③ 委託業者Aの業界の製品（ビールなど）の需要変動と、競争による業界でのAのシェア変動は、受託者側の廃棄物資源量を変動させる。このリスクはBのキャッシュフローに直接的に影響する。これは自らのリサイクル施設の処理能力キャパシティに関して、信頼性や入札ならびに委託・受託契約に関係する。実際、Bが過剰な量の引き受けを受託した場合、適切な処理などに影響し、不遵守などコンプライアンスに関係していく。
- ④ 工場と受託業者の運搬問題にかかるコストは委託者が負担する。もちろんそれは契約価格の一部としてみることも可能であるので、入札に関わる受託者のコストとしもみることが可能である。運搬問題は、施設の立地に関係した時間と輸送燃料のコストである。後者は市場の価格変動にさらされている。
- ⑤ 受託業者のリサイクル製品製造工程にかかる処理コスト問題もある。これは、固定コストと生産量に関係した燃料などの変動コストである。後者は価格変動がある。
- ⑥ リサイクル製品の運搬問題とそれを購入する企業Cの業界の需要変動、企業C

のシェア変動に関わる不確実性がある。本稿で議論する飼料の世界では、市場がグローバルな市況商品価格変動にさらされている。またビールの原料も大半が輸入に依拠していて、グローバルな市況に関係している。その意味でリスクが大きくなっている。加えて、エネルギー環境の変化の中でバイオエタノールのような別な領域からの大きな変化により需要構造も大きく変わるというような、新しいリスクファクターも出現している。

III 事業性(リスク・リターン)モデル

本稿では、事業性分析モデル構築において、上記①－⑥に関係したリスクのモデル化をすべて考慮するのではなく、③－⑤の部分のみを扱う。リサイクル事業会社Bが入札により受託するものとして、受託価格は所与とする。リサイクル事業会社Bのリサイクル施設は、ある地域においてひとつだけで、その処理能力に関して最適な収益性を求めるものとする。そこで重要なファクターは、リサイクル委託契約を行ったビール製造工場における廃棄物資源発生量である。これはビールの市場動向と業界のシェア変動に大きく依存する。また、リサイクル会社Bの地域には複数の廃棄物資源排出(ビール)会社の工場が複数あるものとする。

第 n 時点において第 i 工場から排出されるビール粕資源の発生量 X は技術的な関係として

$$X_n(i) = \alpha(i) + \beta(i) \cdot W_n(i) + \varepsilon_n(i)$$

と定式化できる。ここで、説明変数 W は、第 n 時点における第 i 工場のビール系飲料出荷量である。 W は

$$W_n(i) = W_n \cdot \delta_n^1(j(i)) \cdot \delta_n^2(i)$$

で与えられる。ただし、 W_n は業界全体のビールへの需要量、 $\delta_n^1(j(i))$ は第 n 時点における i 工場が属する企業 $j(i)$ の市場シェア、 $\delta_n^2(i)$ は第 n 時点におけるその企業の中での第 i 工場のシェアである。一般に $\{W_n\}$ は時系列モデルや、需要構造モデルによってモデル化される。例えば自己回帰AR(1)モデルを利用する場合、それは

$$W_n = \phi_0 + \phi_1 W_{n-1} + \varepsilon_n \quad \varepsilon_n \sim \text{iid } N(0, \sigma^2)$$

となる。 $\varepsilon_n \sim \text{iid } N(0, \sigma^2)$ は、 $n = 1 \dots N$ に対して互いに独立に同じ正規分布 $N(0, \sigma^2)$

に従うことを示す。

モデルの一般化を想定して、リサイクル事業会社は複数あるとすれば、それを k ($k=1,2,3,\dots,K$)とする。次節以降では分析対象とする企業は $k=1$ 、すなわち $B=B1$

に対してのみ行う。

第 n 時点において第 i 工場から排出されるビール粕資源を第 k 業者へ引渡す量 \tilde{X} は

$$\tilde{X}_n(i, k) = \gamma(i, k) \cdot X_n(i)$$

である。ただし γ は第 k 業者への引渡し率であり

$$\sum_{k=1}^K \gamma(i, k) = 1$$

である。第 n 時点における第 i 工場の廃棄物資源排出コスト

$$Cost(i) = p(i, k) \cdot \tilde{X}_n(i, k) + e \cdot 2d(i, k) \left[\frac{\tilde{X}_n(i, k)}{10_{ton}} \right]$$

と表現される。ただし、 $p(i, k)$ は第 i 工場から第 k リサイクル業者に処理を委託する価格であり、入札で決められる。 e は 10 トントラック当たりの運搬コスト、 $2d(i, k)$ は第 i 工場と第 k 施設の間の距離である。多くのバイオマス資源は水分が多く、ビール事業会社はコストを下げるために、リサイクル会社にそれを渡す前に一定の脱水を行う。変数は脱水後の値とする。

また、 $\left[\frac{\tilde{X}_n(i, k)}{10_{ton}} \right]$ は $\tilde{X}_n(i, k)$ トンを 10 トントラックで運搬するときの車の台数であり、

次の条件を満たす整数である。

$$\frac{\tilde{X}_n(i)}{10_{ton}} \leq \left[\frac{\tilde{X}_n(i)}{10_{ton}} \right] \leq \frac{\tilde{X}_n(i)}{10_{ton}} + 1$$

ただ、この資源排出コストの定式化において、運搬コストに関してはリサイクル事業会社 B の負担として、それを込みの入札価格を決めることも可能である。その場合、上の $Cost(i)$ の式の右辺の第 2 項は、リサイクル事業会社 B のコストとして差し引くことになる。

第 n 時点において第 1 業者が複数個の工場から引取った粕資源の合計は

$$Y_n(1) = \sum_{i=1}^I \tilde{X}_n(i, 1)$$

となる。ここで I は第 1 業者が関係する工場数である。リサイクル製品を製造するうえでのリサイクル施設の制約として、第 n 時点における第 1 業者の引取可能量が処理量

と貯蔵庫のキャパシティとして、1日一定以下 A 以下

$$Y_n(1) / 365 \leq A$$

とする。そして 第 n 時点におけるリサイクル製品(マテリアル原料)

$$Z_n(1) = \theta \cdot Y_n(1)$$

が生産される。ここで θ は技術係数である。もちろんさらに複雑な定式化も可能である。これにより第1企業の粗利益 Π は、リサイクル製品の販売価格を q 、製造コスト $Cost$ とすると

$$\Pi_n(1) = \sum [p(i,1)\tilde{X}_n(i,1)] + q_n(1) \cdot Z_n(1) - Cost(Y_n(1))$$

と表現される。

問題は、各月の引き取り量には季節変動があり、これを自らのキャパシティの中で調整しなくてはならないし、委託・受託契約の中でその点を考慮しないと企業Aに迷惑がかかることになる。これについては4節で議論する。

以上の構造モデルに基づいて、不確実な確率変数を自己回帰時系列ARモデルなどでモデル化し、将来一定期間のキャッシュフローのパスを、モンテカルロシミュレーションにより例えば10,000程度発生させ、それを現在価値化して事業性(リスクリターン)の確率分布を導出する。投資の意思決定など實際上重要となるのは、この事業価値の確率分布である。

事業性を評価する期間を10年とすると、各キャッシュフローパスの現在価値 V_0 は

$$V_0 = \sum_{n=1}^{10} [\Pi_n(1) - b_n(1)] D(n)$$

と表現できる。 $b_n(1)$ は第 n 時点における人件費、税等のマネジメントコストである。割引率 $D(n)$ は将来 n 時点で発生する1円の現在価値(0時点)価値であり、国債の金利の期間構造などから決まる期間 n のスポットレート $r_0(n)$ (年率)を用いて

$$D(n) = (1 + r(n))^{-n}$$

と表現される。スポットレートに基づく金利の期間構造を割引率として用いることは、金融工学的無裁定価格理論から見ても自然である。その場合、キャッシュが発生する時点に依存して割引率が異なる。期間構造は0時点で与えられているから、0時点割引関数は所与であり、上の現在価値評価は可能となる。割引率の中のスポットレ

一 $r_0(n)$ にリスクプレミアムを上乗せしない。そもそもリスクはキャッシュフロー自体が変動することであり、それを直接的にモデル化するのであるから、本稿のモデルはその変動性がリスクとして表現されるモデルとなっている。

その結果、パスの数だけの現在価値が得られる。

$$NPV_0(s) \quad (s=1 \cdots 10,000)$$

これをヒストグラムとして表現したものが事業価値の確率分布となる。そしてその平均値や分散

$$\overline{NPV_0} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S NPV_0(s)$$

$$SD_{NPV}^2 = Var_{NPV} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S (NPV_0(s) - \overline{NPV_0})^2$$

などによって、リスクリターンの構造を把握し、意思決定の情報とする。SD は標準偏差である。

投資分析では、事業遂行に必要な 10 年間の総投資額の現在価値 I_0 は

$$I_0 = \sum_{n=1}^{10} I_n D(n)$$

となる。したがって、リスクを考慮せずに投資価値を上記平均事業価値 $\overline{NPV_0}$ とみなす場合、伝統的な投資分析では必要な投資額 I_0 と比較して、

$$V_0 = \overline{NPV_0} - I_0$$

が正のとき投資をすることになる。他方、リスクを考慮する場合、リスク測度として標準偏差などを用いてその一定倍をこの右辺からさらに差し引き、それが正となる場合投資をするという基準も利用される。

$$V = \overline{NPV_0} - I_0 - cSD_{NPV}$$

3 ビール粕のマテリアル・リサイクル事業

3.1 ビール業界と CSR

ビール醸造業は、主要大手企業が 90%以上のシェアを占める成熟産業である。市場は既に飽和状態であり、各ビール会社は類似商品を次から次へと開発することで熾烈な競争をし、シェアの奪い合いをしている。さらにビール会社は、一般消費者が、最大のステークホルダーであるため、市場の進化に対して、常に対応して行かなければならない。

その中でも重要な対応は、品質保証とコーポレートガバナンス(企業倫理)、環境に

対するステークホルダーからの要求である。食品会社として、まずは市場と直接的に関係したリスクファクターは「安全」「安心」にかかる品質保証であるが、一般消費者に対する環境などCSR問題も大きい。特に環境への取り組みは、品質保証の観点から鑑みても、原料資源の源流(農産物)に直接に直結しているため、その重要性は高い位置付けにあらう。さらには法的規制としても、平成13年5月に「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」(以下食品リサイクル法)が施行され、生産・流通・消費の各段階で、食品廃棄物資源の発生抑制・再生利用・減量を推進している。

ビールの製造麦汁濾過プロセスの過程で、製品ビールの約13%がビール粕となる。業界全体での発生規模は90万トン／年間以上に上ると推計される。しかし、現在の廃棄物資源は工場内で有効利用する手段はほとんどなく、ほぼ全量を外部業者に有機質飼料等のマテリアル・リサイクルや、ガス化などサーマル・リサイクルとして委託処分している。

3.2 リスク要因

1) CSRプレミアム＝バイオマス廃棄物資源処理委託料価格変動リスク

ビールの場合、主要なビール会社は、全国規模の大企業である。リサイクル資源廃棄物資源の処理委託料は、工場立地に関係し、加えて地域の経済要因に依存して地域によって異なる。

