

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.19  
環境エネルギー材料に関わる  
LCAに関する文献のレビュー作成  
報告書



独立行政法人 物質・材料研究機構  
元素戦略センター

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.19  
環境エネルギー材料に関わる  
LCAに関する文献のレビュー作成  
報告書

2010年 3月

執筆者

伊坪徳宏  
原田幸明

(独) 物質・材料研究機構  
元素戦略センター

執筆者

伊坪徳宏 東京都市大学 環境情報学部

原田幸明 独立行政法人 物質・材料研究機構 元素戦略センター

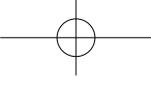
はじめに

21世紀も最初の10年となり地球温暖化に向けた取り組みは一層強められようとしている。特に、地球温暖化に対して人類の叡智としての科学技術による解決への模索にはエコ・イノベーションとして高い期待が寄せられている。たとえば、エネルギー供給をとってみても、太陽光発電であり、燃料電池であり、またそのエネルギーの効率的な利用のための強力磁石モータやLED照明があり、さらにそれを繋ぐ超伝導や二次電池がある。また、これらの基礎になっているものはシリコンであり、化合物半導体であり、さらに新構造の物質群であり、新規の物質がこれらの技術の実現のカギを握っているといつて差し支えない。それらの技術を一覧に示したのが、物材機構が2008年に開催した『環境エネルギー材料展』であった。そこでは Environment(環境)と Energy(エネルギー)の EE にちなんだ 88(EightyEight)の分野での新材料の開発技術が一堂に集まり、その後首相となった鳩山由紀夫氏や元環境大臣の小池百合子氏も来席する盛況であり、エコ・イノベーションを支える物質・材料の開発にその期待の大きさを表していた。

しかし、他方でこれらの技術には高度な物質の精製・調整とそのナノサイズにも至る微細な作りこみの技術が必要である。そのために物質を何度も原子や分子状に近い高エネルギーの状態に持ってきて目的の物理・化学結合の状態に転換していくことが頻繁に行われる。そのために、これらの物質の製造段階でのエネルギー投入は従来のものに対してきわめて大きくなることが予想される。このように、エコ・イノベーションを支える物質・材料技術は、使用段階での省エネルギー・低環境負荷の効果に対して、製造段階で消費者の目に見えない環境負荷を大量に発生させる、いわゆる「使用段階の負荷と製造時の負荷のトレードオフ」の関係を持つことになる。

このトレードオフの関係をチェックし、製品のライフサイクル全体として、地球環境に対してその負荷を軽減する方向に技術レベルが達したことを確認できるのが LCA(ライフサイクル・アセスメント)である。これからの技術開発は、単に技術的可能性だけでなく、その技術の普及の駆動力としてのコストの問題とともに、その技術の総合的影響としての LCA の両者をクリアすることが必須条件となってくる。

本報告書では、これらの環境エネルギー材料を評価する LCA の現状をレビューした。これは、我が国で最も積極的に LCA の研究を進めている LCA 研究者のひとりである東京都市大学の伊坪徳宏准教授のグループに、先述の環境エネルギー材料展の内容と 88 の分野を提示し、それに対する LCA がどこまで進んでいるかをレビューしてもらったものである。LCA 自体も発展途上でありまだまだ不十分な部分も多いが、着実にその適用は広まってきている。しかし、中には材料技術に対する情報が希薄なため主要でない素材が単に情報を得やすいために LCA 解析の主要部分を占めてしまい重点を見失う可能性のあるものもある。物質・材料を開発する立場としては、材料を開発しそれを LCA の専門家の俎上にのせ判断を待つのではなく、積極的に投入エネルギーや使用原材料などの LCA の専門家と交換しつ

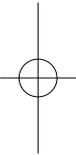
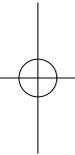


つ、社会がよりよい技術を選択できるような技術基盤を作っていく必要がある。

2009年に設立された元素戦略センターは、この分野でもより優れた物質・材料を社会が選択できる懸け橋としての情報整備を進める予定であり、本報告の作成に尽力頂いた伊坪准教授を客員研究員として迎えて、一層その態勢を強めることにしている。本報告書をもとにLCA的思考からの環境エネルギー材料技術についての情報がより広くかつ正確に広まることを期待している。

2010年3月

元素戦略センター長 原田幸明



## 調査の概要

### 1. 調査目的

エコマテリアルに関わる LCA 文献を収集し、これら材料の LCA がどのくらい行われているのかを調査し、得られた知見についてまとめる。

### 2. 調査の概要

「環境エネルギー材料アウトルック」、「環境エネルギー材料展 88」に記載するエコマテリアルの分野で、LCA が実施されている文献を検索・収集する。次に、収集される文献ごとに LCA の実施内容について整理する。さらに、同じ材料を対象とした LCA 結果を比較し、LCA を通じて当該分野で現在わかっている知見を総括として纏める。

総括に書かれる「主な結論」では、①同じ結論を表示した文献の件数、②これら文献に付けられた文献番号、③結論の信頼度、の 3 つの情報を提示する。信頼度の考え方は以下に示す。

信頼度 A：複数の文献が支持し、合意があると考えられる事項。

信頼度 B：合意に至っていないものの、複数の文献において共通する事項。

信頼度 C：複数の文献で結論が異なっていたり、あるいは、当該事項を指摘した文献が 1 件のみであるため、合意に至っていないと考えられる事項。

### 3. 調査分野

「環境エネルギー材料アウトルック」と「環境エネルギー材料展 88」の先端材料領域を参考にし、目次に示した 21 種類のエコマテリアルを対象とした。本報告書が収集した文献の内「環境エネルギー材料展 88」の領域に対応した文献数を表 1 に示す。

評価対象は、地球温暖化（多くの場合は CO2 排出量）を中心とするが、海外文献の多くは資源、生態毒性、酸性化など複数の影響項目にわたって評価を行っているため、これらの影響もあわせて調査することとした。

表 1 「環境エネルギー材料展 88」の領域に対応した文献数

材料展の領域名	本報告書	材料展の領域名	本報告書	材料展の領域名	本報告書
燃料電池	12	New Life	1	グリーン製造技術	1
水素	7	照明	1	環境浄化材料	1
二次電池	3	磁石	—	触媒	—
太陽エネルギー	10	エネルギー伝送	1	材料設計	1
熱電材料	—	軽量構造材	10	日常材料	1
保温・冷却	—	高効率転換部門	—	分析技術	—
資源負荷の少ない物質・構造	—	省電力エレクトロニクス	2		

#### 4. 調査文献ソース

- 日本 LCA 学会（学会誌、講演要旨集）
- エコバランス国際会議（2002、2004、2006、2008）
- エコマテリアル国際会議（2001、2005、2007）
- Transactions of the MRS-J（2004）
- J-STAGE
- JDream 2
- ScienceDirect に含まれる各種論文誌

## 目次

分野 番号	対象分野	調査文 件数	査読付 (内数)	英語 (内数)	総括ペ ージ	文献ペ ージ
1	照明	1			6	18
2	軽量構造材	10	(7)	(8)	6	20
3	バイオポリマー	6	(2)	(4)	7	41
4	バイオ燃料	8		(5)	7	50
5	鉛フリーはんだ	2	(1)		8	60
6	容器包装材	1		(2)	8	64
7	金属材料	1			8	65
8	建材	10	(4)	(4)	9	66
9	電力	2			11	84
10	風力発電	3	(2)		11	90
11	水素 (エネルギー伝送)	7	(7)	(4)	12	93
12	太陽エネルギー	10	(9)	(8)	12	103
13	燃料電池	12	(8)	(7)	13	130
14	2次電池	3	(3)	(2)	13	155
15	携帯用液晶ディスプレイ	1			14	162
16	消去可能インク	1		(1)	14	163
17	6価クロム代替材	1	(1)	(1)	14	164
18	Co-firing ガスタービン発電	1	(1)	(1)	15	168
19	塗料	1	(1)	(1)	15	170
20	New life (FED)	1	(1)	(1)	16	173
21	淡水化技術	2	(2)	(2)	16	177
	合計	84	(49)	(58)		

# 総括

## 1. 照明

1.1	LED ランプ	1 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	LED ランプと蛍光ランプの比較				
主な結論	LED ランプは、蛍光ランプと比較して、製造段階は最大 6 倍大きい。一方寿命が長く、使用時消費電力が小さいことから LCCO2 は 7 割程度小さい。		1 件	C	1
	LED ランプは、使用段階の CO2 が LCCO2 に占める割合は 95~99%。		1 件	C	1

## 2. 軽量構造材

2.1	CFRP 軽量車	2 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	複合材料使用による軽量化効果				
主な結論	複合材料 (CFRP) は、製造時の重量単位当たり CO2 排出量は鉄の 10 倍大きく、30 kg-CO2/kg-CFRP となる。		1 件	C	2
	CFRP を鉄の代替材として一般乗用車に利用した場合、軽量化による使用時の削減効果は、製造時の CO2 増加とほぼ等しく、代替効果は限定的である。		1 件	C	2
	バスに CFRP を利用すると使用時の軽量化効果が一般乗用車より大きく、利用価値が高い。		1 件	C	3
2.2	複合材料の比較	5 件 (うち査読論文 5 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	ガラス繊維複合材料と三種類の植物繊維複合材料 (Curaua fiber, China reeb fiber, Flax fiber) を比較				
主な結論	ガラス繊維複合材料の CO2 排出量は、1.92~2.17kg/kg 植物繊維複合材料の CO2 排出量は、1.26~1.6 kg/kg		2 件	B	10, 11
	重量を機能単位とした場合、植物繊維複合材料の方が CO2 排出量は小さい。		5 件	A	7~12
	強度を機能単位とした場合、ガラス繊維複合材料の方が小さい場合がある。		1 件	B	10
	富栄養化に対する影響は、植物繊維複合材料の方が大きい。		4 件	A	7~12
2.3	エンジンプロックの軽量化効果	2 件 (うち査読論文 1 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	鋳鉄製、アルミ製、Mg 製エンジンプロック (EB) の比較				
主な結論	アルミ製と Mg 製の CO2 排出量は同程度 : LCCO2 は、		2	B	4,

	2~3t/EB (鋳鉄の 5~7 割)	件		13
	リサイクル材を使用した場合は、バージン材より 4 割削減可能	1 件	C	4
2.4	車ドア用軽量プラスチック材 1 件 (うち査読論文 1 件)	件	信	文 献
評価目的	従来素材(PVC, PES, POM)と軽量代替材 (TPO, PP) の比較。	数	頼	番 号
主な結論	軽量代替材を使用した場合、温暖化、酸性化、生態毒性は 2 割、廃棄物と土地利用は 7 割の削減が可能	1 件	C	5

### 3. バイオポリマー

3.1	バイオポリマー 6 件(うち査読論文 2 件)	件	信	文 献 番 号
評価目的	バイオポリマーの製造及びリサイクルの環境負荷	数	頼	
主な結論	従来製法で生産した場合、バイオポリマー (PLA) の方が PP と同等もしくはやや高い。	4 件	B	14~16, 18
	PLA が従来製法の場合、1.8~4.4kg/kg 廃熱やグリーン電力を使用する場合、-0.2~-1.9kg/kg	2 件	A	16, 18
	PLA のケミカルリサイクルは CO2 削減効果がある。	1 件	C	17
	課題：難燃剤の評価を評価する必要がある。			

### 4. バイオ燃料

4.1	バイオ燃料 8 件(うち査読論文 0 件)	件	信	文 献 番 号
評価目的	バイオ燃料とガソリンの比較	数	頼	
主な結論	バイオ燃料の方がガソリンより、LCCO2 が低い。	7 件	A	20~25
	廃材、廃熱を利用することで更に CO2 を削減することが可能。	3 件	A	21, 24, 25
	大豆など食物由来の方が廃木材、セルロス系、木質バイオマス系より CO2 排出量大きい。	1 件	C	25
	土地の利用方法により結果が変わりうる。熱帯雨林からの転用は CO2 排出量増加に寄与する。	1 件	C	21
	統合化結果ではバイオ燃料の方がガソリンより大きい。(バイオマス生産段階の富栄養化、農薬由来の生態毒性及び土地利用による影響が大きい。)	1 件	C	25

## 5. 鉛フリーはんだ

5.1	鉛フリーはんだ	2 件 (うち査読論文 1 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	従来はんだとの比較				
主な結論	従来はんだより CO2 排出量が多い場合と小さい場合がある。		2 件	C	26、27
	鉛の無害処理には大きなエネルギーが必要となるため、これを含めると LCCO2 は従来はんだより大きくなる。		1 件	C	27
	鉛の有害性を評価に含めると、鉛フリーはんだの方が総合的環境影響は小さい。		1 件	C	26

## 6. 容器包装材

6.1	環境配慮型アルミ缶	1 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	環境配慮型アルミ缶 (aTULC) と従来製缶法の比較				
主な結論	ポリエステルフィルムを内外面にラミネートし、塗装をなくすことで従来のアルミ缶製法より、LCCO2 が約 3 割削減可能。		1 件	C	28
	aTULC は従来製缶法より水使用量が少ない。		1 件	C	28

## 7. 金属材料

7.1	Ni 添加鉄鋼	1 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	Ni 添加鉄鋼と従来鋼の比較				
主な結論	Ni 添加鉄鋼を使用した鉄鋼橋は長寿命化による環境影響削減効果が見込まれる。(統合化結果で 2 割から 4 割程度の削減)		1 件	C	29

## 8. 建材

8.1	鉄道用材料	2 件(うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	従来材との比較				
主な結論	ジオポリマーコンクリートは石灰石に依存しない製法を取るため、CO <sub>2</sub> 排出量が小さい。(75 kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> 、従来コンクリートの約 2 割。)		1 件	C	30
	すり板は現在銅系焼結合金を主に使われているが、トロリ線に対する攻撃性が低いカーボン系すり板に変更することで LCCO <sub>2</sub> 排出量が約 2 割削減できる。		1 件	C	30
8.2	合板	1 件(うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	合板 (GM) とパーティクルボード(PB)、木粉プラスチック複合材(WP)及びコルク材の比較				
主な結論	合板平方米あたり LCCO <sub>2</sub> 排出量は、WP(平均 30kg/m <sup>2</sup> ) > GM(平均 20kg/m <sup>2</sup> ) > PB(平均 8kg/m <sup>2</sup> )。		1 件	C	32
	WP は廃棄物量が少なく、バージン材を使用しないため、廃棄物、資源枯渇や土地利用の影響が小さいと考えられる。		1 件	C	32
8.3	住宅用サイディング材	1 件(うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	4 種類の住宅用サイディング材 (塩ビ系、金属系、木質系、窯業系) の比較				
主な結論	塩ビ系材料は他の材料より資源消費が大きい、地球温暖化、酸性化と固形廃棄物は比較的小さい。		1 件	C	33
	課題：塩ビ系の廃棄段階を含めた評価が必要。				
8.4	防水コーティング材、内装材	2 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	VOC を放出しない建材と従来建材の比較				
主な結論	MY ROOFER 塗膜防水材は、VOC を放出しないため、統合化結果は有機溶剤系防水材の 1 割程度。		1 件	C	35
	モイス壁紙は、VOC を吸収分解することで、一般壁紙に比べて製造段階の環境影響はわずかに増加するが、ライフサイクルの統合化結果が一般壁紙の約半分ですむ。		1 件	C	39
8.5	連続繊維強化コンクリート	1 件(うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	繊維強化コンクリートと鉄筋コンクリートの比較				
主な結論	引張強度を機能単位として揃えると、TMR とエネルギー消費量は両方とも同程度である。		1 件	C	36
	繊維強化コンクリートの寿命(100 年)が鉄筋コンクリート(65		1 件	C	36

	年) より長いため、繊維強化コンクリートの環境優位性がある	件		
8.6	電線 1 件 (うち査読論文 1 件)	件	信	文 献
評価目的	電線導体サイズアップと昇圧化による CO2 低減効果の比較	数	頼	番 号
主な結論	昇圧化 (100V→200V) により CO2 は大幅に低減。その効果は、1.3~2.25 百万 t/年。	1 件	C	38
	電線の直径を二倍にした場合、4 年目から 2.5 百万 t/年、21 年目の取り換えが完了した時点での CO2 低減量は 14.8 百万 t/年が期待される。	1 件	C	38
8.7	セメント 1 件 (うち査読論文 1 件)	件	信	文 献
評価目的	ポルトランドセメント (従来技術) とフライアッシュセメントの比較	数	頼	番 号
主な結論	フライアッシュセメントはフライアッシュ混合材を使用することで、原材料の削減に寄与するため、従来技術より統合化結果が 2 割小さい。	1 件	C	40
	どのセメントにおいても、重金属による影響が最も大きい。特に燃料油中に含まれる鉛が最も大きい。	1 件	C	40
8.8	断熱材料 2 件 (うち査読論文 2 件)	件	信	文 献
評価目的	ロックウール、紙ウール、亜麻の比較	数	頼	番 号
主な結論	温暖化、酸性化、富栄養化は、亜麻製品が大きい。(亜麻生産段階の化学肥料由来)	2 件	A	41, 42
	有毒廃棄物は、紙ウールが大きい。(新聞紙の処理とホウ砂ホウ酸製造由来)	1 件	C	41
	総エネルギー消費量は亜麻製品が最も大きい。紙ウールとロックウール製品の同程度だが、紙ウールは再生エネルギーを多く消費する。	1 件	C	41

## 9. 電力

9.1	電力	3 件（うち査読論文 0 件）	件数	信頼	文献番号
評価目的	電源別、国別の比較				
主な結論	火力発電及びバイオマス発電は国により異なる。		1 件	A	45
	石炭・石油が最大、バイオマスガスはこれらより小さい、原子力、水力、太陽光、風力はいずれも小さい。		1 件	B	45
	地球温暖化は他の影響より相対的に重要。		2 件	A	43, 45
	健康影響（大気汚染物質など）が重要。		1 件	C	45
	日本は他の国に比べて影響は小さい。特に大気汚染物質（脱硫、脱硝による）の影響が小さい。		1 件	C	45

## 10. 風力発電

10.1	風力発電	3 件（うち査読論文 2 件）	件数	信頼	文献番号
評価目的	小型と大型発電設備の比較				
主な結論	風力発電設備のサイズによって発電原単位が異なる、7~29.5g/kWh。		3 件	B	46, 47
	大型化によるスケールメリットが見られる。		3 件	B	46, 47
	環境影響の統合化結果によれば、セメント製造時の呼吸器系疾患と資源枯渇影響が最も大きい。		2 件	A	46, 47

## 11. 水素

11.1	水素貯蔵技術	1件(うち査読論文1件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	有機ハイライドによる水素の貯蔵・輸送の LCCO <sub>2</sub>				
主な結論	水素放出(離脱)プロセスの CO <sub>2</sub> が最も大きく、LCCO <sub>2</sub> の 50%以上を占める。		1件	C	48
	燃料電池の廃熱を利用することで、LCCO <sub>2</sub> の約 5割を削減可能。		1件	C	48
11.2	水素製造	6件(うち査読論文6件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	水素製造方法の比較				
主な結論	水の高温熱化学分解法は、水蒸気や天然ガス改質より、CO <sub>2</sub> は約 80%が削減される。(2000~2700g/kg-H <sub>2</sub> )		5件	A	49~51
	太陽光、水力、風力による水の電気分解から水素を生産する方法は、熱化学分解法より CO <sub>2</sub> 排出量が低い。(584~2124g/kg-H <sub>2</sub> )		4件	A	49~51

## 12. 太陽エネルギー

12.1	太陽電池	10件(うち査読論文9件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	太陽電池の CO <sub>2</sub> 及び統合化影響について評価する				
主な結論	CO <sub>2</sub> 排出量は 50~200g/kWh、購入電力の 1割から半分。幅の大きい理由は、設置場所(サハラ砂漠、イタリア、シンガポール都市部)、寿命(20~30年)及び規模(大型、小型)による影響があるため。		8件	A	52~61
	DSC、薄膜 PV いずれも購入電力より小さいが、今後の技術開発が求められる。		3件	A	52,53,60
	単結晶シリコンは多結晶シリコンより 1割程度統合化結果が高い(化石燃料消費が高い)		1件	B	58
	薄膜 PV システムはシリコンシステムに比べて、温暖化、酸性化と生態毒性 3つの影響項目において有利な結果を得た。		1件	B	60

### 13. 燃料電池

13.1	燃料電池	12 件 (うち査読論文 8 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	ガソリン車との比較				
主な結論	車製造段階の CO2 は、FCV の方が GV より大きい (約 2 倍)。(FCV: 2.8~11.2t-CO2, GV: 1.7~6t-CO2)		5 件	A	62~73 (総まとめ)
	GV より FCV の方は幅が大きい、白金のデータの扱いが FCV 製造段階の負荷に大きく影響する。		7 件	A	
	燃料製造段階では、水素生産の CO2 が大きい。		7 件	A	
	GV の評価結果は燃費の設定による影響が大きい、文献間の差異は小さい。FCV は水素の供給源と燃費に影響されやすい。		7 件	A	
	走行段階は、各文献の違いは小さい。GV の走行段階の影響は FCV の水素生産に比べて大きい。		7 件	A	
	ライフサイクル合計では、FCV の優位性が見られた。		6 件	A	
	将来技術向上により、FCV の CO2 が低減されることが期待される。		3 件	B	63, 71, 73
	燃料電池は、化石燃料使用量が少なく、燃料燃焼時の大気排出物も少ないため、資源消費、富栄養化、生態毒性において GV より小さい。		3 件	A	69, 71~73

### 14. 2次電池

14.1	2次電池	3 件 (うち査読論文 3 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	1 次電池と 2 次電池の比較、2 次電池の間の比較				
主な結論	1 次電池は 2 次電池に比べて、健康被害、生態系、資源の 3 つの被害評価結果では 100 倍大きい。(400 回使用)		1 件	C	75
	地球温暖化結果によれば、Li-ion < NiCd < PbA < NiMH (671~832g-CO2/kWh)。NiMH は使用される水素吸蔵合金の製造時エネルギー消費原単位がアルミの 6 倍にも上る。		1 件	B	74
	統合化結果では、Li-ion < NiMH < PbA < NiCd。Cd による影響が大きい。		2 件	B	75, 76

## 15. 携帯用液晶ディスプレイ

15.1	携帯用液晶ディスプレイ	1 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	液晶ディスプレイ製造時の環境負荷について評価				
主な結論	CO2 排出総量は 98 kg/kg-panel。		1 件	C	77
	CO2 の約 6 割は、半導体のプロセスを持つ TFT 工程に集中		1 件	C	77
	CO2 の 9 割が電力由来、その内 34%がクリーンルームの電力消費。		1 件	C	77

## 16. 消去可能インク

16.1	消去可能インク	1 件 (うち査読論文 0 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	印刷後記載内容を消去することができるインクの環境負荷を通常のカーボンブラックインク使用と比較				
主な結論	通常インクと比べて、消去した紙を再度印刷に利用する場合、CO2 排出量を 3 割削減できる。		1 件	C	78
	5 回消去して 6 回印刷した場合、CO2 排出量は通常の場合の半減。		1 件	C	78

## 17. 6 価クロム代替材

17.1	6 価クロム代替材	1 件 (うち査読論文 1 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	6 価クロム代替材としての CrO3 の評価				
主な結論	10000m <sup>2</sup> アルミのクロム陽極処理の LCCO <sub>2</sub> は、94810kg。64%が処理段階のエネルギー消費由来、30%が使われる全ての薬品、素材の製造及び輸送由来。		1 件	C	79
	CrO <sub>3</sub> を使用する場合、使用段階 (処理段階) の 6 価クロムは削減する。製造段階の 6 価クロムの放出も少ない。		1 件	C	79
	溶液から廃水が大量に発生するが、イオン交換樹脂でリサイクルするため、最終的水消費量が少ない。		1 件	C	79

## 18. Co-firing ガスタービン発電

18.1	Co-firing ガスタービン発電	1 件 (うち査読論文 1 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	Co-firing ガスタービン発電の環境負荷				
主な結論	発電原単位：425.7 (±65.98) g/kWh。		1 件	C	80
	従来ガスタービンより 10~50%削減可能。(バイオガスの混入により、天然ガス使用量が削減)		1 件	C	80
参考	Co-firing ガスタービン発電は、従来ガスタービンプラントにバイオマスガス化装置を追加し、ガスタービンからの熱い排気ガスをバイオガス化装置が利用することで、バイオマスを気体のバイオ燃料に変換し、天然ガスに混合してガスタービンで発電する仕組み。				

## 19. 塗料

19.1	塗料	1 件 (うち査読論文 1 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	水性 UV 塗料、乾性 UV 塗料、green wax 塗料、fossil wax 塗料の比較				
主な結論	m2 表面処理の温暖化結果は、乾性 UV(0.1kg) < 水性 UV(0.76kg) < green wax(0.87kg) < fossil wax(0.93kg)。乾性 UV は特に小さい (他 3 種類塗料の約 1/8)。		1 件	C	81
	CO2 について wax 塗料は、施工段階の負荷が大きい (5 割)。UV 塗料は、製造段階が大きい (6 割)		1 件	C	81
	酸性化と富栄養化は、green wax が高い。(植物生産由来)		1 件	C	81
	仮に green wax の寿命を 20 年とした場合 (現状 5 年)、環境影響がかなり削減できる。		1 件	C	81
参考	UV 塗料は、樹脂系塗料、紫外線を照射することにより、瞬時に硬化させる施工方法。				

## 20. New Life

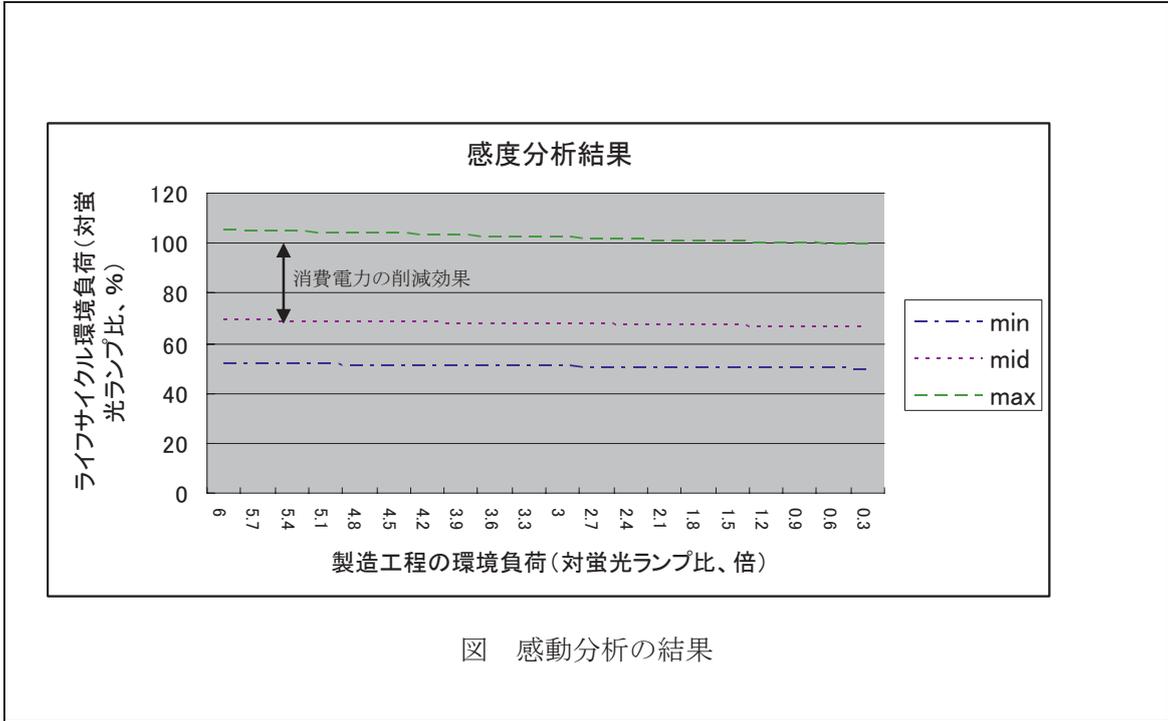
20.1	FED	1 件 (うち査読論文 1 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	FED と CRT, LCD の比較				
主な結論	FED の LCCO <sub>2</sub> は、使用が 7 割、製造が 3 割。製造の 9 割が CNT (carbon nano tubes) コーティング。		1 件	C	82
	LCCO <sub>2</sub> の比較 : FED < LCD (約 FED の 3 倍) < CRT (約 FED の 4 倍)。FED は CNT 使用によるシリコンや半導体の使用量が減り、製造段階の影響を大きく削減されたから。		1 件	C	82
	ナノ粒子放出による健康被害リスクが評価されていない。		1 件	C	82

## 21. 淡水化技術

21.1	淡水化技術	2 件 (うち査読論文 2 件)	件数	信頼	文献番号
評価目的	熱分離法 (MED、MSF) と膜分離法 (RO) の比較				
主な結論	各種分離法の LCCO <sub>2</sub> は、熱分離法(1.11~1.98kg/m <sup>3</sup> )、膜分離法 (1.78kg/m <sup>3</sup> )。どの技術もオペレーション段階のエネルギー消費が大きかった。		2 件	A	83, 84
	膜分離法は、熱分離法よりエネルギー使用量が少ないため、環境影響も少ない。		2 件	A	83, 84
	地下塩水プラントは海水を利用するプラントに比べて、温暖化影響が約半分で済む。地下塩水の濃度が海水より低く、浸透圧が低くて済むため。地下塩水:1.1 kg/m <sup>3</sup> 、海水:1.98kg/m <sup>3</sup>		1 件	B	84

