

「稲わらを原料としたエタノール
生産の環境影響評価」報告書

(独) 産業技術総合研究所

1 一般的事項

1.1 評価実施者

所属機関: (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門

名 前: 本下 晶晴、楊 翠芬

連絡先: m-motoshita@aist.go.jp

1.2 報告書作成日

2010/04/29

2 調査実施の目的

2.1 調査実施の理由

稲わらを原料としたエタノール生産の環境影響を評価し、重要なプロセスの抽出および副産物利用による影響の違いについて考察する。

2.2 調査結果の用途

稲わらを原料としたエタノール生産における環境影響の改善に重要なプロセスを明確にし、かつ副産物利用の有効性について定量的な情報を提供することで実プラント運用における環境影響の低減を促進する。

3 調査範囲

3.1 調査対象とその仕様

稲わらをエタノール製造プラントにて濃硫酸法による加水分解後、発酵させてエタノールを製造するプロセスを調査対象とする。原料となる稲わらは収穫し圃場にて自然乾燥させた後、圧縮梱包しエタノール製造プラントにトラック輸送する。シナリオとして、加水分解プロセスから副産物として得られるリグニンをボイラー燃料として用いて発電・蒸気利用を行うケースと、利用しないケースを想定し、2つのシナリオ共に評価対象とする。

3.2 機能および機能単位

未利用または低利用の稲わらから 1GJ のエタノールを生産する (エタノール収率: 0.236L/kg)。

3.3 システム境界

稲わら回収から破碎・分解・発酵などエタノール製造プロセスから生産されたエタノールの輸送までを評価範囲とする。稲わらの生産過程は含まない (図 3.2-1、図 3.2-2)。

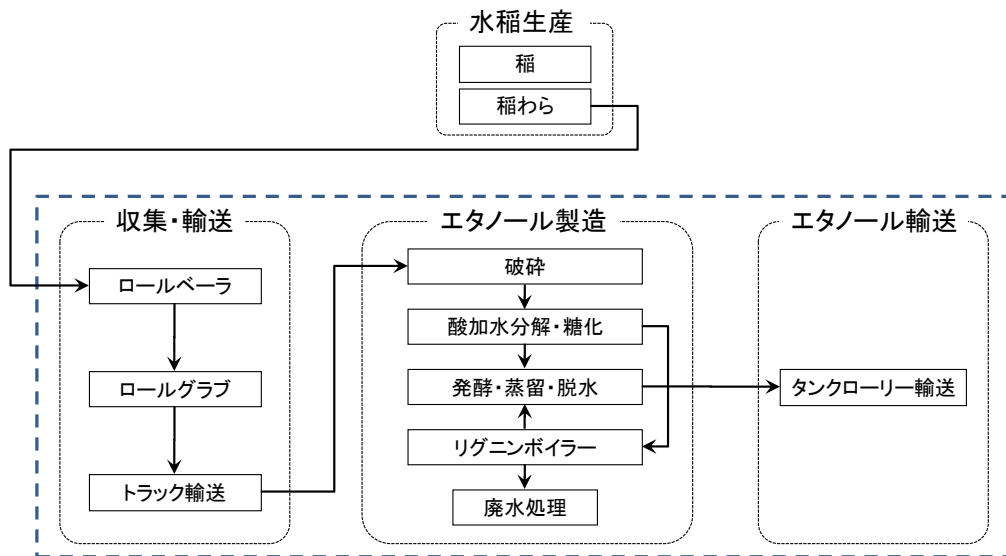


図 3.2-1 稲わらからのエタノール製造システムと評価範囲(リグニンボイラーの利用含む)

