

論文内容の要旨

論文題目

熱分解ガス化方式自動車破砕屑(ASR)リサイクルシステム
の LCA 評価および事業性評価に関する研究

A Study on Life Cycle Analysis and Investment Profitability
Evaluation of Automobile Shredder Residue (ASR) Recycle
Enterprise with Pyrolysis Gasification System

氏名 雨宮 隆

要旨

かつては不要な廃棄物であり難処理物とされて埋立て処分されていた使用済み自動車破砕屑 (Automobile Shredder Residue ; 以下 ASR) は、高い熱量を有し多くの金属・非金属素材を含む資源である。従来から ASR の処理設備として自動車リサイクル法の枠組みの中で利用されてきたガス化溶融炉や直接溶融炉などの熱処理技術は、おもに ASR の減容化を適正・安全に行なうことに主眼が置かれており、必ずしも ASR そのものの素材としてのリサイクルやエネルギーのリサイクルが高いレベルで志向されてはいない。また、ガス化溶融炉や直接溶融炉での熱処理は多量のエネルギー消費を伴うものであり、低炭素化社会の時代が要求する社会的な CO₂ 排出量の抑制の方向に沿った技術とは言い難い。著者が開発に携わった熱分解ガス化プロセスを用いた ASR リサイクルシステムは、ASR の有効利用を図る最近の実用化技術の一つであり、物質とエネルギーのリサイクル・循環利用という視点において利点を持つシステムである。

本研究の第一のテーマは、この熱分解ガス化システムプロセスによる ASR リサイクルシステムを用いた ASR の処理が、社会的にもたらす CO₂ 排出量やエネルギー消費量などの環境負荷の削減量を明らかにすることであり、その検討方法として、システムからの直接的および間接的な生産波及の効果を含めた CO₂ 排出量とエネルギー消費量について LCA 評価 (Life Cycle Analysis) の手法 を用いた。

前提となる投入 ASR の組成・性状とシステムのインプット・アウトプットの物質・エネルギーフローは、日量処理量 60t の 商用 ASR 熱分解ガス化システムの実際の運転データに基づき設定した。システムへの各投入財の CO₂ 排出原単位およびエネルギー消費原単位のバックグラウンドデータは、国立環境研究所地球環境研究センター発行の 3EID データおよび LCA 日本環境フォーラムの JLCA データを用いた。

この LCA 評価結果によれば、代表的な事例において ASR 単位処理量 (1t) 当たりの全 CO₂ 排出量は -53.6kg-CO₂ であり、絶対値としてほぼゼロに近いマイナスという評価になる。すなわち本システムによりレベルの高い ASR のリサイクルを行えば、社会的に CO₂ を増加させないばかりか、例えば従来型の熱処理方法である、ASR の単純焼却システムの場合と比べると、ASR 1t 当たり約 1200 kg-CO₂ もの CO₂ の排出量の削減となる。また、エネルギー消費量は ASR 処理量 1t 当たり -2,878Mcal とマイナス値であり、ASR を処理するほど絶対値として世の中のエネルギー消費を減らすという結果になる。

このように CO₂ 排出量とエネルギー消費量の削減効果が大きいのは、ASR を処理して得られる生産物のリサイクル利用により市場製品の代替を行うことで、間接的な環境負荷の削減効果が高い値で得られるためである。とくに、ASR に含まれる主要金属分（鉄、銅、アルミ）の回収率を高め、その回収物のリサイクル率を高めること、およびガスエネルギーの利用率を高めることが、環境負荷の大きな削減効果に結びつく。なかでもアルミの再生地金としての利用効果が顕著であることが示された。

さらに、他の ASR 熱処理システム（ASR 単純焼却システム、ASR ガス化溶解システム、ASR 直接溶解システム、全部再資源化（A プレスの電炉投入））との比較を行なった結果では、やはり ASR 熱分解ガス化システムの高度リサイクルケースが CO₂ 排出量およびエネルギー消費量が最も小さく、社会的な環境負荷のインパクトは最も小さいことが明らかになった。ただし、熱分解ガス化システムの長所を生かすためには、金属やエネルギーのリサイクルの割合を高いレベルに維持する工夫が重要であることが示された。

一方、このように社会的な環境負荷の削減に効果がある高度なりサイクルシステムは、必要とする投資額も大きく、その事業性（投資回収効果）が十分評価できなければ普及が進まないという問題がある。そこで本研究の第二のテーマとして、ASR 熱分解ガス化システムを用いたリサイクル事業への投資意思決定の判断基準と、それに対する影響要因を明らかにし、投資促進のための施策を提示することとした。