文献ごとのまとめ

タイトル	環境・省エネ型 LED 照明機器システムの総合的普及戦略に関する調査研究報告書																	
著者	JRCM 財団法人 金属系材料研究開発センター																	
発表年月	平成 16 年 3 月																	
入手方法	<a href="http://www.jrcm.or.jp/works_reports/ledlight_reports.pdf">http://www.jrcm.or.jp/works_reports/ledlight_reports.pdf</a>																	
<p>主な内容：</p> <p>LED は、携帯電話を始めとして様々な分野で活用され、将来的には一般照明機器として活用されることが期待されている。しかし、今後の普及に向けては、発光効率の向上、樹脂といった周辺技術開発などの技術課題や、価格の低下など市場面の課題も大きい。</p> <p>報告書は、LED 照明機器システムの用途拡大、環境的側面、標準化戦略及び寿命や特許などの側面について調査検討を行い、LED 製品の普及や市場拡大のための課題を明らかにすることを目的とする。</p> <p>環境側面について、LED 製品は特許や研究途上の関係で、詳細なデータが得られないため、ライフサイクル観点でいくつかの不確実要素に対する感度分析を検討することにした。</p> <p>下表は蛍光灯と LED の技術特性のもとに設定した各不確実要素の最大値と最小値である。図には感度分析の結果を示す。感度分析の結果によると、LED ライフサイクルの環境負荷は、消費電力の削減量によるところが多いことが分かった。従って製造工程や寿命の不確実性よりも、消費電力量の削減がどの程度進むのかを検討する必要がある。</p> <p style="text-align: center;">表 LCA 分析における不確実要素</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">不確実要素 (対蛍光ランプ比)</th> </tr> <tr> <th>製造工程の負荷</th> <th>寿命</th> <th>消費電力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大値</td> <td>6 倍</td> <td>等倍</td> <td>等倍</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>0.3 倍</td> <td>3 倍</td> <td>0.5 倍</td> </tr> </tbody> </table>					不確実要素 (対蛍光ランプ比)			製造工程の負荷	寿命	消費電力	最大値	6 倍	等倍	等倍	最小値	0.3 倍	3 倍	0.5 倍
	不確実要素 (対蛍光ランプ比)																	
	製造工程の負荷	寿命	消費電力															
最大値	6 倍	等倍	等倍															
最小値	0.3 倍	3 倍	0.5 倍															



タイトル	CFRP 軽量車の LCA
著者	鈴木徹也、手柴富美、圖子博昭、高橋淳、影山和郎、吉成仁志 (東京大学大学院)
発表年月	2002 年 9 月
入手方法	日本機械学会 2002 年度年次大会講演論文集 (II) p281-282

主な内容 :

CFRP (炭素繊維強化プラスチック) による自動車の超軽量化が CO2 削減に期待されている。本研究は従来車と CFRP 車の、素材製造、組立、走行及びリサイクルの各段階にわたるエネルギー消費量と CO2 排出量の比較を行った。

CFRP は軽いですが、製造時原単位が鉄より高い (表 1)。将来理論上約半分になる可能性があるため、図 1 には現在の原単位と将来の原単位を用いて、CFRP 導入によるエネルギー消費量を比較した。(ただし、従来車を 100%とした場合)

図 1 によると、現在の原単位を用いた場合、CFRP の導入は全体エネルギー消費量が従来車より大きくなり、将来の原単位を用いても、わずかに減少することが分かった。

表 1 製造時原単位

	Energy(MJ/kg)	CO2(kg/kg)
CFRP	460	30
Iron	33	2.6

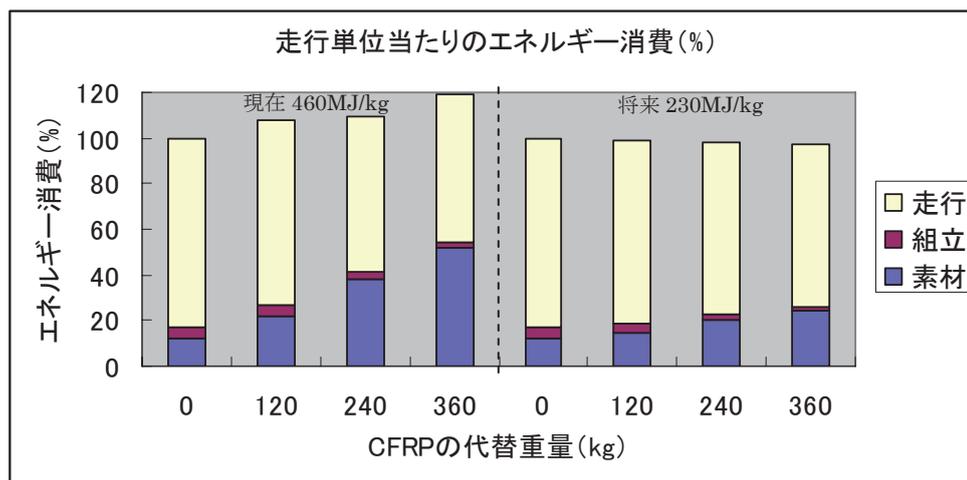


図 1 走行単位当たりエネルギー消費量

しかしながら、2015 年のリサイクル率 (95%、うち 10%は熱回収可) を考えた場合、CFRP 代替の効果が見られた (図 2)。図 2 によれば、リサイクル率 95%、CFRP で 360kg 代替

した場合、ライフサイクルで約2割のエネルギー削減が見込まれる。

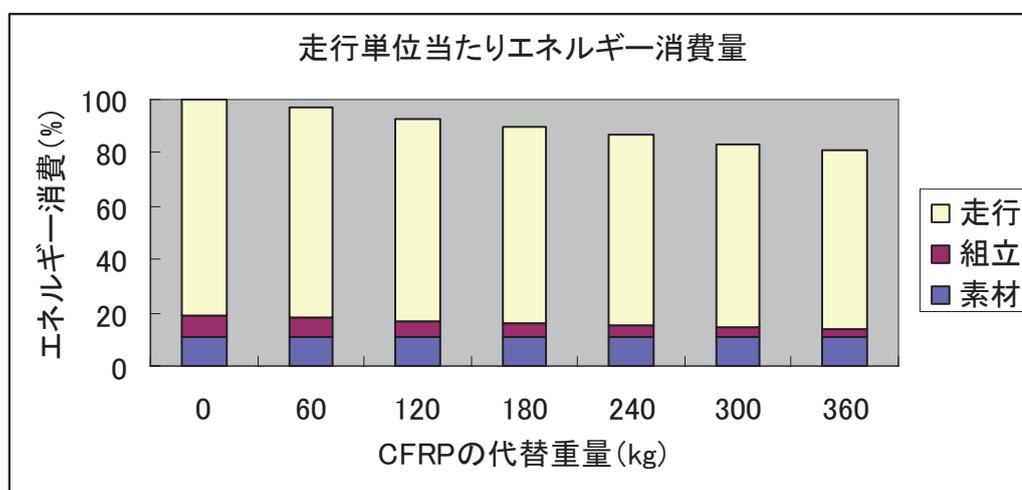


図2 走行単位当たりエネルギー消費量

以上示したように、大量生産や技術革新により原単位が将来理論値まで下がっても、ライフサイクルでの軽量化の効果はあまり上がらないことが示されたが、2015年のリサイクル率95%を考えると、走行段階での減少が全体の減少に大きく効いていることが分かった。よって、CFRP導入の効果を考える際に、CFRPのリサイクル率が極めて重要になる。

タイトル	Structural Analysis and LCA of Lightened Buses by Carbon Fiber Reinforced Plastics 炭素繊維強化プラスチックによる軽量化バスの構造分析と LCA
著者	T. Suzuki, M. Kan, M. Yamamoto, K. Uzawa, J. Takahashi, J. Kasai (東京大学)
発表年月	2005 年
入手方法	Advances in Ecomaterials (Proceedings of 3rd International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2005)), Stallion Press, Vol. 2, pp.634-639
<p>主な内容</p> <p>CFRP 製のバスと従来スチール製バスとのライフサイクルエネルギー消費量において比較した。</p> <p>評価対象 : CFRP 製バスとスチール製バスの大型、中型、小型、マイクロ型</p> <p>機能単位 : 15 年間使用、43 万 km、乗車率 30%</p> <p>評価結果 : どのサイズのバスにおいても、CFRP 製がスチール製よりエネルギー消費量が小さい。小型バスの削減効果は 15.2% となり、4 サイズのバスの中に最も削減効果の大きいタイプとなる。</p>	

タイトル	Environmental benefits of new materials in automotive applications-LCE focusing on the recycling phase. 新しいリサイクル材を利用した自動車の環境効果
著者	GEDIGA J、BETZ M (ドイツ)
発表年月	2001年
入手方法	J Adv Sci, L0590A, VOL.13; NO.3; pp 222-225
<p>主な内容</p> <p>アルミやマグネシウムなどの軽量材が注目されている。自動車の軽量化は使用段階における省エネが可能になるが、多くの場合製造段階の負荷は増加する。本研究は、リサイクルアルミ材を使用することによる、製造段階の環境負荷低減効果を分析した。</p> <p>評価結果：</p> <p>①リサイクルアルミ材を使用した場合、バージンアルミ材より約 40%の SO<sub>2</sub> 削減が可能である。</p> <p>②アルミ含有部品を分解して粉砕するリサイクル方法と直接粉砕処理する方法と比べて、約 18%のエネルギー節約が可能とわかった。</p>	

分類	軽量構造材 (4)
タイトル	Using LCA to Assess Eco-design in the Automotive Sector Case Study of a Polyolefinic Door Panel
著者	Ivan Muñoz, Joan Rieradevall, Xavier Domènech and Cristina Gazulla
発表年月	2006年
入手方法	Int J LCA 11 (5) 323 – 334

主な結果 :

1. 評価対象

現状の自動車ドア素材とプロットタイプ素材のライフサイクル影響評価を行った。プロットタイプの場合、PVCがTPOに代替され、PESとPOMがPPに代替され、リサイクル可能材の増加と軽量化することが期待される。

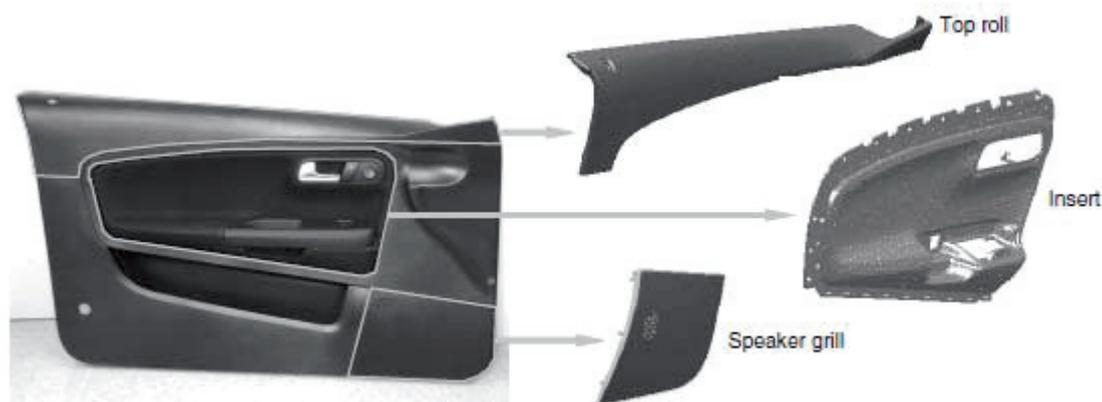


Fig. 1: The product under study and a detail of the subcomponents subject to changes in the prototype

Table 2: Differences between subcomponents subject to changes in the prototype panel

Subcomponent		Materials	Weight	
Top roll	Current	PP T16 main structure	430 g	610 g
		PVC foil	180 g	
	Prototype	PP T16 main structure	430 g	598 g
		TPO foil	168 g	
Insert	Current	PP T16 main structure	380 g	590 g
		PES/PUR fabric	210 g	
	Prototype	PP T16 main structure	380 g	572 g
		PP/TPO fabric	192 g	
Speaker grill	Current	POM	180 g	180 g
	Prototype	PP T16	131 g	131 g

2. 評価範囲：製造、輸送、使用、リサイクル処理
3. 機能単位はドア一つとする。10年間使用、150000km 走行。使用段階のエネルギー消費はドア重量を用いて全車重量の比例で配分する。
4. リサイクル方法は：①シュレーダー＋埋め立て、②シュレーダー＋焼却、③シュレーダー＋セメント炉、④リサイクル＋シュレーダー＋埋め立て。
5. 影響領域：資源枯渇、地球温暖化、酸性化、人体毒性、水系生態毒性、富栄養化、光化学オキシダント、エネルギー消費、水消費、埋め立て廃棄物量
6. 評価結果：
  - ①現状素材ドアの LCA 結果、使用製造段階と使用段階の影響が大きい（図 5）。

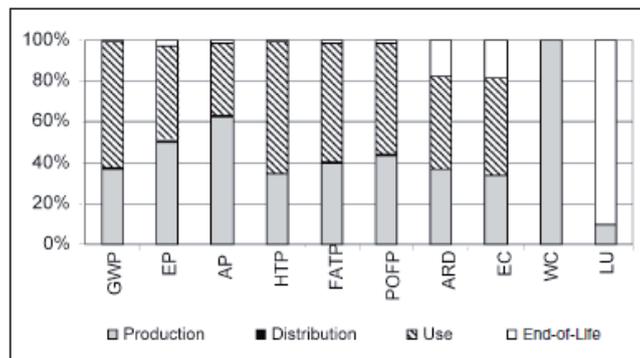


Fig. 5: Contribution of different phases to the environmental profile of the current panel from cradle to grave

- ②現在素材と軽量素材における製造段階の比較結果。PES 系は湿式染めプロセスがあり、一方 PP 系は一般染めであるので、PES が PP に代替されることによって、エネルギー、水、化学物質の削減に寄与した。PP は POM よりエネルギー消費量が少ないため、POM が PP に代替されることによる省エネ効果もある。また、PP や TPO はリサイクルが可能のため、省資源、埋立地の節約にも寄与した（図 6）。

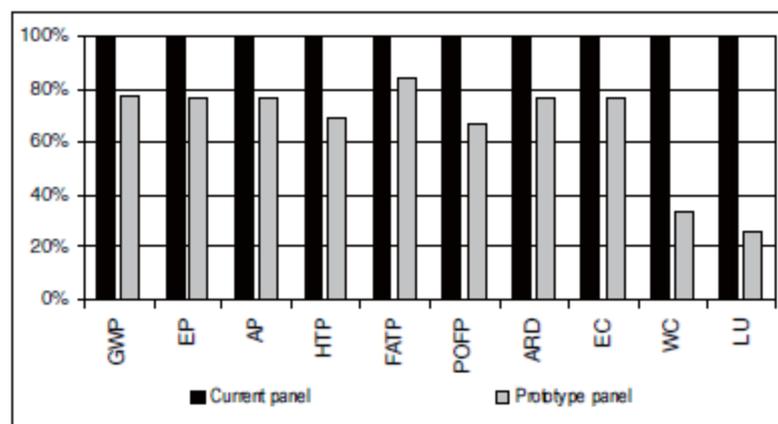


Fig. 6: Environmental impact of the current and prototype panels in the production phase

- ③使用段階の削減効果は小さい。代替素材によるドア重量は従来重量より 2%しか軽量化さ

れなかった。そのため、それに応じた使用段階のエネルギー消費量も従来ドアより 2%削減された。

④四つの廃棄物処理方法による比較では、プロットタイプ+リサイクルシナリオの環境影響が最も低かった (図 7)。

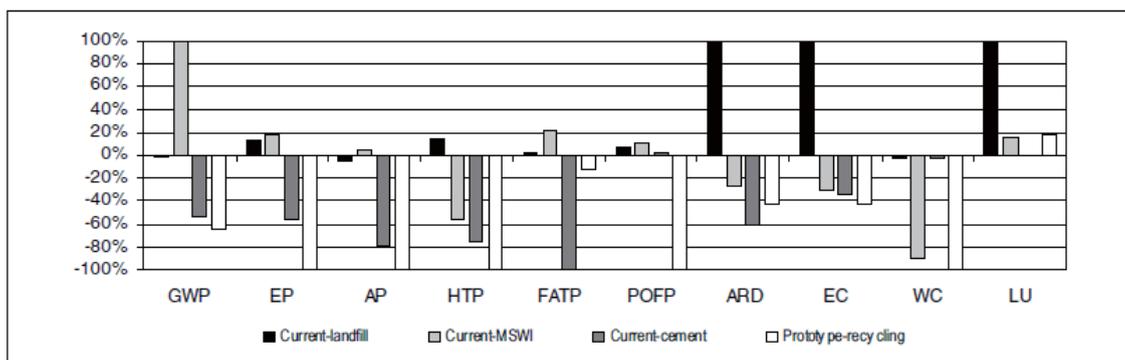


Fig. 7: Environmental impact of the current and prototype panels in the end-of-life phase

⑤図 8 に現状タイプとプロットタイプのライフサイクル影響結果の比較である。FATP と LU 以外において、プロットタイプの影響が小さい結果となった。(リサイクル品はバージン材と同じ品質とみなす場合)

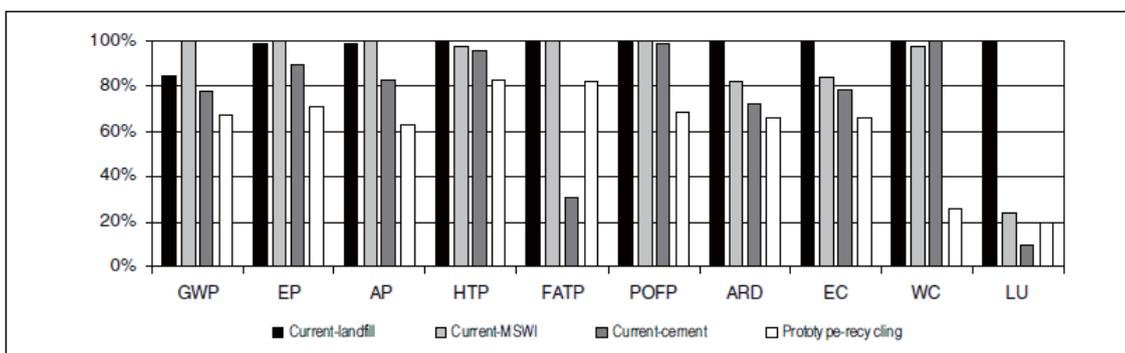


Fig. 8: Environmental impact of the current and prototype panels from cradle to grave

⑥図 9 に感動分析結果を示す。リサイクル品がバージン材の 7 割とみなした場合の算定結果である。プロットタイプの影響がやや大きくなるが、割合は図 8 と殆ど変わりなし。

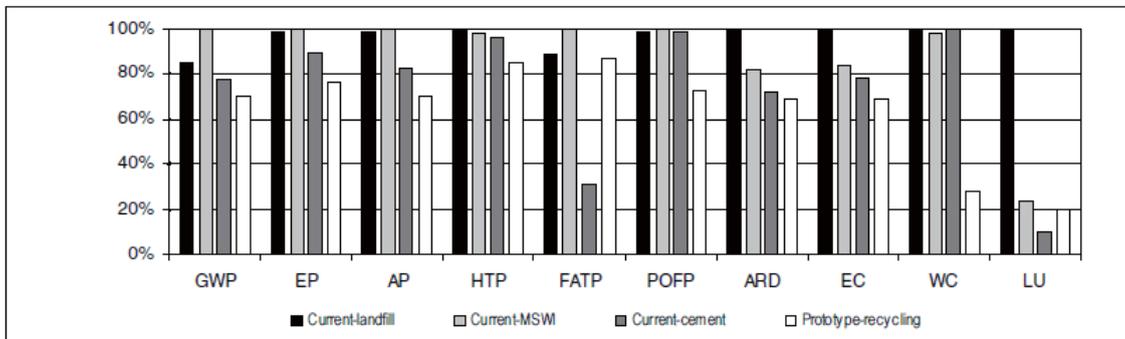


Fig. 9: Environmental impact of the current and prototype panels from cradle to grave, assuming lower quality for recycled plastics (1:0.7 substitution factor instead of 1:1)

タイトル	Possibility of the Material-Recycle on the Development of the New Building Material from the Waste FRP (Fiber Reinforced-Plastics) 廃 FRP (繊維強化プラスチック) から新建材の開発に関する材料リサイクルの可能性
著者	TAKADA J(Inax Corp., Aichi, Jpn) SUGIOKA Y(Inax Corp., Aichi, Jpn) ISHIDA H(Inax Corp., Aichi, Jpn) HIRAMATSU K(Res. Division Of Hitec Ltd.) INAX
発表年月	2002年12月
入手方法	Proc 5th Int Conf EcoBalance, 2002 p873-876

廃 FRP (繊維強化プラスチック) から、再生 FRP (セラミックの代替材) を生産する方法を開発した。その方法は、廃ポリプロピレンと廃 FRP を粉砕し、重量比 3 対 7 で混合し、150℃で溶かして押される。その表面はセラミックコーティングを行う。

上記の方法で得られた新建材は、曲げ強度及び退色度に置いて、良い特性を持つ上、生産に要するエネルギー消費量も小さいことがわかった。図によれば、再生 FRP のエネルギー消費量はセメントの約 6 割、バージン PP の 3 割となる。

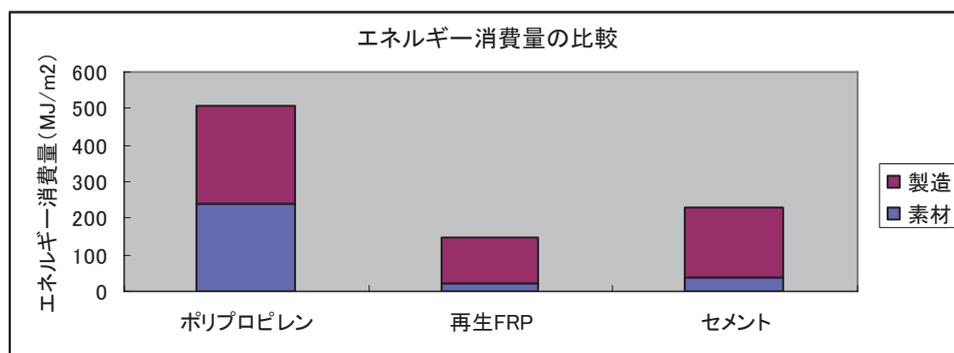


図 素材別エネルギー消費量の比較

タイトル	Inventory analysis in production and recycling process of advanced composite materials 先端複合材における製造及びリサイクルのインベントリ分析
著者	Hideki Nagai, Jun Takahashi, Kiyoshi Kemmochi, Jun-ichi Matsui
発表年月	2001年
入手方法	Journal of Advanced Science, Vol.13, No.3, 2001
主な内容	<p>先端複合材料である CFRP (carbon fiber reinforced plastics) の製造及びリサイクルプロセスのインベントリ分析を行った。</p> <p>評価結果 :</p> <p>①製造方法によるが、CFRP のエネルギー消費量は 450~600MJ/kg となる。炭素繊維の製造による影響が最も大きかった。</p> <p>②リサイクルに関して、多くの仮定を含めた結果となる。マテリアル及びサーマルリサイクルを評価した。マテリアルリサイクルは効果的 (特に熱可塑性材料) であることが分かった。</p>

分類	軽量構造材 (7)
タイトル	Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics
著者	T. Corbie`re-Nicollier, B. Gfeller Laban, L. Lundquist, Y. Leterrier, J.-A.E. Manson, O. Jolliet
発表年月	2001年
入手方法	Resources, Conservation and Recycling 33 (2001) 267–287

## 主な内容

1. 評価対象 : 2種類の繊維強化プラスチック : China reed fiber (CR) を使った CR pallet と Glass fiber (GF) を使った GF pallet。
2. 機能単位 : 同じ硬さの繊維強化 pallet の基準で、GF pallet は 15 kg、GF が全重量の 42%混合。CR pallet は 11.8 kg、CR が全重量の 53%混合。(詳細は下表)

**Pallet composition, reference scenario**

	GF pallet	CR pallet
PP weight (kg)	8.73	5.55
Fibre weight (kg)	6.27	6.22
Total weight (kg)	15	11.77

3. 影響領域 : 人間毒性、陸生態毒性、水生生態毒性、地球温暖化、酸性化、オゾン層破壊、富栄養化、エネルギー消費。
4. 評価結果
  - ① CR は殆どの影響領域において GF より良い結果となった。富栄養化だけは GF がより結果となった。(図 4)

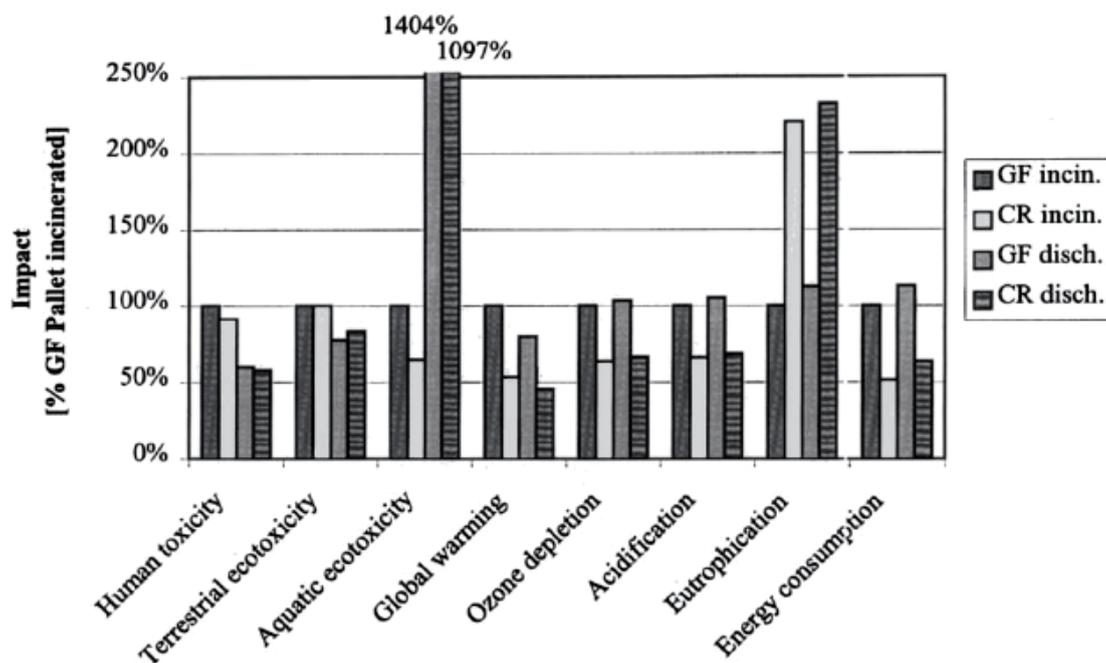


Fig. 4. Characterisation of incinerated and discharged pallets (GF, glass fibre; CR, China reed), according to CST95.

- ② EI95 と CML も似たような結果を得られた。富栄養化だけは近い値となったが、その他の影響項目は CR の方が小さい（下表）。

Results with CML

	Unit	GF pallet	CR pallet	CR pallet (% GF pallet)
Human toxicity	kg 1,4 dichl <sub>eq</sub> /pal.	21.2	9.04	43
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4 dichl <sub>eq</sub> /pal.	5250	4480	85
Aquatic ecotoxicity	kg 1,4 dichl <sub>eq</sub> /pal.	1.09	0.665	61
Greenhouse effect	kg CO <sub>2eq</sub> /pal.	75.3	40.4	54
Ozone formation	kg ethylene <sub>eq</sub> /pal.	0.208	0.133	64
Acidification	kg SO <sub>2eq</sub> /pal.	0.653	0.432	66
Eutrophication	kg PO <sub>4eq</sub> /pal.	0.0682	0.0628	92
Energy	MJ/pal.	1400	717	51

Results with Ecoindicateurs 95

	Unit	GF pallet	CR pallet	CR pallet (% GF pallet)
Carcinogenic substances	kg PAH <sub>eq</sub> /pal.	$7.11 \times 10^{-7}$	$4.48 \times 10^{-7}$	63
Heavy metals	kg Pb <sub>eq</sub> /pal.	$2.43 \times 10^{-3}$	$1.72 \times 10^{-3}$	71
Winter smog	kg SO <sub>2eq</sub> /pal.	0.289	0.163	56
Greenhouse effect	kg CO <sub>2eq</sub> /pal.	75.3	40.4	54
Ozone formation	kg ethylene <sub>eq</sub> /pal.	$1.05 \times 10^{-3}$	$5.56 \times 10^{-4}$	53
Acidification	kg SO <sub>2eq</sub> /pal.	0.653	0.411	63
Eutrophication	kg PO <sub>4eq</sub> /pal.	0.0682	0.0632	93
Energy	MJ/pal.	1400	717	51

- ③ リサイクル率の感動分析を下図に示す。GF がリサイクルによる削減効果がより大きく見込まれる。

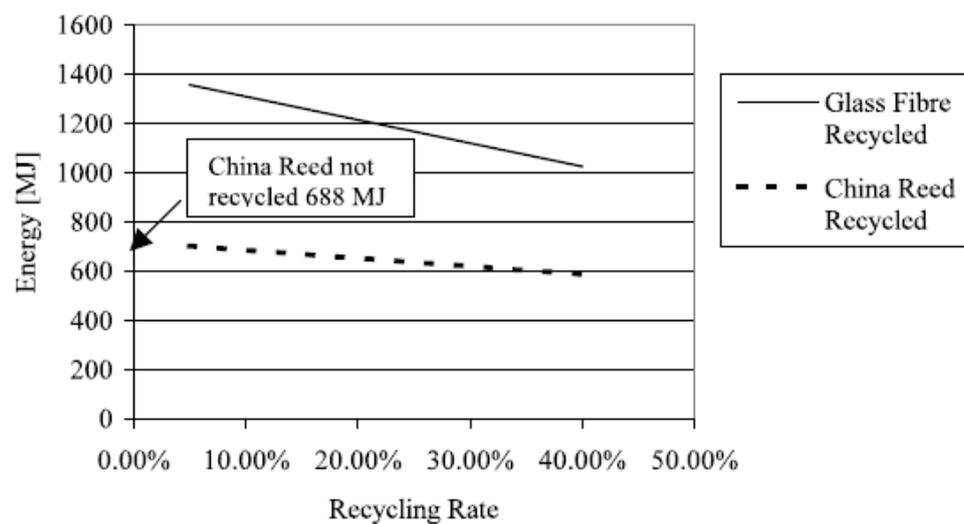


Fig. 6. Energy consumption as a function of the recycling rate for the glass fibre (GF) and the China reed (CR) pallets.