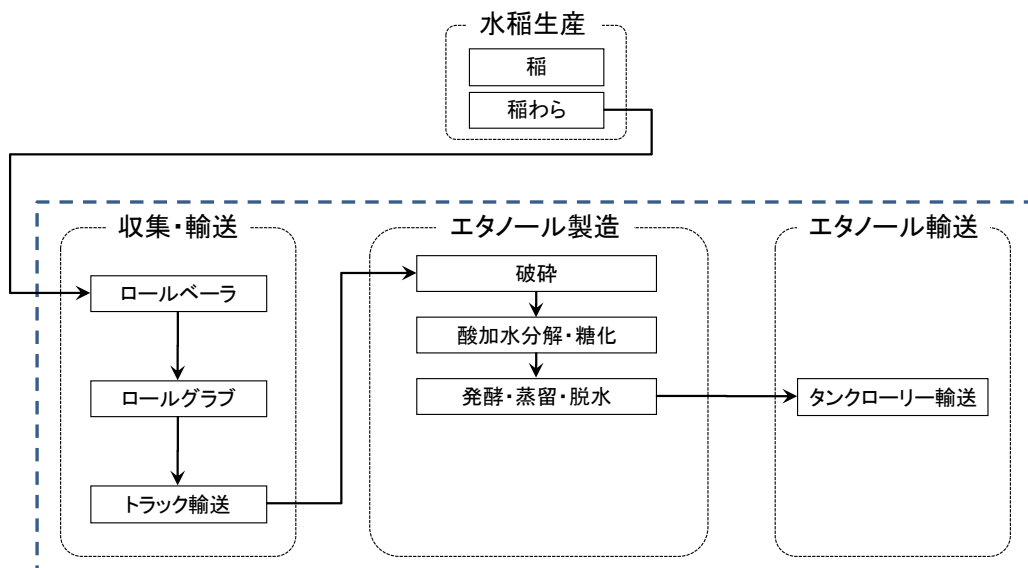


図 3.2-2 稲わらからのエタノール製造システムと評価範囲(リグニンボイラーの利用含まない)

3.4 特記事項（除外したプロセス・項目等について）

現状では焼却処分・鋤きこみされている未（低）利用の稲わらからのエタノール生産システムを評価対象として、未（低）利用の稲わらを農業残さとして考えるため、稲わらの生産に関する耕作などを考慮していない。ただし、休耕地の活用などで稲わらの増産を目的とする場合には、稲作段階で投入されるエネルギー・資材などを米、米の副産物である稲わら、もみ殻へのアロケーションを考慮しなければならない。また、稲わらは、堆肥、

飼料、エタノール、土壌還元などに利用されており、エタノールに課するアロケーションについても考慮する必要がある。

4 インベントリ分析

4.1 フォアグラウンドデータ

各プロセスへのエネルギー・資材の投入量データについては楊ら¹⁾により調査された事例から入手した。

4.2 バックグラウンドデータ

各エネルギーおよび資材についての原単位データについては、AIST-LCA ver.4 を用いた。

4.3 インベントリ分析対象項目と分析結果一覧表

表 4.3-1 にリグニンボイラー利用ありのケースおよびリグニンボイラー利用なしのケースそれぞれにおけるインベントリ分析の対象とした項目と分析結果の一覧を示す。

表 4.3-1 各ケースにおける LCI 分析結果 (単位 (kg/f. u.))