CSR戦略をとる企業Aが排出物の委託を決定するときの絶対条件は、リサイクルが確実に行われることである。しかし、一般に適切な廃棄物資源のリサイクルを、適正な価格で処理できる業者は少ない。また運搬コストとの関係から地域性が強くなり、価格は全国的な水準で市場性があるわけではなく、その地域による業者との相対による価格形成が支配的である。廃棄物資源処理委託料金は、2、3社による毎年の入札により決定されるため、企業Bにとって常に受託価格下落リスクが存在する。

2) 受託廃棄物資源量変動リスク

ビールは成熟性が認められる商品である。固定市場が確立されており、大きな変動要素はもたないが、熾烈な新商品開発競争の中でブランドシフトが絶えずおきている。そのためビール業界のシェア変動がおこり、廃棄物資源処理委託契約を締結した工場の商品シェアが落ち込んだ場合、生産ラインの変更により廃棄物資源の発生量が急激に減少するリスクが存在する。

一般に、リサイクル企業は多くが中小企業であり、デフォルトリスクやコンプライアンスから逸脱したことによる操業停止等のトラブルを避けるために、ビール工場では、排出物の委託契約を行う場合、2～3社と契約を締結する。多くの場合、リサイクル企業各社ごとへの委託比率は、一定の条件を満たしている限り、一番安

価な企業に多くの割合を与える契約を締結している。契約は毎年の随時契約であり、価格は入札による決定である。委託量比率の決定はビール企業側のオプションである。委託料金と委託量は線形関係にあるが、地域性(立地)や工場の生産量の変動等、複雑な要素を含んでいる。

さらに、ビール業界の競争の熾烈さから、工場の統廃合なども進むので、リサイクル業者はこのリスクに注意が必要である。ひとつの工場のみとの契約では、これがおきたときの損失は甚大なものになる。最近の例では、07年にサッポロビールの兵庫県のビール工場の廃止が報道されていた。

3) 運搬費用変動リスク

工場から処理施設までの運搬はトラック 10t車を主に用いる。容積は約 20m³である。ビール粕は水分含有量が 78~80%であるため、取扱い運搬に不便かつ処理委託コストがかかるため、ほとんどのビール製造工場で脱水機を用いて水分含有量を 65~70%程度に脱水して委託している。運搬費用は廃棄物資源排出会社のコストであるので、リサイクル業者にとって、その分を考慮して廃棄物資源受託料金を入札する。入札においてそれを含めた入札価格の設定をする場合、それはリサイクル業者の重要なコストファクターである。運搬費用は運搬量の変動、距離、燃料の価格変動に依存する。よって、マテリアル・リサイクルプラント(付録1にあるように、メタン発酵、堆肥化、飼料)の設置場所と、工場との距離に制限がある。現段階ではいろいろな問題から 100km 圏内を制限としている。

4) リサイクル製品の販売価格の変動リスク

ビール廃棄物資源は、リサイクルプラントで豚や牛の飼料や堆肥あるいはガスなどに変換される。本稿では主として、飼料へのリサイクルを中心として議論するが、堆肥化、メタン発酵なども排除するものではない。本稿でのこの部分のモデル化は、データの問題のためこの部分には立ち入らず、今後の研究課題とする。

飼料業界は、グローバルな業界であるが、飼料全体としての需要量は大きな変動がない成熟産業である。しかし、飼料の内容としては、エタノール変換のためのとうもろこし需要の上昇により、輸入飼料の価格は上昇しているため、飼料間の相対価格変動は今後さらに広がるものと考えられる。このように、飼料業界における価格はグローバルな市況商品としての農産物価格に依存している。したがって、この変動リスクを考慮に入れると、リサイクル会社の選択としてはメタン発酵など、状況に応じた切替オプションをもったプラントなどの対応も求められていく。

5) リサイクル製品が飼料の場合の販売量変動リスク

リサイクル製品がある飼料の場合は、他の飼料と混合され、混合飼料として販売される。飼料の需給構造については、国内における飼料の総供給量は年間 27 百万トン、このうち国内産原料によるものは 2.8 百万トン(全体の 1 割)となっている。畜種別にみた配合飼料の生産量は養鶏用が 10 百万トン、養豚用が 6 百万トン、乳牛・肉牛用が 7 百万トンとなっている。

6) 飼料の価格の変動リスク

飼料の価格は、配合飼料原料のほとんどが外国産であるため、穀物相場などにより大きく変動する場合があるが、ここ数年の配合飼料の価格は、工場渡価格で 1 トンあたり 3 万～4 万 6 千円である。しかし、とうもろこしなどがエタノール生産に利用され、価格変動性が大きくなっている。ここでの分析は、このリスクを取り扱っていない。

なお、畜産物生産費全体に占める飼料費(牧草などの粗飼料を除いた飼料費)の割合は豚が 61%、採卵鶏が 54%、ブロイラーが 64%とかなりウェイトが高い。ビール製造工場は委託した飼料製造事業者Bにビール粕を委託する。飼料製造事業者はビール粕を飼料原料にリサイクルし、直接的に農家または全農に販売する。

一般的に畜産農家は、配合飼料メーカー(または全農)から飼料卸問屋、販売店(または地元 JA)を経由して(配合)飼料の供給を受けている。

7) リサイクル製品運搬コスト変動リスク

運搬は 10t 車を主に用いる。容積は約 20m³ であり、その運搬コストが大きい。運搬費用は製品販売価格を決定するにあたり、重要なファクターである。運搬費用が変動するリスクは運搬量、距離であり、燃料の価格変動である。販売先を増やすことでリスク分散する必要も考慮する必要がある。

8) リサイクル製品の品質確保リスク

リサイクル製品は現状の製品と同等以上の製品でないと販売することができない。よって、事業が成立するには品質が重要な要素となる。

9) リサイクル製品の生産率(稼働コスト)変動リスク

品質の確保が絶対条件であるが、生産効率との関係を意識する必要もある。コスト面を鑑みた場合、生産量の向上が重要である。また、生産を行うにあたり、ガスやと電力を用いることから、その変動リスクも考慮しなければならない。

10) プラント設備故障リスク

処理プラント設備の故障は常に付きまとう。十分な予防保全が必要であるが、突

発的な故障による事業影響評価も大きく考慮していかなければならない。故障の場合でも契約上ビール粕を引き取る必要があるので、その場合の事業継続計画を前もって立てておく必要がある。

3.3 事業モデルの構造

事業性(リターン・リスク)評価モデルの構築のために、事業モデルの前提と内容について議論する。事業性評価モデルは、ビール製造工場からの廃棄ビール粕を引取り、リサイクル製品にして販売する事業を上述べた不確実性を考慮した評価モデルである。リサイクル処理されたビール粕はバイオマス資源として確実にリサイクルされ販売される事業スキームをもつ。本稿で考察する事業スキームを図2に示す。

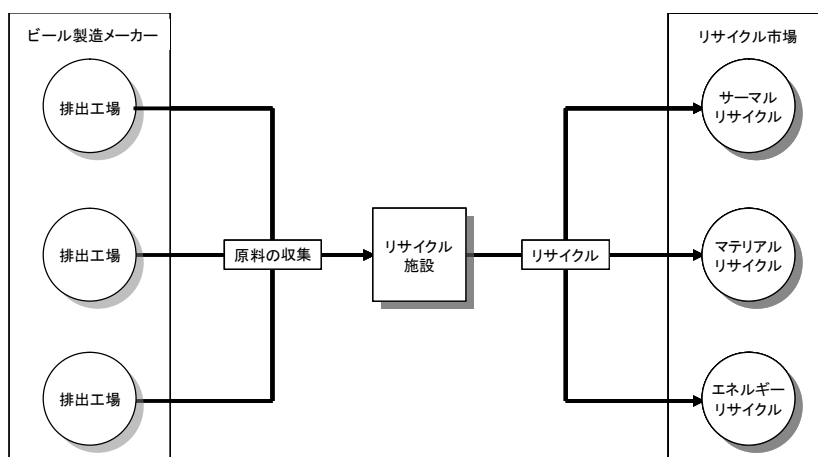


図2 事業スキームのモデル化

本事業スキームについての前提

- 1) リサイクル施設を持つリサイクル事業会社B1は、4つのビール工場とビール粕のリサイクル委託契約を締結する。図の中のビール工場は同一のビール会社の工場とは限らない。本稿での分析は、ビールの需要変動ビール会社のシェア変動の不確実性の事業性への影響を分析することを目的にする。また施設のキャパシティとビール需要の季節変動の関係を考察する。したがって、入札に関する不確実性はないものとする。
- 2) リサイクル施設は処理能力が1日あたり100トンであるが、1ヶ月間全体としてはその設備稼働率を130%まで上昇可能で、処理能力1日100トン以下に対して特定な1ヶ月間は1日130トンまで処理能力をあげることができる。しかし、技術的な問題リサイクルに関する品質等の問題から、2ヶ月連続して1日100トン能力以上に稼働率を上昇させることはできない。

- 3) 現状、ビール工場では委託契約を行う場合、2~3社と契約する。その理由は、リサイクル業者施設は多くが中小企業であり、デフォルトリスクやコンプライアンスから逸脱したことによる操業停止等のトラブルを避けるためである。各社ごとの委託比率はリサイクルが確実に行われていることを条件とし、一番安価な企業B1に80%の廃棄量を委託する契約をするものとし、価格は入札により決定する。本稿では、1)の過程によってこの入札価格はB1が提案したものである。すなわち、このモデルは、入札価格をパラメータとして事業性を見るものである。
- 4) 運搬コストと時間コストは、距離に比例的に依存する。運搬コストは10トントラック1kmあたり400円と想定する。リサイクル事業会社が入札に勝ち、キャッシュフローを最大化するためにはビール製造工場との距離が近く、その距離の優位性を利用した結果として、委託料金が低い工場を選択することが求められる。本稿では、入札問題はなく、リサイクル業者B1から見て、仮説的に表1のビール製造工場の粕の量とリサイクル施設の距離を前提にする。

項目	単位	第1工場	第2工場	第3工場	第4工場
工場シェア	%	30%	20%	25%	11%
年間廃棄量	t/年	28,519	19,013	29,425	39,837
運搬距離	km	90	95	122	185

表1 想定するリサイクル事業会社と工場の関係

- 5) ビール製造工場からのビール粕の廃棄量はビール生産量に比例した季節変動があり、リサイクル施設はその季節変動に柔軟に対応しなければならない。図3は実際のビール系飲料の月別平均出荷量推移である。(ビール酒造組合)

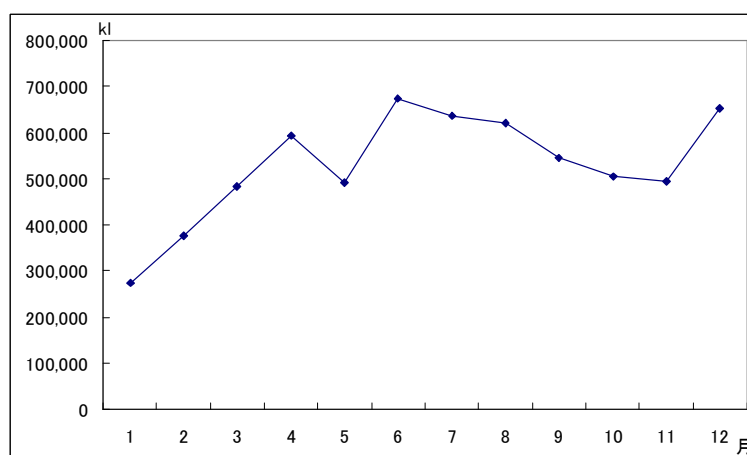


図3 実際のビール系飲料の月別平均出荷量推移

ビール系飲料業界では夏と冬の需要に合わせ、6月と12月にマーケティング攻勢があることから、6月と12月がピークとなる。市場に十分供給されたあとの1月がボトムとなる。リサイクル事業会社Bは契約を締結する際、季節変動に柔軟に対応するため、リサイクル施設の処理能力を鑑みながら確実に引き受け可能な量を契約する必要がある。