分類	軽量構造材 (3)
タイトル	Life cycle assessment of composite materials made of recycled thermoplastics combined with rice husks and cotton linters
著者	Rosario Vidal & Pilar Martínez & Daniel Garraín
発表年月	2008年
入手方法	Springer-Verlag 2008、Int J Life Cycle Assess

主な内容

1. 評価対象 : 3種類の混合材料、①リサイクル pp+米外皮、②リサイクル pp+綿残渣、③リサイクル HDPE+綿残渣

**Table 1** Composition of new developed composites

Composite (%)	HDPE+cotton	PP+cotton	PP+husks
Recycled HDPE	72	—	—
Recycled PP	—	73.2	50
Recycled cotton	20	20	—
Rice husks	—	—	45
Additives	8	6.8	5

2. 機能単位 : 1 kgの混合材料
3. 影響領域 : 地球温暖化、資源枯渇、酸性化、富栄養化
4. 廃棄処理シナリオ : ①焼却、②埋立
5. 評価結果 :
  - ① インベントリデータ : 製造時の電力消費量が同じ、輸送距離が若干違う (表 5)。

**Table 5** Inventory data per kilogram of composite, as provided by compounding firm

Composite	HDPE+cotton	PP+cotton	PP+husks
Energy (kWh)			
Electricity	0.44	0.44	0.44
Transport (km)			
Recycled plastic to compounder (100 km)	0.072	0.0732	0.050
Husks/cotton to compounder (300 km)	0.060	0.0600	0.135
Additives to compounder (300 km)	0.024	0.0204	0.015

② インパクト評価

混合材料はバージン材料よりよい結果となった。混合材料の比較では、pp+米外皮はppの使用量が比較的少ないため、資源枯渇影響が小さい。一方、米外皮の輸送距離が長いと、その他の影響は大きい結果となった。(表 8)

**Table 8** Environmental impact of 1 kg of composites and conventional plastics

Impact category	Unit	HDPE+cotton	PP+cotton	PP+husks	Virgin HDPE	Virgin PP
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq	0.61	0.70	0.71	1.88	1.99
Nonrenewable energy depletion	MJ eq	10.77	12.02	8.63	75.98	75.46
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	4.03E-03	4.25E-03	4.87E-03	2.14E-02	2.03E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	2.67E-04	3.63E-04	9.34E-04	1.30E-03	1.26E-03

③ 廃棄処理別の結果

埋立処理が焼却処理に比べて、良い結果となった。埋立処理の場合、混合物中の有機物がカプセル化され、土壌中の菌と接触せず、分解されないため、メタンも発生しない。N<sub>2</sub>O は微量に放出されるが、量が小さいため計上しなかった。

**Table 9** GHG fluxes associated with the disposal of 1 kg of composites and conventional plastics by composting scenario

Emissions (kg CO <sub>2</sub> eq)	Incineration			Landfilling		
	Virgin plastic	HDPE/PP+cotton	PP+husks	Virgin plastic	HDPE/PP+cotton	PP+husks
Percent C	85.70	76.90	61.31	—	—	—
Percent biodegradable material	—	—	—	0	8.42	16.56
Short-cycle CO <sub>2</sub> (GWP=0)	0	0.3087	0.6072	—	—	—
Fossil CO <sub>2</sub> (GWP=1)	3.1423	2.4353	1.6026	—	—	—
N <sub>2</sub> O (GWP=296)	5E-05	5E-05	5E-05	—	—	—
Sequestered CO <sub>2</sub> (GWP=-1)	—	—	—	0	0.3087	0.6072
Fossil CO <sub>2</sub> (energy and transport) (GWP=1)	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
Total GHG	3.1651	2.4581	1.6254	0.0080	-0.3007	-0.5992

④ このように、混合物の環境影響が非常に小さいことがわかった。今後普及すれば、より大きい環境影響削減効果が期待できる。

分類	軽量構造材 (9)
タイトル	Curaua fibers in the automobile industry e a sustainability assessment
著者	R. Zah, R. Hischer, A.L. Leao , I. Braun
発表年月	2007年
入手方法	Journal of Cleaner Production 15 (2007) 1032–1040

主な内容

1. 評価対象：クラワ（Curaua）というパイナップルの葉に似たアナナ科の植物の繊維を pp と混合して作られた混合材料（ガラス繊維の代替材として、車用）。
2. 評価範囲：

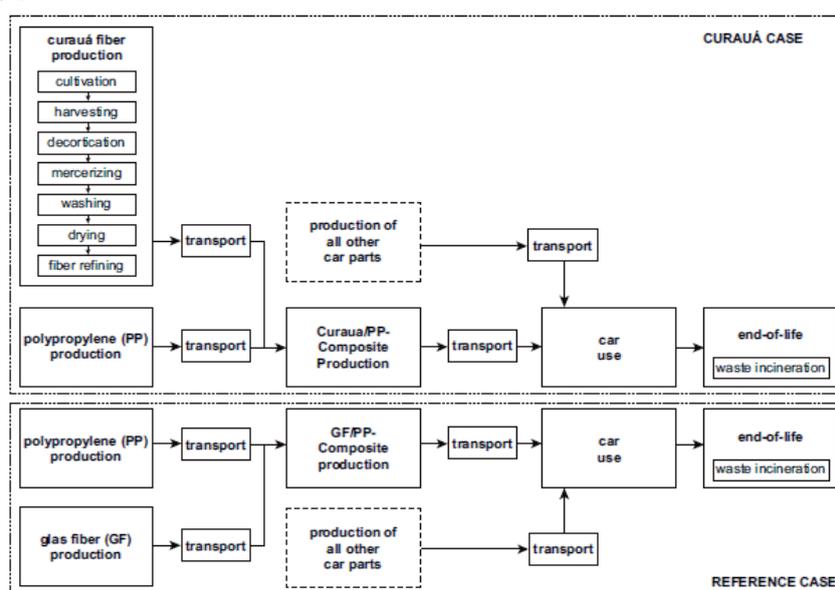


Fig. 1. Process steps included in this study for the production of curauá-based composites (curauá case) and for glass fiber composites (reference case).

3. 機能単位：3つの機能単位を設定した。
  - ① 同じ硬さ、安定性：curaua/PP 70/30, 1.19 kg、GF/PP 30/70, 1.00 kg
  - ② 同じ重量：curaua/PP 50/50, 1.00 kg、GF/PP 50/50, 1.00 kg
  - ③ 同じボリューム：curaua/PP 27/50, 0.77 kg、GF/PP 50/50, 1.00 kg
4. 評価結果：
  - ① 各影響項目の結果から、繊維製造と輸送段階において curaua/pp の影響が GF/pp より大きい、その他の段階は逆である（図 2）。

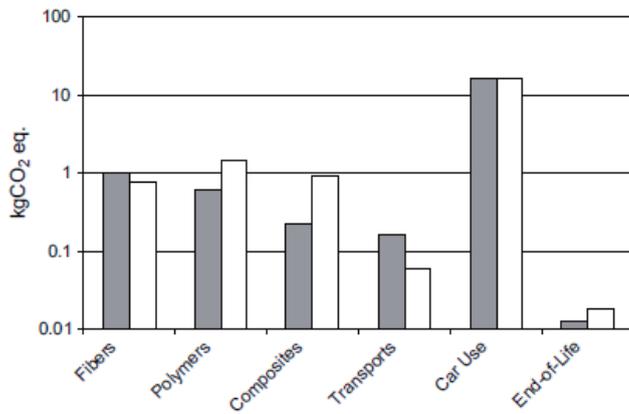


Fig. 2. Estimated impact of 1 kg of a composite on climate change (greenhouse warming potential measured as kg CO<sub>2</sub> equivalents) in the different life cycle phases. Dark = curauá composite and white = glass fiber composite.

Table 4  
Environmental impacts of 1 kg of composite material at different stages of the product life cycle

		Acidification	Climate change	Eutrophication	Photochem. oxidation	Stratos. ozone depletion	Resources
Fiber production	Curauá	<i>7.95E-03</i>	<i>9.85E-01</i>	<i>4.16E-03</i>	<i>2.89E-04</i>	<i>8.71E-08</i>	5.13E-03
	GF	5.03E-03	7.67E-01	4.03E-04	1.84E-04	5.86E-08	5.58E-03
Polymer production	Curauá	6.15E-03	6.09E-01	4.00E-04	2.06E-04	1.52E-09	1.01E-02
	GF	<i>1.43E-02</i>	<i>1.41E+00</i>	<i>9.21E-04</i>	<i>4.78E-04</i>	<i>2.11E-09</i>	<i>2.36E-02</i>
Composite production	Curauá	1.15E-03	2.23E-01	8.89E-05	4.57E-05	1.06E-08	1.67E-03
	GF	<i>3.92E-03</i>	<i>8.83E-01</i>	<i>2.96E-04</i>	<i>1.82E-04</i>	<i>4.31E-07</i>	<i>7.31E-03</i>
Transports	Curauá	<i>2.36E-03</i>	<i>1.59E-01</i>	<i>2.42E-04</i>	<i>7.87E-05</i>	<i>1.78E-08</i>	<i>1.08E-03</i>
	GF	3.53E-04	5.65E-02	6.22E-05	1.40E-05	6.34E-09	4.01E-04
Car use	Curauá	6.54E-02	1.63E+01	1.07E-02	2.01E-02	1.89E-06	9.98E-02
	GF	6.54E-02	1.63E+01	1.07E-02	2.01E-02	1.89E-06	9.98E-02
End-of-life	Curauá	2.23E-04	1.21E-02	6.92E-05	6.18E-06	1.25E-09	7.86E-05
	GF	<i>2.68E-04</i>	<i>1.76E-02</i>	<i>6.80E-05</i>	<i>4.13E-06</i>	<i>2.42E-09</i>	<i>1.32E-04</i>

Units are explained in Table 3. Italicized numbers indicate the higher environmental impact for the respective two composites (curauá vs. GF).

② 機能単位別の結果を示す。全体から見ると、富栄養化影響において、curaua/PP の影響が GF/pp より大きい。その他の影響は、GF/pp と同等か、小さい結果となった。

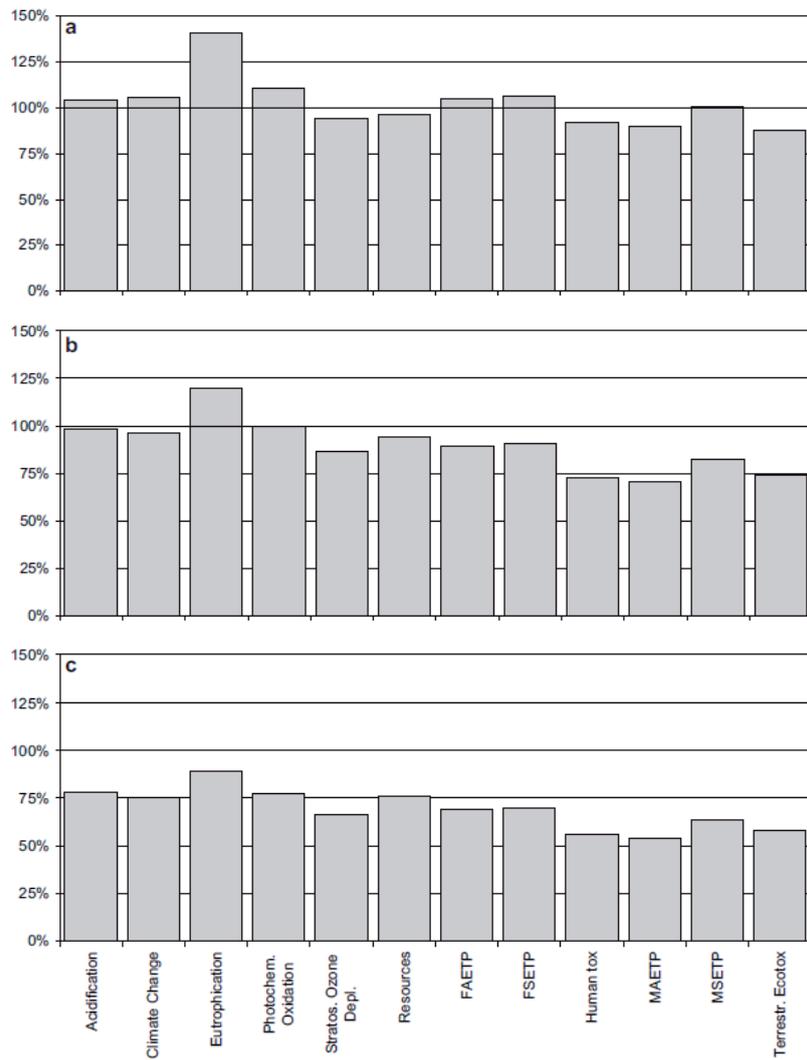


Fig. 3. Environmental impact assessment of curauá-based composites relative to glass fiber composites (100%) for the scenarios equal stability (a), equal weight (b) and equal volume (c).

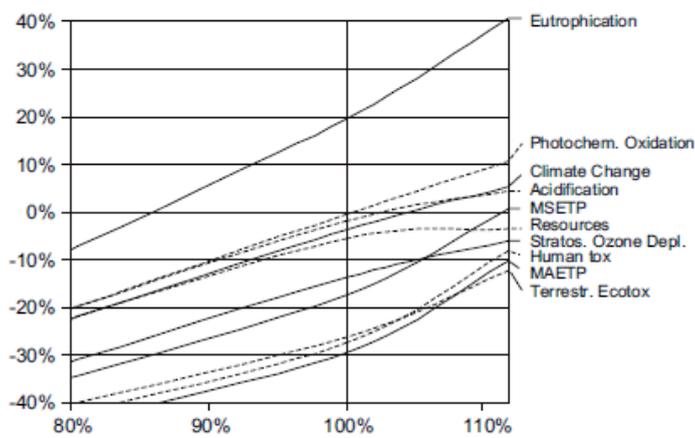


Fig. 4. Weight of curauá composite relative to glass fiber composite (horizontal axis) vs. relative difference in 10 different impact categories (vertical axis). A negative vertical value means that CU/PP is better than GF/PP – a positive value means the opposite. CU = curauá and GF = glass fiber.

分類	軽量構造材 (10)
タイトル	Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?
著者	S.V. Joshi, L.T. Drzal, A.K. Mohanty, S. Arora
発表年月	2004 年
入手方法	Composites: Part A 35 (2004) 371–376

主な内容

1. 本研究は既存研究の結果を引用して、ナチュラル繊維混合材料の環境優位性を検証した。下表はナチュラル繊維混合材の軽量化に関する情報。

Table 5  
Weight Reduction with natural fiber composites

Component	Source study	Conventional composite materials	Weight (g) of reference component	NFR materials	Weight (g) of NFR component	Weight reduction (%)
Auto side panel	[7]	ABS	1125	Hemp-Epoxy	820	27
Auto insulation panel	[5]	Glass Fiber—PP	3500	Hemp—PP	2600	26
Transport pallet	[4]	Glass Fiber—PP	15,000	China reed—PP	11,770	22

2. 機能単位は 1 kg 混合材

3. 評価結果 (表 4) : China reed fiber は窒素、リン以外の全ての環境負荷物質が最も小さい値となった。バイオ由来の繊維を使用する場合、富栄養化影響を削減するのが重要。

Table 4  
Life cycle environmental impacts from production of glass fiber, china reed fiber, Epoxy resin, ABS and polypropylene

Environmental impact	Glass fiber <sup>a</sup>	China reed fiber <sup>a</sup>	Epoxy resin <sup>b</sup>	ABS <sup>b</sup>	Polypropylene <sup>b</sup>
Energy use (MJ/kg)	48.33	3.64	140.71	95.02	77.19
Carbon di-oxide emissions (kg/kg)	2.04	0.66	5.90	3.10	1.85
CO emissions (g/kg)	0.80	0.44	2.20	3.80	0.72
SO <sub>x</sub> emissions (g/kg)	8.79	1.23	19.00	10.00	12.94
NO <sub>x</sub> emissions (g/kg)	2.93	1.07	35.00	11.00	9.57
Particulate matter (g/kg)	1.04	0.24	15.0	2.90	1.48
BOD to water (mg/kg)	1.75	0.36	1200	33	33.94
COD to water (mg/kg)	18.81	2.27	51,000	2200	178.92
Nitrates to water(mg/kg)	14.00	24481	1	71	18.78
Phosphates to water (mg/kg)	43.06	233.6	220	120	3.39

<sup>a</sup> Source: Ref. [4], back up tables obtained from the author.

<sup>b</sup> Source: Ref. [8].

分類	軽量構造材 (11)
タイトル	Life cycle assessment of wood-fibre-reinforced polypropylene composites
著者	Xun Xu, Krishnan Jayaraman, Caroline Morin, Nicolas Pecqueux
発表年月	2008年
入手方法	journal of materials processing technology 198(2008)168-177

主な内容 :

1. 評価対象 : 木質繊維混合材料と pp の比較
2. 評価範囲 :

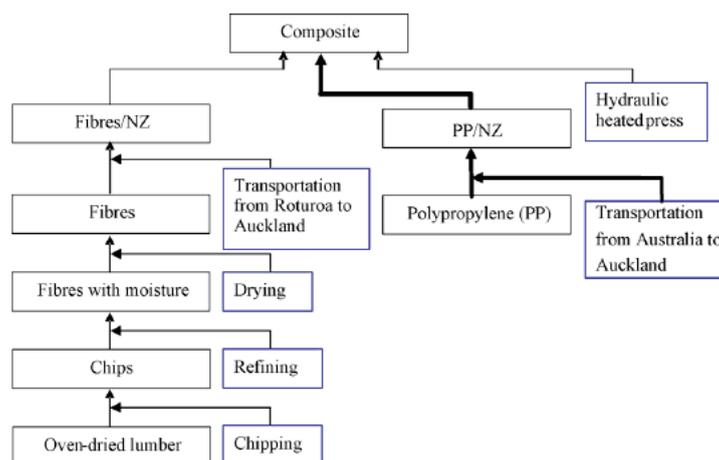


Fig. 11 - SimaPro model for composite perform production.

3. 機能単位 : 同じ硬さ、抵抗力を持つ材料の重量
4. 評価結果 : 図 12、図 13 どの影響項目においても混合材が pp より約 3 割良い結果となった。

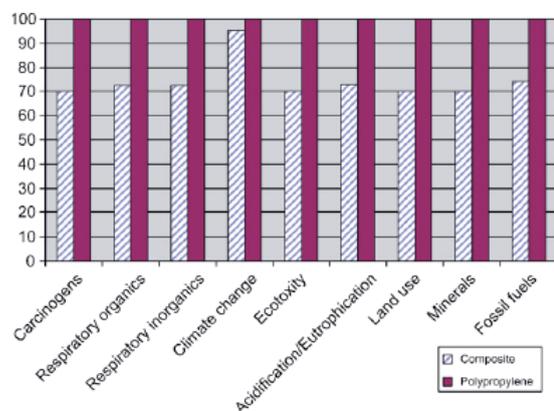


Fig. 12 - Comparison of the composite (30% fibre) and the PP sheet on different categories.

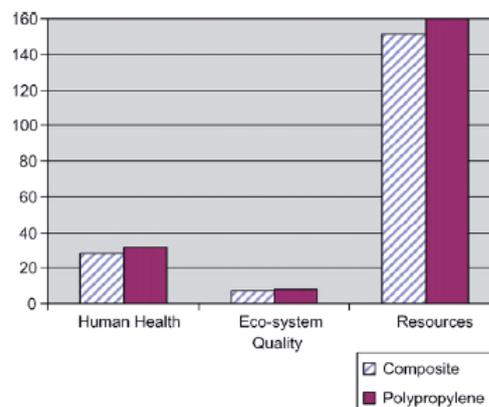


Fig. 13 - Weighting effect on the composite and PP sheets.

分類	軽量構造材 (12)
タイトル	Is there an environmental advantage of using magnesium components for light-weighting cars?
著者	A. Tharumarajah, P. Koltun
発表年月	2007年
入手方法	Journal of Cleaner Production 15 (2007) 1007e1013

主な内容：

1. 評価対象

- ① HM-nom : Mg 製エンジンブロック (EB)。リサイクル材 30%。重量 30 kg。SF6 ガス使用。
- ② HM-i : 改善型 Mg 製 EB。リサイクル材 30%。改善点 : SF6 の代わりに HFC134a 使用、in-cell リサイクル、AM-Cast。重量 30 kg。
- ③ CM-i : 改善型 Mg 製 EB。リサイクル材 30%。中国産 Mg。重量 30 kg。
- ④ Fe (WO) : 鉄製 EB。リサイクル材 50%。世界平均。重量 84.6 kg。
- ⑤ AI (AU) : アルミ製 EB。リサイクル材 30%。オーストラリア産 Mg。重量 39 kg。
- ⑥ AI (US) : アルミ製 EB。リサイクル材 60%。アメリカ産 Mg。重量 39 kg。
- ⑦ CGI (WO) : 黒鉛を入れた鉄製の EB。特徴 : 普通の鋳鉄の二倍疲労耐性、15%軽量。リサイクル材 50%。世界平均。重量 72 kg。

2. 機能単位 : EB 一単位の製造と使用 (20000km 走行)

3. 評価結果 :

- ① 鉄製の EB の影響が最も大きかった。Mg 製の EB (HM-i) の影響が最も小さい結果となった。
- ② HM-nom は SF6 使用のためアセンブリ段階の影響が大きかった。
- ③ CM-i は中国での Mg 製造段階の影響が大きかった。
- ④ HM-i は HM-nom に比べて、製造段階の影響が大きく削減された。
- ⑤ 図 6 に示したように、走行距離が長くなるにつれて、アルミと Mg 製 EB は鋳鉄製 EB に比べて、環境優位性が大きくなる。

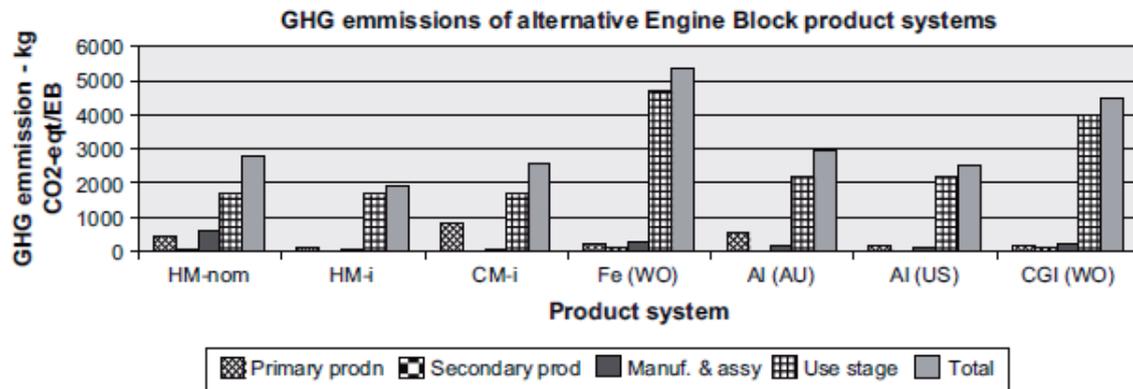


Fig. 5. Comparison of life cycle GHG impacts for different engine blocks.

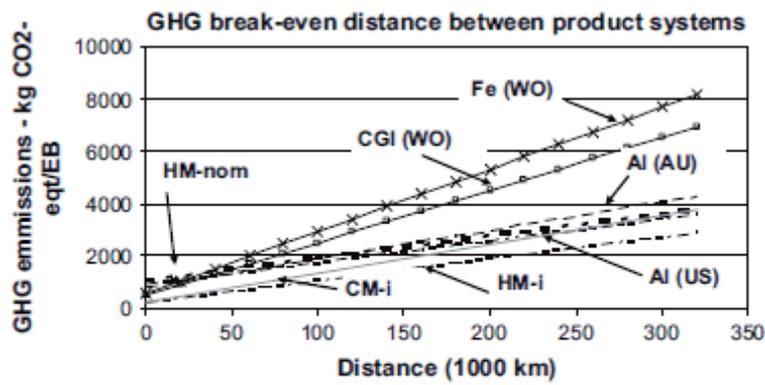


Fig. 6. Comparison of break-even driving distance for equivalent GHG impact of different material product systems.

タイトル	<p>Re-evaluation of biomass polymers as an eco-material from material and life cycle assessment perspectives</p> <p>マテリアル及びライフサイクル的視点からのエコマテリアルとしてのバイオポリマーの再評価</p>
著者	<p>Hong X. Nguyen, Chihara M., and Yamamoto R. 東京大学</p>
発表年月	<p>2006年</p>
入手方法	<p>第7回エコバランス国際会議要旨集</p>
<p>主な内容</p> <p>この研究は、バイオポリマーの材料性質、資源枯渇、有害化学物質、毒性及びコストの五つの側面を再評価したものである。</p> <p>材料：従来バイオポリマーが持つ低耐熱性、引火性、疎水性の三つの特性（弱点）を改良され、化石由来のポリマー並みの性質を満たすようになった。</p> <p>資源枯渇：最近の研究（Vink 2003）によると、バイオポリマーの生産技術の進歩は約45%のエネルギー消費量を削減できる。また、バイオポリマー製造時消費されるエネルギーを風力や太陽光発電に代替されると、更に40%の削減が可能とした。</p> <p>地球温暖化：Keppler 2006の文献によると、トウモロコシの葉からメタンが放出されていることが分かった。これを考慮すると、バイオポリマーの温暖化影響（特性化結果）は従来研究より20%大きくなった。</p> <p>有害化学物質：バイオポリマーは、耐熱性向上のため、メチルフェニルシリコーン樹脂（methyl phenyl-silicone resin）や水酸化アルミニウム（Al(OH)<sub>3</sub>）などの難燃剤を添加している。また、最近の研究では高濃度の臭素系ジフェニルエーテル（難燃剤の一種）が農地で検出されたため、難燃剤使用による生態毒性や人間毒性の影響を評価する必要がある。</p> <p>コストと食料：Lee 2003の研究によると、現在バイオポリマーのコストの95%が回収段階に使われる大量の溶媒の材料費であり、溶媒を酢酸エチルとヘプタンに切り替えることで、約65-95%のコストダウンが可能である。</p> <p>バイオ燃料の生産が食料生産との競合関係が懸念されている。もし、年間140億ガロンのバイオエタノールが生産されるならば、アメリカすべてのトウモロコシが使われることになる。</p> <p>注：①Keppler F. et al, Nature, 439: 187-191 (January 2006).                  ②Vink, T.H et al, Polymer Degradation and Stability, 80: 403-419 (2003).                  ③Lee S.Y et al. In Biopolymers: General aspects and special applications, edited by A. Steinbuchel, Wiley-VCH, pp.307-338 (2003).</p>	

タイトル	自動車内装材におけるカーボンニュートラルへの取り組み																												
著者	森 高康、渡邊 茂樹 トヨタ紡織株式会社																												
発表年月	2008年2月																												
入手方法	第3回日本LCA学会研究発表会講演要旨集 p42-43																												
<p>主な内容</p> <p>ケナフ繊維から作られるポリ乳酸樹脂等の材料は、カーボンニュートラルな材料のため、焼却によって生ずるCO<sub>2</sub>は算定されない。一方、ポリ乳酸樹脂を自動車内装材として使うには耐熱性、耐衝撃性、耐加水分解性を大幅向上する必要がある。</p> <p>本研究は、ポリ乳酸樹脂の耐熱性、耐衝撃性、耐加水分解性などの課題を解決したうえで、ポリ乳酸樹脂をケナフとの複合材料化（バイオコンポジット）する事で100%植物由来のドアトリム基材の開発を果たした。</p> <p>ケナフを用いたドアトリム基材についてLCAを行った。評価範囲は、素材・原料～ドアトリム基材～焼却（自動車走行時は除く）まで各種基材1kgあたりのCO<sub>2</sub>排出量を評価し、PLAケナフの有効性を確認した（下図）。</p> <div data-bbox="480 1351 1329 1729" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>ドアトリム基材のLCA評価 (CO<sub>2</sub>排出量: kg-CO<sub>2</sub>/kg)</caption> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>ケナフ</th> <th>PP</th> <th>PLA</th> <th>成形</th> <th>焼却</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PPケナフ</td> <td>0</td> <td>1.5</td> <td>0</td> <td>1.5</td> <td>1.5</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>PLAケナフ</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.5</td> <td>1.5</td> <td>0</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>PP-INJ</td> <td>0</td> <td>2.0</td> <td>0</td> <td>1.0</td> <td>3.0</td> <td>6.0</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>図 ドアトリム基材のLCA評価</p>		材料	ケナフ	PP	PLA	成形	焼却	合計	PPケナフ	0	1.5	0	1.5	1.5	4.5	PLAケナフ	0	0	1.5	1.5	0	3.0	PP-INJ	0	2.0	0	1.0	3.0	6.0
材料	ケナフ	PP	PLA	成形	焼却	合計																							
PPケナフ	0	1.5	0	1.5	1.5	4.5																							
PLAケナフ	0	0	1.5	1.5	0	3.0																							
PP-INJ	0	2.0	0	1.0	3.0	6.0																							

タイトル	Life-cycle Assessment of LSI Packaging Material Made from Bio-based Polymer バイオポリマーで作られた LSI の包装材の LCA
著者	Horikoshi, Y. Hashitani, T. Kutami, M. Yazaki, K. Ando, Y. (Fujitsu Labs. Ltd.)
発表年月	2005 年
入手方法	Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2005. Eco Design 2005. Fourth International Symposium on Volume , Issue , 12-14 Dec. 2005 Page(s):122 - 123
<p>主な内容</p> <p>プラスチック製の LSI 包装材をバイオポリマー製包装材に換えた場合の CO2 削減効果を分析した。</p> <p>評価対象 : プロスチレン製包装材、バイオポリマー製のテープタイプ及びトレイタイプ包装材</p> <p>評価範囲 : 素材の製造から焼却までとする。</p> <p>評価結果 :</p> <p>①バイオポリマーを使ったほうが、約 11%の CO2 削減効果があった。</p> <p>②バイオポリマー製包装材のリサイクル (テープタイプ) について、90%リサイクルを行った場合、CO2 削減効果は 87%と算定された。</p>	