		kg	シナリオ1(リグニンボイラー含む)			シナリオ2(リグニンボイラーなし)				
			収集・輸送	エタノール製造	エタノール輸送	合計	収集・輸送	エタノール製造	エタノール輸送	合計
Resources	Al(資源)	kg		6.75E-03		6.75E-03	6.75E-03		6.75E-03	
	Cu(資源)	kg		1.05E-01		1.05E-01	1.05E-01		1.05E-01	
	Pb(資源)	kg		3.81E-02		3.81E-02	3.81E-02		3.81E-02	
	U(資源)	kg	1.25E-08	8.32E-05	1.62E-09	8.32E-05	1.60E-08	3.24E-09	2.70E-04	
	Zn(資源)	kg		2.13E-01		2.13E-01	2.13E-01		2.13E-01	
	けい砂(資源)	kg		3.45E-02		3.45E-02	3.45E-02		3.45E-02	
	石灰石(資源)	kg		3.81E+00		3.81E+00	3.81E+00		3.81E+00	
	原油(資源)	kg	1.56E+00	8.52E-01	5.20E-01	2.94E+00	2.69E+00	1.84E+01	1.04E+00	2.21E+01
	石炭	kg	5.80E-04	9.44E-01	2.12E-04	9.45E-01	1.04E-03	2.95E+00	4.24E-04	2.95E+00
	天然ガス(資源)	kg	2.35E-02	5.11E-01	7.80E-03	5.43E-01	4.03E-02	1.87E+00	1.56E-02	1.93E+00
Air	CO2	kg	5.02E+00	7.98E+00	1.66E+00	1.47E+01	8.62E+00	7.51E+01	3.33E+00	8.70E+01
	CH4	kg	3.90E-05	1.66E-04		2.05E-04	3.90E-05	1.91E-03		1.95E-03
	N2O	kg	8.15E-05	2.70E-04	2.69E-05	3.78E-04	1.40E-04	1.65E-03	5.38E-05	1.85E-03
	NMVOc	kg	6.72E-04	3.67E-04	3.09E-04	1.35E-03	1.34E-03	1.15E-03	6.18E-04	3.10E-03
	NOx	kg	5.37E-04	2.86E-03	4.36E-05	3.45E-03	6.32E-04	3.58E-02	8.72E-05	3.65E-02
	NOx(移動発生源)	kg	1.47E-02	1.07E-03	6.81E-03	2.26E-02	2.95E-02	2.08E-03	1.36E-02	4.52E-02
	SOx	kg	1.30E-04	2.56E-03	2.30E-05	2.71E-03	1.79E-04	9.07E-02	4.60E-05	9.09E-02
	SOx(移動発生源)	kg	7.36E-04		3.40E-04	1.08E-03	1.47E-03		6.81E-04	2.15E-03
	ばいじん	kg	5.92E-05	1.67E-04	3.10E-06	2.29E-04	6.59E-05	8.66E-03	6.20E-06	8.73E-03
	PM10(移動発生源)	kg	4.71E-04	7.84E-05	2.18E-04	7.67E-04	9.42E-04	1.53E-04	4.35E-04	1.53E-03
	As	kg	7.03E-12	7.44E-08		7.44E-08	7.03E-12	2.42E-07		2.42E-07
	Cd	kg	5.81E-13	6.15E-09		6.15E-09	5.81E-13	2.00E-08		2.00E-08
	Cr	kg	1.28E-11	1.35E-07		1.35E-07	1.28E-11	4.40E-07		4.40E-07
	Hg	kg	8.49E-12	8.98E-08		8.98E-08	8.49E-12	2.92E-07		2.92E-07
	Ni	kg	1.44E-11	1.52E-07		1.52E-07	1.44E-11	4.94E-07		4.94E-07
	Pb	kg	3.37E-11	3.56E-07		3.56E-07	3.37E-11	1.16E-06		1.16E-06
	Water	As	kg		6.70E-08		6.70E-08	6.70E-08		6.70E-08
		Cd	kg		1.01E-08		1.01E-08	1.01E-08		1.01E-08
		Cr	kg		2.01E-07		2.01E-07	2.01E-07		2.01E-07
		Hg	kg		6.70E-09		6.70E-09	6.70E-09		6.70E-09
Industrial	がれき類(埋立)	kg		1.55E-03		1.55E-03	1.55E-03		1.55E-03	
	簗しい(埋立)	kg		2.83E-01		2.83E-01	2.83E-01		2.83E-01	
	廃プラスチック類(埋立)	kg		7.80E-04		7.80E-04	7.80E-04		7.80E-04	
	産廃・埋立廃棄物(特定せず)	kg		1.84E-02		1.84E-02	1.84E-02		1.84E-02	
	汚泥(埋立)	kg		2.00E+00		2.00E+00	4.91E+01		4.91E+01	

5 インパクト評価

5.1 対象とした評価ステップと影響領域

インパクト評価は日本版被害算定型影響評価手法 LIME2 を利用し、特性化、被害評価、統合化の 3 ステップについて評価を実施した。各ステップにおいて評価対象とした影響領

域について表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 評価対象とした環境影響領域と評価ステップ

	特性化	被害評価	統合化
資源消費（エネルギー）	○	○	○
資源消費（鉱物）	○	○	○
地球温暖化	○	○	○
都市域大気汚染	—	○	○
オゾン層破壊			
酸性化	○	○	○
富栄養化	○	○	○
光化学オキシダント	○	○	○
人間毒性	○	○	○
生態毒性	○	○	○
室内空気質	—		
騒音	—		
廃棄物	○	○	○
土地利用			

