

## 論文内容の要旨

### 論文題目

ガス化プロセスによるバイオマスエネルギーシステムのライフサイクル分析

### 堂脇清志

バイオマス資源をエネルギーとして利用する場合には、現在の主要なエネルギーである化石エネルギー資源と違って、非枯渇性（再生可能）であり、また再植林等の適切な管理によって利用することにより、正味 CO<sub>2</sub> 排出量はゼロとなる。このため、地球温暖化ガスの 1 つである CO<sub>2</sub> 削減と、また同時に、恒久的なエネルギー資源として将来的に非常に期待されている。バイオマスエネルギーの利用は将来的には主要なエネルギー源の 1 つとして期待されているが、実際の導入を目的とした、また持続可能な条件でのバイオマス資源の供給条件を含めた包括的かつ具体的なシステム評価については、ほとんど行われていないのが現状である。従って、本研究では CDM（Clean Developing Mechanism）プログラムによる発展途上国へのバイオマスエネルギーシステムの導入を念頭にして、モデル対象国を選定し、当該国におけるバイオマス調査を実施し、当該国に自生している早生樹種にプランテーションを設計する。また、対象とするバイオマスを利用したエネルギーシステムの設計及び評価を基礎的な化学実験の実施を含めた検討を行う。さらに、システム全体における LCA による評価を行い、また植林及びプラント建設に係る経済性効果についても評価することとし、今後の発展途上国へのエネルギー開発事業の 1 つの具体例となることを目的とする。

本研究では、Papua New Guinea 国をモデル地域とし、20,160ha の *Eucalyptus deglupta* によるプランテーションを 7 年サイクルで連続的に伐採・生産する原料供給プロセスの設

計を行った。原料である原料供給プロセスにおける LCA では、原料の伐採・生産に係る CO<sub>2</sub> のみならず、持続可能な条件を維持するために降雨や地形傾斜によって損失する養分が質的に化学肥料と同等なものが補填されるとして分析を行った。なお、Eucalyptus deglupta の成長特性及び土壌等に含まれる養分等については、すべて現地調査を実施し分析に必要な条件の設定を行った。

また、エネルギー変換プロセスにおいては高効率なバイオマス発電システムの 1 つであるバイオマスガス化コンバインドサイクル発電システム (Biomass Gasification Integrated Combined Cycle : BIGCC) を設計し、プラントから回収される養分をプランテーションにリサイクルした場合の効果についても検討を行った (図 1 参照)。

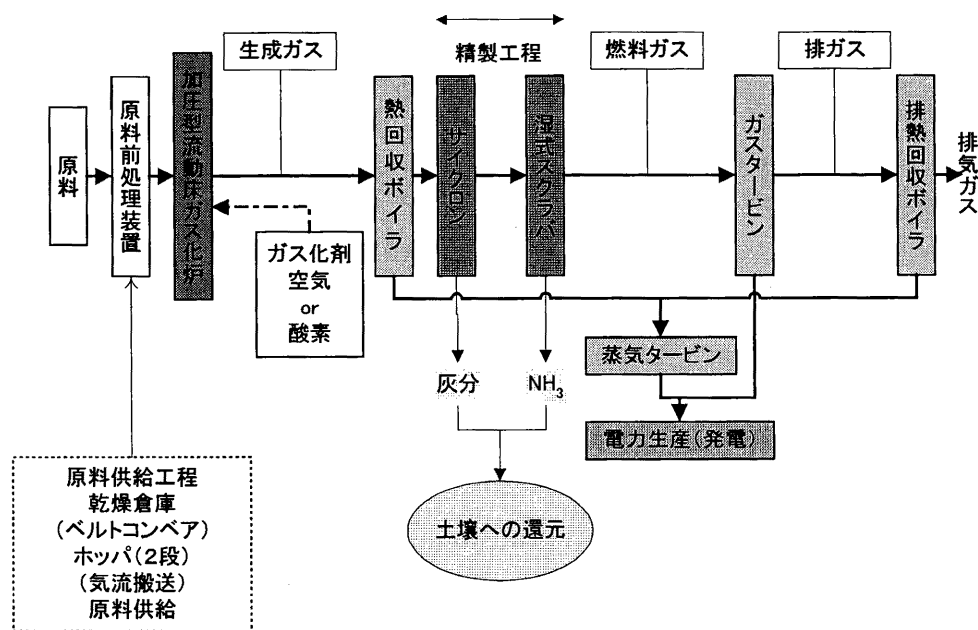


図 1 BIGCC 基本システム構成図

特に、ガス化プロセスについては、キューリーポイントパイロライザー及び熱天秤による熱分解反応特性及び Char のガス化特性について検討した。その結果、空気吹き及び酸素吹き BIGCC システムのプラント性能については表 1 に示す結果が得られた。