6)リサイクル製品(ここでは混合飼料の原料)は生産しただけ販売先に売却できるものと仮定する。ビール粕による飼料の場合、農協などが販売先となる。

以上の前提の下にリスク・リターン収益構造を分析するために、リサイクル事業会社B1のリスクにさらされる将来キャッシュフローをモデル化する。

将来シナリオとしての確率的なキャッシュフローパスは、モデルに基づいてモンテカルロシミュレーションにより発生され、各パスは収益還元法により現在価値評価され、パス全体としてのリスク・リターンの構造が確率分布として表現される。その確率分布の平均値が期待されるリターンであり、そこからの下方変動がリスクとして認識される。この分布の記述によって事業会社B1のキャッシュフローのリスク分析が可能となる。

図4には、例として、リサイクル施設がビール製造工場からビール粕を引き取った引き取り量の総和のサンプルパスである。10年間の引き取り量の傾向を示すため、単純化し50個のパスによるグラフを示した。

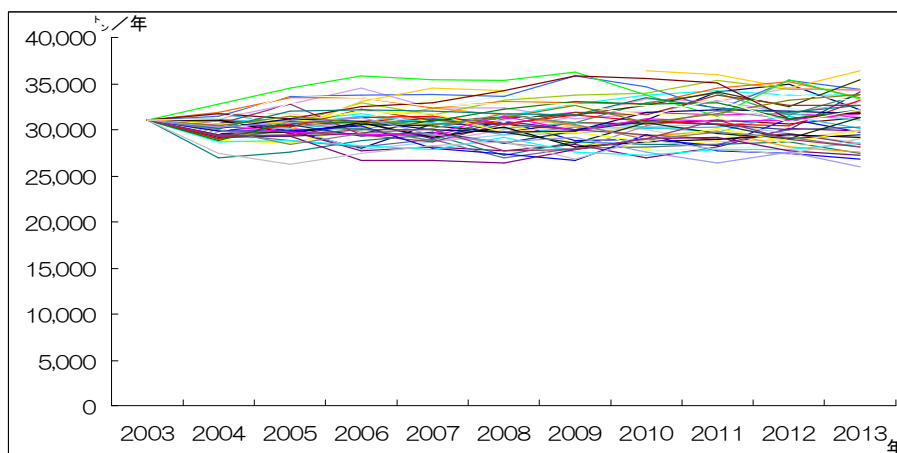


図4 将来の取引量の変動のパス(モンテカルロシミュレーション)

また、リサイクル施設の制約条件下において廃棄物資源発生量の季節変動リスクに対し、キャッシュフローの最大化については事業モデルの設定値から議論する。

3.4 分析モデルの定式化

2節の議論にしたがって、キャッシュフローの変動をモデル化するために、記号を導入する。分析時間単位は年単位として、時点を $n = 0, 1, 2, \dots, N$ とする。時点 n は 0 時点から見て n 年になる。実際のデータ場合、 $n=0$ は 2003 年で、2004 年からの 10 年間でシミュレーションの期間となる。なお、企業 1 はサントリー、企業 2 はサッポロ、企業 3 はアサヒである。

(1) 工場の廃棄物資源発生量

直接的に事業会社 B1 のキャッシュフローに影響する重要なリスクファクターは、複数のビール工場からのビール粕引受け量の変動リスクである。それは、次の 2 つに依存する。

A) ビール業界の市場全体における出荷量の変動

B) ビール粕の委託契約を結んだビール会社のシェアの変動

リサイクル会社から見た場合、これらはビール会社側の市場変動リスクの影響である。これらの変動の廃棄物資源量の変動として次のように定式化する。

① ビール会社の各工場からの廃棄物資源の変動

1.1) 工場のビール出荷量

第 n 時点でのビール会社 j における第 i 工場のビール系飲料出荷量を

$$(3.1) \quad W_n(i) = W_n \cdot \delta_n^1(j(i)) \cdot \delta_n^2(i)$$

で表す。ただし、 W_n は第 n 時点におけるビール市場全体のビール系飲料の出荷量とする。さらに、 $\delta_n^1(j(i))$ は第 n 時点における第 i 工場が属するビール企業 $j(i)$ のビール系飲料シェアとし、 $\delta_n^2(i)$ はビール企業 $j(i)$ のなかで第 i 工場のビール系飲料のシェアとし、以下の分析モデルでは一定と仮定する。

1.2) 市場全体の需要量変動モデル

第 i 工場の将来集荷量を予測するためには市場全体の需要量 $\{W_n\}$ を予測する必要がある。大まかな数字による事業性の分析をするために、市場におけるビール系飲料出荷量の 40 年間のデータから AR(1) モデルを用いる。

第 n 時点におけるビールの出荷量を W_n とおく。

$$(3.2) \quad \text{AR}(1) \quad w_n = \phi_0 + \phi_1 w_{n-1} + \varepsilon_n \quad (n = 2 \dots 20)$$

ここで ϕ は任意の定数であり AR モデルのパラメータである。ビール市場におけるビール系飲料出荷量であるが、ビール酒造組合から公表されているビール系飲料市場動

向から、過去 40 年間のビール市場におけるビール系飲料出荷量データをもとに、AR(1)自己回帰モデルによって定式化した。すでに述べたように、 $n=0$ は 2003 年で、2004 年からの 10 年間はシミュレーションの期間となる。

ビール市場ビール系飲料出荷量 AR(1)モデルにおける分析結果は

切片 $\phi_0 = 348321.9 (3.21)$ 係数 $\phi_1 = 0.9534 (47.6)$
 補正決定係数 = 0.9835 標準誤差 = 216004.0

である。そこで、 $\varepsilon_n \sim \text{iid } N(0, 216004^2)$ の乱数を発生させ、将来の需要量のパスを作ることができる。

1.3) 各ビール会社のシェア変動

廃棄物資源の発生量のもうひとつの不確実性として企業シェアがある。

2003 年の企業シェアはサントリー(企業 1)が 11%、サッポロ(企業 2)が 13%、アサヒ(企業 3)が 40%となっている。また、対象工場は想定するリサイクル施設から直近の 4 工場を選択し、サントリー利根川工場(工場シェア 30%)、サントリー武蔵野工場(20%)、サッポロ群馬工場(25%)、アサヒ茨城工場(11%)とした。()の中の企業内の工場シェアについては、規模を想定し、設定した。

対象とするビール企業のシェアは以下のように推移している。

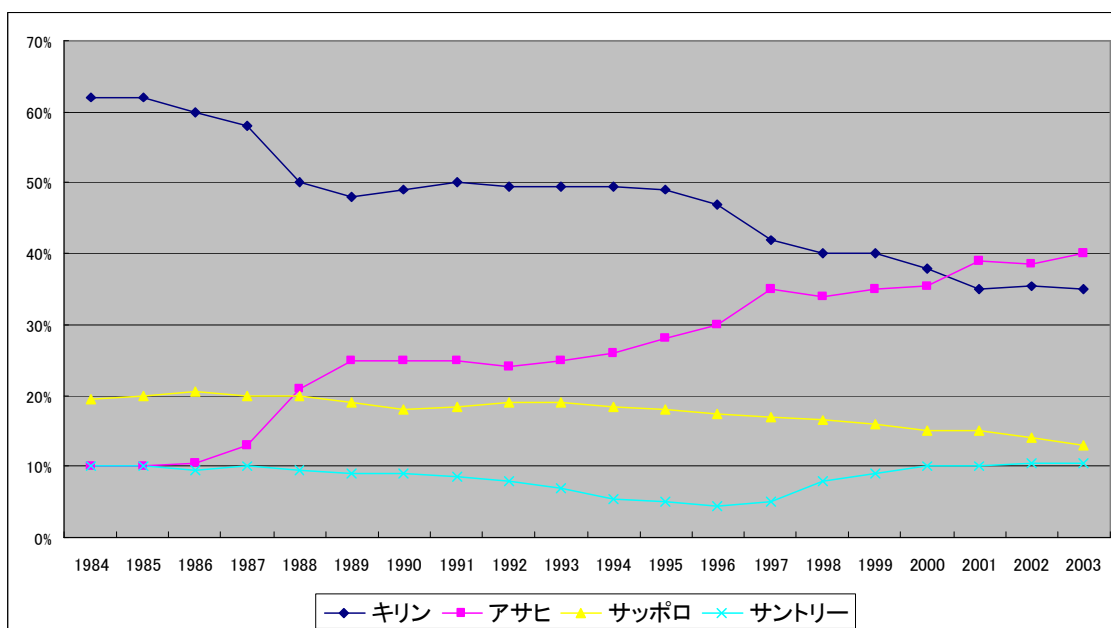


図 5 ビール会社のシェアの変動

企業シェアは企業の競争環境においてお互いに相関関係性があるが、本論文では分析を簡単化するために将来の企業シェアの推移は独立したシナリオを与えることとした。

これは過去のデータに依存した線形回帰によって将来のシェアパラメータを与えることとする。

$$(3.3) \quad \delta_n^1(j) = \alpha + \beta n + \varepsilon_n \quad \varepsilon_n \sim \text{iid } N(0, \sigma^2)$$

表2についてこの結果を載せている。第1企業についてはこのモデルが当てはまらない。企業2(サッポロ)と企業3(アサヒ)についてはモデルはよく適合している。企業1(サントリー)のシェアモデルの定数は8.8%で、標準誤差が2%であるので、ほぼこの定数モデルにしたがっているとみなすことができよう。ただし、シェアはゆっくりと変動するので時系列的に独立的ではない。2次以上の多項式モデルをフィットすることも考えられるが、それを将来に外挿することは適当でないと判断される。以下のシミュレーションでは、回帰係数はきわめて小さいのでその影響は小さいと見てこのモデルで行うことにする。

	定数	係数	標準誤差	補正決定係数
企業1	0.088 (9.39)	0.0004 (-0.46)	0.0201	0.0114
企業2	0.213 (58.9)	-0.00342 (-11.35)	0.0077	0.871
企業3	0.0975 (8.1)	0.01592 (15.8)	0.0260	0.923

表2 シェアの回帰分析

1.4)工場の廃棄物資源発生量

第 n 時点でのビール企業 j における第 i 工場のビール粕の発生量を

$$(3.4) \quad X_n(i) = \xi(j(i)) \cdot W_n(i)$$

で表す。 $\xi(j(i))$ はビール企業 j のビール系飲料出荷量に比例する第 i 工場から出るビール粕の割合である。大室・大口・林・林(1998)「累積 CO2 排出原単位を評価指標とするビール工場のライフサイクルアセスメント」によるとビール粕の発生率は生産量の13%である。したがって $\xi(j(i))$ の値としてこれを利用する。

