木質バイオマスの循環利用ー隠岐の島モデルー

㈱藤井基礎設計事務所　安井裕彦

【緒言】

植物系バイオマスの新しい再生利用技術として相分離系変換システム〔1〕が注目されている。相分離系変換システムは、植物系バイオマス（リグノセルロース複合体）から、リグニンを様々な機能性素材としての可能性をもつリグノフェノールへ誘導し、同時に炭水化物を分離できる技術である。誘導したリグノフェノールは、目的に応じて機能変換ができ、様々な用途に期待ができる。一方、同時に分離した炭水化物は、エタノール・エチレン等の工業原料や生分解性プラスチックの原料であるポリ乳酸へと誘導できる。このように相分離系変換システムは、植物系バイオマスを石油代替資源として利用でき、新しい木材化学工業の創出に繋がる。

本研究では、離島である島根県隠岐の島町を、リグノフェノール等の植物分子素材の供給拠点として評価した。隠岐の島町は面積の 87 %が森林であり、特有な地域環境から多種多様な植生を営み、日本の多くの植生を把握できる。さらに離島という面積が限定された条件であるため、地域内のエネルギー消費量や製材用原木等の出所や流れ、及び循環システムを導入した際の効果などが比較的容易に把握できる。なお、リグノフェノール等の基礎・応用研究は多くあるが、本システムの地域への導入を目指したモデル研究はほとんどない。したがって、最初に島内の植物資源量及び利用フローを明らかにすること、次に調査で明らかとなった島内の主要なリグノセルロースから相分離変換によってリグノフェノールを誘導し、これらの資源特性解析を通して隠岐の島町の持続的分子原料供給拠点としてのポテンシャルを評価することを目的とした。

【調査と実験】

(1)リグノセルロース資源調査 隠岐の島町の植物資源の種類・量・フローを明らかにするために、森林組合・製材所・廃棄物処理場などにヒアリングを実施した。(2)相分離系変換による資源特性解析 相分離系変換システム 1 段法にて島内の主要植物試料からリグノクレゾールを誘導・解析した。実験手順は、各気乾脱脂試料（size:60 mesh pass）に *p*-cresol を加えて溶媒和した後、 72%H_2SO_4 を加え、 室温にて所定時間激しく攪拌した。所定時間経過後、 反応混合物を遠心分離し、 フェノール相よりリグノクレゾールを分離・精製し、 FT-IR 等の分析機器を用いて性状分析を行った。

【結果と考察】

島内には針葉樹・広葉樹・草本植物をはじめ、廃棄物系リグノセルロースが多量に蓄積されている(Fig.1)。主要樹種は針葉樹であるスギ（*Cryptomeria Japonica*）、クロマツ（*Pinus Thunbergii*）で、島内の樹木の約 80%を占める。これら針葉樹は、製材用丸太として出荷されている（Fig.2)。島内には廃棄物系リグノセルロースも多量に存在し、林業から排出される切捨て間伐材等の林地残材をはじめ、松枯れ木がそれにあたる。松枯れ木の被害は近年増加傾向にあり、その処理・対策に頭を悩ませている。島内に多量に存在するスギ、クロマツ、間伐材（スギ)、松枯れ木

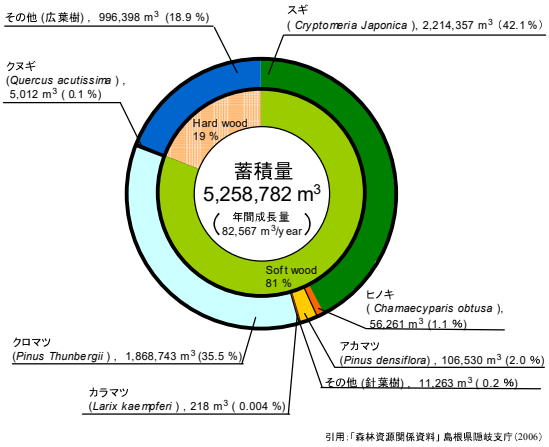


Fig. 1　隠岐の島町　針葉樹・広葉樹蓄積量

（クロマツ）、クヌギ、竹（ハチク）を代表試料として採取し、相分離系変換により、リグノクレゾールに誘導・分析した。クラーソンリグニンに対するリグノクレゾールの収率は、針葉樹であるクロマツ、スギ、間伐材、松枯れ木において約 100%、広葉樹であるクヌギは約 80%であった（Table 1）。また、赤外線吸収スペクトルの結果よりクロマツ、スギ、松枯れ木、間伐材は同様の構造をもつことが示唆された（Table 1）。つまり、 間伐材、松枯れ木等の廃棄物系リグノセルロースから誘導したリグノクレゾールは、健常材から誘導されたそれと比較して同様な資源特性を有すことが分かる。