5.2 インパクト評価結果

5.2.1 特性化

稲わらからのエタノール生産についての特性化結果として、資源（エネルギー）消費と廃棄物に関する結果を図 5.2-1、図 5.2-2 に示す。エネルギー消費においては原油消費による影響が大きい。特に加水分解時に発生するリグニンをボイラー燃料として利用しないケースではその影響が大きい一方で、リグニンをボイラー燃料として利用することでエネルギー消費量を大きく削減できることが分かる。また、リグニンをボイラー燃料として利用しない場合、廃棄物として埋め立て処分するため、廃棄物による埋立処分量の観点からも影響が大きい。したがって、加水分解により発生するリグニンを如何に有効利用するかが大きなポイントであり、ボイラー燃料として用いた場合、エネルギー消費量の抑制に加え廃棄物処分量の抑制の両面から環境影響の低減効果が期待できる。

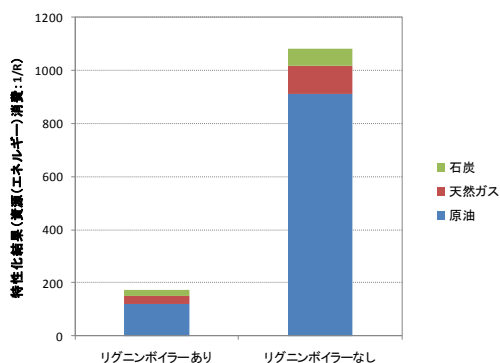


図 5.2-1 特性化結果(エネルギー消費)

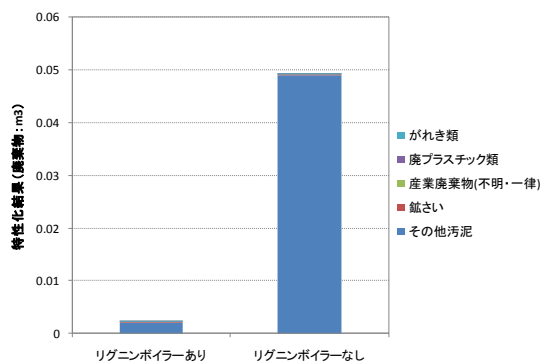


図 5.2-2 特性化結果(廃棄物)

5.2.2 被害評価

図 5.2-3～図 5.2-6 に 4 つの保護対象に対する被害評価結果（物質別内訳）を示す。いずれの保護対象についても、加水分解により発生するリグニンをボイラー燃料として利用するケースの方が利用しないケースに比べて被害量を大きく抑制することができる。人間健康では、CO₂ 排出による影響が大きく、特にリグニンボイラー利用なしのケースでは二酸化硫黄の排出による被害量もかなり大きい。社会資産ではその他汚泥の埋め立てによる被害が大きく、これは加水分解時に排出されるリグニンを埋立処分すること起因する。一次生産、生物多様性においても社会資産の場合と同様の傾向が見られ、リグニンの埋立処分を回避することがこれらの被害量の抑制に大きく貢献することが分かる。

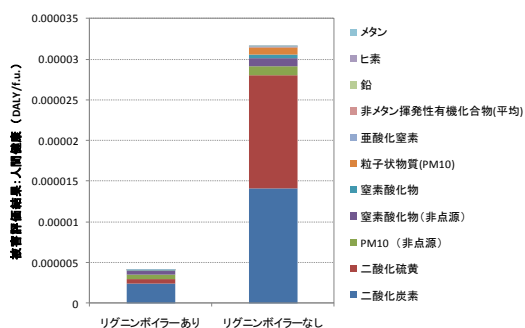


図 5.2-3 被害評価結果(人間健康)

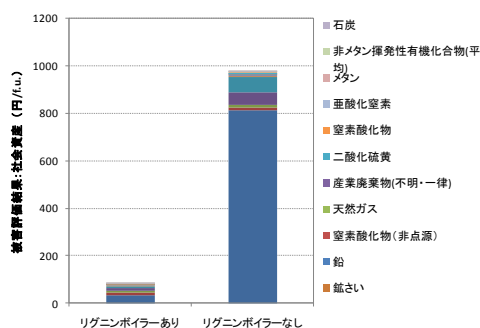


図 5.2-4 被害評価結果(社会資産)

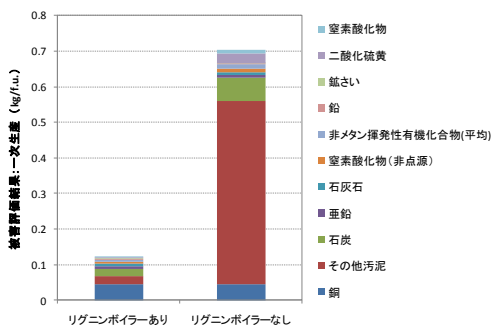


図 5.2-5 被害評価結果(一次生産)