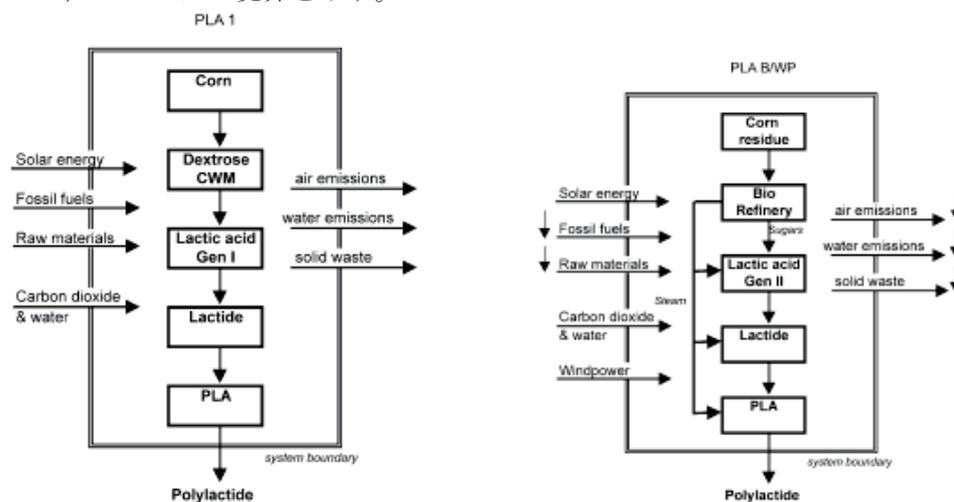
タイトル	Applications of life cycle assessment to Nature Works™ polylactide (PLA) production NatureWorks™ ポリ乳酸の LCA 分析
著者	Erwin T.H. Vink ,Karl R. Ra´ bago, David A. Glassner, Patrick R. Gruber
発表年月	2003 年
入手方法	Polymer Degradation and Stability 80 (2003) 403–419

主な内容

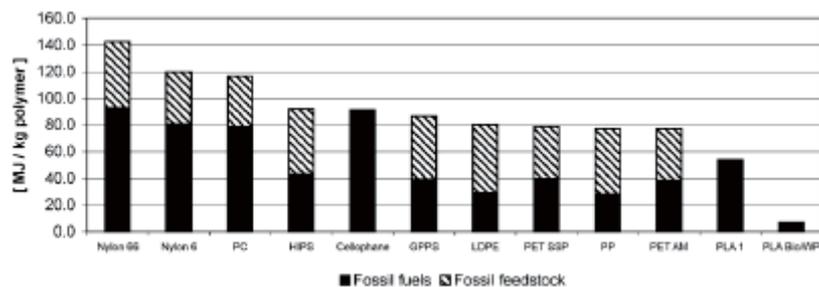
バイオベースポリマー製造の世界最大手である米 Cargill-Dow 社が、自社製品 Nature Works™ ポリ乳酸の LCA 分析を行った。

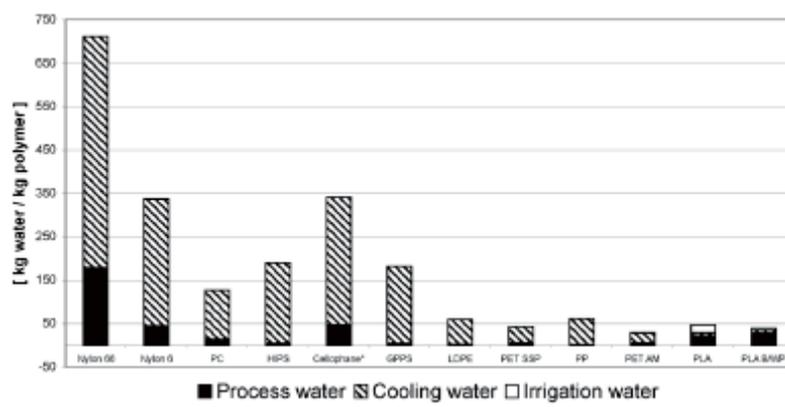
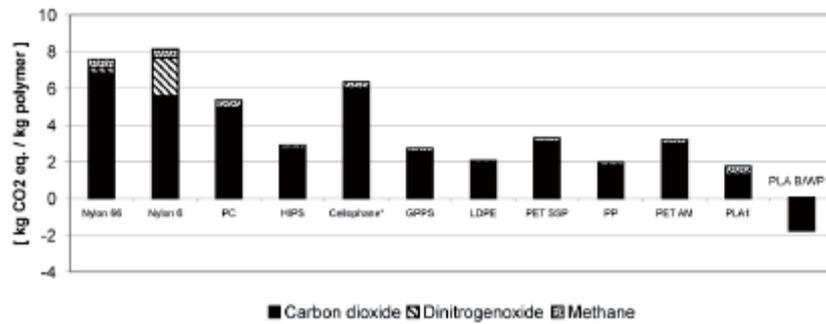
評価対象 (影響領域) : エネルギー消費、地球温暖化、水消費

評価範囲 : 従来ケース (PLA1) とバイオマス残渣利用と風力エネルギー使用ケース (PLA B/WP) のシステム境界を示す。



評価結果 : エネルギー消費、地球温暖化と水消費の順に示す。





ポリ乳酸ポリマーを化石資源ベースポリマーと、上記三つの側面での比較を行った。エネルギー消費及び地球温暖化においてバイオポリマーが低い結果となった。水消費は、PLAの灌漑用水を含めても化石資源ベースポリマーより小さい結果となった。(水の採取量のみを考慮しているようです。詳細は不明。)

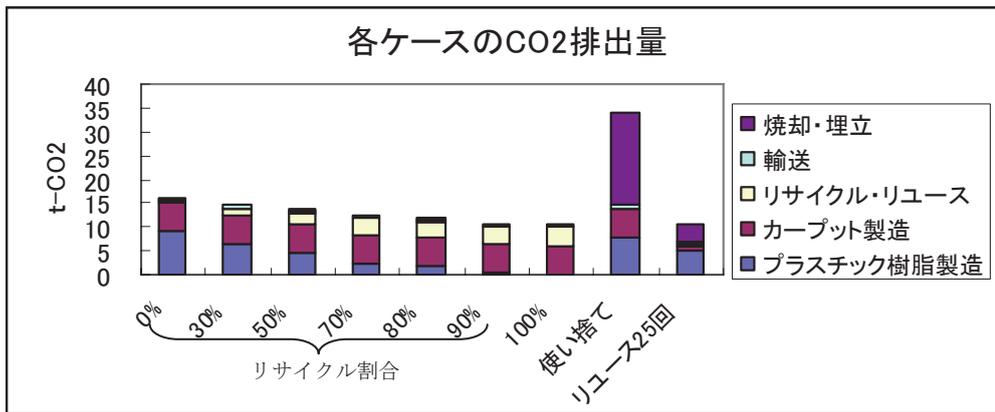
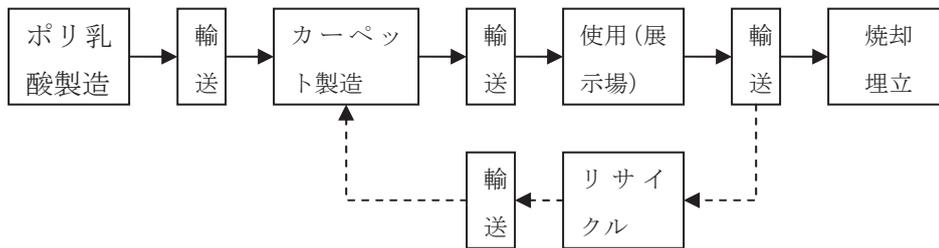
タイトル	生分解性カーペットのケミカルリサイクルシステムの LCA 評価
著者	原口貴成、松本亨、脇坂港、白井義人
発表年月	2005 年
入手方法	化学工学会 研究発表講演要旨集, Vol. 2005 (2005) No. SPACE pp.228-

主な内容

ポリ乳酸は熱やアルコール、アルカリなどにより容易に原料である乳酸やラクチドへ分解することが可能である。本研究は、ポリ乳酸の熱分解技術を応用したケミカルリサイクルを対象に LCCO<sub>2</sub> 分析を行った。

評価対象：ポリ乳酸製のカーペットを展示場で使用し、リサイクルするモデルを評価した。その結果を従来の使い捨てカーペット (PP100%) 及びリユースカーペット (Nylon40%, PVC60%) と比較した。

評価範囲は下図に示す。10000m<sup>2</sup> のカーペットを使用する。



評価結果：リサイクルは使い捨てより大幅に CO<sub>2</sub> 削減できることを確認された。リユースと比較した場合、90%リサイクルとリユース 25 回との CO<sub>2</sub> 排出量が同レベル。

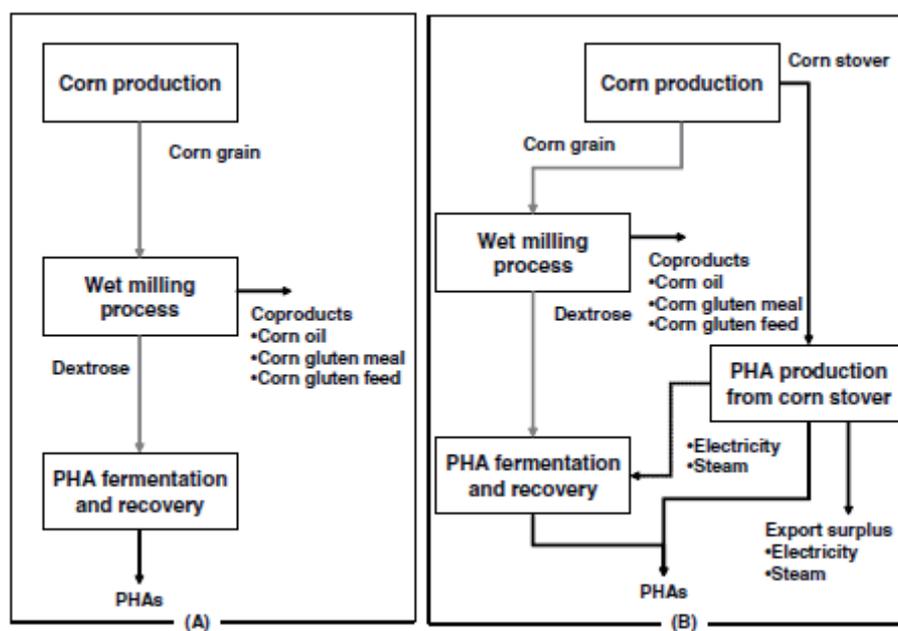
分類	バイオポリマー
タイトル	Life Cycle Assessment Study of Biopolymers (Polyhydroxyalkanoates) Derived from No-Tilled Corn
著者	Seungdo Kim and Bruce E. Dale
発表年月	2005年
入手方法	Int J LCA 10 (3) 200 – 210

主要内容 :

1. 研究方法 :

- ① 本研究は従来バイオポリマー (Polyhydroxyalkanoates : PHA) 製造方法 (A) と統合型バイオポリマー製造方法 (B) の比較を行った。
- ② 既存製造法 (A) は、コン→ブドウ糖→PHA。(B) は、(A) のうえ、コンの残渣を焼却して得られる電力と蒸気を PHA 製造プロセスに使う方法。
- ③ 従来法を用いる四つの既存文献の結果と、これら四つの既存文献が統合法を用いた場合の結果と比較する研究方法を取る。

2. 影響領域 : 地球温暖化、酸性化、富栄養化、光化学オキシダント



### 3. 評価結果

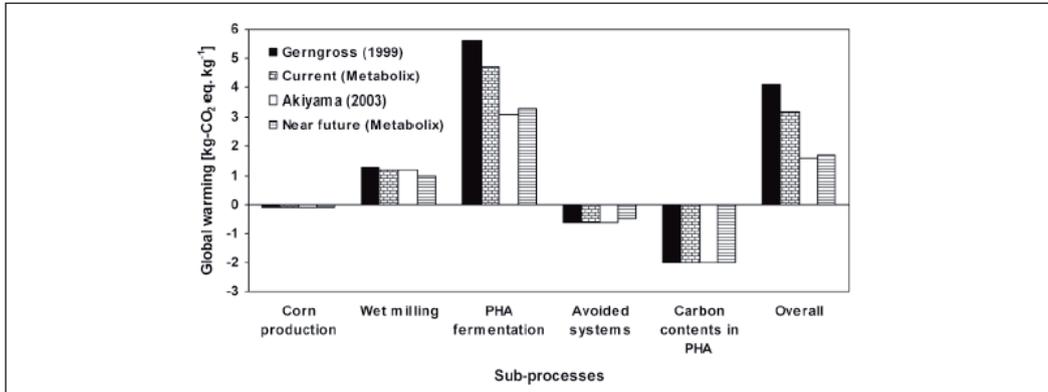


Fig. 4: Global warming in the PHA production system based on 100-year time horizon global warming potentials (Intergovernmental Panel on Climate Change 2001) [Gerngross (1999): PHA fermentation technology given by Gerngross (1999), Current (Metabolix): PHA fermentation technology given by Metabolix Inc. (van Walsem 2003), Akiyama (2003): PHA fermentation technology given by Akiyama et al. (2003), Near future (Metabolix): PHA fermentation technology given by Metabolix Inc. (van Walsem 2003)] Note: PHA fermentation includes fermentation and recovery

図1 既存製造方法での四つ既存文献の結果

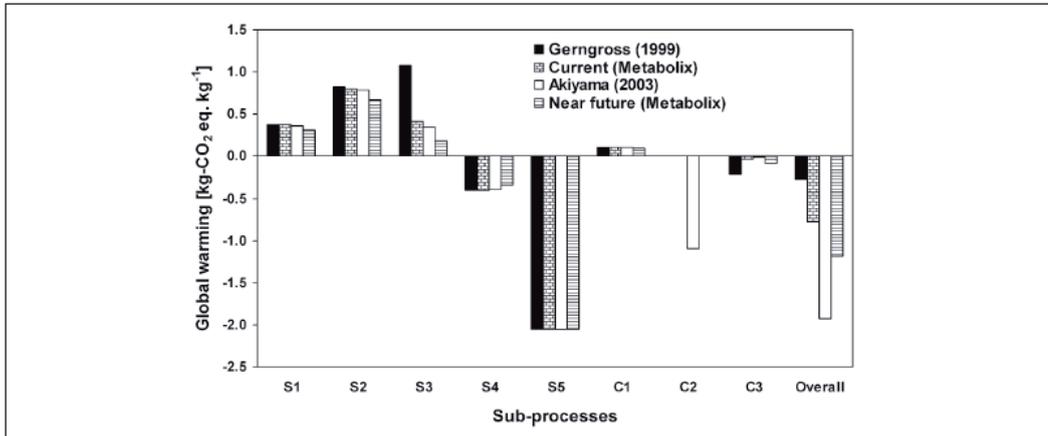


Fig. 5: Global warming associated with PHA produced in the integrated system. [S1: corn production and transportation for corn, S2: wet milling, S3: PHA fermentation and recovery (corn grain), S4: avoided systems for coproducts in the wet milling process, S4: Carbon content in PHA, C1: harvest and transportation for corn stover, C2: surplus electricity exported, C3: surplus steam exported]

図2 統合製造方法を四つ既存文献に適用した場合の結果

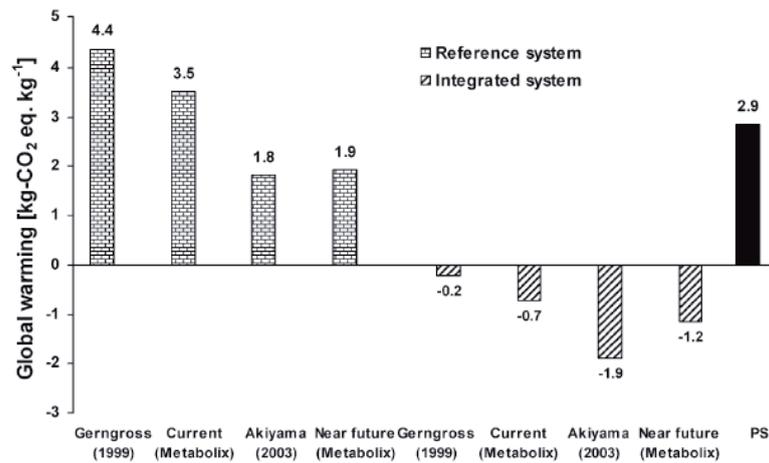


図3 既存製造法と統合製造法の比較

表 1 影響領域別の比較

Table 6: Environmental impacts estimated by the system expansion approach and the output mass based allocations

Impact category	Unit	Reference system		Integrated system	
		System expansion	Mass allocation	System expansion	Mass allocation
<b>Near future (Metabolix)</b>					
Nonrenewable energy	[MJ kg <sup>-1</sup> ]	68.6	66.0	17.8	15.8
Global warming	[kg-CO <sub>2</sub> eq. kg <sup>-1</sup> ]	1.72	1.92	-1.19	-1.15
Photochemical smog	[mg-NO <sub>x</sub> eq. m <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	20.5	23.1	11.7	13.5
Acidification	[moles H <sup>+</sup> eq. kg <sup>-1</sup> ]	1.56	1.64	0.62	0.67
Eutrophication	[g-N eq. kg <sup>-1</sup> ]	1.43	1.57	0.94	1.03

- ① 従来製法に比べて統合製造方法は温暖化影響の削減効果が大きいことが分かった。  
(表 1)
- ② Akiyama2003 の統合製造法の評価結果に、電力削減効果が大きかった理由として、日本は火力発電比例が高いことが考えられる (図 2)。
- ③ 温暖化以外の影響項目では、コン生産段階に関わる富栄養化の削減効果 (表 1) が小さいことがわかった。

タイトル	Life Cycle Assessment of Palm Bio-diesel Production in Thailand
著者	S. Papong, T. Chom-in and S. Noksa-nga, P. Malakul Thailand
発表年月	2008年12月
入手方法	第8回エコバランス国際会議

主な内容

タイで生産されるパームオイルを原料とするバイオディーゼルのLCAを行った。機能単位はバイオディーゼル1トンの生産とし、農場生産から、パームオイル抽出、エステル化及び輸送を評価範囲とした。温暖化、酸性化、光化学オキシダント、富栄養化及び資源消費5つの影響カテゴリが評価された。(SimaPro 7.1)

インベントリデータは聞き取り調査及び文献調査で収集した。3つの農場及び5つのオイル抽出工場のデータが用いられた。エステル化プロセスのデータは2つ工場のデータを使用し、メチルエステルとグリセリンが同時に生産されるため、経済配分を行った。輸送は、実際の農場と各工場の実際距離に基づいて設定した。

下図はバイオディーゼル1トン当たりの特性化結果を示す。

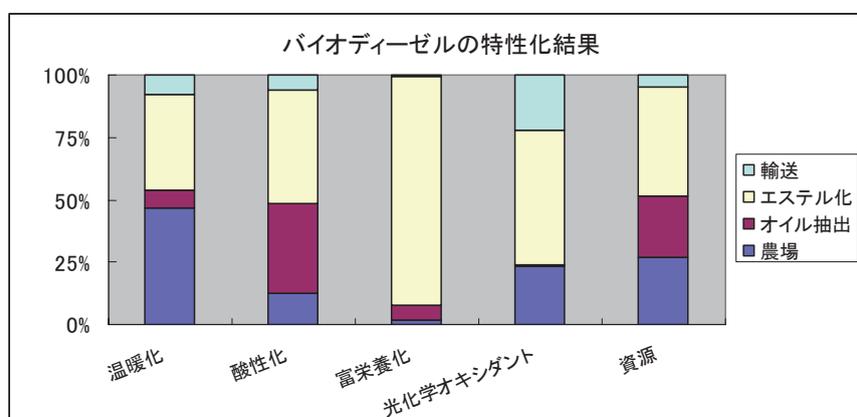


図 バイオディーゼルの特性化結果

全体的にエステル化プロセスによる影響が最も大きい。

温暖化は、農場段階の影響が最も大きく、その殆ど(約5割)が窒素肥料に由来することが分かった。

酸性化は、エステル化とオイル抽出段階に使われる蒸気の発生に重油が燃やされ、その際に放出される窒素、硫黄酸化物とアンモニアなどが起因する。

富栄養化は、殆どエステル化段階が最も寄与する。それは、グリセリンとメチルエステルを分離する際に大量に水を使用したからである。従って、適切な技術(例えば、蒸留分

離) を使えば、富栄養化の影響が大きく削減可能。

光化学オキシダントは、VOC による影響が大きい。その排出源はエステル化段階のメタノール放出と、輸送段階の燃料燃焼である。

資源消費は、それぞれエステル化及びオイル抽出段階のエネルギー消費と、農場段階の化学肥料生産による影響が大きい。

タイトル	土地利用の変化を考慮したパーム油からの BDF 生産における正味の温室効果ガス排出量の評価
著者	蒲原 弘継、アヌグラ ウィディヤント、橘 隆一、熱田 洋一 豊橋科学技術大学
発表年月	2008年12月
入手方法	第4回 LCA 学会講演集 p 84-85

主な内容

パーム油からのバイオディーゼル燃料(BDF)の生産におけるバイオマスのカーボンバランス、化石燃料消費及び土地利用の変化を考慮した上で、軽油生産システムとの正味のGHG 排出量の比較を行った。

データ：BDF 生産システムのデータはインドネシア現地収集及び藤江 2008 の文献値を引用した。土地利用は以下四ケースを想定した。LUCC の計算は、IPCC の方法に基づき、地上部のバイオマス量と土壌中の炭素量、落ち葉と枯れ木の炭素量、さらに、泥炭地開発による炭素放出と亜酸化窒素の排出量を考慮した。

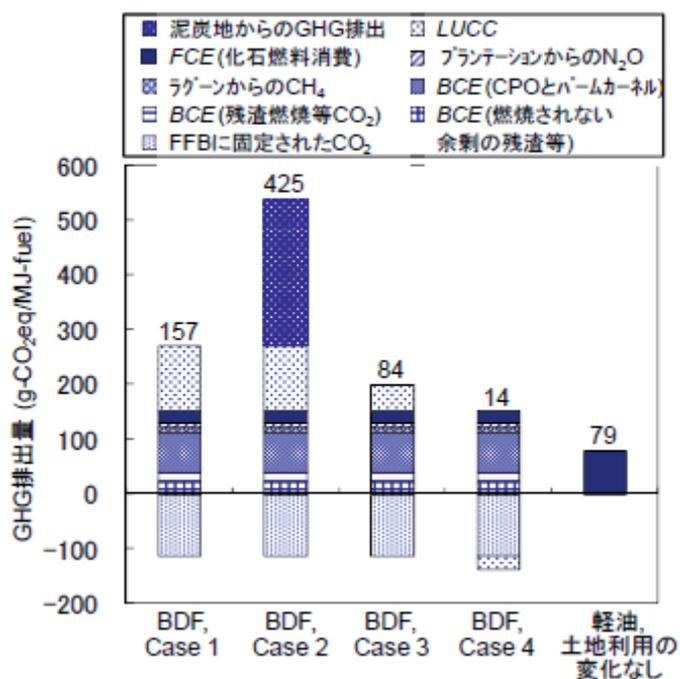
Case 1: 熱帯雨林からプランテーション

Case 2: 泥炭地にある熱帯雨林からプランテーション

Case 3: 熱帯雨林伐採後の土地からプランテーション

Case 4: 草地からプランテーション

評価結果は下図に示す。



(**FFB**:ヤシ果房、 **CPO**:粗パーム油、 **POME**:パーム油工場排水 **BCE**: バイオマス由来の炭素の排出量 )

土地利用の変化を考慮することで、全体に与える影響は大きい。草地からプランテーションへ変化するケースが最も小さい値となった。一方、泥炭地からプランテーションへ変化するケースは、泥炭地開発による炭素放出と亜酸化窒素の排出量が大きいため、正味のGHG排出量が最も大きい結果となった。

また、バイオマス残渣の処理（炭化処理かエネルギー利用か）や、グリセリンの処理方法によって、正味のCO<sub>2</sub>放出量に影響するため考慮する必要がある。

注：藤江幸一ら，環境資源工学会誌, 55(2), (2008), pp.103-108

タイトル	A life cycle analysis on Bio-DME synthesis system considering biomass materials バイオマスから合成する Bio-DME のライフサイクル分析
著者	Masashi Higo, Kiyoshi Dowaki 東京理科大学
発表年月	2008 年 12 月
入手方法	第 8 回エコバランス国際会議 p034
主な内容	<p>廃木材から Bio-DME 合成する技術はまだ研究途上、この研究は実験値に基づいて 17 種類の木質バイオマスの収集から、粉砕、乾燥、ガス化、燃料合成、燃料輸送までの MJ-DME 単位当たりの CO<sub>2</sub> 排出量を算定した。燃料輸送段階は、日本での生産と消費シナリオと、Papua New Guinea (PNG) で生産し日本で消費するシナリオという 2 つケースを想定して算定した。</p> <p>結果：ライフサイクル全体で、日本ケースの場合は、17.8–50.5 g-CO<sub>2</sub>/MJ-DME、PNG ケースは 12.2–36.7 g-CO<sub>2</sub>/MJ-DME となった。</p> <p>木質バイオマスの発熱量、水素含有量と容積密度が全体の結果に大きく寄与し、これら三つの情報が分かれば、DME のライフサイクル CO<sub>2</sub> を推計することが可能である。</p>

タイトル	Comparative Evaluation of Ethanol Production System from Cellulosic Biomass with Different Pretreatment and Saccharification Process 異なる前処理と糖化プロセスによるセルロス系エタノール製造システムの比較評価
著者	Kiyotaka Saga, Shinji Fujimoto, Takashi Yanagida, Chika Tada, Bespyatko Lyudmyla Yuriyivna, Tomoaki Minowa、産業技術総合研究所
発表年月	2008年12月
入手方法	第8回エコバランス国際会議 B-12
主な内容	<p>セルロス系バイオマスよりエタノールの製造方法は、前処理と糖化プロセスの違いによって複数存在する。この研究は以下三つの技術の LCCO<sub>2</sub> を評価した。</p> <p>NEDO : 二段階濃硫酸糖化方法、糖化後の硫酸は回収される。</p> <p>NREL (米国) : 希硫酸と酵素を用いる。</p> <p>AIST : お湯と粉砕の前処理を経て、酵素糖化を行う。</p> <p>結果は下図に示す。(a) は副産物 (主にリグニン) 利用しないケース。(b) は利用するケース。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>(a) No byproduct use</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>(b) Byproduct use</p> </div> </div> <p>NEDO は、硫酸の回収処理に多くの熱エネルギーをかかったため、CO<sub>2</sub> 排出量が最も高くなった。AIST は、粉砕前処理で多くの電力を消費されるのが特徴。NREL は最も小さい結果となった。</p> <p>リグニンをエネルギーとして利用する場合、どの方法にとっても CO<sub>2</sub> 削減に寄与するため、副産物の利用が重要だといえる。</p>

タイトル	A modified design of CGS operation or Bio-H <sub>2</sub> production through Blue Tower (BT) process BT (Blue Tower) システムによる CGS(Co-generation system) 或はバイオ水素生産のデザイン
著者	Kiyoshi Dowaki, Yoshitaka Kon, Mitsuo Kameyama、東京理科大学
発表年月	2008 年
入手方法	第 8 回エコバランス国際会議

主な内容

木質バイオマスをガス化する技術として BT (Blue Tower) プロセスが注目されている (図 1)。BT 技術はまだ実験段階にあり、主に予熱器、改質器、熱分解器、分離装置、熱風発生炉から構成される。

まず、木質バイオマスは熱分解器内で非酸化性雰囲気下、ヒートキャリア (材質アルミナボール、直径 12.7mm(従来)と 7.43 mm(本研究)) と混合されて約 550℃で熱分解され、そこで発生した熱分解ガスは約 950℃に加熱されたヒートキャリアが存在する改質器内へ上昇し、スチームと反応して改質される。熱分解器内でガス化せずに残ったチャー (残渣) は、熱風発生炉に送られて燃焼される。その時に発生した高温熱風は予熱器に送られ、ヒートキャリアを約 1,000℃まで加熱する働きをする。この、加熱されたヒートキャリアは改質器および熱分解器の熱源として利用される。