本実験から得られたリグノクレゾールの収率及び本調査による資源量や文献値〔2〕から島内の生産可能なリグノクレゾールと炭水化物の年間生産量を求めた（Table 2）。島内の生産可能量は、廃棄物系リグノセルロースから換算した。隠岐の島町で生産されるリグノクレゾール量と炭水化物量は、それぞれ約4、000 t/年と約8、600 t/年であった。このリグノフェノールの量は、1人当たりの芳香族系石油化学製品の消費量を約100 kg/人・年〔3・4〕とすると、約4万人分の消費を賄うことができる。さらに、リグノクレゾールは異種材料間で機能性変換を繰り返しながら段階的に活用できるので、さらなる利用の拡大が考えられる。また炭水化物を生分解性プラスチックの原料であるポリ乳酸に変換した場合、1人当たりのプラスチック消費量は約82 kg/人・年〔3・4〕とすると、約10万人分の消費を賄うことができる。

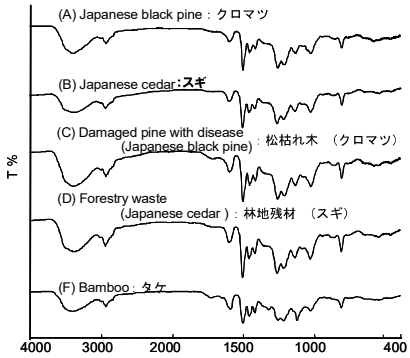
これらの結果は、 隠岐の島町が植物分子供給拠点として大きな可能性を示すだけでなく、 相分離系変換システムが廃棄物系リグノセルロースから新しい工業システムを創成し、 植物資源に依拠した持続的社会構築に大きな役割を果たすことを示す。

Fig.2 隠岐の島町　木質資源フロー

Table 1 隠岐の島町のリグノフェノール分析結果

■ リグノフェノール収率

Sample		リグノフェノール収率	
		%木粉サンプル辺り	%クラーソンリグニン辺り
Ⓐ クロマツ	針葉樹	29.5	112.7
Ⓑ スギ	針葉樹	32.5	100.4
Ⓒ 松枯れ木（クロマツ）	針葉樹	26.7	105.3
Ⓓ 林地残材（スギ 樹齢：14年生）	針葉樹	32.6	100.1
Ⓔ クヌギ	広葉樹	17.7	76.3
Ⓖ 稲わら	草本植物	5.3	–
Ⓗ モミガラ	草本植物	11.4	–



▲ リグノフェノールの赤外線吸収スペクトル

▲ (A) Japanese black pine LC
（クロマツ リグノクレゾール）

▲ (B) Japanese cedar LC
（スギ リグノクレゾール）

▲ (C) Damaged pine with disease LC
（松枯れ木[クロマツ]リグノクレゾール）

▲ (D) Thinned wood LC
（間伐材[スギ]リグノクレゾール）

▲ (G) Rice Straw LC
（稲わら リグノクレゾール）

▲ (E) Sawtooth oak LC
（クヌギ リグノクレゾール）

▲ (F) Bamboo LC
（タケ リグノクレゾール）

▲ (H) Rice Hulls LC
（もみ殻 リグノクレゾール）

▲ 隠岐の島のリグノフェノール写真

Table 2 隠岐の島町のリグノフェノール・炭水化物 生産量

	リグノフェノール 生産量 (t / 年)	炭水化物 生産量 (t / 年)
松食い虫被害木	1.6×10^3	4.0×10^3
林地残材（間伐材等）	1.9×10^3	3.3×10^3
製材所廃材	1.7×10^2	3.2×10^2
ゴミ処理場廃材	1.8×10^2	3.5×10^2
廃材 全体量	3.9×10^3	8.0×10^3
森林資源（年間成長量 ）	9.4×10^3	2.0×10^4

参考：芳香族系石油化学製品 消費量・・・約100kg/人・年,
プラスチック消費量・・・約82kg/人・年

参考文献：〔1〕M.Funaoka and I.Abe, Tappi Journal, 72 (8), 145-149(1989),〔2〕K.Mikame and M.Funaoka, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 32 (4),1131-1134(2007),〔3〕財務省, 貿易統計(2003),〔4〕経済産業省，化学工業統計(2003)