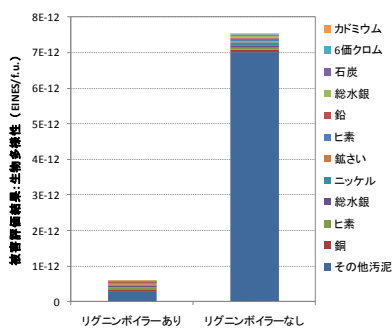


図 5.2-6 被害評価結果(生物多様性)

プロセス別の被害評価結果の内訳を図 5.2-7, 図 5.2-8, 図 5.2-9, 図 5.2-10 に示す。いずれの保護対象についても製造プロセスにおける被害量が大きい。社会資産、一次生産、生物多様性では図 5.2-4～図 5.2-6 から分かるように加水分解時に発生するリグニンの埋立処分による被害が大きいため、製造プロセスの被害量が大きい。人間健康においてもリグニンボイラーを利用するかどうかで製造時の被害量の差が大きく、リグニンを燃料として利用する発酵・蒸留・脱水に関わるエネルギー消費による被害が大きいため（図 3.2-1、図 3.2-2 参照）。

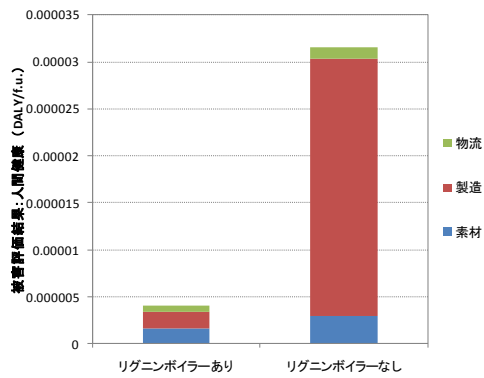


図 5.2-7 被害評価結果(人間健康)

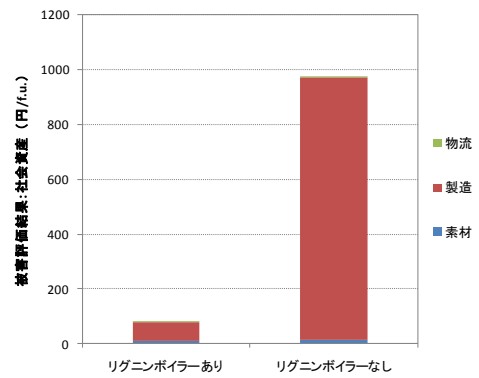


図 5.2-8 被害評価結果(社会資産)

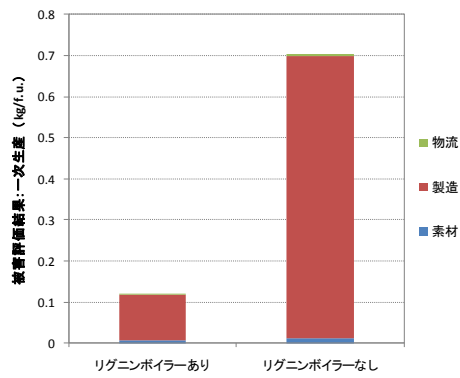


図 5.2-9 被害評価結果(一次生産)

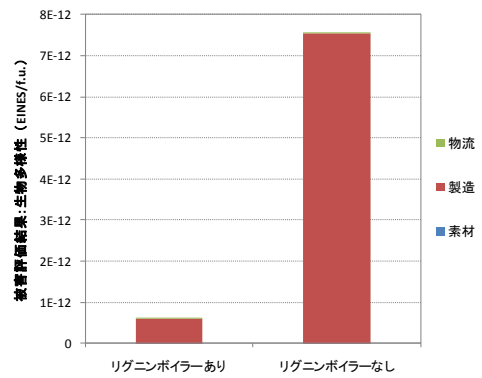


図 5.2-10 被害評価結果(生物多様性)

5.2.3 統合化

図 5.2-11 に統合化結果（物質別）を示す。リグニンボイラーを利用することが全体の環境影響の大きな低減に繋がっていることがよく分かる。特に、CO₂ の排出、その他汚泥（リグニン）の埋立、粒子状物質（PM₁₀）の排出、による影響が大きく、加水分解時に発生するリグニンの有効利用がこれらの影響を効果的に削減できているといえる。