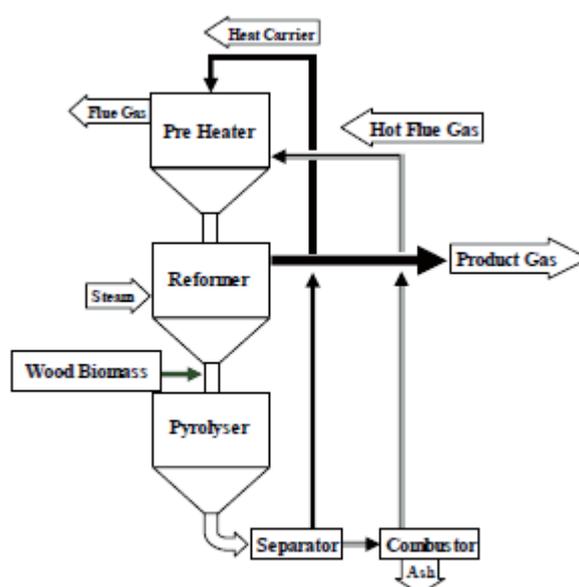


図 1 ブルータワープロセス

この研究は、BT プロセスによって木質バイオマスをガス化し、発生したガスを

①CGS case：コージェネレーションによる電気・熱利用する方法

②Bio-H<sub>2</sub> case：発生したガスを精製して水素を製造する方法

の2つケースのLCCO<sub>2</sub>を評価するのが目的とする。

実験データを用いて評価を行った。また、輸送距離とバイオマスの含水率の違いによる不確実性（モンテカルロシミュレーション）分析も行った。結果を図2に示す。

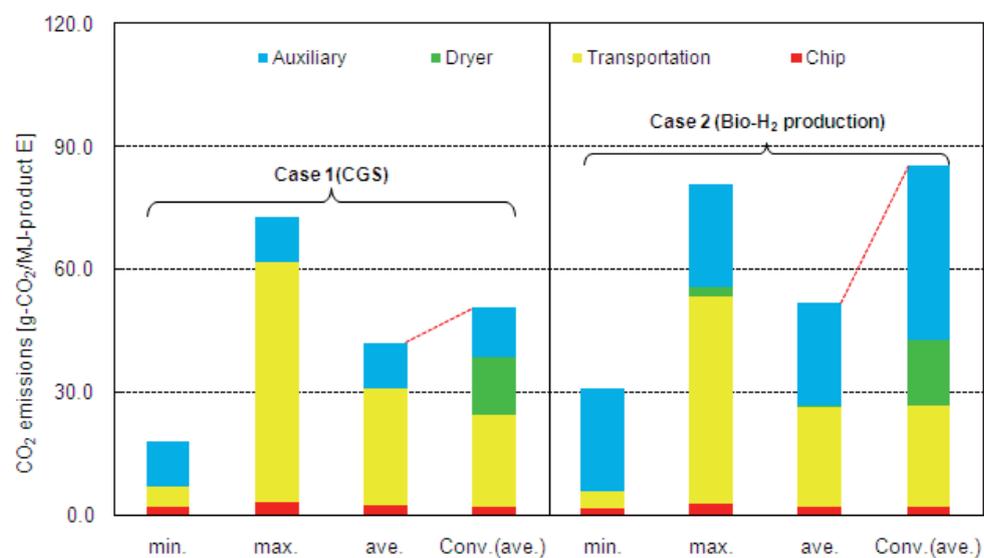


図2 エネルギー（MJ）単位当たりのCO<sub>2</sub>排出量

図2より、本研究で設計したBTシステムの両ケースに置いて、従来システムより低い結果となった。

廃熱のリサイクルによって、従来システムの乾燥用エネルギーの削減に大きく寄与した。

アルミナボールを小さくすることで、アルミナボールを循環させるための動力の約5割の削減に寄与した。

タイトル	Life cycle assessment of BTL-fuels and conversion concepts BLT 燃料の LCA
著者	Niels Jungbluth, Rolf Frischknecht, Matthias Tuchschnid, ESU-services Ltd
発表年月	2008 年
入手方法	第 8 回エコバランス国際会議

主な内容

BLT は非食物系の植物から生成される液体燃料である。原料に用いられるのは農業系廃棄物である麦わらや、木材などがある。BLT は温暖化に良いが、植物生産段階には富栄養化、酸性化、土地利用といった影響が生じる。この研究は、LCA 手法を用いて BLT の総合的影響を測ることを目的とする。

データ : スイス及び EU プロジェクト RENEW のデータを引用した。(RENEW プロジェクト (2004-2008) は、EU から 1,000 万€の資金助成を受けて、31 のパートナーの参加を得て実施されている。このプロジェクトではバイオマスから液体燃料を合成するための加工技術の開発と評価が行われており、現在および将来の燃焼機関 (エンジン) で利用できる、コスト効率のよい高品質な燃料の生産を目標としている。http://www.renew-fuel.com)

評価範囲 : バイオマス生産から燃料消費までとする。

表 1,2 は各バイオマス生産段階及び燃料変換段階のデータを示す。

表 1 バイオマス別生産段階のインベントリデータ

		bundles, short-rotation wood	bundles, short-rotation wood	miscanthus-bales	miscanthus-bales	wheat straw, bales	wheat straw, bales
		starting point	scenario 1	starting point	scenario 1	starting point	scenario 1
N-fertilizer	g/kg DS	5.2	6.3	4.0	5.6	2.2	1.8
P2O5-fertilizer	g/kg DS	4.0	3.5	3.1	2.8	1.1	0.8
K2O-fertilizer	g/kg DS	6.4	5.4	5.1	4.3	0.9	1.5
Lime	g/kg DS	6.5	5.9	3.6	2.4	4.4	2.8
diesel use	g/kg DS	5.1	4.9	4.3	3.3	2.3	1.4
yield, bioenergy resource	kg DS/ha/a	10'537	12'630	14'970	20'504	3'718	4'428
yield, wheat grains	kg DS/ha/a	-	-	-	-	4'900	6'719
energy content of biomass	MJ/kg DS	18.4	18.4	18.8	18.8	17.2	17.2
losses during storage	%	7%	4%	6%	3%	6%	3%

DS: Dry Substance

表 2 各燃料別変換率

	Biomass	Wood	Straw	Wood	Straw	Straw	Wood	Miscanthus	Wood
		Centralized Entrained Flow Gasification	Centralized Entrained Flow Gasification	Centralized Autothermal Circulating Fluidized Bed Gasification	Centralized Autothermal Circulating Fluidized Bed Gasification	Decentralized Entrained Flow Gasification	Allothermal Circulating Fluidized Bed Gasification	Allothermal Circulating Fluidized Bed Gasification	Entrained Flow Gasification of Black Liquor for DME-production
conversion rate (biomass to all liquids)	energy	53%	57%	40%	38%	45%	25%	25%	59%
capacity biomass input (MW)	power	499	462	485	463	455	52	50	500
all liquid products (diesel, naphtha, DME)	toeh	22.5	22.3	16.8	15.0	17.5	1.1	1.1	29.0

上記インベントリデータのもとで、各種 BLT の温暖化特性化結果と、Eco-indicator 99 及び Ecological Scarcity 2006 による単一指標 (統合化結果) を求めた。(図 1)

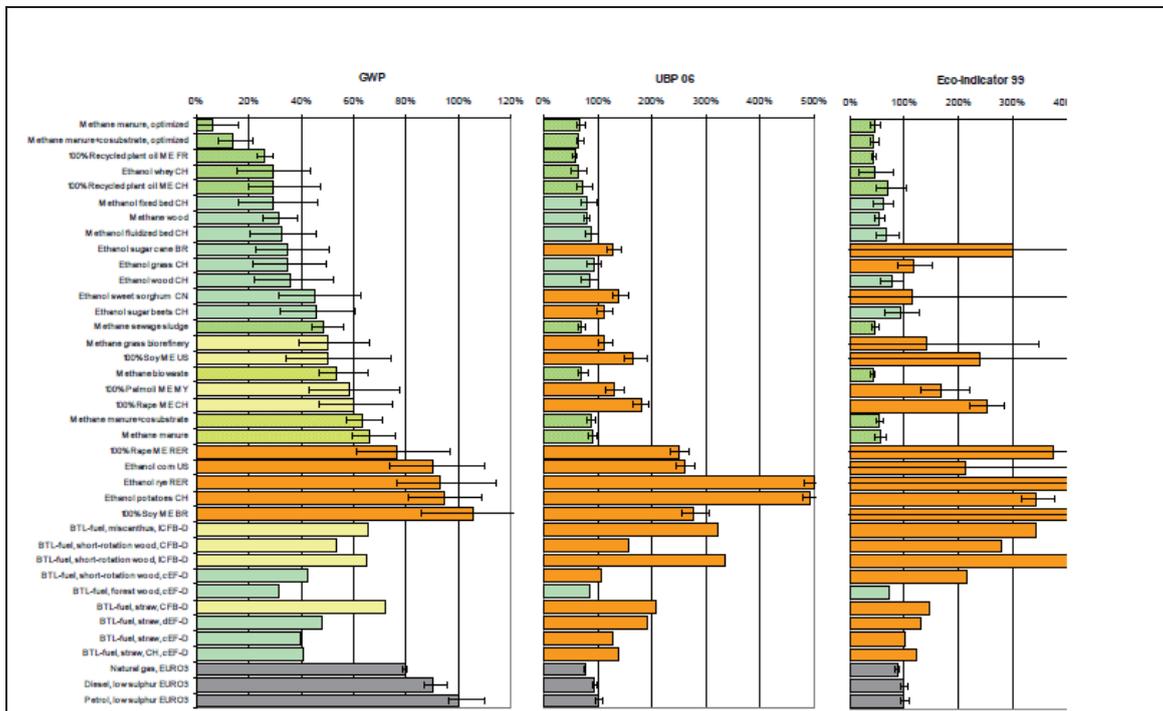


図1 各種 BLT の温暖化影響及び統合化影響

温暖化影響においては、殆どの BLT がガソリン（EURO3 低硫黄）より低い値となっている。一方、統合化結果では、廃棄物及び木材からの BLT のみがガソリンより良い結果となり、その他のサトウキビ、麦わら、パーム油、ポテトなど由来の BLT はガソリンより大きい結果となった。

タイトル	鉛フリーはんだのライフサイクル影響評価と国際間比較に関する調査研究																																																																																																																																																																																																																																						
著者	産業技術総合研究所																																																																																																																																																																																																																																						
発表年月	2005年3月																																																																																																																																																																																																																																						
入手方法	伊坪徳宏 pp33-80																																																																																																																																																																																																																																						
<p>主な内容</p> <p>評価目的：鉛フリーはんだと鉛はんだを評価対象とし、温暖化や有害物質の暴露など複数の影響領域を通じた環境影響間の比較を行う。</p> <p>評価対象：鉛はんだ (Sn37Pb) と 9 種類の鉛フリーはんだ (Sn3Ag0.5Cu、Sn3.5Ag、Sn0.7Cu、Sn9Zn、Sn3Ag0.7Cu3Bi、Sn8Zn3Bi、Sn1Ag57Bi、Sn3.5Ag7In0.5Bi、Sn0.7Cu0.04Ni)</p> <p>評価範囲：はんだ・基盤の製造及びはんだの廃棄・リサイクル工程とする。製造工程ははんだの挿入実装と表面実装を想定し、廃棄段階はリサイクル、直接埋め立て及び不法投棄 3 種類のプロセスを想定して評価した。</p> <p>インベントリ結果：下表は挿入実装、埋立処理を想定した場合の結果である。CO<sub>2</sub> において、鉛はんだのほうが小さいが、大気や水系への鉛排出も大きいことが分かる。</p> <p style="text-align: center;">表 はんだのインベントリ結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Inventory:</th> <th></th> <th>Sn37Pb</th> <th>Sn3Ag0.5Cu</th> <th>Sn3.5Ag</th> <th>Sn0.7Cu</th> <th>Sn9Zn</th> <th>Sn0.7Cu0.04Ni</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inputs:</td> <td>(r) Coal (in ground)</td> <td>kg 2.98E-02</td> <td>3.81E-02</td> <td>3.89E-02</td> <td>3.43E-02</td> <td>3.37E-02</td> <td>3.37E-02</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Copper (Cu, ore)</td> <td>kg 4.75E-09</td> <td>5.04E-05</td> <td>5.10E-09</td> <td>7.00E-05</td> <td>5.10E-09</td> <td>6.83E-05</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Lead (Pb, ore)</td> <td>kg 4.27E-03</td> <td>1.59E-09</td> <td>1.59E-09</td> <td>1.59E-09</td> <td>1.59E-09</td> <td>1.59E-09</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Natural Gas (in ground)</td> <td>kg 1.59E-02</td> <td>2.12E-02</td> <td>2.17E-02</td> <td>1.89E-02</td> <td>1.77E-02</td> <td>1.86E-02</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Nickel (Ni, ore)</td> <td>kg 3.16E-10</td> <td>3.40E-10</td> <td>3.40E-10</td> <td>3.40E-10</td> <td>3.40E-10</td> <td>3.90E-06</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Oil (in ground)</td> <td>kg 1.37E-02</td> <td>2.05E-02</td> <td>2.11E-02</td> <td>1.71E-02</td> <td>1.60E-02</td> <td>1.67E-02</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Silver (Ag, ore)</td> <td>kg 2.36E-11</td> <td>3.02E-04</td> <td>3.53E-04</td> <td>2.53E-11</td> <td>2.53E-11</td> <td>2.53E-11</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Tin (Sn, ore)</td> <td>kg 7.25E-03</td> <td>9.73E-03</td> <td>9.74E-03</td> <td>9.93E-03</td> <td>9.05E-03</td> <td>9.68E-03</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(r) Zinc (Zn, ore)</td> <td>kg 3.45E-11</td> <td>3.71E-11</td> <td>3.71E-11</td> <td>3.71E-11</td> <td>9.04E-04</td> <td>3.71E-11</td> </tr> <tr> <td>Outputs:</td> <td>(a) Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>, fossil)</td> <td>kg 1.49E-01</td> <td>2.10E-01</td> <td>2.15E-01</td> <td>1.82E-01</td> <td>1.73E-01</td> <td>1.79E-01</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Copper (Cu)</td> <td>kg 2.17E-08</td> <td>1.24E-08</td> <td>1.17E-08</td> <td>1.27E-08</td> <td>1.41E-08</td> <td>1.44E-08</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Lead (Pb)</td> <td>kg 1.37E-05</td> <td>2.56E-08</td> <td>2.48E-08</td> <td>2.58E-08</td> <td>1.68E-06</td> <td>2.58E-08</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Methane (CH<sub>4</sub>)</td> <td>kg 1.92E-04</td> <td>1.83E-04</td> <td>1.83E-04</td> <td>1.83E-04</td> <td>1.92E-04</td> <td>1.83E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Nickel (Ni)</td> <td>kg 7.98E-08</td> <td>6.73E-08</td> <td>6.73E-08</td> <td>6.73E-08</td> <td>6.73E-08</td> <td>6.84E-08</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub> as NO<sub>2</sub>)</td> <td>kg 3.46E-04</td> <td>4.75E-04</td> <td>4.86E-04</td> <td>4.19E-04</td> <td>3.96E-04</td> <td>4.09E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O)</td> <td>kg 6.89E-07</td> <td>5.61E-07</td> <td>5.54E-07</td> <td>5.64E-07</td> <td>6.66E-07</td> <td>5.65E-07</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) NMVOC</td> <td>kg 4.60E-04</td> <td>4.90E-04</td> <td>4.90E-04</td> <td>4.86E-04</td> <td>4.87E-04</td> <td>4.85E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Particulates (unspecified)</td> <td>kg 1.76E-04</td> <td>2.65E-04</td> <td>2.72E-04</td> <td>2.31E-04</td> <td>2.14E-04</td> <td>2.25E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(a) Sulphur Oxides (SO<sub>x</sub> as SO<sub>2</sub>)</td> <td>kg 4.74E-04</td> <td>6.66E-04</td> <td>6.79E-04</td> <td>5.70E-04</td> <td>5.41E-04</td> <td>5.67E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(s) Lead (Pb)</td> <td>kg 2.37E-11</td> <td>1.26E-12</td> <td>2.79E-13</td> <td>1.64E-12</td> <td>8.01E-12</td> <td>1.82E-12</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(s) Mercury (Hg)</td> <td>kg 1.50E-13</td> <td>8.87E-15</td> <td>2.22E-15</td> <td>1.15E-14</td> <td>5.18E-14</td> <td>1.25E-14</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(s) Zinc (Zn)</td> <td>kg 1.94E-09</td> <td>1.04E-09</td> <td>9.99E-10</td> <td>1.06E-09</td> <td>1.27E-09</td> <td>1.06E-09</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(w) COD (Chemical Oxygen Demand)</td> <td>kg 2.80E-07</td> <td>1.84E-07</td> <td>1.79E-07</td> <td>1.86E-07</td> <td>2.12E-07</td> <td>1.86E-07</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(w) Lead (Pb<sup>++</sup>, Pb<sup>4+</sup>)</td> <td>kg 5.90E-07</td> <td>1.44E-08</td> <td>1.40E-08</td> <td>1.45E-08</td> <td>2.77E-08</td> <td>1.46E-08</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(w) Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</td> <td>kg 1.39E-07</td> <td>6.84E-08</td> <td>6.63E-08</td> <td>6.90E-08</td> <td>9.73E-08</td> <td>6.93E-08</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(w) Phosphorus (P)</td> <td>kg 9.32E-10</td> <td>1.00E-09</td> <td>1.00E-09</td> <td>1.00E-09</td> <td>1.00E-09</td> <td>1.00E-09</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Waste (total)</td> <td>kg 6.42E-03</td> <td>6.89E-03</td> <td>6.89E-03</td> <td>6.89E-03</td> <td>6.89E-03</td> <td>6.89E-03</td> </tr> </tbody> </table>								Inventory:		Sn37Pb	Sn3Ag0.5Cu	Sn3.5Ag	Sn0.7Cu	Sn9Zn	Sn0.7Cu0.04Ni	Inputs:	(r) Coal (in ground)	kg 2.98E-02	3.81E-02	3.89E-02	3.43E-02	3.37E-02	3.37E-02		(r) Copper (Cu, ore)	kg 4.75E-09	5.04E-05	5.10E-09	7.00E-05	5.10E-09	6.83E-05		(r) Lead (Pb, ore)	kg 4.27E-03	1.59E-09	1.59E-09	1.59E-09	1.59E-09	1.59E-09		(r) Natural Gas (in ground)	kg 1.59E-02	2.12E-02	2.17E-02	1.89E-02	1.77E-02	1.86E-02		(r) Nickel (Ni, ore)	kg 3.16E-10	3.40E-10	3.40E-10	3.40E-10	3.40E-10	3.90E-06		(r) Oil (in ground)	kg 1.37E-02	2.05E-02	2.11E-02	1.71E-02	1.60E-02	1.67E-02		(r) Silver (Ag, ore)	kg 2.36E-11	3.02E-04	3.53E-04	2.53E-11	2.53E-11	2.53E-11		(r) Tin (Sn, ore)	kg 7.25E-03	9.73E-03	9.74E-03	9.93E-03	9.05E-03	9.68E-03		(r) Zinc (Zn, ore)	kg 3.45E-11	3.71E-11	3.71E-11	3.71E-11	9.04E-04	3.71E-11	Outputs:	(a) Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> , fossil)	kg 1.49E-01	2.10E-01	2.15E-01	1.82E-01	1.73E-01	1.79E-01		(a) Copper (Cu)	kg 2.17E-08	1.24E-08	1.17E-08	1.27E-08	1.41E-08	1.44E-08		(a) Lead (Pb)	kg 1.37E-05	2.56E-08	2.48E-08	2.58E-08	1.68E-06	2.58E-08		(a) Methane (CH <sub>4</sub> )	kg 1.92E-04	1.83E-04	1.83E-04	1.83E-04	1.92E-04	1.83E-04		(a) Nickel (Ni)	kg 7.98E-08	6.73E-08	6.73E-08	6.73E-08	6.73E-08	6.84E-08		(a) Nitrogen Oxides (NO <sub>x</sub> as NO <sub>2</sub> )	kg 3.46E-04	4.75E-04	4.86E-04	4.19E-04	3.96E-04	4.09E-04		(a) Nitrous Oxide (N <sub>2</sub> O)	kg 6.89E-07	5.61E-07	5.54E-07	5.64E-07	6.66E-07	5.65E-07		(a) NMVOC	kg 4.60E-04	4.90E-04	4.90E-04	4.86E-04	4.87E-04	4.85E-04		(a) Particulates (unspecified)	kg 1.76E-04	2.65E-04	2.72E-04	2.31E-04	2.14E-04	2.25E-04		(a) Sulphur Oxides (SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub> )	kg 4.74E-04	6.66E-04	6.79E-04	5.70E-04	5.41E-04	5.67E-04		(s) Lead (Pb)	kg 2.37E-11	1.26E-12	2.79E-13	1.64E-12	8.01E-12	1.82E-12		(s) Mercury (Hg)	kg 1.50E-13	8.87E-15	2.22E-15	1.15E-14	5.18E-14	1.25E-14		(s) Zinc (Zn)	kg 1.94E-09	1.04E-09	9.99E-10	1.06E-09	1.27E-09	1.06E-09		(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	kg 2.80E-07	1.84E-07	1.79E-07	1.86E-07	2.12E-07	1.86E-07		(w) Lead (Pb <sup>++</sup> , Pb <sup>4+</sup> )	kg 5.90E-07	1.44E-08	1.40E-08	1.45E-08	2.77E-08	1.46E-08		(w) Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	kg 1.39E-07	6.84E-08	6.63E-08	6.90E-08	9.73E-08	6.93E-08		(w) Phosphorus (P)	kg 9.32E-10	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-09		Waste (total)	kg 6.42E-03	6.89E-03	6.89E-03	6.89E-03	6.89E-03	6.89E-03
Inventory:		Sn37Pb	Sn3Ag0.5Cu	Sn3.5Ag	Sn0.7Cu	Sn9Zn	Sn0.7Cu0.04Ni																																																																																																																																																																																																																																
Inputs:	(r) Coal (in ground)	kg 2.98E-02	3.81E-02	3.89E-02	3.43E-02	3.37E-02	3.37E-02																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Copper (Cu, ore)	kg 4.75E-09	5.04E-05	5.10E-09	7.00E-05	5.10E-09	6.83E-05																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Lead (Pb, ore)	kg 4.27E-03	1.59E-09	1.59E-09	1.59E-09	1.59E-09	1.59E-09																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Natural Gas (in ground)	kg 1.59E-02	2.12E-02	2.17E-02	1.89E-02	1.77E-02	1.86E-02																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Nickel (Ni, ore)	kg 3.16E-10	3.40E-10	3.40E-10	3.40E-10	3.40E-10	3.90E-06																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Oil (in ground)	kg 1.37E-02	2.05E-02	2.11E-02	1.71E-02	1.60E-02	1.67E-02																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Silver (Ag, ore)	kg 2.36E-11	3.02E-04	3.53E-04	2.53E-11	2.53E-11	2.53E-11																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Tin (Sn, ore)	kg 7.25E-03	9.73E-03	9.74E-03	9.93E-03	9.05E-03	9.68E-03																																																																																																																																																																																																																																
	(r) Zinc (Zn, ore)	kg 3.45E-11	3.71E-11	3.71E-11	3.71E-11	9.04E-04	3.71E-11																																																																																																																																																																																																																																
Outputs:	(a) Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> , fossil)	kg 1.49E-01	2.10E-01	2.15E-01	1.82E-01	1.73E-01	1.79E-01																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Copper (Cu)	kg 2.17E-08	1.24E-08	1.17E-08	1.27E-08	1.41E-08	1.44E-08																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Lead (Pb)	kg 1.37E-05	2.56E-08	2.48E-08	2.58E-08	1.68E-06	2.58E-08																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Methane (CH <sub>4</sub> )	kg 1.92E-04	1.83E-04	1.83E-04	1.83E-04	1.92E-04	1.83E-04																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Nickel (Ni)	kg 7.98E-08	6.73E-08	6.73E-08	6.73E-08	6.73E-08	6.84E-08																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Nitrogen Oxides (NO <sub>x</sub> as NO <sub>2</sub> )	kg 3.46E-04	4.75E-04	4.86E-04	4.19E-04	3.96E-04	4.09E-04																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Nitrous Oxide (N <sub>2</sub> O)	kg 6.89E-07	5.61E-07	5.54E-07	5.64E-07	6.66E-07	5.65E-07																																																																																																																																																																																																																																
	(a) NMVOC	kg 4.60E-04	4.90E-04	4.90E-04	4.86E-04	4.87E-04	4.85E-04																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Particulates (unspecified)	kg 1.76E-04	2.65E-04	2.72E-04	2.31E-04	2.14E-04	2.25E-04																																																																																																																																																																																																																																
	(a) Sulphur Oxides (SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub> )	kg 4.74E-04	6.66E-04	6.79E-04	5.70E-04	5.41E-04	5.67E-04																																																																																																																																																																																																																																
	(s) Lead (Pb)	kg 2.37E-11	1.26E-12	2.79E-13	1.64E-12	8.01E-12	1.82E-12																																																																																																																																																																																																																																
	(s) Mercury (Hg)	kg 1.50E-13	8.87E-15	2.22E-15	1.15E-14	5.18E-14	1.25E-14																																																																																																																																																																																																																																
	(s) Zinc (Zn)	kg 1.94E-09	1.04E-09	9.99E-10	1.06E-09	1.27E-09	1.06E-09																																																																																																																																																																																																																																
	(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	kg 2.80E-07	1.84E-07	1.79E-07	1.86E-07	2.12E-07	1.86E-07																																																																																																																																																																																																																																
	(w) Lead (Pb <sup>++</sup> , Pb <sup>4+</sup> )	kg 5.90E-07	1.44E-08	1.40E-08	1.45E-08	2.77E-08	1.46E-08																																																																																																																																																																																																																																
	(w) Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	kg 1.39E-07	6.84E-08	6.63E-08	6.90E-08	9.73E-08	6.93E-08																																																																																																																																																																																																																																
	(w) Phosphorus (P)	kg 9.32E-10	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-09																																																																																																																																																																																																																																
	Waste (total)	kg 6.42E-03	6.89E-03	6.89E-03	6.89E-03	6.89E-03	6.89E-03																																																																																																																																																																																																																																

特性化：図1は挿入実装、埋立処理を想定した場合の結果である。鉛フリーはんだは、地球温暖化やエネルギー消費など影響領域において鉛はんだより影響が大きい。人間毒性や生態毒性においては鉛はんだより非常に小さい結果となった。

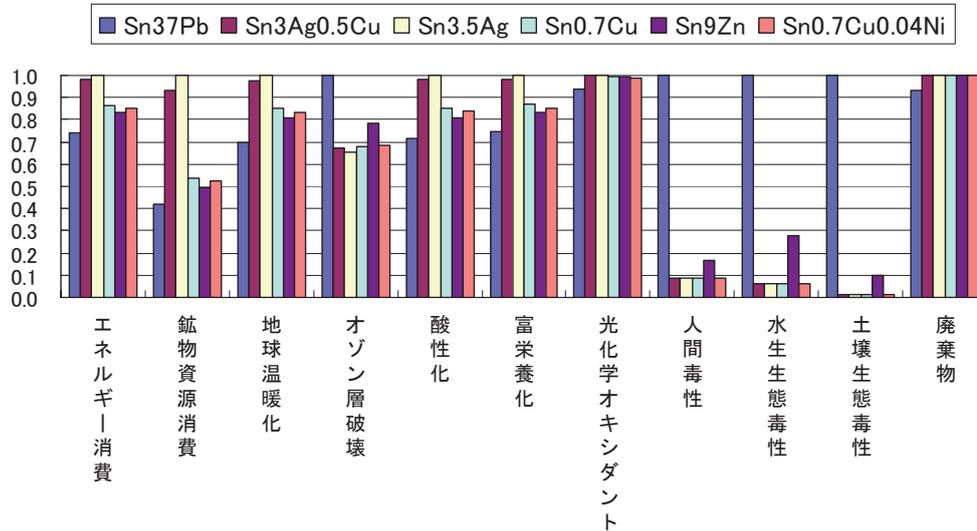


図1 はんだの特性化結果

統合化結果：鉛はんだの影響が最も大きい結果となった。鉛の代替材を使用することで社会資産と一次生産の影響を増大させたが、鉛はんだと比べて人間健康の影響の低減に大きく寄与した。その結果、総合的に見ると鉛フリーはんだの環境影響が鉛はんだより小さい。

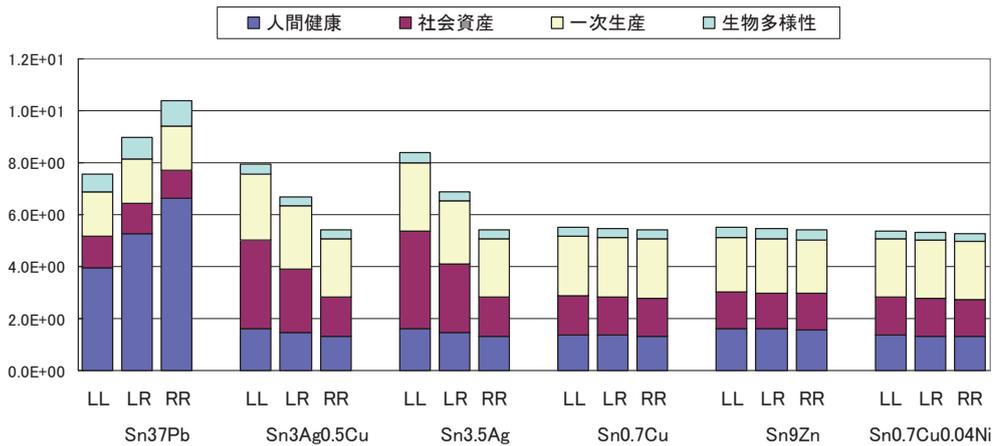


図2 はんだの統合化結果

タイトル	電子機器に使用される鉛はんだと鉛フリーはんだのライフサイクルインベントリ分析
著者	山口崇、松野康也、山下勝、足立芳寛、 東京大学
発表年月	2003年
入手方法	資源と素材 Vol.119 p.79-84

#### 主な内容

評価対象と評価方法: この研究は、鉛はんだ (Sn-Pb) と鉛フリーはんだ (Sn-3.0Ag-0.7Cu) を評価対象とする。はんだの製造及により誘発される CO<sub>2</sub> 排出量を算出し、鉛はんだの廃棄による人間・生態系への影響を直接的に評価するのではなく、無害化処理に要するエネルギー量及び誘発される CO<sub>2</sub> 排出量を把握することで間接的に影響評価を行った。この手法の特徴は、はんだの製造及び廃棄による環境負荷を CO<sub>2</sub> 排出量という単一指標で評価できる利点である。

PWB (プリント配線基板) のリサイクル: 既存文献より、廃棄 PWB を回収しはんだをリサイクルする場合、精錬炉における熱量収支モデルを構築し、はんだ素材のリサイクルに伴う CO<sub>2</sub> 排出量を算定する。

評価結果: 下図に PWB リサイクル率の変化と鉛ライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量の推移を示す。