②事業会社Bの引取量と収益

2.1) 事業会社Bの工場からの引取量

第 n 時点において第 i 工場からビール粕引取量を $\tilde{X}_n(i)$ とし、

$$(3.5) \quad \tilde{X}_n(i) = \gamma(i) \cdot X_n(i)$$

で表す。ここで、 $\gamma(i)$ は第 i 工場からのビール粕の引取率とする。これは契約によって決定される。

2.2) 引取による収益

第 n 時点において第 i 工場からビール粕を引き取った際のリサイクル事業会社の引取収益を $\Pi_n^1(i)$ とおくと

$$(3.6) \quad \Pi_n^1(i) = p(i) \cdot \tilde{X}_n(i) - e \cdot 2d(i) \left[\frac{\tilde{X}_n(i)}{10_{\text{ton}}} \right]$$

と表すことができる。ここで、 $p(i)$ は第 i 工場がビール粕をリサイクルするために支払うトン当たりのコストであり、一般には入札で決まる。本稿では、入札の不確実性はないと仮定しており、所与として仮定する。この価格をパラメータ化することで、それを変えた場合のリスク・リターン分析ができ、入札への戦略も考察できる。実際のシミュレーションでは、受託料を1kg13円と想定している。また運搬コスト e は10トントラック・1km400円を想定している。

さらに、 $e \cdot 2d(i) \left[\frac{\tilde{X}_n(i)}{10_{\text{ton}}} \right]$ は第 i 工場からビール粕を10トン車で運搬するために必要

なコストである。 e を1km当りの運搬単価、 $2d(i)$ を第 i 工場からリサイクル施設までを往復し運搬する距離とする。(4.4)の定式化では、運搬費用はリサイクル事業会社負担としている。

よって、上記(2.2)(2.3)式よりリサイクル施設の第 n 時点での引取額の総額は

$$(3.7) \quad \Pi_n^1 = \sum_{i=1}^4 \Pi_n^1(i)$$

と表すことができる。

③事業会社Bのリサイクル製品販売による収益

3.1) リサイクル量

第 n 時点においてビール粕原料を基にしたリサイクル製品生産量を Y_n とおくと

$$(3.8) \quad Y_n = g \cdot \left[\sum_{i=1}^k \tilde{X}_n(i) \right] \quad (k=1, \dots, 4)$$

と表すことができる。ここで g はリサイクル施設によって確実にリサイクルされる技術定数である。

3.2)リサイクル製品による収益

第 n 時点においてリサイクルを行うことによる収益 Π_n^2 は

$$(3.9) \quad \Pi_n^2 = Y_n \cdot (q - Cost)$$

と表される。ここで q はリサイクルによる売上単価であり、 $Cost$ はリサイクルにかかるコスト単価を表す。 q 、 $Cost$ は確実にリサイクルできる事業モデルを課題としていることから定額とする。

④ 事業収益

本事業モデルにおける事業収益は上記(2.4)(3.2)式の合計値となり(4.1)式のように表すことができる。

$$(3.10) \quad \Pi_n = \Pi_n^1 + \Pi_n^2$$

以上の議論によって、本事業モデルのキャッシュフローはビール工場から発生するビール粕の量に依存していることがわかる。

事業性の確率分布

上に記述したモデルの下に、(3.7)の利益をモンテカルロシミュレーションにより、導出する。企業1(サントリー)の工場1(利根川工場)、工場2(武蔵野工場)、企業2(サッポロ)の工場3(群馬工場)、企業3(アサヒ)の工場4(茨城工場)とそれらの工場のシェア、ならびに当該設定リサイクル企業の工場への距離は表1のとおり。また、このリサイクル処理会社は1年単位で各工場からの排出量の引取率を

工場1 $\gamma(1) = 80\%$ 、工場2 $\gamma(2) = 30\%$ 、工場3 $\gamma(3) = 0\%$ 、工場4 $\gamma(4) = 0\%$ 。

と想定する。この想定は、実はプラントの処理能力と関係する。この処理能力は各月のビール出荷量の年間平均で見たものの中でのひとつの最適値である。次節で議論するように排出量には季節変動があるため、引取率が年間通して固定される限り、月の中での最大排出量を前提に引き取り率を決定せざるを得ない。その場合、処理能力に余裕ができる月では、責任ある処理の対応をした結果であるが、利益機会を逃すことになる。分析は2003年までのデータで2004年以降10年間のシミュレーションに基づく。

事業性評価の前提としては、初期投資額を含めない。ランニングコストは定率、税

等を差し引くものとする。詳細はスプレッドシート参照されたい。利益キャッシュフロー評価期間は 10 年である。プラント寿命に対応するものと想定する。10 トントラック1km 運搬費用は 400 円である。当該リサイクル施設は、工場 1 から廃棄物資源の80%、工場 2 からは 20%引き取る。リサイクル受託料は1kg13 円とし、現在価値を求めるスポットレートを 3.0%フラットと設定し、利益キャッシュフローの現在価値の確率分布を導出する。不確実な将来のキャッシュフローの現在価値 NPV の確率分布を求めたのが図 6 である。数字の単位は 1,000 円である。

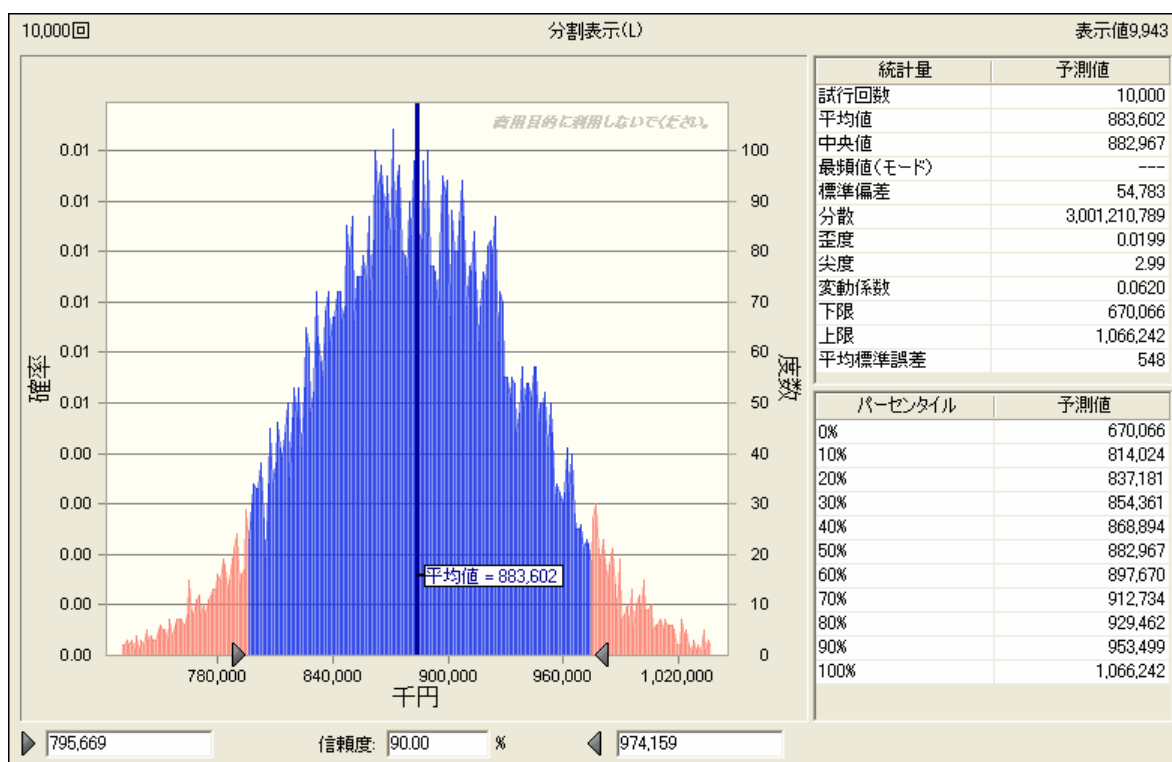


図6 利益キャッシュフローの NPV 確率分布と特性値。この図は、パスの数 10,000 個の下に作られており分布の特性値は次のとおり(金額の値は単位千円)。

この結果から見る限り、確率分布の形状は、ほぼ対称で正規分布で近似できる。

1kg13 円で落札でき、それが 10 年継続できると仮定すると、NPV から利益の平均値は8億8千万円程度である。また標準偏差は5千 5 百万円で、90%の信頼区間は [7 億 9 千 5 百万円、9 億 7 千 4 百万円]である。問題はプラントのための初期投資のコストである。それが仮に 10 億であれば、A から B への委託料だけでは平均水準で見ると1億2千万円程度赤字になる。この場合、正の利益が出る確率は5%程度に過ぎない。8 億円であると一応利益平均値は約8千万円となる。負になる確率は約 8%である。もちろんこれは企業 A から企業 B への委託手数料のみに基づく分析であ

るから、B から C への製品売却の利益があるので直ちにこの結果ら事業性がないとは言いきれない。

本稿では、マテリアルリサイクルによる B から C への製品売却による利益分析は行わないので最終結果はこの段階で結論できないが、この製品からの利益とプラント価格によることがわかる。

4 廃棄物資源発生量の季節変動に対する受託量の最適化

3 節で述べたように、ビール粕の廃棄量はビール生産量に線形的に依存するので、ビール需要の季節性の変動が直接的にビール粕の量にあらわれる。リサイクル事業会社Bは自らの施設のリサイクル生産能力の制約のもとでその季節変動に柔軟に対応しなければならない。

まず前節で前提したキャパシティ問題を整理しておく。リサイクル施設は処理能力が1日あたり100トンである。その結果各月のキャパシティは、3045トンである。しかし、1ヶ月間だけとればその設備稼働率を130%(130トン/日)まで上昇可能で、その場合その1ヶ月間に限れば、キャパシティは3,954トンとなるが、それを2ヶ月は継続できない。キャパシティをオーバーした翌月には3042トン以下であることが必要である。

リサイクル事業会社Bは、その季節変動と施設のキャパシティ制約の関係を理解して、4工場に対して、具体的な引き受け率を設定し、ビール粕の受託契約を締結する。当然のことながら、そこではキャッシュフローを最大化する最適な引取り量を導出することが重要となる。すなわち、キャパシティ制約のもとに事業キャッシュフローの現在価値 Π_t^1 を最大化するように、各工場との引取量の最適設定を図る。以下ではこの問題を議論する。その最適化は、契約の問題もあり、またモデルの限界もあることから全体的に見た大まかな設定に基づくものである。

4.1 最適な引取率の選択

まず、次の表の中の工場シェアはそのビール製造工場が属するビール企業の中でのシェアである。運搬距離の順に工場を並べてあり、リサイクル事業会社Bにとって入札に有利な順となる。すでに仮定したように入札問題はないとし、必要ならばBは第1、2工場とも80%受託の契約を取れるものとする。しかし、事業会社AだけでなくBの立場からも一定の委託・受託契約をしておいたほうがリスクの分散化ができると考えている。

項目	単位	第1工場	第2工場	第3工場	第4工場
工場シェア	%	30%	20%	25%	11%
年間廃棄量	t/年	28,519	19,013	29,425	39,837
運搬距離	km	90	95	122	185

表3 ビール製造工場設定条件データ

4工場からの工場別ビール粕の年間発生量変動推移を図7の推移を示している。すでに述べたように、室山・大口・林・林(2002)によって粕の発生量は製品の13%であるとする。このデータは平均的な値で、仮説的な部分がある。以下では、この数値に基づく議論をして、年ごとの季節変動の不確実性を排除してある。すなわち平均的な議論をすることになる。

設定した条件から、第*i*工場から第*n*時点において廃棄物資源引取りから発生する収益 $\Pi_n^1(i)$ の大きさは、距離の近い順になるものとする。この収益順位により契約における引取率 $\gamma(i)$ が調整される。