この投資意思決定の判断に対する影響要因には、市場・経済的側面（資本コスト、回収金属や回収エネルギーの市場価格など）、技術的側面（システムが実現できる資源リサイクル率 RR など）、制度・政策的側面（ASR の処理委託費単価の設定、CO₂ 排出量削減量のクレジット化など）がある。このようなりサイクル事業では、現実のスクラップ金属市況が不確定変動を有しリスクとなるため、これを考慮した ASR リサイクル事業のリスクと事業性の評価を行うことが重要と考えた。

事業性計算の前提として、資本家が要求する資本コストはリスク調整済み割引率 $\mu = 5.5\%$ を用い、事業期間は設備の法定耐用年数を参考に 5 年と設定した。スクラップ金属市況の不確定変動を模擬するために、実際の鉄、銅、アルミのスクラップ市場価格のトレンドデータ（2007 年以前の 10 年間）の月間変動率の頻度分布がほぼ正規分布に従うとみなし、スクラップ金属の時間的価格変動を幾何ブラウン運動で模擬した確率変動モデル式を作成した。このモデルを組み込みキャッシュフローの変化をモンテカルロ・シミュレーションにより計算した上で、二項格子法を用いてリアルオプション解析による一連の事業評価検討を行なった。このリアルオプション解析では、事業開始時点を時間軸に取った場合の原資産 V_0 （ある時点から事業期間 5 年間に亘る経常利益の累積額の期待値）の不確定変動に対し、 $t=0$ の現時点における投資実行オプションの価値と投資保有オプション（すなわち投資を次年以降に遅らせるオプション）の価値が等しくなる投資上限臨界値 I^* を算出することができる。投資額 I が $I < I^*$ であれば、現時点で待つことなく直ちに初期投資および事業開始を行なうことが有利となり、早期の投資が促進されることになる。したがって、 I^* をできるだけ高めるための条件の明確化がテーマとなった。

この結果の中で、特に金属価格の変動の影響については、銅価格の変動が I^* の変化に対し支配的であることがわかる。すなわち、この ASR リサイクル事業の金属価格変動によるリスクは、銅のスクラップ相場の変動に支配的な影響を受けている。価格変動を考えない静的な割引キャッシュフロー（DCF）検討からは、銅の生産物回収率と販売割合をできるだけ高めることが事業性確保の上から重要とされたが、銅の販売量を増やすことはかえって金属価格変動によるリスクを避けられないものにもしていることがわかる。

また、CO₂ クレジット価格の効果についても検討した。先述の LCA 評価の結果として得られた ASR 熱分解ガス化システムの優れた CO₂ 排出量抑制効果に対し、一定の単価で CO₂ クレジットが得られるのであれば事業性を改善する効果がある。例えば、初期投資 I の事例として、代表設備投資額 $I = 3,240$ 百万円と設定した事業投資の場合では、資源リサイクル率 RR が 0.9 以下と低い場合はもともと投資延期せざるを得なかったケースでも、CO₂ クレジット価格をトン CO₂ 当たり 1,000 円～数千円以上に設定すれば、 I^* が増加して $I < I^*$ が満たされることで、直ちに投資実行することが有利との結果になる。将来的にこのような CO₂ クレジットが獲得できれば、事業の経済性が改善され、このような CO₂ 抑制効果に優れたリサイクル事業への投資の決定が進むことが考えられる。

一方、ASR 処理委託費に関しては、現状の自動車リサイクル法のシステムでは、処理委託費単価は政策的に設定することが可能な固定収入項目である。もし事業開始が次年以降に延びるごとにこのような処理委託費単価が上昇する可能性が現時点でわかっている場合は、今は投資せず投資を遅らせるほうが有利との判断が行なわれる。反対に、事業開始が次年以降に延びるごとに処理委託費単価が低下する可能性がわかっている場合は、事業への投資を促進する方向となる結果が示された。高い I^* を維持し早期の事業投資を促進するという意味では、処理委託費単価を事業期間に亘り固定額とするか、またはあらかじめ決

められた（事業者に明示された）レートで次第に低下させていくという設定が有効と言える。ただし、リアルオプション解析の結果として高い投資上限臨界値 I^* が得られたとしても、事業者から見た投資利益率はもうひとつの制限条件であり、期待投資利益率が所定の水準（利益の期待水準）を下回る場合は、この事業の実行は断念されることになるであろう。

この研究で開発し適用したリサイクル事業の事業性評価のための一連のリアルオプション解析手法のプロセスは、**ASR** に限らず他の廃棄物リサイクル事業の検討にも応用できるものである。今後、このような研究成果が広く応用されることで投資家および事業者にとり、事業の選定と投資決定の判断がより合理的に行われるようになり、その結果として、環境性に優れたリサイクル事業の実現が今まで以上に促進されるようになることが強く望まれるところである。