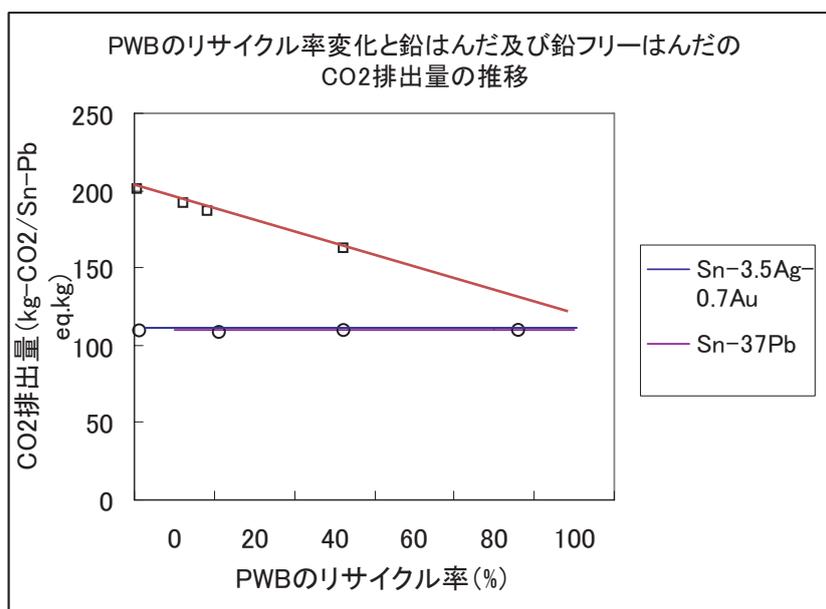


図 PWB リサイクル率の変化と鉛ライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量の推移

鉛はんだの場合、無害化廃棄に要するエネルギーは大きいですが、リサイクルすることにより無害化廃棄を回避することができ、CO<sub>2</sub> 排出量を削減することが期待できる。一方、鉛フリーはんだの場合、リサイクル率に対する依存率は殆どない結果となった。

タイトル	Life Cycle Inventory Analysis of Aluminum Can for Low-malt Liquor アルミ缶の LCI 分析
著者	Katsuhito Nakazawa, Keiichi Katayama
発表年月	2002 年
入手方法	第 5 回エコバランス国際会議

主な内容

環境配慮型飲料用アルミ缶 aTULC のライフサイクルインベントリ分析を行い、従来のアルミ缶と比較した。

ポリエステルフィルムを内外面にラミネートし、塗装をなくす事で従来のアルミ缶と比較して、二酸化炭素の排出量を大幅に削減した。製缶工程だけなら従来比 70%、製品ライフサイクル全体で従来比 15%の削減量となった。

従来の製法では、缶の成形や洗浄に 1 缶あたり 150ml の水を使っていたが、aTULC では製缶工程で一切水を使用しないため、水資源の節約にも効果がある。

下図は、 aTULC 缶と従来缶の比較を示す。

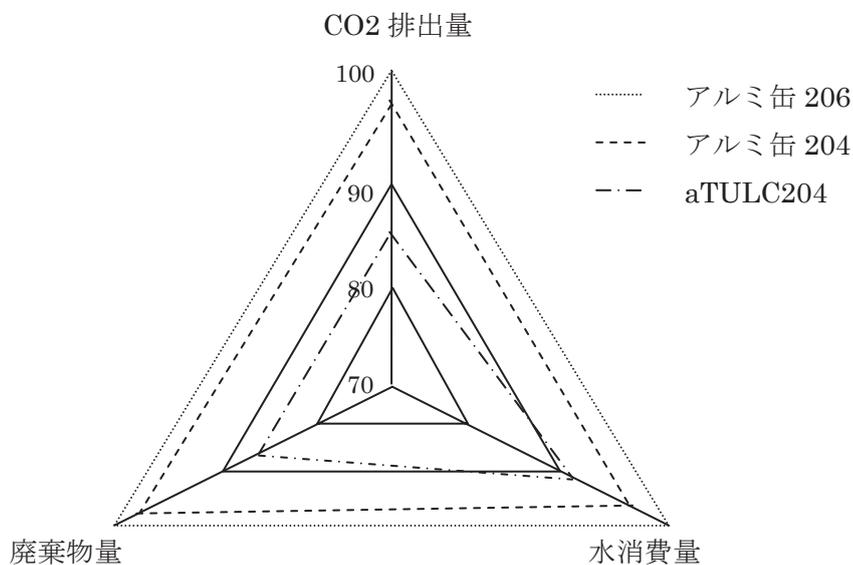


図 aTULC 缶と従来缶の比較

タイトル	LCA Evaluation of Longevity and Recyclability of Materials in Eco-Design 長寿命と循環再利用材の LCA 評価
著者	Hong X. Nguyen, Tomonori Honda, Kohei Morimoto, Ryoichi Yamamoto (東京大学)
発表年月	2005 年
入手方法	Advances in Ecomaterials (ICMAT2005) pp.608-614
<p>主な内容</p> <p>本研究は製品の長寿命化と、循環再利用による環境影響削減効果を 2 つの事例を通じて評価した。</p> <p>評価に用いたソフト : Eco Indicator99, LIME, JEPIX</p> <p>評価結果 :</p> <p>事例①、飲料容器 PET ボトル、ガラス瓶 (1 回)、ガラス瓶 (20 回)、アルミ缶、スチール缶の比較を行った。</p> <p>ガラス瓶 (1 回) の統合化結果は最も高く、一方、ガラス (20 回) は最も低い結果となった (それぞれ 2620 円/500ml、705 円/500ml)。</p> <p>アルミ缶の統合化結果はスチール缶と PET ボトルに比べて、それぞれ約 7.9%と 22.2%小さくなる。</p> <p>事例②、Ni 添加鉄鋼を使用した鉄鋼橋の長寿命化による環境影響削減効果を分析した。評価対象は、従来鋼、Ni を塗った高級鋼、Ni 添加鋼。</p> <p>LIME を用いて算定した結果、Ni 添加鋼は従来鋼と Ni を塗った高級鋼に比べて、それぞれ 17.4%と 43.2%の環境負荷削減効果があった。JEPIX を用いた結果は、それぞれ 4.3%と 21%の削減効果があった。</p>	

タイトル	鉄道用材料の LCA による環境評価
著者	相原直樹
発表年月	2003 年
入手方法	鉄道総研月例発表会講演要旨

主な内容

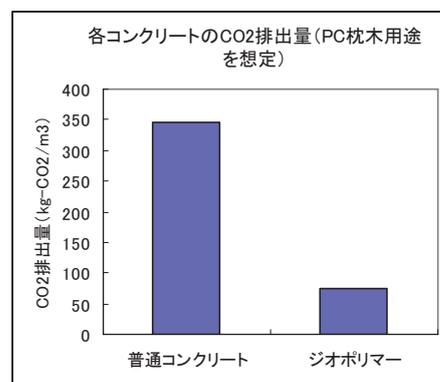
この発表は、鉄道関連材料について、材料変更による環境影響削減効果を定量化したものである。

①ジオポリマーコンクリート

現在大量に使用されるセメントは、石灰石 (CaCO<sub>3</sub>) を大量使用し、且つ 1500°C の超高温で焼成するため、CO<sub>2</sub> 排出量が多い。一方、ジオポリマーの場合は、石灰石に依存しない生産方法を取り、且つ 1250°C 程の比較的マイルドな温度で焼成するため、CO<sub>2</sub> 排出量を抑えることができる。

下図はジオポリマーコンクリートと普通コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量を比較したものである。

原料	PC枕木用普通コンクリート	ジオポリマーコンクリート	使用した CO <sub>2</sub> 原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)
早強セメント	457kg	-	0.7455
石炭灰	-	545kg	0.0179
水ガラス	-	95kg	0.433
苛性ソーダ	-	40kg	0.9076
水	160kg	115kg	(ゼロ扱)
細骨材	640kg	904kg	0.0034
粗骨材	1084kg	786kg	0.0028
混合剤	数kg	数kg	(ゼロ扱)
合計	約2350kg	約2490kg	



②カーボン系すり板

すり板は、電車の屋根上のパンタグラフの最上部に付けられた板で、トロリ線としゅう動して電力を受け取る部材である。すり板は走行速度でトロリ線としゅう動し、約 100～1,000 A の電流が流れるため、次のような特性が必要とされる。

- ・強度が高く壊れにくい
- ・摩擦係数が小さくすべりが良い
- ・電気伝導が良い

・ 摩耗しにくく、相手材（トロリ線）を摩耗させにくい

現在は銅系焼結合金を主に使われているが、トロリ線に対する攻撃性が低いカーボン系すり板に変更することで、以下のような効果が確認されている。

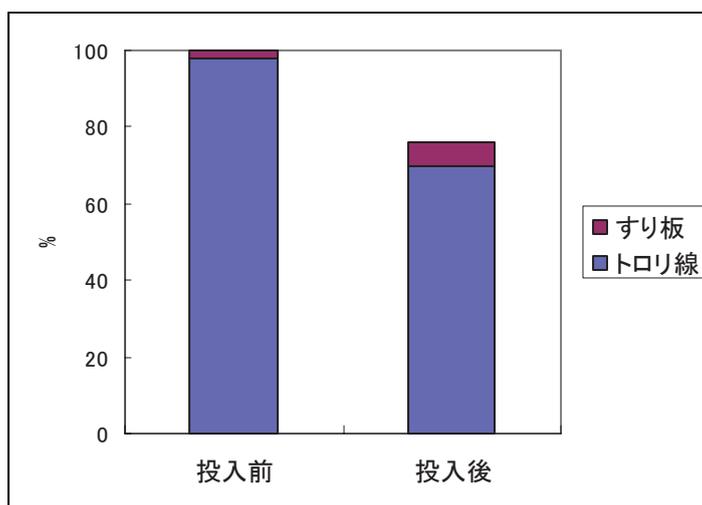


図 カarbon系すり板導入による CO2 排出量の変化

タイトル	エコマテリアル電線・ケーブルとライフサイクルアセスメント (LCA)																															
著者	芦田桂子、藤田望、上田吉昭、小倉和幸、宮下芳次																															
発表年月	2000年2月																															
入手方法	三菱電線工業時報、第96号																															
主な内容	<p>現在の電線・ケーブルの被覆材にはポリ塩化ビニル (PVC) が多用されており、使用後焼却される場合は、焼却温度によってダイオキシン排出可能性がある。また、埋設処分する場合には PVC の配合剤として使用されている鉛化合物が土中に溶出する可能性がある。これら問題に対処するため、三菱電線工業株式会社はハロゲンおよび鉛を含まないエコマテリアル (EM) 電線を開発した。この研究は、EM 電線の LCCO<sub>2</sub> を評価したものである。</p> <p>調査対象とする EM 電線・ケーブルは 600V EM-IE2mm<sup>2</sup> とした。また、導体の原材料は銅を使用し、エコマテリアル (被覆材) はポリエチレンと代表的な無機難燃剤である水酸化マグネシウムの二成分からなる材料とした。</p> <p>機能単位は : EM-IE2mm<sup>2</sup> 長さ 1km、使用期間 20 年の場合とした。</p> <p>インベントリ結果 :</p> <p style="text-align: center;"><b>電線の LCCO<sub>2</sub> (EM-IE2mm<sup>2</sup>, 長さ : 1km)</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>投入量</th> <th>CO<sub>2</sub> 発生量 (kg-CO<sub>2</sub>/km-電線)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">原材料製造工程</td> <td>ポリエチレン</td> <td>5kg</td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <td>水酸化マグネシウム</td> <td>5kg</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>導体</td> <td>18kg</td> <td>22.5</td> </tr> <tr> <td>エコマテリアル混練工程</td> <td>混練時消費電力</td> <td>0.5kwh</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>電線押出工程</td> <td>押出時消費電力</td> <td>10kwh</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>使用工程 (5A × 20 年)</td> <td>使用時消費電力</td> <td>40471.2kwh</td> <td>17073.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>電線の LCCO<sub>2</sub></b></td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;"><b>17104.8</b></td> </tr> </tbody> </table> <p>CO<sub>2</sub> 排出量を削減するには :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①水酸化マグネシウムとポリエチレンの配合比率において、水酸化マグネシウムの CO<sub>2</sub> 排出原単位が低いため、材料の機能に影響がない限り水酸化マグネシウムの比率を高めることで CO<sub>2</sub> の削減に寄与すると考えられる。</li> <li>②導体 (銅) のリサイクル材の利用率の引き上げのための検討が必要。</li> <li>③電線抽出工程の CO<sub>2</sub> を削減するには、押出温度が低く、引き取り速度の速い (=吐出量の多い) エコマテリアルを開発し、消費電力を低減することが望ましい。</li> <li>④使用段階の CO<sub>2</sub> 排出量を低減するには、抵抗値の低い素材の導入、使用時間の短縮などが考えられる。</li> </ol>				投入量	CO <sub>2</sub> 発生量 (kg-CO <sub>2</sub> /km-電線)	原材料製造工程	ポリエチレン	5kg	3.4	水酸化マグネシウム	5kg	1.5	導体	18kg	22.5	エコマテリアル混練工程	混練時消費電力	0.5kwh	0.2	電線押出工程	押出時消費電力	10kwh	4.2	使用工程 (5A × 20 年)	使用時消費電力	40471.2kwh	17073.0	<b>電線の LCCO<sub>2</sub></b>		—	<b>17104.8</b>
		投入量	CO <sub>2</sub> 発生量 (kg-CO <sub>2</sub> /km-電線)																													
原材料製造工程	ポリエチレン	5kg	3.4																													
	水酸化マグネシウム	5kg	1.5																													
	導体	18kg	22.5																													
エコマテリアル混練工程	混練時消費電力	0.5kwh	0.2																													
電線押出工程	押出時消費電力	10kwh	4.2																													
使用工程 (5A × 20 年)	使用時消費電力	40471.2kwh	17073.0																													
<b>電線の LCCO<sub>2</sub></b>		—	<b>17104.8</b>																													

タイトル	木質建材におけるエコマテリアルの環境性能評価
著者	北垣 亮馬、兼松 学、野口 貴文
発表年月	2005年10月
入手方法	日本建築仕上学会 2005年大会学術講演会 <a href="http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/papers/papers_view/files//bmd_material_environment/2005_aij_ryoma.pdf">http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/papers/papers_view/files//bmd_material_environment/2005_aij_ryoma.pdf</a>
主な内容	<p>研究目的: 合板 (以下 GM)、パーティクルボード(以下 PB)、木粉プラスチック複合材(以下 WP)とコルク材の LCCO<sub>2</sub> を評価した。</p> <p>データ収集: 各種木材製品の産地、製造、廃棄処理などの情報を電話及び FAX によるヒアリング調査で収集する。(返答数/ヒアリング数: 27/120)</p> <p>計算における各種設定:</p> <p>①歩留まり率: GMは0.6、PB、WPを0.9とする</p> <p>②製品別の新材投入率、再利用材投入率、廃棄材料率を設定する。                  (GMは1,0,1、PBは0.385,0.615,0.3852、WPは0,1,0)</p> <p>結果: 下図に各製品の平米当たり CO<sub>2</sub> 排出量を示す。</p>

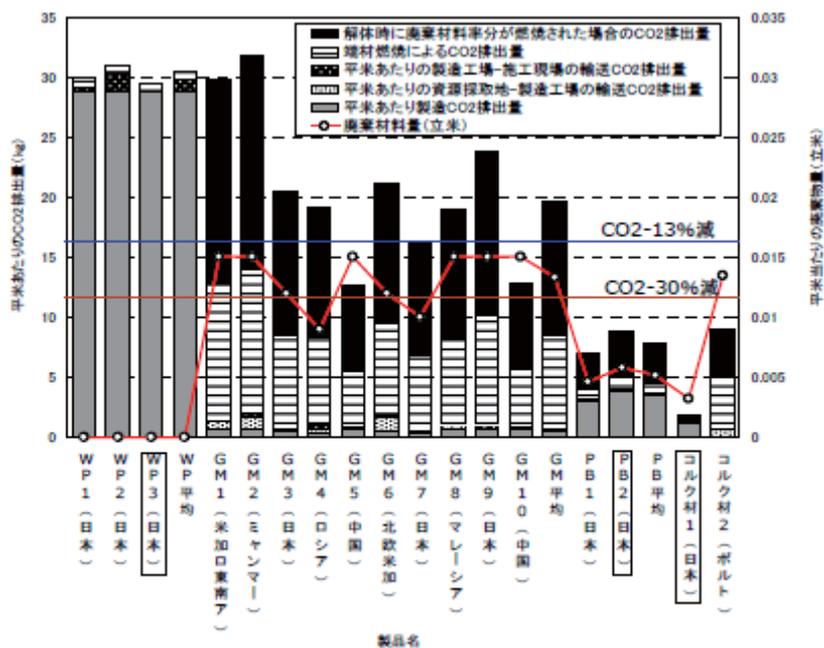


図 1 平米あたりの CO<sub>2</sub> 排出量  
 (囲文字: エコマーク製品、括弧内は資源採取国名)

分かったこと：

- ①GM の端材および廃材を燃焼させた場合の CO<sub>2</sub> 排出量は大きく、適切な処分方法の検討が必要である。
- ②リサイクル性がほぼ 100%の WP は製造時に大きな CO<sub>2</sub> 排出量を出す。
- ③エコマークを取得している製品間でも、CO<sub>2</sub> 排出量に 3～5 倍の大きな格差があり、同じラベル内で環境性能の大きな格差が存在する。今後、エコマークの認定仕様などに定量的な閾値を設けることも必要であると考えられる。

タイトル	住宅用サイディングのLCA手法による評価
著者	木俣信行、高田邦夫
発表年月	2005年12月
入手方法	第1回日本LCA学会研究発表会講演集 pp184-185
<p>主な内容</p> <p>16種類の住宅用サイディング材のLCA分析を行った。</p> <p>評価範囲は：製造段階、使用段階（30年間）</p> <p>評価対象物質：電力用石炭、ウラン、LNG、石油、水、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、CXHY、塵埃、NMVOC、As、Cd、CO、Cr、Hg、Ni、Pb、V、Zn。</p> <p>正規化結果（図1）：環境影響カテゴリ毎に、材種間での差異が大きい。塩ビ系は資源の消費が大きい、他の環境影響が比較的小さい。</p>	
<p>図1 材種別の正規化結果</p> <p>統合化結果（図2）：どの手法を用いても塩ビ系の環境影響が小さい結果となった。</p>	

タイトル	建築用短繊維強化複合材料の LCI 基礎データの評価と比較																				
著者	福島敏夫、伊藤弘、濱崎仁、高巢幸二、三島剛																				
発表年月	2007年8月																				
入手方法	日本建築学会大会学術講演梗概集 pp459-460																				
<p>主な内容</p> <p>短繊維強化セメント系複合材 (FRC) は、アスベスト繊維の代替材として、外断熱構法の機能性外装材料に使用され、建築用先端材料の一つである。本研究は、各種 FRC のエネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 及び NO<sub>x</sub> 排出量を定量化し、その結果をコンクリート及びガラス短繊維強化プラスチック (GFRP) との比較を行った。</p> <p>下図は評価結果となる。GFRC の環境優位性が証明された。</p> <div data-bbox="413 1110 1369 1534" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>各種複合材の比較 (推定値)</caption> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>PAN-CFRC</th> <th>GFRC</th> <th>普通コンクリート</th> <th>GFRP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>エネルギー消費 (GJ/m<sup>3</sup>)</td> <td>6.5</td> <td>4.0</td> <td>2.0</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>CO<sub>2</sub> (100 kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>4.2</td> <td>2.8</td> <td>1.2</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>SO<sub>x</sub> (1000 kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>9.5</td> <td>1.5</td> <td>0.8</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> </div>		項目	PAN-CFRC	GFRC	普通コンクリート	GFRP	エネルギー消費 (GJ/m <sup>3</sup> )	6.5	4.0	2.0	6.5	CO <sub>2</sub> (100 kg/m <sup>3</sup> )	4.2	2.8	1.2	5.0	SO <sub>x</sub> (1000 kg/m <sup>3</sup> )	9.5	1.5	0.8	1.5
項目	PAN-CFRC	GFRC	普通コンクリート	GFRP																	
エネルギー消費 (GJ/m <sup>3</sup> )	6.5	4.0	2.0	6.5																	
CO <sub>2</sub> (100 kg/m <sup>3</sup> )	4.2	2.8	1.2	5.0																	
SO <sub>x</sub> (1000 kg/m <sup>3</sup> )	9.5	1.5	0.8	1.5																	
<p>図 各種複合材の比較</p> <p>FRC : 短繊維補強コンクリート                  CFRC : 炭素短繊維補強コンクリート                  PAN-CFRC : PAN系 CFRC                  GFRP : ガラス短繊維強化プラスチック</p>																					

タイトル	Life Cycle Analysis of Waterproof Coating Material 防水コーティング材のライフサイクル分析																																										
著者	Kenji Shima																																										
発表年月	2002年																																										
入手方法	第5回エコバランス国際会議																																										
<p>主な内容</p> <p>有機溶剤系塗膜防水材は揮発性有機化合物 (VOC) を含有し、VOC の排出が人間毒性や光化学オキシダントの影響が懸念されている。三菱化学株式会社が有機溶剤を含めない、且つ屋根から熱の吸収を抑えることのできる塗膜防水材”My ROOFER”を開発した。この研究は、MY ROOFER を使用することによる環境影響の改善効果を検証する。</p> <p>評価範囲：防水剤の製造と使用 (一戸建て 30 年間)</p> <p>データ：JEMAI-DB 及び既存文献</p> <p>評価結果：特性化結果では、すべての項目において、MY ROOFER の影響が小さいが、特に VOC 由来の光化学オキシダントと人間毒性において MY ROOFER 環境優位性が見られた。統合化では、VOC 排出しないことによって、MY ROOFER 全体の環境影響の低減に大きく寄与した。</p>																																											
<div style="text-align: center;"> <p>特性化結果</p> <table border="1"> <caption>特性化結果 (相対的影響度 %)</caption> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>MY ROOFER (%)</th> <th>従来防水材 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>資源枯渇</td> <td>0.75</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>地球温暖化</td> <td>0.65</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>酸性化</td> <td>0.75</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>富栄養化</td> <td>0.65</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>光化学オキシダント</td> <td>0.10</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>人間毒性</td> <td>0.15</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>エネルギー消費</td> <td>0.85</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>統合化結果</p> <table border="1"> <caption>統合化結果 (Eco Indicator 95)</caption> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>地球温暖化</th> <th>酸性化</th> <th>光化学オキシダント</th> <th>その他</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MY ROOFER</td> <td>0.005</td> <td>0.005</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.010</td> </tr> <tr> <td>従来防水材</td> <td>0.010</td> <td>0.005</td> <td>0.095</td> <td>0.000</td> <td>0.110</td> </tr> </tbody> </table> </div>		項目	MY ROOFER (%)	従来防水材 (%)	資源枯渇	0.75	1.00	地球温暖化	0.65	1.00	酸性化	0.75	1.00	富栄養化	0.65	1.00	光化学オキシダント	0.10	1.00	人間毒性	0.15	1.00	エネルギー消費	0.85	1.00	材料	地球温暖化	酸性化	光化学オキシダント	その他	合計	MY ROOFER	0.005	0.005	0.000	0.000	0.010	従来防水材	0.010	0.005	0.095	0.000	0.110
項目	MY ROOFER (%)	従来防水材 (%)																																									
資源枯渇	0.75	1.00																																									
地球温暖化	0.65	1.00																																									
酸性化	0.75	1.00																																									
富栄養化	0.65	1.00																																									
光化学オキシダント	0.10	1.00																																									
人間毒性	0.15	1.00																																									
エネルギー消費	0.85	1.00																																									
材料	地球温暖化	酸性化	光化学オキシダント	その他	合計																																						
MY ROOFER	0.005	0.005	0.000	0.000	0.010																																						
従来防水材	0.010	0.005	0.095	0.000	0.110																																						

タイトル	Environmental Load Evaluation of Continuous Fiber Reinforced Concrete and Steel Reinforced Concrete 連続繊維補強コンクリートおよび鉄筋コンクリートの環境負荷評価
著者	福島敏夫 (北九州市立大学)
発表年月	2007年
入手方法	Proc. 8th Interntl. Conference on Ecomaterials (ICEM8), Vol.1(2007)pp.71-78
<p>主な内容</p> <p>連続繊維強化コンクリートなどの複合材は、従来コンクリートより高強度、軽量などの特徴を持つため、注目を浴びている。</p> <p>本研究は、炭素繊維強化プラスチックコンクリート (CPRPRC)、ガラス繊維強化プラスチック (GFRPRC) と鉄筋強化コンクリート (RC) の TMR とエネルギー消費量を評価し、比較を行った。</p> <p>評価結果：</p> <p>①TMR において、体積単位当り CFRP と GFRP は STEEL より小さい。エネルギー消費量において、繊維強化プラスチックが軽いため、重量単位当り CFRP と GFRP は STEEL より大きくなる。</p> <p>②コンクリートを同じ引張強度の体積単位当りに揃えると、TMR とエネルギー消費量において近い結果が得られた。しかし、繊維強化コンクリートの寿命 (100 年) が鉄筋コンクリート (65 年) より長いため、繊維強化コンクリートの環境優位性があると考えられる。</p>	

タイトル	life cycle assessment of aluminum-plastic composite panel and pure aluminum panel アルミとプラスチックの複合パネルと純アルミパネルの LCA 比較
著者	Quan Jiang (中国)
発表年月	2007 年
入手方法	Proc. 8th Interntl. Conference on Ecomaterials (ICEM8)
<p>主な内容</p> <p>屋内外壁の新しいタイプの装飾材として、アルミ-プラスチック混合パネルが純アルミパネルの代わりに普及し始めている。</p> <p>本研究はこれら 2 種類のパネルを対象に LCA 分析を行う。</p> <p>機能単位 : 10000m<sup>2</sup> の装飾      評価範囲 : 素材製造のみ</p> <p>影響評価手法 : EI99</p> <p>評価結果 :</p> <p>①純アルミパネルのほうは、資源、エネルギー、地球温暖化、酸性化、オゾン層破壊、富栄養化及び生態毒性など環境影響において混合パネルより高い結果となった。統合化結果は、純アルミパネルが混合パネルより 3 倍弱大きかった。</p> <p>②混合パネルについて、再生ポリスチレンを使用することによって、更なる環境影響削減効果が確認された (影響項目により最大 2 割削減)。</p>	

タイトル	電線ケーブルの導体サイズアップによる CO2 排出量低減効果の検討
著者	益尾和彦、久米伸一、原武久 (日本電線工業会)
発表年月	2007 年
入手方法	J. IEIE Jpn. Vol.28 No.11 pp873-880
<p>主な内容</p> <p>電線の LCA 結果は、製造時に比べて通電使用時の CO2 排出量が突出して大きいことが分かった。通電使用時の CO2 排出量を削減するには、電力ロスを補う必要がある。考えられる方策は、電圧の昇圧化 (100V→200V) と導体サイズアップがある。本研究は、導体サイズアップの CO2 削減効果を測り、昇圧化の効果と比較した。</p> <p>評価結果：</p> <p>①導体サイズを平均 2 倍にアップすることでライフサイクルコスト (LCC) を最小にできる。</p> <p>②日本全国の CV-T ケーブルを全てサイズアップ (2 倍) し、20 年間継続し、21 年目置き換えが完了した時点での CO2 低減量は、14.8 百万 t/年になる。</p> <p>③昇圧化による CO2 低減効果は、1.3~2.25 百万 t/年。サイズアップの場合、4 年目から 2.5 百万 t/年となるため、その時点で昇圧を超えることになる。</p>	

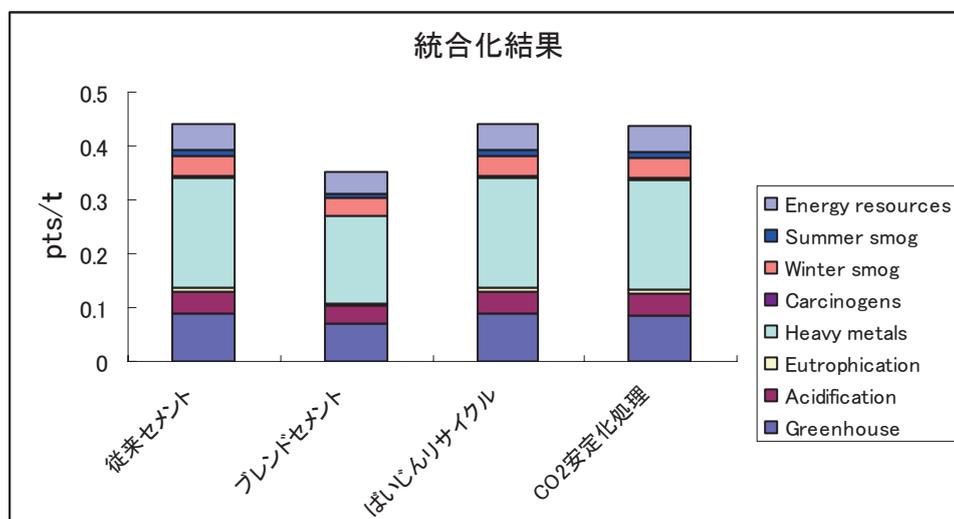
タイトル	高機能建材による室内空気質改善の環境影響評価
著者	大場寛之 (トステム株式会社)
発表年月	2008年
入手方法	日本LCAフォーラム <a href="http://www.jemai.or.jp/lcaforum/working_group/WG.cfm">http://www.jemai.or.jp/lcaforum/working_group/WG.cfm</a>
<p>主な内容</p> <p>評価目的: トステム株式会社が VOC など有害物質を吸収可能な内装材モイスを開発した。本研究はモイスのライフサイクルにおける環境影響評価を行った (ホルムアルデヒドも評価対象とする)。</p> <p>機能単位 : 910×1820×9.5mm×6 枚、8 年間使用</p> <p>評価対象 : 素材、製造、物流、使用、廃棄まで</p> <p>評価結果 : モイスは、一般壁紙に比べて製造段階の環境負荷がわずかに増加するが、使用段階において、VOC の吸収分解による健康被害が大きく削減することができたため、全体の統合化結果が一般壁紙の約半分となった。</p>	