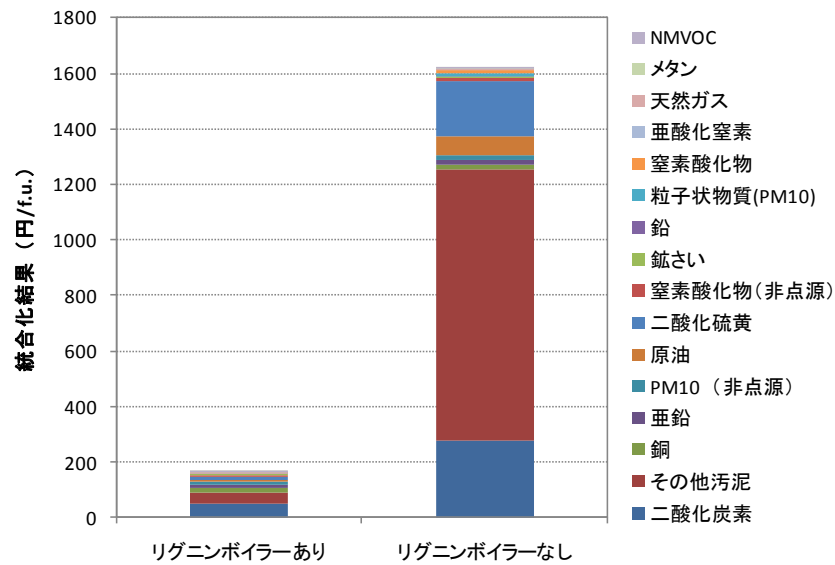


図 5.2-11 統合化結果(物質別)

5.2.4 ガソリンとの比較

図 5.2-12 には各ケースに加えてガソリンについての CO₂ 排出量および統合化結果を合わせて示す。なお、ガソリンについては AIST-LCA ver.4 に掲載されている LCI データを用いて LIME2 による評価を行ったものである。

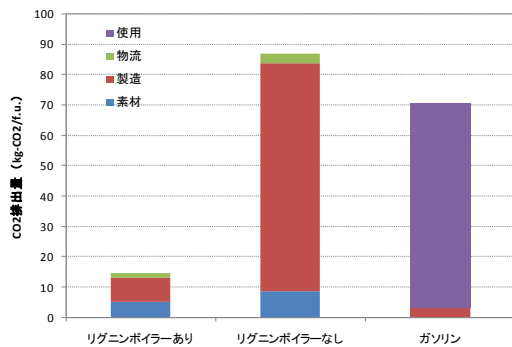


図 5.2-12 CO₂ 排出量(段階別)

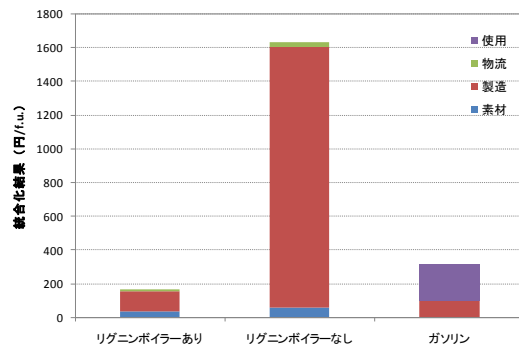


図 5.2-13 統合化結果(段階別)

稲わらから生産されたエタノールの燃焼時に発生する CO₂ はバイオマス起因であるため評価に含めていないため、図 5.2-12 から分かるようにリグニンボイラーを利用することでガソリンに比べて CO₂ 排出量を大きく抑制できる（約 1/5 まで低減）といえる。一方で、統合化結果（図 5.2-13）では CO₂ の排出以外による影響も考慮された結果として、リグニンボイラーを利用したバイオエタノールの方が環境影響は小さいもののガソリンに対して約半分程度となっており、CO₂ 排出量だけでの比較に比べるとその差は小さくなっている。また、本調査では考慮していないがバイオエタノール燃焼時の有害な副生成物の排出の危険性なども指摘されており、これらの影響を考慮することで結論にも影響を与える可能性があることには注意が必要である。