さて、第*n*時点におけるビール粕の引取り量 $\tilde{X}_n(i)$ を高順位から4工場に対して積み上げていき各月の最大受け入れ量は、1日130トンで1ヶ月間3,954トンとなるが、それに隣接した月では1日100トン、1ヶ月間3,042トンとなることが要求されている。ここではこの条件のもとに、シミュレーションを通して数値的に最適化する。

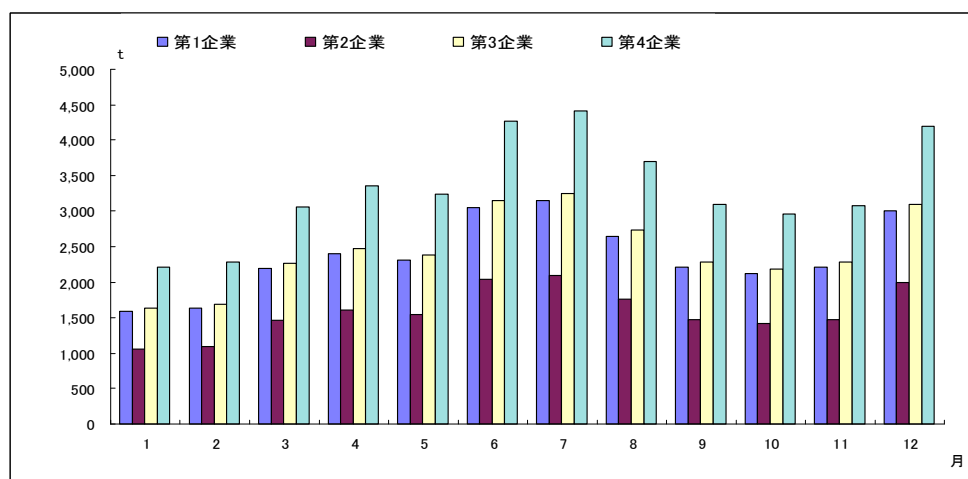


図7 工場別ビール粕年間発生量推移グラフ

設定1) (80,80,10,10) : 表3の結果により、第1工場を引取率 $\gamma(1) = 80\%$ 、第2工場を引取率 $\gamma(2) = 80\%$ 、第3工場を引取率 $\gamma(3) = 10\%$ 、第4工場を引取率 $\gamma(4) = 10\%$ と設定する。この条件のもとに4工場の引き取り量の合計を

$$(4.1) \quad \tilde{X}_n^1 = \gamma(1) \cdot X_n(1) + \gamma(2) \cdot X_n(2) + \gamma(3) \cdot X_n(3) + \gamma(4) \cdot X_n(4)$$

とおく。図7はこの設定の下での状況を表現してある。図 7a のグラフが4つの工場からの引き受け量の合計となる。明らかにこの場合、最大キャパシティ 3,954 トン/月以上の引取り量となってしまう。

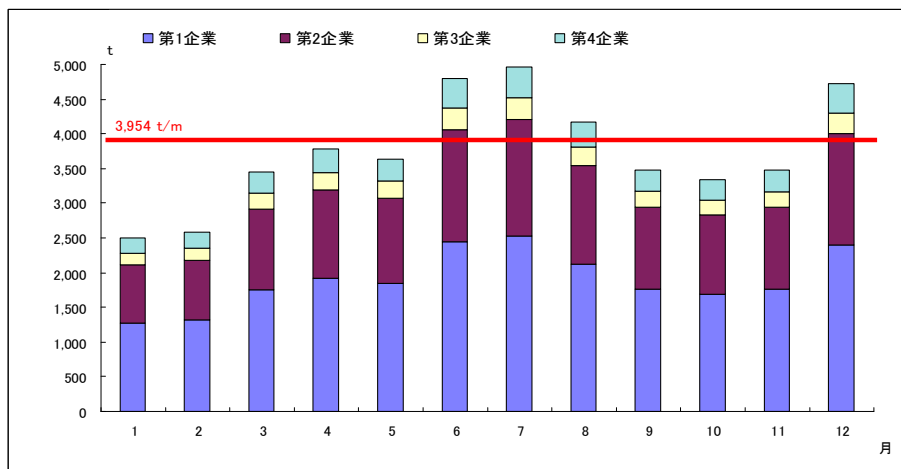


図 7a(4.1)式 積み上げ量年間推移

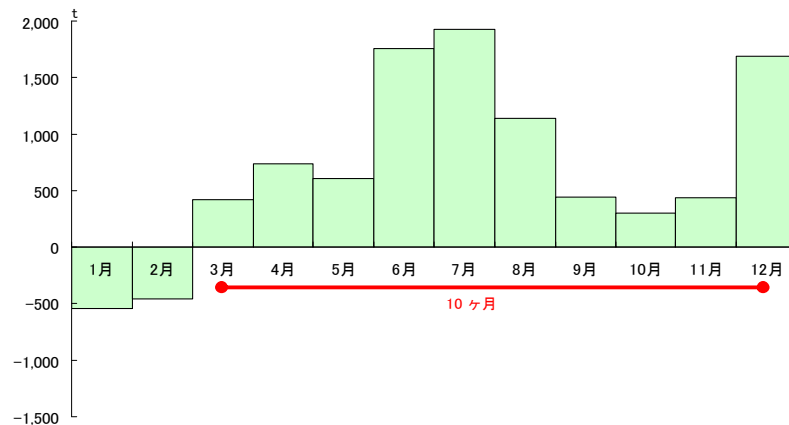


図 7b リサイクル施設余裕量年間推移グラフ

図 7b は、1日あたり100トン、1ヶ月3042トンとしたときの水準からの乖離として、超過分、不足分として描いたものである。0 以下の月はその面積分リサイクル施設に余裕があることを示し、0 以上の月はグラフの面積分について処理能力以上で稼働しなければならないことを示す。このグラフを見ても分かるように、10ヶ月連続して 130%

以上の引取量となってしまうため \tilde{X}_n^1 は適さないことが確認された。

設定2) (80,10,0,0) 第1工場を引取率 $\gamma(1) = 80\%$ 、第2工場を引取率 $\gamma(2) = 10\%$ 、第3工場を引取率 $\gamma(3) = 0\%$ 、第4工場を引取率 $\gamma(4) = 0\%$ と設定する。この場合、図8aにあるように、4工場積み上げ量 \tilde{X}_n^2 は上限制約(3,954 トン/月)を満たす。

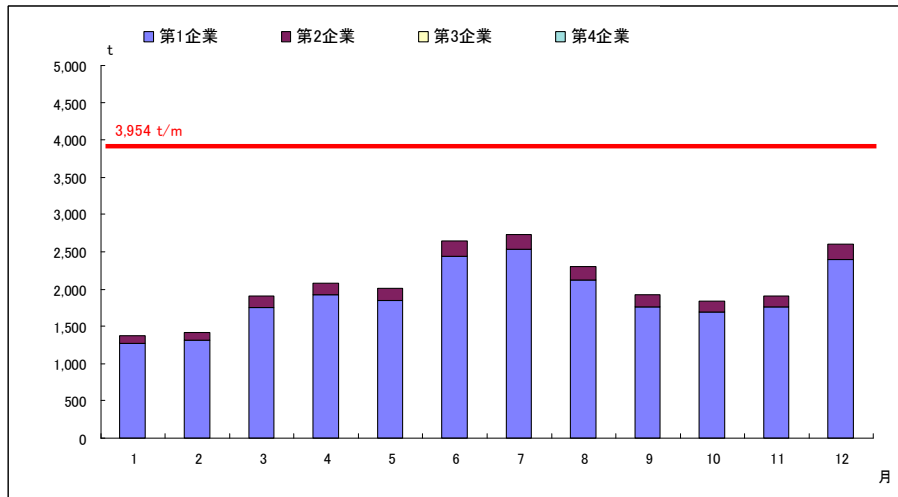


図 8a (4.1)式 積み上げ量年間推移

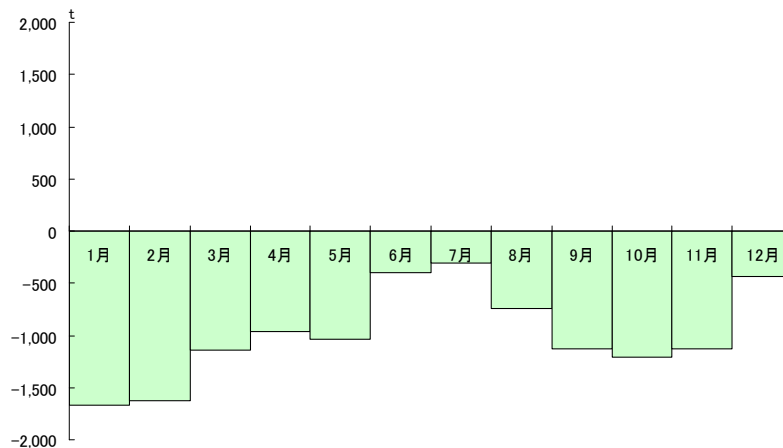


図 8b リサイクル施設余裕量年間推移グラフ

図 8b のグラフを見ても分かるように、引取量に大幅に余裕があるため \tilde{X}_n^2 では収益性に乏しい結果であると推測することができる。

設定3) (80,14,10,0) 第1工場を引取率 $\gamma(1) = 80\%$ 、第2工場を引取率 $\gamma(2) = 14\%$ 、第3工場を引取率 $\gamma(3) = 10\%$ 、第4工場を引取率 $\gamma(4) = 0\%$ と設定する。この場合の

積み上げ量 \tilde{X}_n^3 は 上限制約 (3,954 トン/月) を満たす。加えて、連続する月では下限 (3045トン) 以下である。実際、7月のみがこの水準を超える。