表 1 BIGCC におけるプラント全体の性能

項目	空気吹き	酸素吹き
原料供給量[t/h](含水率[% (湿)])	35.0 (20.0)	35.0 (20.0)
年間稼働時間[h/年]	6,000	6,000
正味発電量[MWe]	80.2	82.9
正味プラント効率 (HHV) [%]	39.8	41.1
正味年間発電量[GWh/年]	481.5	497.3

以上の原料供給プロセス及びエネルギー変換プロセスにおける評価結果から、バイオマスエネルギーシステムの LCA 結果として、エネルギー収支比、LCCO<sub>2</sub> (Life Cycle CO<sub>2</sub>) 及び石炭による IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) システムを基準とした CO<sub>2</sub>削減費用について以下の知見が得られた。

- (1) バイオマスガス化プロセスは、本研究で行った基礎実験の範囲については、十分に実証することができる。また、実験結果を利用したガス化シミュレーションにおいては、空気吹き及び酸素吹きの冷ガス効率は、それぞれ 67% (HHV 基準) 及び 71% (HHV 基準) となる。なお、これまでの欧州における実証事例及び我が国における石炭ガス化をはじめ、廃プラスチックや重油等のガス化プロセスの実績を勘案しても、本研究で得られたガス化成績を十分に得ることができると想定される。
- (2) また、航空機転用型の高効率バイオマス専焼ガスタービンの開発が既に米国で行われていることから、BIGCC システムについては、既に実用化の水準に到達しつつあると判断される。本研究におけるバイオマス専焼ガスタービンの設計パラメータを利用したシミュレーションでは、空気吹きの及び酸素吹きの場合で、それぞれ 34% (LHV 基準) 及び 32% (LHV 基準) となる。
- (3) ガス精製システムにおいては、養分としての NH<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 及び K<sub>2</sub>O の回収が可能である。特に、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 及び K<sub>2</sub>O については原料中に含まれる各量の 100% の回収が見込まれるが、NH<sub>3</sub> の回収について原料中 N 分の 10% 程度である。なお、原料中に含まれる N 分の回収については、灰分中には含まれる可能性がある。養分のリサイクルの効果としては、LCCO<sub>2</sub> で数% の改善効果が期待でき、N 分の回収率を上げることによってより一層の改善を図ることができる。
- (4) BIGCC システムのプラント性能は、空気吹き及び酸素吹きのいずれの場合も 40% (HHV 基準) 程度となった。BIGCC システムのエネルギー収支比はプランテーションの地形傾斜角の影響を大きく受け約 1.5~7.6 の範囲にあり、IGCC システムと比べると最高値の場合でも約 4 割程度低くなる。一方、LCCO<sub>2</sub> については、IGCC システムが約 750g-CO<sub>2</sub>/kWh であるが、BIGCC システムの場合には、最大排出量の場合でも約 110g-CO<sub>2</sub>/kWh 程度であり、IGCC システムに比して優れていることが予想される。
- (5) 発電単価については、IGCC システムが約 6 円/kWh となり、一方、BIGCC システムにおいては、空気吹き及び酸素吹きの場合で 9~12 円/kWh 程度となり、IGCC システムに比べると発電単価が高くなる。なお、この理由は年経費に占める燃料 (原料) 費の割合が大きいこと及び養分損失に伴う肥料投入量に係る経費が地形傾斜角によって大きくなることが主な原因である。
- (6) 最後に CO<sub>2</sub> 削減費用については、BIGCC システムでは、空気吹きの場合で約 15,000 円/t-C~約 34,000 円/t-C、酸素吹きの場合で約 14,000 円/t-C~約 31,000 円/t-C となり、IGCC システムに CO<sub>2</sub> 回収装置を設置した場合でも約 31,000 円/t-C となることから、植林の地形条件にもよるが概していずれのシステムもそのメリットが大きいといえる。