5.2.5 他のバイオエタノールの事例

図 5.2-14 には匂坂ら（2006）がさとうきび由来のバイオエタノールについて LIME による評価を行った結果を参考情報として示す。さとうきび由来のバイオエタノールの影響が非常に大きい。匂坂らの事例では土地利用に関する影響が考慮されており、その影響が非常に大きいことが図 5.2-14 から分かる。バイオエタノール生産のために土地利用形態を変更する場合には、その影響が無視できない可能性を示唆しているといえる。また、都市域大気汚染の影響がガソリンに比べて大きくなっており、両者における地球温暖化の影響の差と比べても大きい。これには使用する燃料の種類や対象地域における電源構成が影響していると思われる（特に石炭を燃料とするものが多いと推測される）、地域によっても使用する燃料や電源の構成が異なる場合には結論を左右する可能性があることにも注意が必要である。

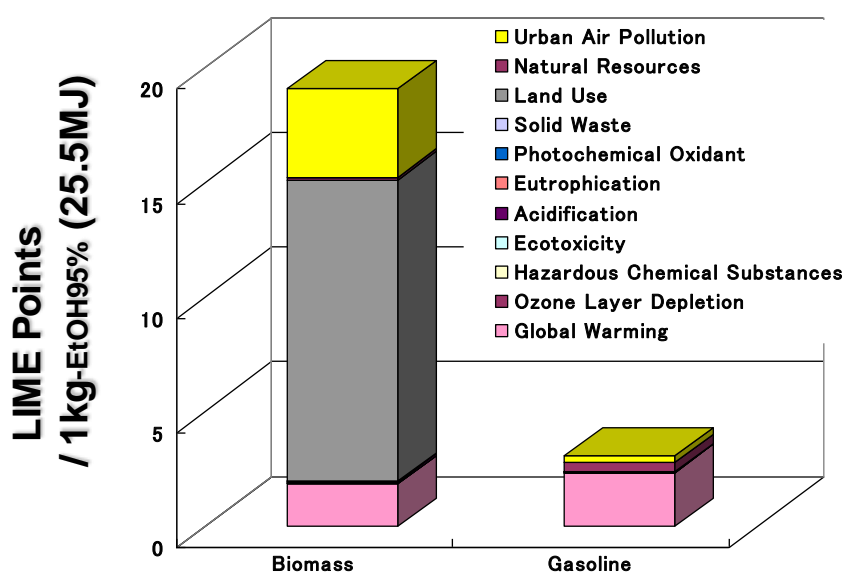


図 5.2-14 さとうきび由来のバイオエタノールとガソリンの LIME による評価結果

6 結論

6.1 調査結果のまとめ

稲わらを原料としたエタノール製造に関する環境影響評価を行った。稲わらを加水分解した後の発酵・蒸留・脱水プロセスにおけるエネルギー消費による環境影響が全体に対して大きく影響を与えていることが分かった。また加水分解後に発生するリグニンをボイラー燃料として有効利用することで、発酵・蒸留・脱水プロセスにおけるエネルギー消費に起因する環境影響の低減だけでなく埋立処分量の削減による環境影響低減効果も大きく、全体の環境影響を約 1/10 程度まで削減することができることが明らかとなった。

6.2 限界と今後の課題

今回の評価結果から、原料の稲わらや製品のエタノール輸送プロセスの影響は大きくないことが既に明らかになったが、今回の分析では平均的な条件におけるシナリオ設定に基づいており、より精度高い評価のためには個別のケースに応じて輸送に関わる影響を算定する必要がある。また、原料となる稲わらは焼却処分などがされている未利用・低利用の稲わらを想定したため、水稻生産時の負荷は今回の分析では考慮していない。他の燃料との比較などを行う場合には、これらの原料生産における負荷を考慮して比較する必要がある。この場合、水稻生産時の負荷を、精米、稲わら、もみ殻などへどのようにアロケーションするかには十分注意する必要がある。

参考文献

- 1) 楊 翠芬・匂坂 正幸：稲わらからのバイオエタノール生産システムに関する評価，日本 LCA 学会誌，Vol.5，No.4，pp.501-509，2009
- 2) Sagisaka, M., T. Ohtani, Y. Kaji, K. Tahara and K. Kobayashi: Fluctuation of Environmental Burden Induced by Uncertainty of Biomass Production, Bangkok, 2006