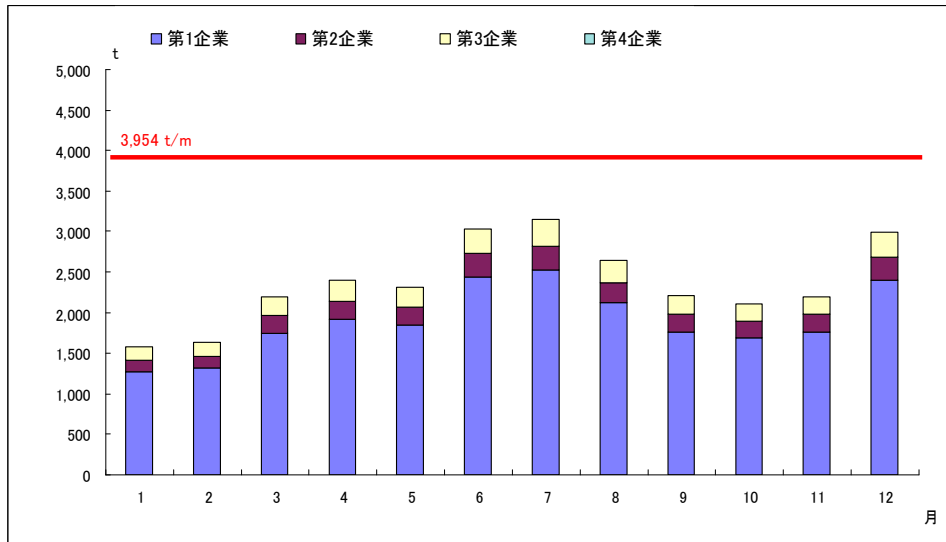


図 9a (4.1)式 積み上げ量年間推移

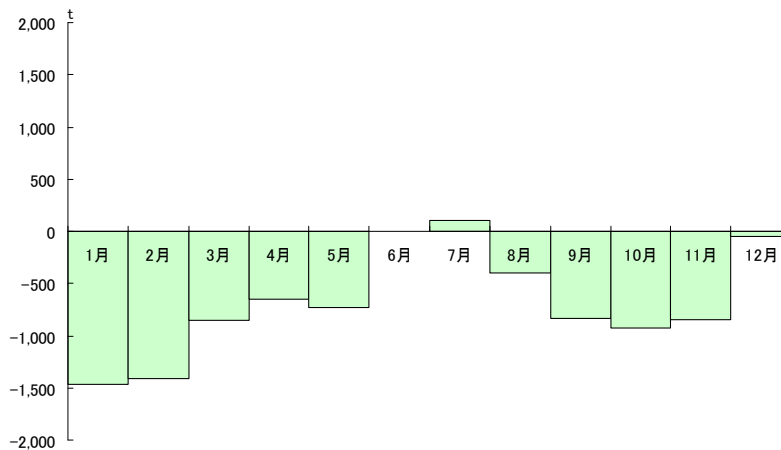


図 9b リサイクル施設余裕量年間推移グラフ

設定4) (80,30,0,0) 第 1 工場を引取率 $\gamma(1) = 80\%$ 、第 2 工場を引取率 $\gamma(2) = 30\%$ 、第 3 工場を引取率 $\gamma(3) = 0\%$ 、第 4 工場を引取率 $\gamma(4) = 0\%$ と設定する。この場合の積み上げ量 \tilde{X}_n^3 は、上限制約 (3,954 トン/月) を満たす。加えて、連続する月では下限 (3045トン) 以下である。3) の設定と同様、7月のみがこの水準を超える。

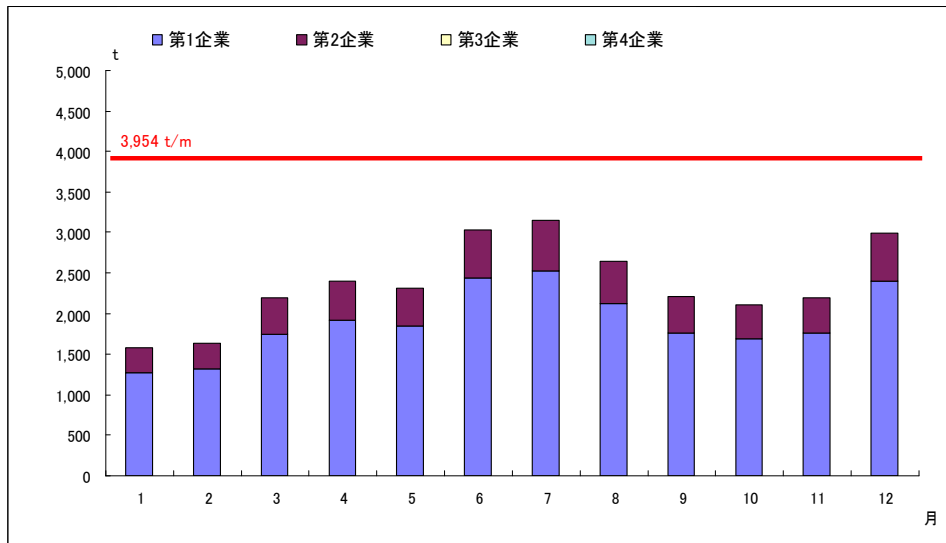


図 10a (4.1) 式 積み上げ量年間推移

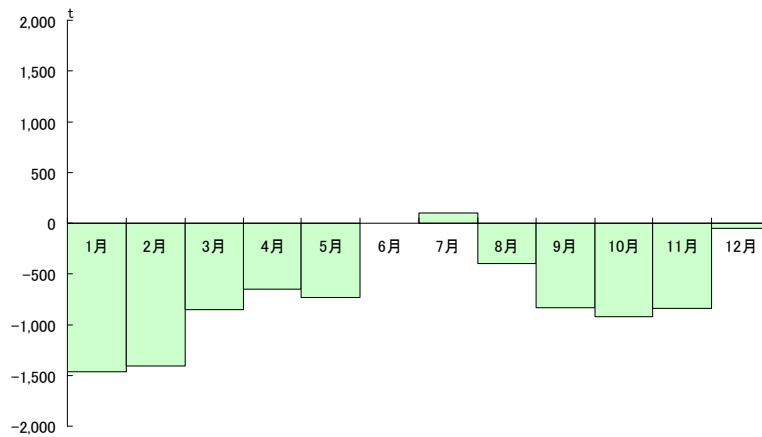


図 10b リサイクル施設余裕量年間推移グラフ

以上の条件から7月がリサイクル施設の処理能力限界である130トン／日の1ヶ月間3,954トン／月となる引取率の条件は3)及び4)である。これは連続した月、つまり7月が3,042トン／月であり、条件である3,042トン／月を超過していない。

設定3と4の比較

次にキャッシュフローが最大化される引取条件について議論を行う。

設定3)及び4)の収益性について比較した図が以下のようになる。このグラフは前述した式(4.4)、(4.5)に基づいた年間引取収益の企業別積み上げグラフである。このグラフを見ると距離の遠い第3企業からも引き取りを行う設定をした4)は運搬コストがかかるため収益が低い。

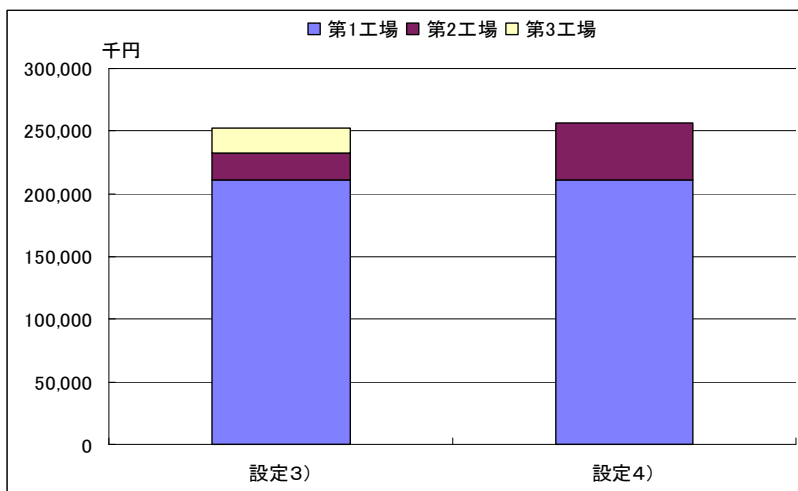


図 11 設定 3 と 4 の利益額の比較

よってこのことから全ての制約条件を満たし、キャッシュフローが最大化される引取量は設定4)の $\gamma(2) = 30\%$ による引取量であると結論付けることができる。この場合、 \tilde{X}_n^3 は 28,458 トン／年となり、年間平均 78 トン／日は全ての制約条件を満たしたキャッシュフローを最大化する最適な引取り量である。

なお設定 4) の場合の事業性評価の分析結果を 3 節末に掲載した。そこでは、リサイクル会社とその製品を販売する会社 C からの利益を含めないという現在の仮定の下で、初期投資額を差し引かない場合、利益の確率分布の平均値は 8 億 8 千万円、標準偏差は 5 千 5 百万円であった。しかし、プラント初期投資額に依存してその利益は高い確率で負になる可能性がある。

なお、以上の選択は単純に平均的な利益水準を観ているにすぎず、リスクを観ていない。本稿で考察しているリスクは、ビールの消費量と、ビール会社のシェアであるので、設定 4) のようにサントリー企業の工場のみに関係することは、シェアの変動がある場合リスクとなりうる。したがって、ポートフォリオの視点から設定 3) のほうから選択したほうがよいかもしいない。この問題は、次回以降の研究課題とし、以下では設定 4) に基づくさらなる分析をする。

4. 2 取引量の季節変動とキャパシティ

以上の考察では、利益の現在価値の最大化を議論の対象としているが、事業ポートフォリオの観点から鑑みた場合、第 3 企業からも引き取る契約を締結しておくオプションも必要であることが認識される。

さらに、前述では月ごとのビール生産量を過去の各月の平均値 (μ) で議論していたが、施設の処理能力を前提にすると、年ごとの各月の季節変動の不確実性を考慮

する必要がある。契約によって引き取った資源を処理でいない場合、いろいろな問題が起こる。最終的にリサイクル業者が自らコストをかけて焼却処理も考えることができるが、本稿ではこれは例外的な場合の対応とする。以下月ごとの引き取り量の変動を考慮して事業性への影響について議論をする。ここでは設定4)の条件を基に議論をする。

1) キャパシティを7月のビール消費量ピーク時に設定する場合

図12は、工場2の年ごとの季節変動において、各月の平均生産量 μ に加えて、各月の生産量の標準偏差(σ)が 0.25σ ずつ増加した場合、設定した条件の下で施設のキャパシティを満たすように工場2からのビール粕引取率 $\gamma(2)$ を求めたものである。このグラフを見てもわかるように収益を最大化する第1企業のビール粕引取率 $\gamma(1)=80\%$ と固定した場合、第2企業の引取率 $\gamma(2)$ は平均よりビール生産量が増加していくにつれて、30%から10%に低下していく。

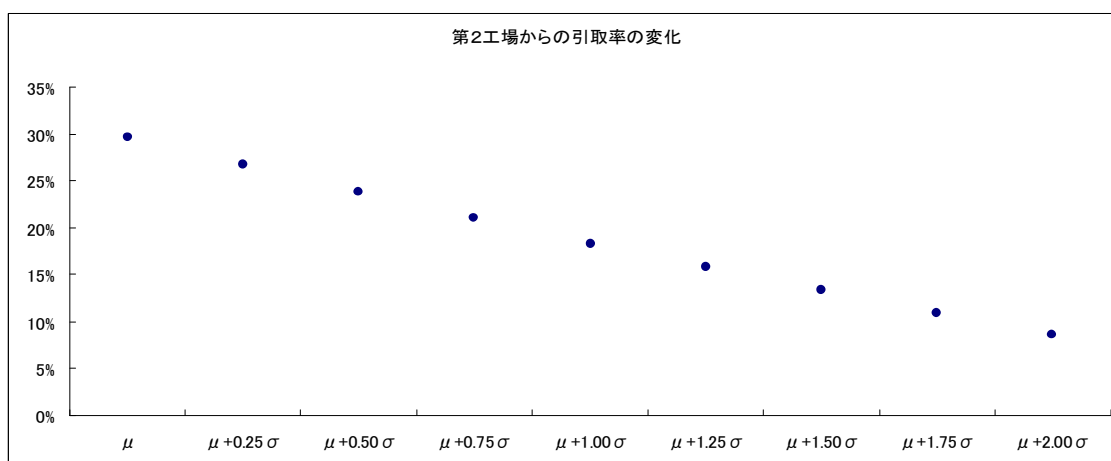


図12 各月の引取量の季節変動を考慮したときの工場2の引取率の変化

図13は、図12に対応して工場2からの引取率を変更した場合の利益NPV確率分布の平均値を図示したものである。図の縦軸の単位は千円である。さらに詳細に数値的に見たのが、表4である。