タイトル	A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies ポルトランドセメントの製造の LCA : 従来製造技術との比較
著者	Deborah N. Huntzinger , Thomas D. Eatmon (アメリカ)
発表年月	2009 年
入手方法	Journal of Cleaner Production 17 (2009) pp668–675

主な内容

- (1)従来ポルトランドセメント
  - (2)ブレンドセメント (天然ポゾラン、フライアッシュ) ;
  - (3)ポルトランドセメント (一部ばいじん回収)
  - (4)ポルトランドセメント (一部ばいじんと CO2 回収リサイクル)
- 上記四つのセメントにおいて、Simapro6 を用いての LCA 分析を行った。

評価結果 :



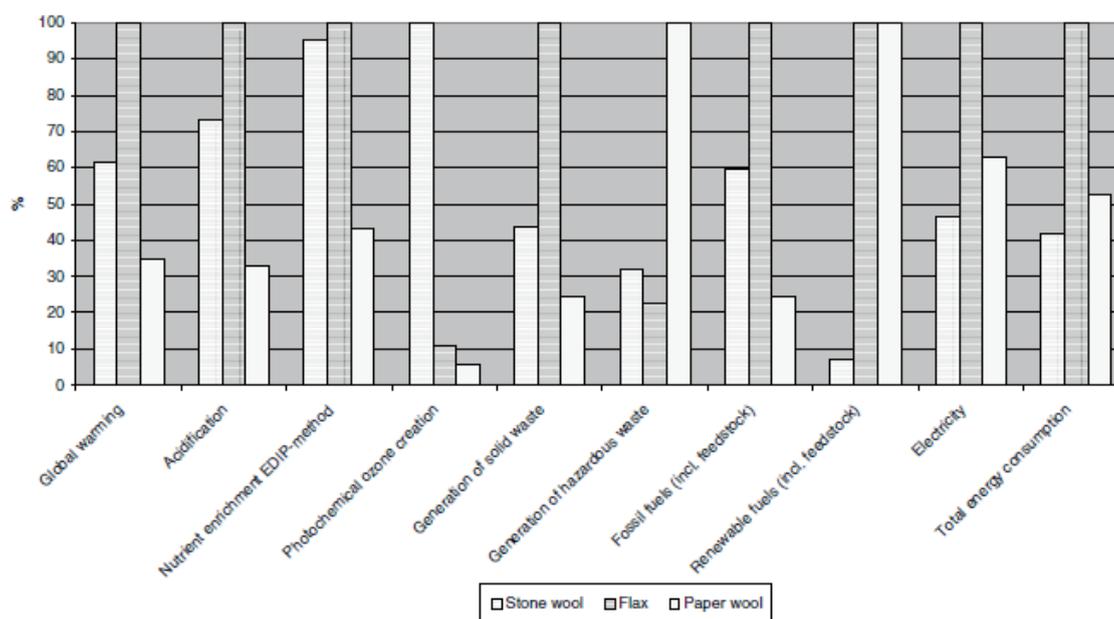
①ブレンドセメントは、ポゾラン (セメント混合材) とフライアッシュをブレンドすることで、原材料の削減に寄与し、全体の環境影響最も低い結果となった。

②どのセメントにおいても、重金属による影響が最も大きい。燃料油に含まれる鉛が最も大きい排出源である。

分類	断熱材 (1)
タイトル	A Comparative Life Cycle Assessment of Building Insulation Products made of Stone Wool, Paper Wool and Flax
著者	Anders C. Schmidt, Allan A. Jensen, Anders U. Clausen, Ole Kamstrup and Dennis Postlethwaite
発表年月	2004 年
入手方法	Int J LCA 9 (1) 53 – 66

主な内容 :

1. 評価対象 : stone wool (ロックウール)、paper wool (紙ウール)、Flax (亜麻)
2. 機能単位 : 熱抵抗値 1 (m<sup>2</sup>K/W) を 50 年間提供する
3. 影響項目 : 地球温暖化、酸性化、富栄養化、光化学オキシダント、廃棄物、エネルギー消費量
4. 評価結果 :



- ① 地球温暖化 : 亜麻製品の影響が最も大きかった。理由は、亜麻生産時使用する化学肥料、農地から放出される亜酸化窒素が寄与した。また、亜麻原料と混ざる前に結合材を溶かすのに用いられる。

ロックウール製品の製造段階の影響は少ない、結合材の使用量も少ない。

紙ウール製品の原材料が古い新聞紙なので、製造時の影響が小さい。

- ② 酸性化：地球温暖化と似たような結果。亜麻製品の影響が最も大きかった。その 5 割が接着剤と遅延反応剤の製造、3 割が製品の製造組立段階、6%が亜麻の生産段階から寄与する。

ロックウール製品はホットンド製造段階のNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>由来となる。

紙ウール製品は、新聞古紙の処理が 35%の影響を寄与した。

- ③ 富栄養化：亜麻製品とロックウール製品の影響が大きかった。亜麻製品は、亜麻生産時の窒素流失がデータ不足のため考慮しなかった。

亜麻製品と紙ウール製品は両方とも製造段階の化石燃料焼却由来の窒素参加物が 8 割の影響を寄与した。

ロックウール製品は製造時のアンモニアが 75%をきよし、25%が窒素酸化物が寄与した。

COD による影響が考慮されたが非常に小さい結果となった。

- ④ 光化学オキシダント：ロックウール製品の影響が大きかった。その 8 割が製造段階から排出される一酸化炭素である。石炭を燃料として使用したためと説明した。
- ⑤ 有毒廃棄物：紙ウールの影響が大きい。その殆どが新聞紙の処理とホウ砂、ホウ酸の製造から発生する。
- ⑥ エネルギー消費：総エネルギー消費は亜麻製品が最も大きく、紙ウールとロックウール製品は同程度だが、紙ウールは再生エネルギーを多く消費する一方、ロックウールは化石資源を多く消費するのが特徴。

分類	断熱材 (2)
タイトル	Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board
著者	Fulvio Ardente, Marco Beccali, Maurizio Cellura, Marina Mistretta
発表年月	2008年
入手方法	Energy and Buildings 40 (2008) 1-10

主な内容

1. 評価対象 :

- ① Kenaf-fibre, ケナフとポリエステル混せて製造
- ② Stone wool,天然鉱物 (一部廃棄物からのリサイクル材使用)
- ③ Paper wool, 新聞古紙をベース、アルミニウム水酸化物、ホウ砂、ホウ酸添加
- ④ Flax、亜麻をベース、ポリエステルとホウ砂を添加
- ⑤ Polyurethane (PUR)、ポリウレタン、(CFC free gas 充填)
- ⑥ Grass wool、廃ガラスと他の鉱物、有機樹脂などと混ぜた
- ⑦ Mineral wool、玄武岩とドロマイトに由来するミネラルウール

2. 機能単位 : 1 (m<sup>2</sup> K/W)を提供するのに必要な製品量

3. 影響領域 : エネルギー消費、地球温暖化、酸性化、富栄養化、光化学オキシダント、水消費、廃棄物。

4. 評価結果 :

- ① ケナフの温暖化影響は、ポリエステルの影響が大きかった。次いでは、廃棄処理となった (ポリエステルの焼却由来)。原材料の輸送も大きかった。したがって、ケナフの温暖化影響を削減するには、ポリエステルの使用量減 (リサイクル材使用)、製造工場と生産地の距離を考慮などが考えられる。

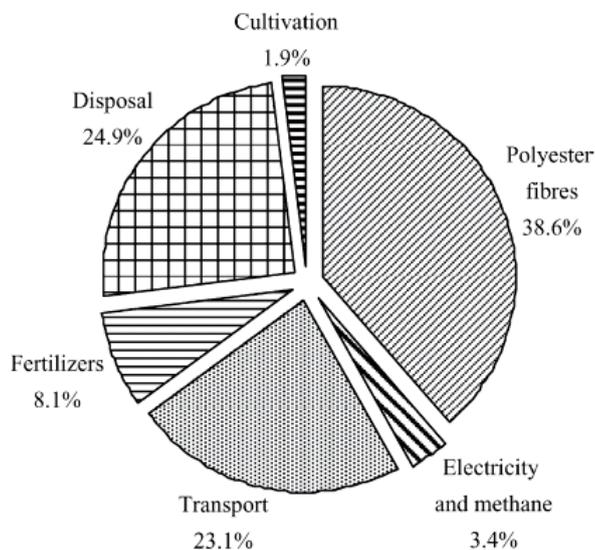
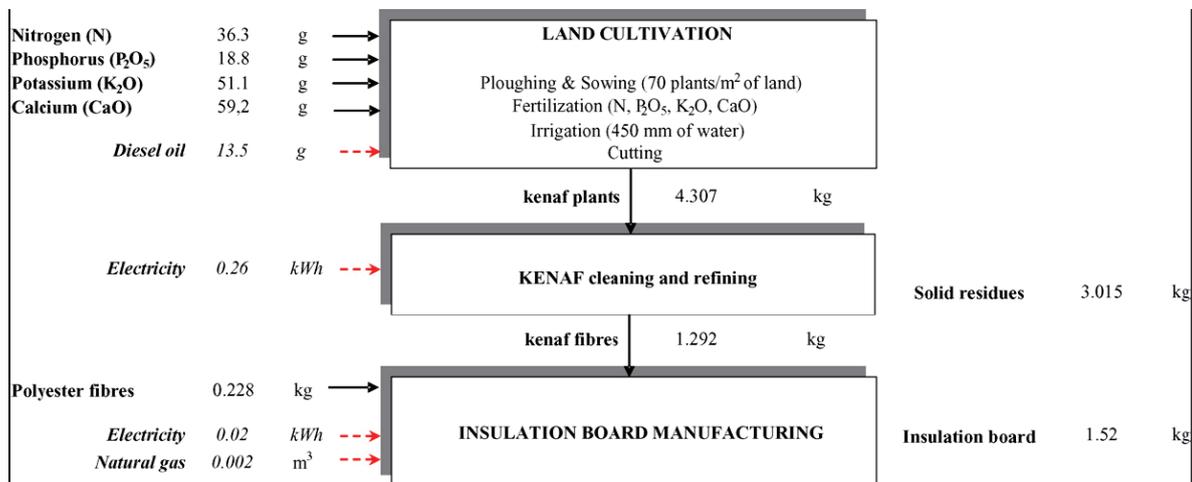


Fig. 3. Sharing of greenhouse gas emissions in the kenaf board life-cycle.

- ② ケナフ製品とほかの断熱材と比較した場合：PUR は製造時化石燃料の使用量が大きいため、エネルギー消費量が大きかった。Mineral wool は最もエネルギー消費量となった。
- ③ Paper wool がほとんどすべての影響項目において高い環境パフォーマンスが示した。
- ④ Kenaf-fibre,のエネルギー消費量が高いため、温暖化影響にも大きく寄与した。今後、植物残渣の再生利用（発電など）の導入やリサイクル材の利用は環境影響を削減する可能性がある。
- ⑤ 本研究は、人間毒性に影響は考慮されなかった。IARC (the International Agency for Research on Cancer)が人工鉱物繊維の発がん性について調査した。結果は、一般的に使われるミネラル繊維ウールは人間に発がん性があるとは思わない。しかし、これらは皮膚に刺激するリスクは残っている。ケナフや亜麻などの植物性繊維への暴露に関するデータはない。

Energy and environmental comparison of insulation materials

		Kenaf	Stone wool	Flax	Paper wool	PUR	Glass wool	Mineral wool
<b>Energy consumption</b>								
Energy use	MJ	28.4	17.4	26.9	11.8	57.6	39.9	25.0
Feedstock, fossil	MJ	8.8	2.5	7.5	0.4	36.0	7.4	0.2
Feedstock, renewable	MJ	22.2	0.9	15.3	14.0	0.0	0.0	0.0
Total	MJ	59.4	20.8	49.7	26.2	93.6	47.3	25.2
<b>Environmental impact indexes</b>								
Global warming potential	kg CO <sub>2eq</sub>	3.2	1.45	2.36	0.82	3.2	2.2	1.7
Acidification potential	g SO <sub>2eq</sub>	27.4	12.3	17	5.5	27.9	8.4	4.9
Nutrition potential	g PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	2.4	1.16	1.22	0.7	2.94	1.30	0.8
Photochemical ozone creation potential	g C <sub>2</sub> H <sub>4eq</sub>	2.2	4.6	0.5	0.2	1.4	2.5	3.7
Water consumption	kg	10.7	3.9	5.7	0.8	297.7	27.0	25.6
<b>Wastes</b>								
Total wastes	kg	2.0	0.054	0.122	0.032	0.32	6.6	2.7

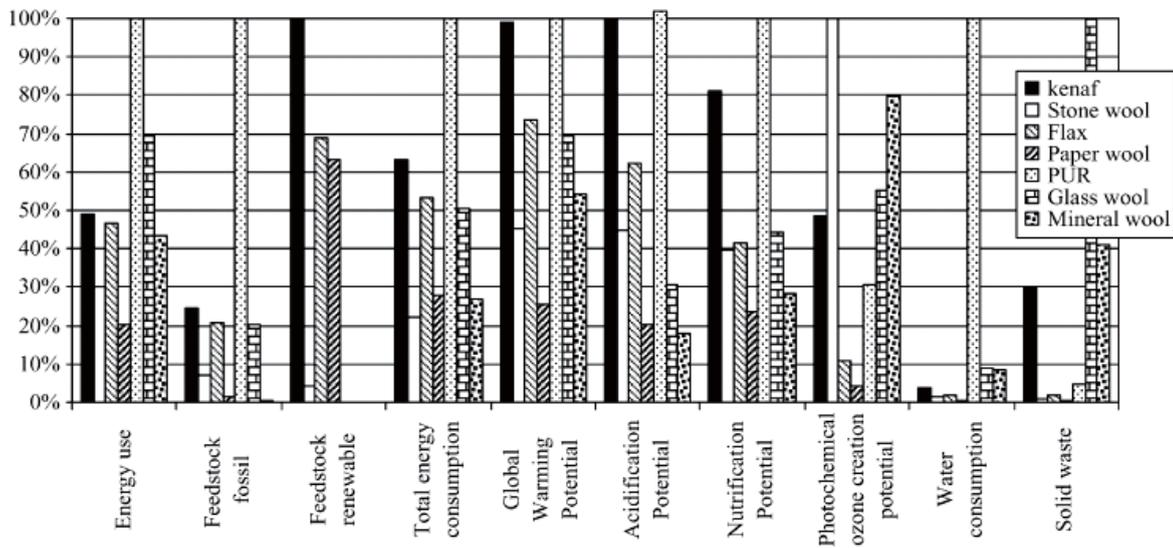


Fig. 4. Comparison of various insulation materials.

この論文はケナフ製品を評価し、得られた結果を他の断熱材と比較したものである。ケナフ製品以外の断熱材のデータは既存文献から引用した。そのうち stone wool、paper wool、と Flax は「断熱材 (1)」の結果である。

タイトル	「発電事業の評価」報告書																																										
著者	中部電力株式会社																																										
発表年月	2008年																																										
入手方法	日本LCAフォーラム <a href="http://www.jemai.or.jp/lcaforum/working_group/pdf/lime2_houkoku_06.pdf">http://www.jemai.or.jp/lcaforum/working_group/pdf/lime2_houkoku_06.pdf</a>																																										
<p>主な内容</p> <p>評価目的：発電による環境影響（燃料調達、化石燃料消費、廃棄物発生等）を、以下の観点から評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電効率向上による環境影響低減効果の評価</li> <li>・発電方式別の環境影響の比較</li> </ul> <p>評価対象：LNG火力（1100℃級CC）、LNG火力（1300℃級CC）、石油火力、石炭火力、原子力（注 CC：コンバインドサイクル発電）。</p> <p>評価範囲：燃料調達から、発電所の建設・運用・解体までとした。</p> <p>機能単位：送電端電力1kWhとする。</p> <p>評価結果：</p>																																											
<table border="1"> <caption>図 電源別の統合化結果 (円/kWh)</caption> <thead> <tr> <th>電源</th> <th>非生物系資源</th> <th>地球温暖化</th> <th>酸性化</th> <th>富栄養化</th> <th>都市域大気汚染</th> <th>廃棄物</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LNG火力 (1100℃CC)</td> <td>0.2</td> <td>1.9</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>LNG火力 (1300℃CC)</td> <td>0.2</td> <td>1.5</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>石炭火力</td> <td>0.9</td> <td>3.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>石油火力</td> <td>0.8</td> <td>2.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>原子力</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>		電源	非生物系資源	地球温暖化	酸性化	富栄養化	都市域大気汚染	廃棄物	LNG火力 (1100℃CC)	0.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.1	LNG火力 (1300℃CC)	0.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	石炭火力	0.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.1	石油火力	0.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.1	原子力	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
電源	非生物系資源	地球温暖化	酸性化	富栄養化	都市域大気汚染	廃棄物																																					
LNG火力 (1100℃CC)	0.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.1																																					
LNG火力 (1300℃CC)	0.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0																																					
石炭火力	0.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.1																																					
石油火力	0.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.1																																					
原子力	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0																																					
<p>図 電源別の統合化結果 (円/kWh)</p> <p>①統合化結果では、石炭火力と石油火力が大きく、次いでは LNG 火力となり、原子力は最も小さい結果となった。</p> <p>②LNG 火力の発電効率の向上（1100℃級 CC→1300℃級 CC）が、2 割程度の環境影響の低減に寄与した。</p>																																											

タイトル	ライフサイクル CO2 排出量による原子力発電技術の評価
著者	本藤祐樹 電力中央研究所
発表年月	2001 年 8 月
入手方法	電力中央研究所報告 : Y01006 <a href="http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y01006.html">http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y01006.html</a>
主な内容	<p>本研究では、地球温暖化の面から原子力発電技術の特性を適切に理解することを目的として、日本の原子力発電システムの LCCO2 排出について分析した。</p>

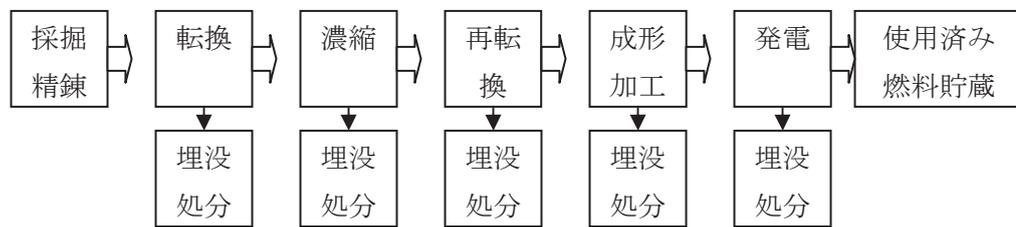


図1 原子力発電のライフサイクル（基本システム）

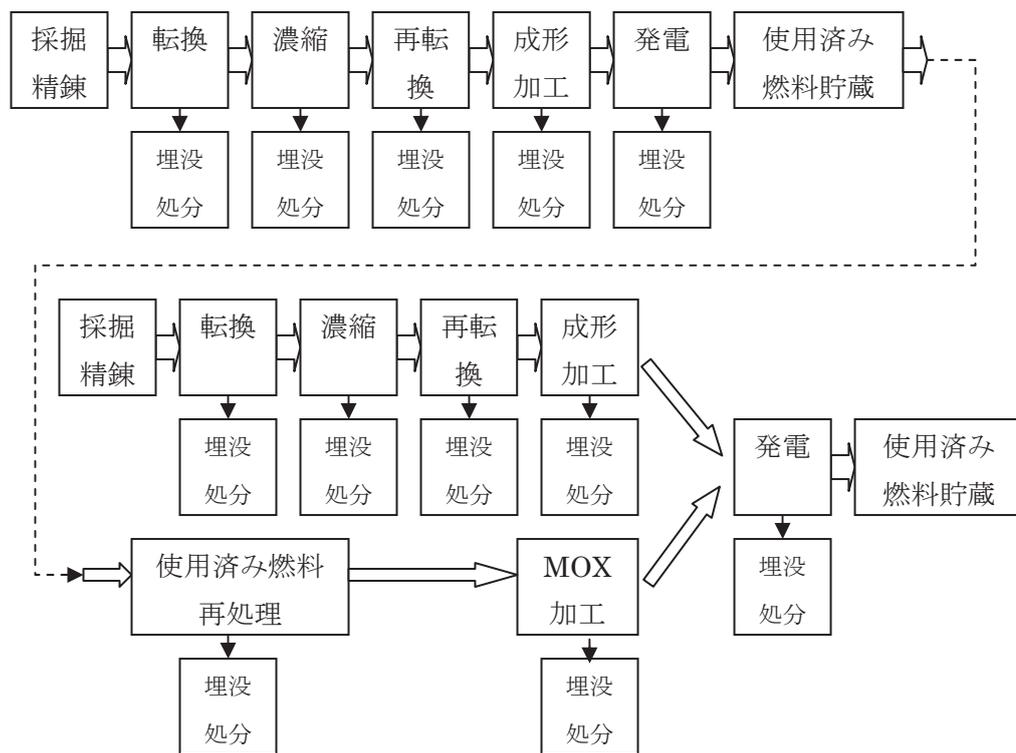


図2 原子力発電のライフサイクル（リサイクルシステム）

評価結果：

①原子力発電（リサイクルシステム）の LCCO<sub>2</sub> は 22～25g-CO<sub>2</sub>/kWh。発電技術の違い（BWR と PWR）による差は小さい。

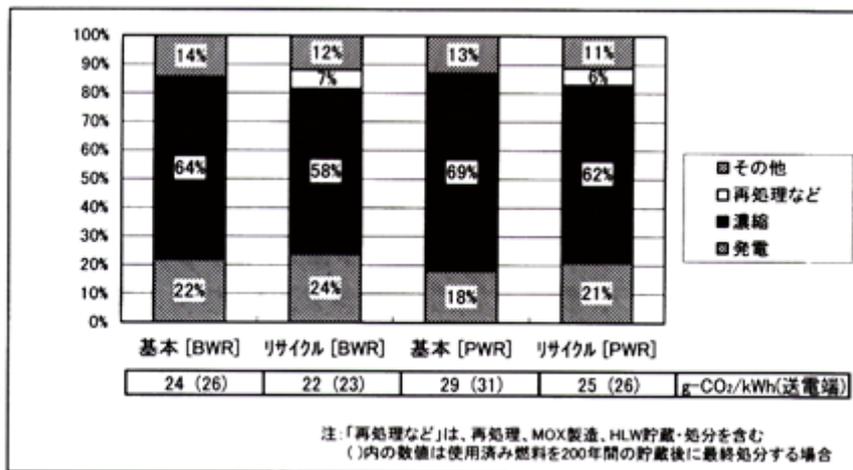


図1 原子力発電の LCCO<sub>2</sub>

②ウラン濃縮技術の一つ遠心分離法の使用率による影響が大きい（日本のウラン濃縮の8%が遠心分離法を用いている）。それに対してリサイクルによる影響が小さい。

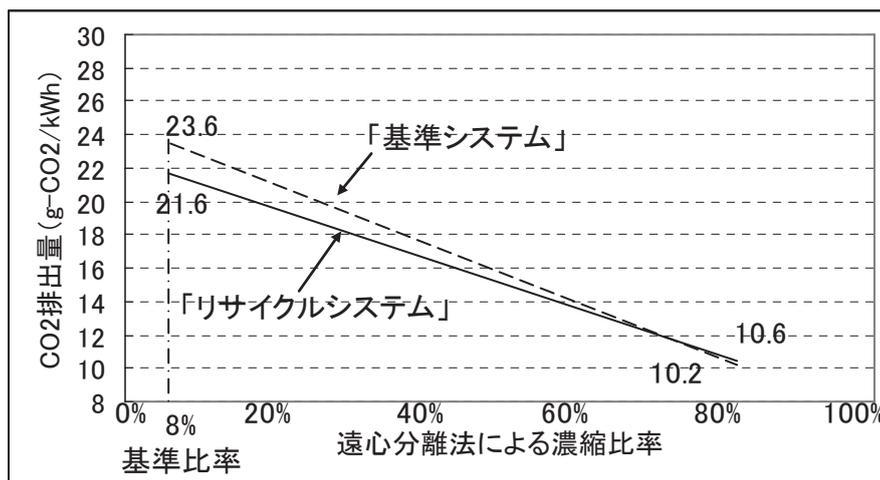


図2 濃縮条件の変化が LCCO<sub>2</sub> に与える影響 (BWR)

③使用済み燃料 (SF) の取り扱い方法は LCCO<sub>2</sub> にそれほど大きな影響を与えない。図1の評価結果は SF を 50 年間中間貯蔵までとしたが、仮に 200 年間の中間貯蔵後に埋設処分するとしても CO<sub>2</sub> が 1 割程度の増加に留まる。

タイトル	欧州の ExternE プロジェクトにおける発電用燃料サイクルの外部コストの紹介
著者	ExternE プロジェクト
発表年月	1999 年
入手方法	①各国の電力の外部費用 ( <a href="http://www.externe.info/">http://www.externe.info/</a> ) ②イギリスの外部費用の詳細 (J.E. Berry et al., Power Generation and the Environment- a UK Perspective, Vol. 1, AEA Technology, (June 1998).) ③日本中部電力の外部コスト ( <a href="http://www.jemai.or.jp/lcaforum/working_group/pdf/lime2_houkoku_06.pdf">http://www.jemai.or.jp/lcaforum/working_group/pdf/lime2_houkoku_06.pdf</a> )

主な内容

①各国の電力の外部費用

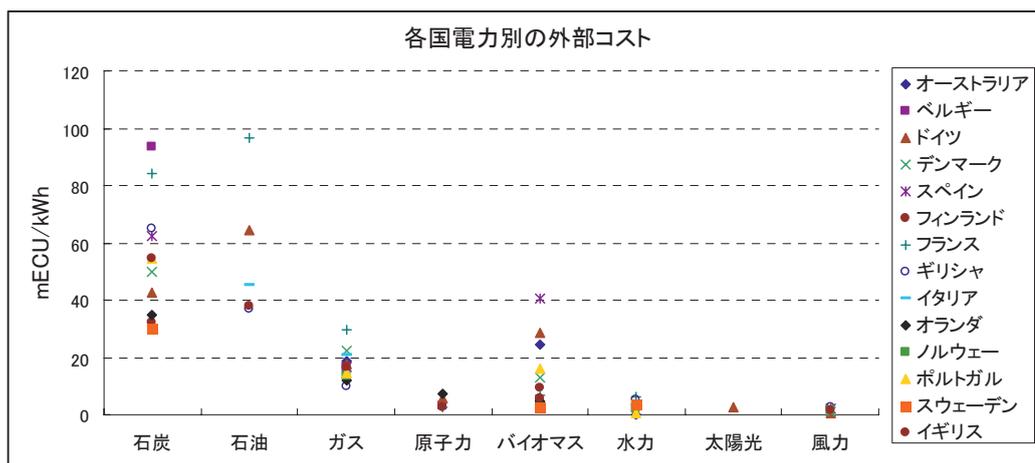


図 1 欧州の ExternE プロジェクトにおける電力別外部コスト

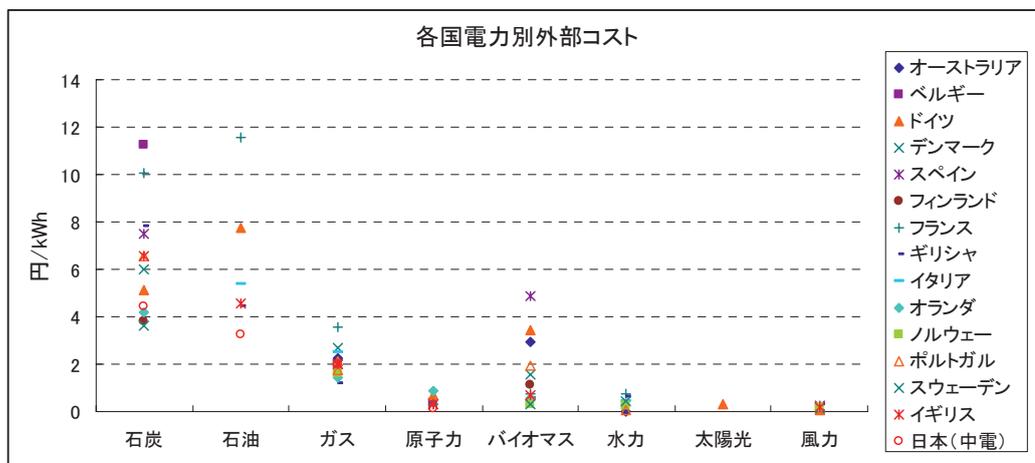


図 2 日本中部電力 (LIME) の外部コストを加えた結果 (1mECU=0.12円とした)

注：中部電力は石炭、石油、ガスと原子力の結果を表示

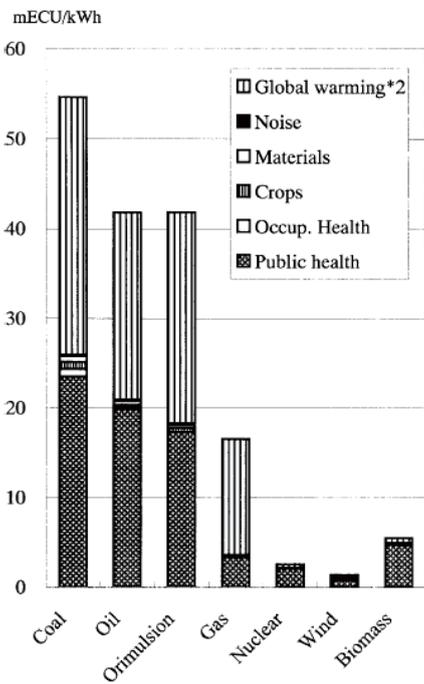


図3 イギリスの電力外部コストの内訳

Orimulsion（オリマルジョン）とは、重油オリノコタールと水を混ぜ混濁化した燃料である。ベネズエラのオリノコ川流域から産出される超重質油（オリノコタール）を利用して作られた燃料はオリマルジョンと呼ばれる。エマルジョン燃料の1種。