この図と表を見る限り、各月の平均に対して廃棄物資源の変動性を考慮して、その標準偏差2倍分だけ処理能力に余裕を持たせるために、工場2からの引き取り率を下げると、利益NPV確率分布の平均値は8億6千万円となり、2千4百万円程度減少する。標準偏差も5千5百万円から4千7百万円と、8百万円減少する。この利益とリスクの水準のもとでの事業性は、やはりプラントの初期投資額に依存する。この状況では、廃棄物資源排出会社Aからリサイクル会社Bへのキャッシュフローだけでは中間リサイクル会社の事業性を弱める。もちろん、それはリサイクル企業Bがその

製品をリサイクル最終製品会社 C への売却による利益の大きさと変動性に大きく依拠するが。

さらに重要なことは、ここでの分析は、7月のピーク時にだけ焦点を当てたものである。なのでプラントの効率的利用度が大きく失われる、という点である。

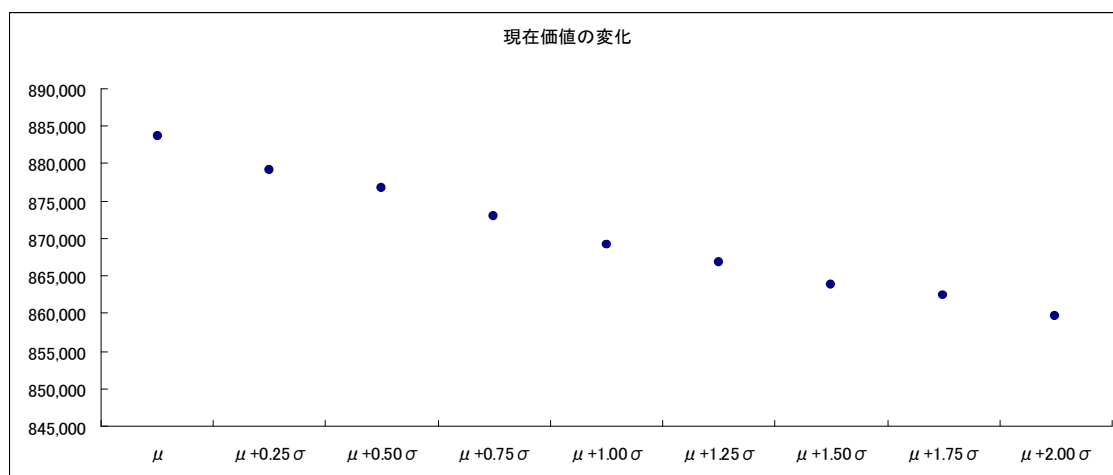


図 13 季節変動を考慮して各月の引取率を低下した場合の平均利益の変化

$\mu + a\sigma$ (a=0...2.00)

統計量	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
平均値	883,602	879,111	876,759	872,955	869,228	866,877	863,908	862,387	859,752
中央値	882,967	879,140	876,398	872,857	869,322	866,569	863,716	862,461	859,791
標準偏差	54,783	53,994	52,682	51,969	50,822	49,841	48,366	47,831	46,775
分散	3,001,210,789	2,915,333,911	2,775,368,807	2,700,747,376	2,582,862,963	2,484,118,812	2,339,222,183	2,287,822,543	2,187,911,706
歪度	0.0199	0.0234	-0.021	-0.0249	-0.0237	0.0226	0.0021	0.0176	0.0317
尖度	2.99	3.02	3.02	3.04	3.06	3.04	2.99	3.09	3
変動係数	0.062	0.0614	0.0601	0.0595	0.0585	0.0575	0.056	0.0555	0.0544
下限	670,066	657,353	669,594	661,696	665,929	684,281	681,687	677,086	700,415
上限	1,066,242	1,073,862	1,083,113	1,072,763	1,068,692	1,064,612	1,055,930	1,056,022	1,047,240
平均標準誤差	548	540	527	520	508	498	484	478	468

パーセンタイル	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
0%	670,066	657,353	669,594	661,696	665,929	684,281	681,687	677,086	700,415
10%	814,024	810,034	808,626	805,859	804,336	802,526	802,054	800,849	800,174
20%	837,181	834,211	833,030	830,072	826,658	825,047	823,323	822,337	820,123
30%	854,361	850,662	849,908	846,255	842,887	840,720	838,653	837,735	834,490
40%	868,894	865,044	863,910	859,681	856,584	854,440	852,190	850,296	847,979
50%	882,967	879,140	876,398	872,857	869,322	866,569	863,716	862,461	859,791
60%	897,670	892,620	889,810	886,206	881,947	879,248	875,923	874,788	871,947
70%	912,734	906,735	903,471	900,046	895,507	892,665	889,094	886,610	884,129
80%	929,462	923,703	921,407	916,359	912,485	908,776	904,497	901,989	898,749
90%	953,499	948,851	944,701	939,280	934,955	931,025	926,162	923,371	919,914
100%	1,066,242	1,073,862	1,083,113	1,072,763	1,068,692	1,064,612	1,055,930	1,056,022	1,047,240

表 4 各月の生産量の変動性を考慮したキャパシティ

2) プラント利用効率を上げる方法

上で指摘したプラント利用の非効率性は、ビール生産量が6月7月の2ヶ月間においてピークを向かえ、その後12月を除いて全体としては、生産量が落ちることに起因している。リサイクル事業会社Bの処理能力の関係からピーク時7月にあわせて、過剰な余裕量を持って稼動する必要がある。このキャパシティ問題は、たとえば、6月と7月に連続してキャパシティを超えるので、ビール粕排出企業Aとの契約で、Bの負担で一部焼却可能とすれば、Bの事業性を上げることになり、リサイクルの実効性が大きくなると考えられる。もちろん企業AのCSRの視点からは、焼却量の設定やその報告など事前的な合意が必要となる。焼却に関わるコストの大きさも重要である。

ちなみに、そのような処理などが可能な場合、8月の余裕能力をゼロにするまで契約料を増やすことができる。その場合、第2工場からの引取率を52%まで上昇可能となる。その結果1月から5月、9月から11月の余裕能力が減少し、全体的に施設が有効利用される。

この場合、2ヶ月連続して施設の100%能力を超えて稼動するため、最初の基準を満たさないが、施設の有効利用上一部燃焼などのオプションを与えることが必要かもしれない。

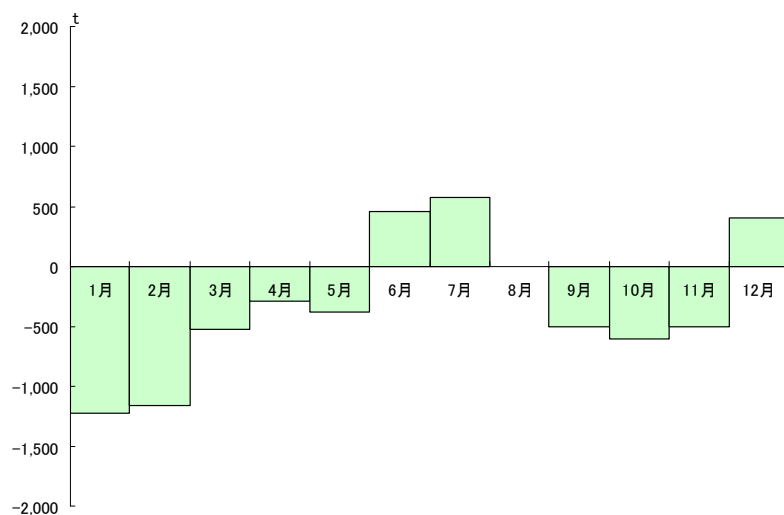


図13 8月を余裕量0にした場合の月別グラフ

	第1工場	第2工場	第3工場	第4工場	全工場	企業B
引取率	80%	52%	0%	0%	合計	余裕量
1月	1,268	550	0	0	1,818	1,223
2月	1,311	569	0	0	1,880	1,162
3月	1,756	762	0	0	2,518	524
4月	1,918	833	0	0	2,751	291
5月	1,851	803	0	0	2,654	388
6月	2,439	1,059	0	0	3,497	-456
7月	2,523	1,095	0	0	3,618	-576
8月	2,121	921	0	0	3,042	-0
9月	1,768	768	0	0	2,536	506
10月	1,696	736	0	0	2,433	609
11月	1,766	767	0	0	2,532	509
12月	2,401	1,042	0	0	3,443	-401
合計	22,816	9,906	0	0	32,722	3,778

表 4 8月の施設稼働能力を100%とする水準まで引取率を高めた場合の受入量

4.3 利益確率分布の価格感応性(弾力性)

これまでの分析ではビール粕の受託価格を1kg13円と設定した。この価格の変化による事業性の分析をする。他の条件はこれまでとおりである。

図 14 は価格が13円から5%きざみで変化させた場合の利益現在価値の確率分布である。

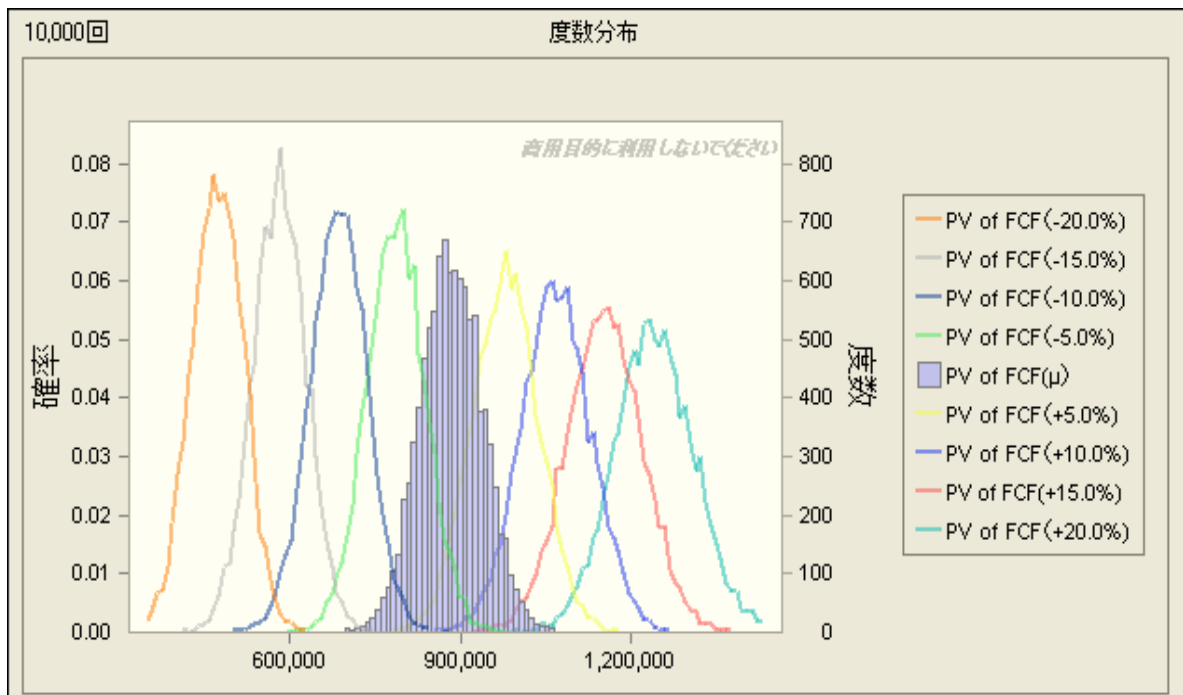


図 14 価格が下落した場合の利益現在価値の確率分布の変化

統計量	-20%	-15%	-10%	-5%	±0%	+5%	+10%	+15%	+20%
平均値	472,284	581,456	684,591	785,830	883,602	978,043	1,067,659	1,152,724	1,239,498
中央値	472,757	581,768	685,310	786,019	882,967	978,766	1,067,105	1,152,684	1,238,125
標準偏差	45,538	46,794	49,610	51,523	54,783	58,962	61,321	65,697	69,392
分散	2,073,691,279	2,189,674,241	2,461,107,829	2,654,609,809	3,001,210,789	3,476,459,257	3,760,301,018	4,316,137,228	4,815,227,352
歪度	-0.0765	-0.0306	-0.0659	0.0225	0.0199	0.0054	-0.0092	0.0271	0.0606
尖度	3	3.06	3.08	3.04	2.99	2.96	2.96	3	3
変動係数	0.0964	0.0805	0.0725	0.0656	0.062	0.0603	0.0574	0.057	0.056
下限	277,990	357,780	500,970	591,063	670,066	781,085	850,566	910,609	986,475
上限	632,181	744,801	884,567	975,075	1,066,242	1,198,423	1,270,288	1,407,334	1,537,934
平均標準誤差	455	468	496	515	548	590	613	657	694

パーセンタイル	-20%	-15%	-10%	-5%	±0%	+5%	+10%	+15%	+20%
0%	277,990	357,780	500,970	591,063	670,066	781,085	850,566	910,609	986,475
10%	413,350	521,584	621,014	719,910	814,024	901,633	989,547	1,068,927	1,152,122
20%	433,635	542,777	643,136	742,371	837,181	928,176	1,016,508	1,097,245	1,181,233
30%	448,463	556,809	659,224	758,969	854,361	947,148	1,035,587	1,118,068	1,202,843
40%	460,873	569,929	672,426	772,972	868,894	963,769	1,052,086	1,135,876	1,221,220
50%	472,757	581,768	685,310	786,019	882,967	978,766	1,067,105	1,152,684	1,238,125
60%	484,827	593,338	697,891	798,425	897,670	993,478	1,082,944	1,169,239	1,256,390
70%	497,377	606,300	710,771	812,720	912,734	1,008,612	1,099,363	1,186,639	1,275,231
80%	511,385	620,687	726,181	828,237	929,462	1,027,371	1,118,678	1,208,066	1,298,117
90%	529,997	641,052	747,216	851,787	953,499	1,054,138	1,147,146	1,237,083	1,328,523
100%	632,181	744,801	884,567	975,075	1,066,242	1,198,423	1,270,288	1,407,334	1,537,934

表 5 価格が下落した場合の利益現在価値の確率分布の特性値(下の表はパーセンタイルの表)

この図表を見る限り、13 円の水準から価格が10%上昇すると利益とリスク(標準偏差)は(883、54)から(1067、61)に上昇するのに対して、価格が10%減少すると(684、50)に減少する(単位百万円)。価格が上昇すると、変動係数は見ると減少するので、リスク1単位あたりの利益は上昇している。

リサイクル施設事業の事業性は、価格弾力性が大きく、価格にきわめて感応的である。したがってこの価格の決まり方が重要であり、リサイクル促進の政策上、競争のあり方など適切な視点が必要となる。

5 要約

本稿では、事業リスクマネジメントの視点から、リサイクル事業全体の有効性にする問題を議論し、廃棄物資源を排出する企業 A の CSR 問題を議論し、CSR プレミアムを中間リサイクル会社 B に支払うことの意味を企業の社会性の視点から議論した。さらに、リサイクル事業全体に関わるリスクを整理し、事業性分析のためのモデルを提案した。そして、ビール粕のリサイクル問題を取り上げ、ビールの消費量とビール会社のシェア変動の不確実性への中間リサイクル会社の事業性をシミュレーションにより分析した。ビール消費量の季節変動を考慮して、キャパシティに関する引取率の

最適化を行った。さらにピークロード問題を考慮して、施設有効利用問題を議論した。結論として、本稿の提案する枠組みは、実際的意思決定問題に有効であるだけでなく、リサイクル事業に関する政策的な視点を与えるものである。残されている問題としては、ビール粕のリサイクル会社Bの中間製品から最終製品製造会社Cの価値の流れを考慮した事業性評価問題がある。今後の研究課題とする。

参考文献

麒麟ビール <http://www.kirin.co.jp/>

酒類市場データ <http://www.kirin.co.jp/company/irinfo/market/index.html>

富田輝博(2004)「わが国ビール産業の競争政策と競争戦略」情報研究(文教大学)

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2005)「バイオマスエネルギー導入ガイドブック

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)(2006)「バイオマス等未活用エネルギー実証実験 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業概要(平成18年4月)

生ごみ等の3R処理に関する検討会(2006)「生ごみ等の3R処理の目指すべき方向とその政策手段に関するとりまとめ」(平成18年8月)

ビール酒造組合 <http://www.brewers.or.jp/>

・データファイル・ビールの統計資料 <http://www.brewers.or.jp/data/t00-tokei.html>

室山勝彦・林卓也・林順一・大口宗範(2001)「累積CO₂排出原単位を評価指標とするビール工場のライフサイクルアセスメント」環境科学会誌 14(2)、189-1998

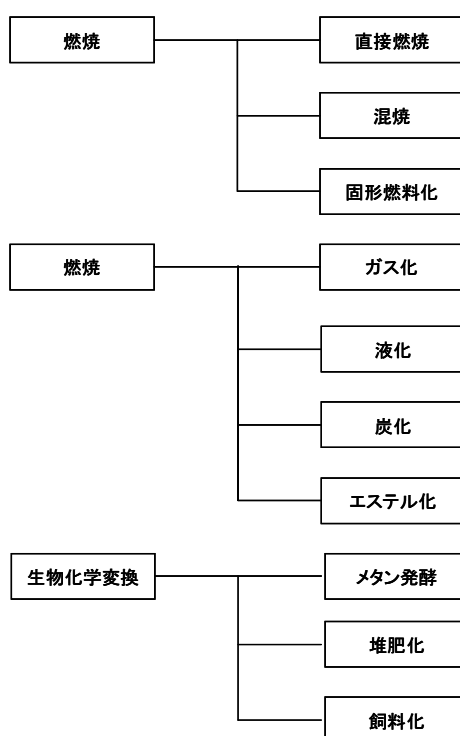
付録1 バイオマス資源リサイクル(NEDOの資料より)

バイオマス資源リサイクルは、マテリアル・リサイクルとサーマル(エネルギー)リサイクルに大別することができる。

バイオマス資源は、大気中のCO₂が光合成によって植物の体内に固定化されたものであり、その利用により再び大気中に放出されたとしても、エネルギーの消費と植物育成のバランスを保つ限り、実質的なCO₂排出がゼロとなる「カーボンニュートラル」な資源である。さらに、NO_xやSO_xの排出も少ないこと等から、環境への負荷が低いクリーンな資源として期待が大きい。さらに、マテリアル利用や廃棄に伴う処理時のエネルギー利用、さらに再植林を通じたCO₂固定効果の発揮という循環利用を行うことにより、地球温暖化防止効果を最大限に機能させることができよう。

また、バイオマス資源をリサイクルする技術は多種多様なものが存在し、燃焼の他に熱化学的変換(ガス化、炭化等)、生物化学的変換(堆肥化、飼料化、メタン発酵

等)が存在し、以下に技術体系及び概要を示す。



1) 直接燃焼

バイオマス資源を直接燃焼して利用する、あるいはボイラー発電を行う技術である。木質系廃材・未利用材やサトウキビの搾り粕であるバガスを用いて既に実用レベルに達している技術である。しかし、多くは自家消費で必要最低限のエネルギー利用を目的とし、エネルギーの利用効率が低いものが多い。(施設の規模にもよるが、既存設備の電力への変換効率は10~20%程度のものが多い。)

単に熱源、電力源として利用するだけでなく、熱生産と電力生産を組み合わせたコージェネレーションシステムを開発していくとともに、電力への変換効率の向上を進める必要がある。

2) 混焼

石炭火力発電所等で石炭等の化石資源とバイオマス資源を混合燃焼させる技術であり、バイオマス資源の添加により発電効率の低下を抑えなければならない。

バイオマス資源を石炭火力発電所等で混焼しつつ、電力安定供給の確保、環境規制値のクリアを図るとともに発電効率(既存石炭火力発電所では約40%)の低下を最小限に抑える技術を開発していく必要がある。

3) 固形燃料化

100°C～150°C程度の加熱で木粉または木粉と石炭の混合物を加圧、リグニンをバインダとして成形固化し、燃料を得る。また、食品廃棄物等を乾燥、選別し、可燃物を取り出して円柱状(ペレット)に固めた固形燃料(RDF)も製造されている。

様々に異なる性状の食品廃棄物等から安定的に RDF を製造する技術の確立のほか、RDF 利用時の高温における炉の耐食性の向上を目指していく必要がある。

4) ガス化

バイオマス資源を 400°C～600°Cで熱分解ガス化を行い、可燃性ガスを発生させ、次に発生した焼却灰を可燃性ガスを利用して 1,300°C以上の高温で熔融処理する技術である。発生する熱は発電等に利用される。

エネルギー回収効率の向上を図るとともに、タールの分解促進の検討や廃棄物の質が低カロリーの場合、適切な前処理のあり方の検討など安定運転を可能にする技術開発を進める必要がある。

5) 液化

500°C～600°Cにバイオマス資源を急速に加熱することによって熱分解を進行させ、油状生成物を得る技術であり、生成物を液化燃料として熱や発電利用に用いる。

燃焼利用以外の利用のための水素化改質、特に輸送用燃料への変換について、生産コストの更なる低減化を図るための技術的向上を図る必要がある。

6) 炭化

木質系廃材・未利用材等の高カロリー化やマテリアル原料として精製する技術として古くから利用されており、バイオマス資源を酸化剤遮断下で加熱し熱分解により、効率よく炭素含有率の高い固体生成物(炭)を得る技術である。

エネルギー利用効率を高め、固体生成物における品質の安定確保を図るための技術的向上を図る必要がある。

7) エステル化

植物油や廃食用油をメチルエステル化し、バイオディーゼル燃料を生産する技術である。不純物のグリセリン等の除去技術の向上を図るとともに、生産コストの更なる低減化を図るための技術向上を図る必要がある。

8) メタン発酵

家畜排泄物や食品廃棄物を発酵させることにより、メタンガスを発生する技術である。発酵に長時間を要することや処理液(メタン消化液)が排出され、その処理が大きな課題となっている。

処理廃液の液肥としての利用技術を実用化するとともに、処理廃液の減量技術の開発を進める必要がある。メタン発酵に関わる微生物群の制御技術を確立し、プロセスの高度化を図る必要がある。

9) 堆肥化

家畜排泄物や食品廃棄物を微生物を用いて発酵させることにより、農業等に使用される堆肥として生物化学的変換を行う技術である。

様々に異なる性状の食品廃棄物等により、発酵時間が変動することから、品質の安定化に問題がある。発酵技術の安定化及びプロセスの高度化を図るとともに製品の高品質化により市場形成を促進する必要がある。

10) 飼料化

藁や稲等農業残材の栄養化が低いものと食品廃棄物等元来栄養化が高いものを混合し微生物による発酵によって家畜等の飼料にする技術である。

様々に異なる性状の食品廃棄物等の水分により、腐敗が進んでしまうことから保存、貯留方法をよく吟味する必要がある。堆肥化と同様に、製品の高品質化により市場形成を促進する必要がある。