評価結果：

①図1、2によると、日本中部電力の結果は欧州各国の結果と比べて、低いほうに位置する。しかし、評価手法や評価範囲の違いを留意する必要がある。

②図3、4によると、地球温暖化が大きいのは共通だが、それ以外にイギリスは健康影響も大きいことと、日本は非生物資源の影響が大きいことが特徴である。

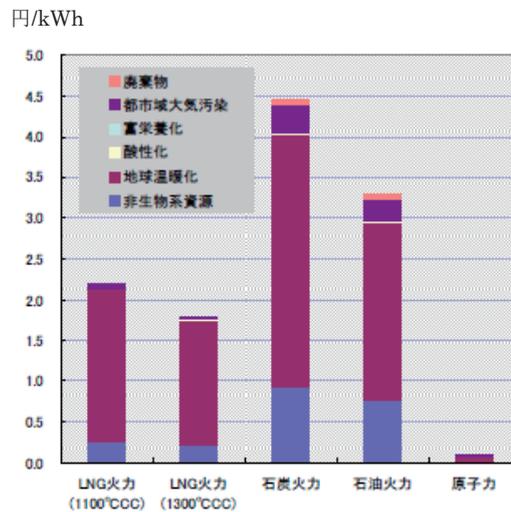


図4 中部電力の外部コストの内訳

タイトル	千葉県銚子地域における風力発電の適用
著者	安藤生大、長井浩、久保典男、武藤厚俊、小林謙介、田原聖隆、稲葉敦
発表年月	2008年12月
入手方法	第3回日本LCA学会研究発表会講演要旨集 pp222-223
主な内容	<p>国産大型 2MW 風力発電設備を銚子地域に設置することを想定して、発電量 (kWh) 当たりの LC-CO<sub>2</sub> を計算した。</p> <p>評価範囲 : 部品製造、組み立て、使用 (20年間、メンテナンス考慮なし)</p> <p>評価結果 :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①風速 6m/s の場合、10.3g-CO<sub>2</sub>/kWh となった。</li><li>②風速 7m/s の場合、7g-CO<sub>2</sub>/kWh と低下した。</li><li>③定格出力の大型化の影響について、300kW 級の風車は 29.5 g-CO<sub>2</sub>/kWh に対して、本研究の CO<sub>2</sub> 排出量は約 1/3 に抑えられた。</li></ul>

タイトル	Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine
著者	E. Martí'nez , F. Sanz , S. Pellegrini , E. Jime'nez , J. Blanco (Spain)
発表年月	2009 年
入手方法	Renewable Energy 34 (2009) 667-673
<p>主な内容</p> <p>大型風車による風力発電の LCA 分析が行われた。</p> <p>機能単位 : 2MW 風車、20 年間使用。</p> <p>データ : Simapro database, 統合化手法は eco-indicator99</p> <p>評価範囲 :</p> <pre> graph TD     A[Resource Extraction. Transport] --&gt; B[Material manufacturing and processing. Transport. Installation. Land Use]     A --&gt; C[Material manufacturing and processing. Transport. Installation.]     B --&gt; D[Basement]     B --&gt; E[Tower]     C --&gt; F[Nacelle]     C --&gt; G[Rotor]     D --&gt; H[Operation]     E --&gt; H     F --&gt; H     G --&gt; H     H --&gt; I[Decommissioning]     I --&gt; J[Turbine Disposal]     </pre> <p>Fig. 2. LCA model of the wind turbine.</p> <p>評価結果 :</p>	

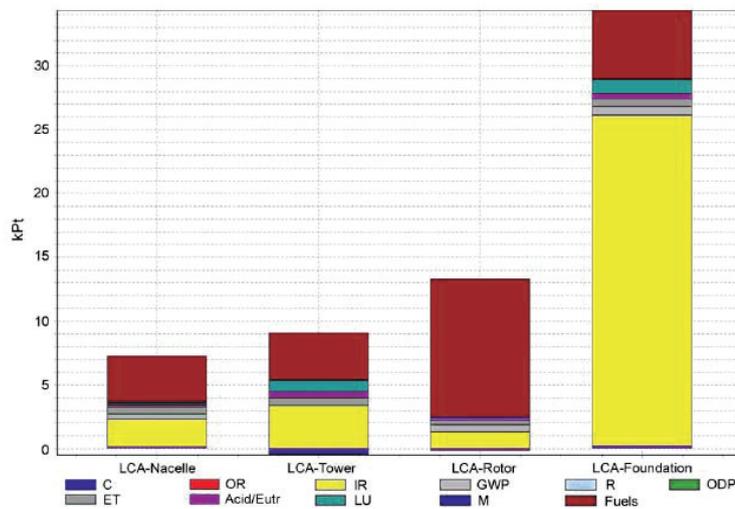


Fig. 4. Eco-profile of the four main components under study. Assessment method: Eco-Indicator 99. Results are given in kilo-Eco-points (kPt).

- ①全体を通じて、化石燃料消費と IR（無機物由来呼吸器疾患）による影響が大きい。
- ②プロセス別で見ると、基礎製造段階の影響が最も大きかった。その中にも IR が大きい割合を占めている。
- ③IR が大きい原因は、風車の基礎に大量なコンクリートが使用され、そのコンクリートの原材料であるセメントの製造時、PM が放出され、呼吸器に影響を与える。

タイトル	Life Cycle Environmental Analysis of Hydrogen Storage Technology Using Organic Hydride: Energy Requirement and CO2 Emission 有機ハイドライドを用いた水素貯蔵技術のライフサイクル環境分析：エネルギー消費と CO2 排出
著者	本藤祐樹, 森泉由恵, 臼井達朗
発表年月	2008 年
入手方法	Journal of the Japan Institute of Energy, 87, 753-762 (2008)

主な内容

水素貯蔵技術として有機ハイドライドは注目されているが、環境側面の評価は少ない。本研究は有機ハイドライド技術の温暖化影響を注目して評価する。

有機ハイドライドとは：例えば、トルエンは3つの2重結合を有していて、3分子の水素と結合することでメチルシクロヘキサン（以下 MCH）となる。逆に、MCH を白金触媒の存在下で加熱すると水素を発生して元のトルエンに戻る。この反応を繰り返すことで水素の貯蔵・輸送が可能となる。このように水素を化学的に貯蔵する有機材料を一般に“有機ハイドライド”と呼ぶ。

評価範囲：製鉄所から発生するコークス炉ガス（COG）より水素を生産し、有機ハイドライドを用いて需要家へ運ぶ。需要家では水素を離脱してから、加圧と精製プロセスを経て、水素ガスの燃料電池へ供給。

機能単位：製鉄所における水素の年間生産量を 876000Nm<sup>3</sup> と設定し、これを 300 戸の集合住宅 100 箇所へ供給する。



図1 システム境界

評価結果は (図2)、53100t-CO<sub>2</sub>/year である。

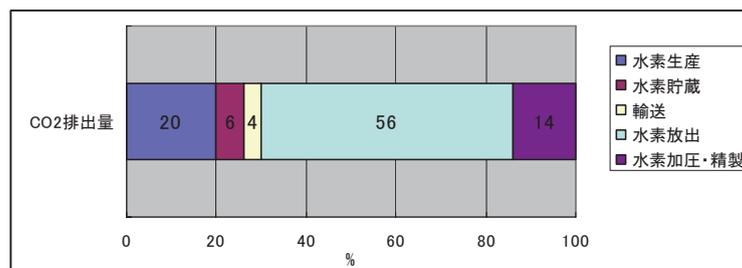
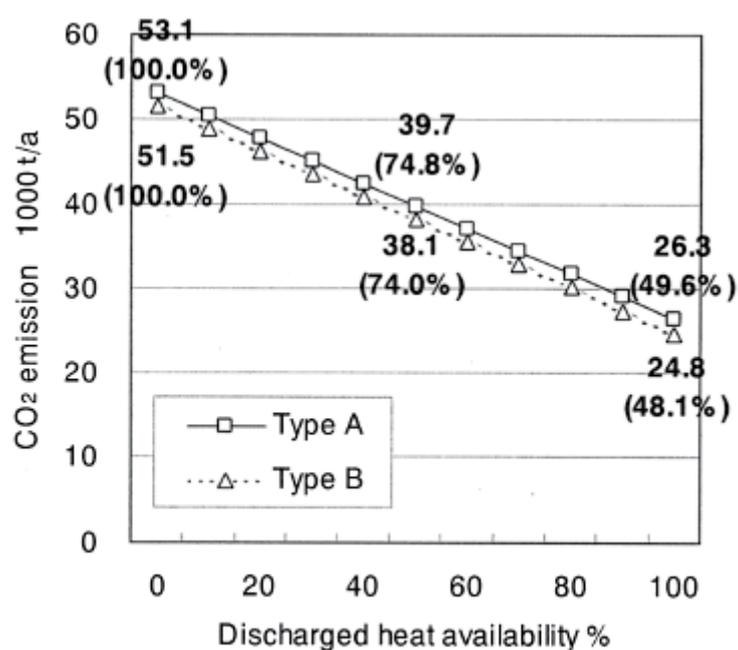


図2 有機ハイドライドを用いた水素貯蔵・移動システムの年間 CO2 排出量

水素生産段階は、COG から水素を精製するための電力による影響が殆ど。また、水素離脱プロセスが必要とする熱エネルギーとして LPG ガスが使用され、LPG ガス燃焼による放出する CO2 だけで LCCO2 の 54%になる。

改善分析：

- ①水素の生産方法を従来の精製方法（Type A）から改質方法（Type B）へ変更。
- ②水素の放出プロセスで必要とする熱エネルギーを LPG の代わりに需要家の燃料電池の廃熱を利用する設定に変更。

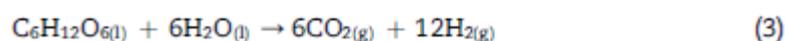


結果として、燃料電池の廃熱を利用することにより LCCO2 の約 5 割の削減が可能。これに対して、水素生産方法の効果が小さい。

分類	水素 (2)
タイトル	A comparison of environmental benefits of transport and electricity applications of carbohydrate derived ethanol and hydrogen
著者	Rethabile Melamu, Harro von Blottnitz
発表年月	2009年
入手方法	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY 34 ( 2 0 0 9 ) 1 1 2 6 - 1 1 3 4

## 主な内容

1. 評価対象 : APS (aqueous phase reforming) 水相改質水素生産技術
2. 特徴 : 植物由来の砂糖と糖質のスラリー (粉末状の固体と液体の混合物) を一連の触媒に通すと、炭素を含んだ有機分子が構成要素に分解され、水素はこのスラリーから得られる。原材料となる植物は農業廃棄物でも可能。
3. 製造方法 : トウモロコシ糖化→改質 (プラチナ触媒など) (式 1)→water-gas shift (式 2)→水素分離 (セパレータで水素を液体固体から分離)→水素浄化 (CO<sub>2</sub> などから分離)



2. 機能単位 : トウモロコシ 3.86 tons/ha から得られる電力或いは燃料
3. シナリオ設定 : 8 つのシナリオ (図 1~8)
  - ①EE : バイオエタノール→電力
  - ②EE-HI : バイオエタノール→電力 (廃熱利用)
  - ③E-FFV : バイオエタノール→ガソリン、エタノール両方使える車
  - ④E-FCV : バイオエタノール→燃料電池車
  - ⑤HE : 水素→電力
  - ⑥HE-HI : 水素→電力 (廃熱利用)
  - ⑦H2-ICEV : 水素→内燃車
  - ⑧H2-FCV : 水素→燃料電池車
4. 影響領域 : 温暖化、酸性化、人間毒性、生態毒性、富栄養化

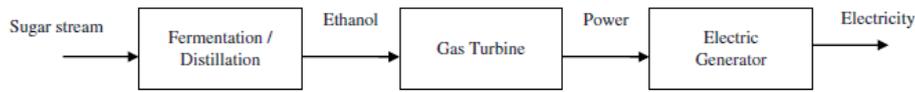


Fig. 1 – The ethanol for peak power generation option (EE).

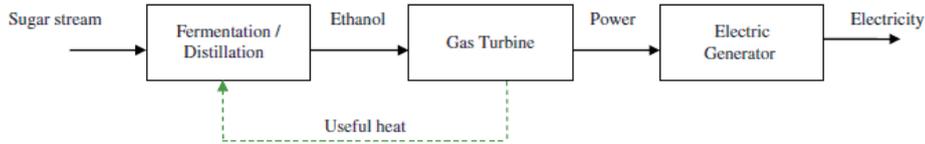


Fig. 2 – The ethanol for peak power generation with heat integration option (EE-HI).

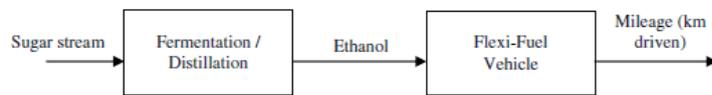


Fig. 3 – The ethanol for use in a flexi-fuel vehicle option (E-FFV).

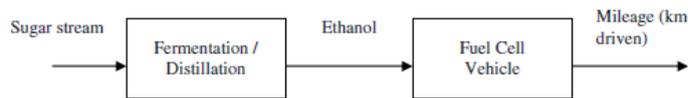


Fig. 4 – The ethanol for use in a fuel cell vehicle option (E-FCV).

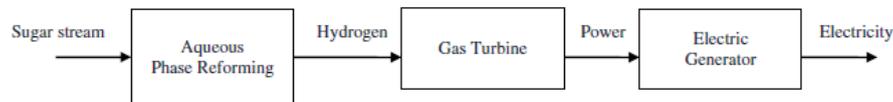


Fig. 5 – The hydrogen for peak power generation option (HE).

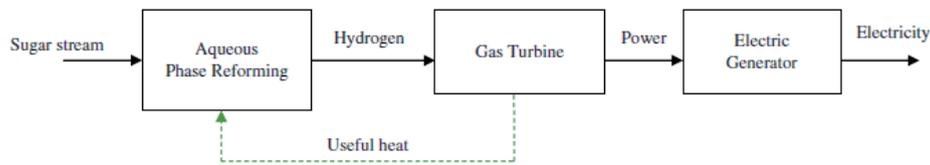


Fig. 6 – The hydrogen for peak power generation option with heat integration (HE-HI).

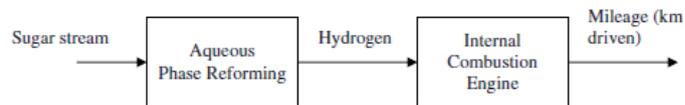


Fig. 7 – The hydrogen for use in an internal combustion engine vehicle option (H<sub>2</sub>-ICEV).

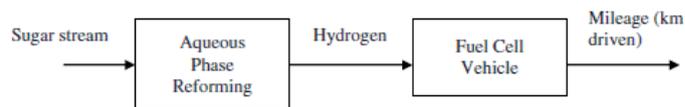


Fig. 8 – The hydrogen for use in a fuel cell vehicle option (H<sub>2</sub>-FCV).

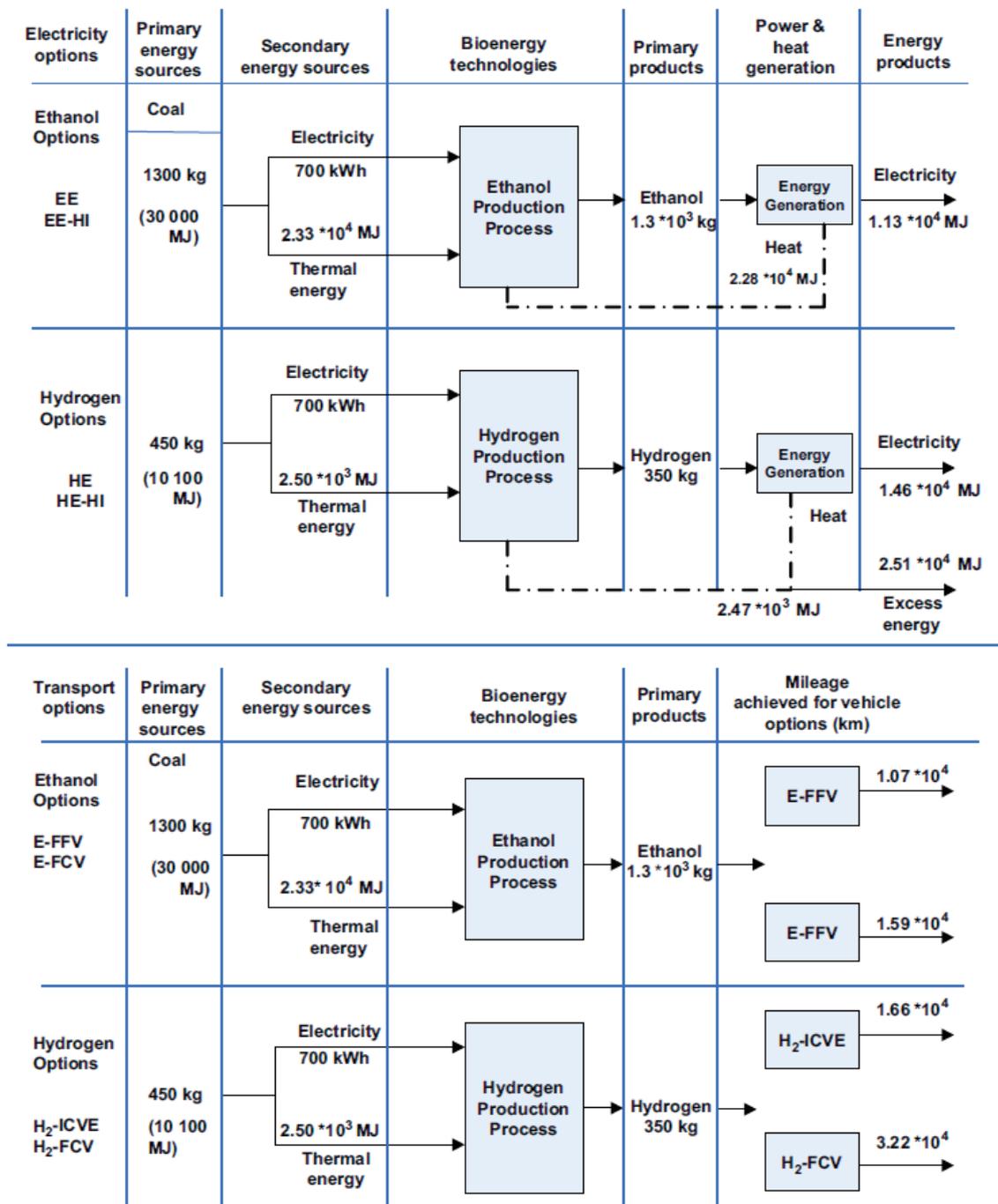


Fig. 10 - A summary of material and energy balances and energy and mileage outputs of the industrial options.

図 10 シナリオ別のエネルギーバランス

図 10 から、トウモロコシからバイオエネルギー製造に必要な石炭ベースのエネルギーの量は、バイオエタノールの方が多い。

## 5. 評価結果

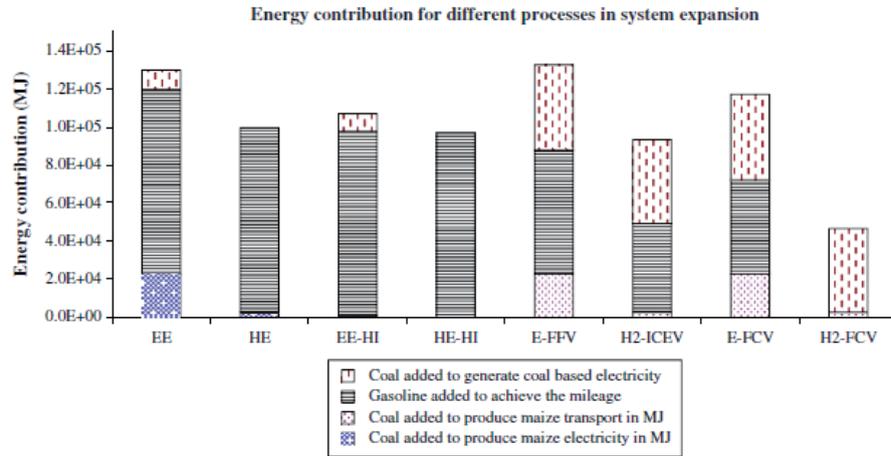


Fig. 11 - Primary fossil energy needed to deliver extended system functionality of 4060 kWh of electricity and 32 200 km (passenger car) delivered from maize grown on 1 ha of land.

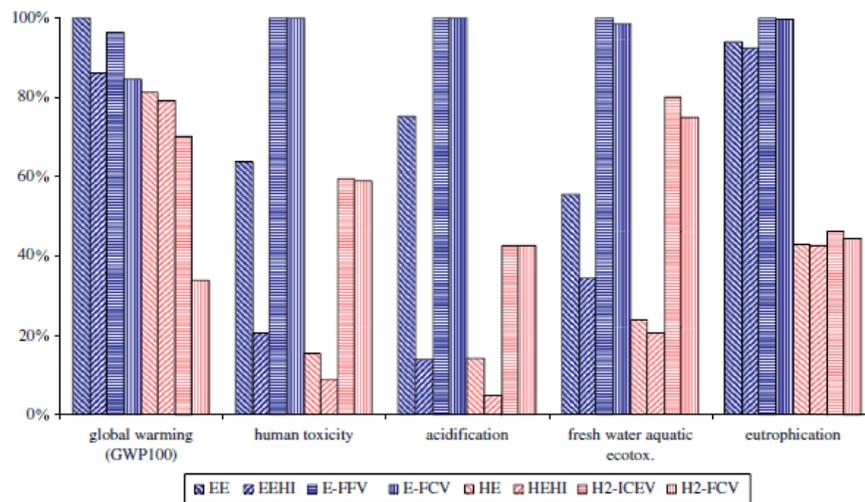


Fig. 12 - Relative comparison of the 8 scenarios in various impact categories (basis South African maize yield on 1 ha).

図 11 について、廃熱再利用の効果が大きいことが分かった。

図 11 について、E-FCV が H2-ICEV よりエネルギー消費量が多い。その理由は燃料電池車に使われるバイオエタノールの生産に石炭ベースのエネルギー消費量が多いからである。

図 12 について、全ての影響領域に関して、水素シナリオがバイオエタノールシナリオより良い結果となった。それは、図 10 にも示したように、バイオエタノール生産時より多くの石炭ベースの電力やエネルギーが必要とするからである。

図 12 について、水素シナリオにおいて酸性化影響がバイオエタノールに比べて最も小さい。それは、水素シナリオがバイオエタノールシナリオに比べて石炭ベースの電力やエネルギー消費が少ないので、石炭発電由来の NO<sub>x</sub> や SO<sub>2</sub> が少ないためである。

分類	水素 (3)
タイトル	Global warming potential of the sulfur-iodine process using life cycle assessment methodology
著者	William C. Lattin, Vivek P. Utgikar
発表年月	2009年
入手方法	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY 34 ( 2 0 0 9 ) 737-744

## 主な内容

1. 評価対象 : Iodine-Sulfur(IS)水素生産法。水の高温熱化学分解法のひとつである。水の高温熱化学分解法は、原子炉の熱を直接的に水の熱化学分解に利用するので原子炉熱の水素熱転換効率として 50%以上が期待され、原子力水素生産の究極的な方法と考えられている。この中で現在有力とされているのは、HI、硫酸などを使用する Iodine-Sulfur(IS)法である。
2. 影響領域 : CO<sub>2</sub>
3. 評価結果 (材料別) : 合計 2500g-CO<sub>2</sub>/kg-H<sub>2</sub>

Table 2 - Greenhouse gas emissions for sulfur-iodine cycle			
Component/material	Inventory	Specific CO <sub>2</sub> emissions (g CO <sub>2</sub> -eq/kg)	Total GHG emissions (g CO <sub>2</sub> -eq/kg H <sub>2</sub> )
Helium	3.7 ton	0.5	0.002
Sulfuric acid	100 ton	4.1E - 6	0.000526
Iodine	2120 ton	2.0	0.33
Water (high purity)	40 ton	82.18	82.18
Hydrogen plant construction [28]		(11,888)	-
Steel	3272 ton	0.4% of total [28]	45.77
Cement + Aggregate	10,242 ton		
Decommissioning	(10% of construction)		
Heat exchanger	800 ton	0.89	0.9
Subtotal hydrogen plant subsystem			129.2
Nuclear plant Construction			-
Steel	3675 ton	4.15	32.3 (36.7)
Concrete	209,760 ton	24.2	
Remainder	(5% of total)	1.3	
Decommissioning	(10% of construction)	2.6	
Nuclear fuel	45 ton	2277.5 (1372.2)	2277.5 (1372.18)
Operating electrical	100 MW <sub>(e)</sub>	60.6 (7804)	60.6 (7804)
Subtotal nuclear plant subsystem			2370.4 (9212)
Total			2499.6 (9341.9)

Note: Values in parentheses for nuclear plant subsystem assume electrical power obtained from the U.S. grid. Other values assume power from hybrid nuclear plant or other nuclear source.

水蒸気、天然ガス改質、石炭ガス化による水素生産結果：

①天然ガス改質： 9000～11,888 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>. [Ruether J (2006) ]

②石炭ガス化： 12,400 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub> [Rothwell G (2006) ]

原子炉熱を利用した水の高温熱化学分解法の結果：

①VHTR 技術(Very high temperature gas-cooled nuclear reactor)：2000gCO<sub>2</sub>-eq/kgH<sub>2</sub>  
[Utgikar V (2006) ら]

②VHTR 技術 (Ispra Mark 9 process coupled with VHTR)：2515 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>  
[Utgikar V (2006) ら]

③不明：～2700 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>. [Wu (2006) ら]

④本研究 Iodine-Sulfur(IS)水素生産法：2500 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>

太陽光、水力、風力発電からの水素生産の結果：[Granovskii M,(2007)ら、Koroneos C,(2004)ら]

①Solar (photovoltaic), 2124 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>.

②Solar (thermal), 800g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>

③Wind electric energy、860 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>

④hydro-electric energy、584 g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>

以上の結果から、水の高温熱化学分解法は水蒸気や天然ガス改質より CO<sub>2</sub> が約 74～80% が削減される。一方、太陽光、水力、風力からの生産より高い結果となった。

また、本研究における水素製造に消費される電力は原子力を使用した。もしこれをアメリカの電力グリッドを使用したら、9477g CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub> となる。

分類	水素 (4)
タイトル	Life cycle assessment of high temperature electrolysis for hydrogen production via nuclear energy
著者	V. Utgikar, T. Thiesen
発表年月	2006 年
入手方法	International Journal of Hydrogen Energy 31 (2006) 939 – 944

#### 主な内容

1. 評価対象：水蒸気高温電気分解技術 HTE (high-temperature electrolysis)
2. 特徴：原子力炉の熱を利用して水蒸気を高温分解して (1000K 前後)、水素を得る方法。変換効率が従来の天然ガス改質より高い。
3. 評価物質：CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>
4. 設定：
  - ① 変換効率 45%と仮定
  - ② 電気分解は 1100k で行う
  - ③ 電解槽に入力される電力と熱はそれぞれ 90MJ と 35MJ/kg H<sub>2</sub> (原子力炉から得る)
  - ④ 電気分解に使用する電解スタックは 5 年寿命
  - ⑤ NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> の排出量は既存文献から推計した
  - ⑥ リサイクルは含めない
5. 評価結果
  - ① HTE は水力と風力を除いて全てのシナリオより低い影響となった。
  - ② 従来の水蒸気改質に比べて、HTE は CO<sub>2</sub> において 1/6、酸性化において 1/3 の影響となった。
  - ③ 水蒸気とバイオマスシナリオからの環境負荷は、オペレーション段階から由来するものが多く、長期間にわたり少しずつ排出される。一方、原子力、太陽光などシナリオからの環境負荷は、採鉱、製造段階由来のものが多く、短時間で集中して排出する。従って、環境負荷を減らすには重要なプロセスから優先的に行うべき。

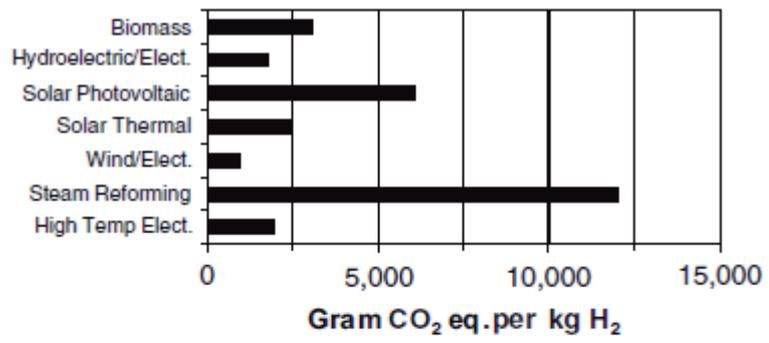


Fig. 1. H<sub>2</sub> production greenhouse gas emissions.

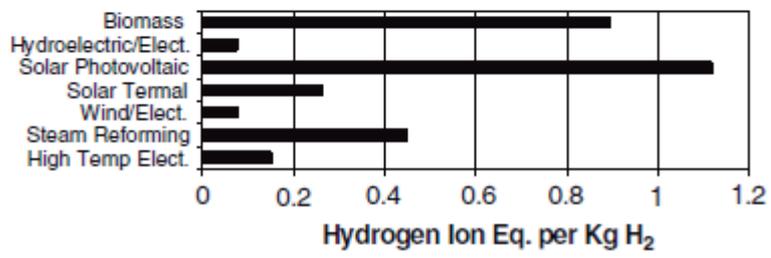


Fig. 2. H<sub>2</sub> production acidification potential.

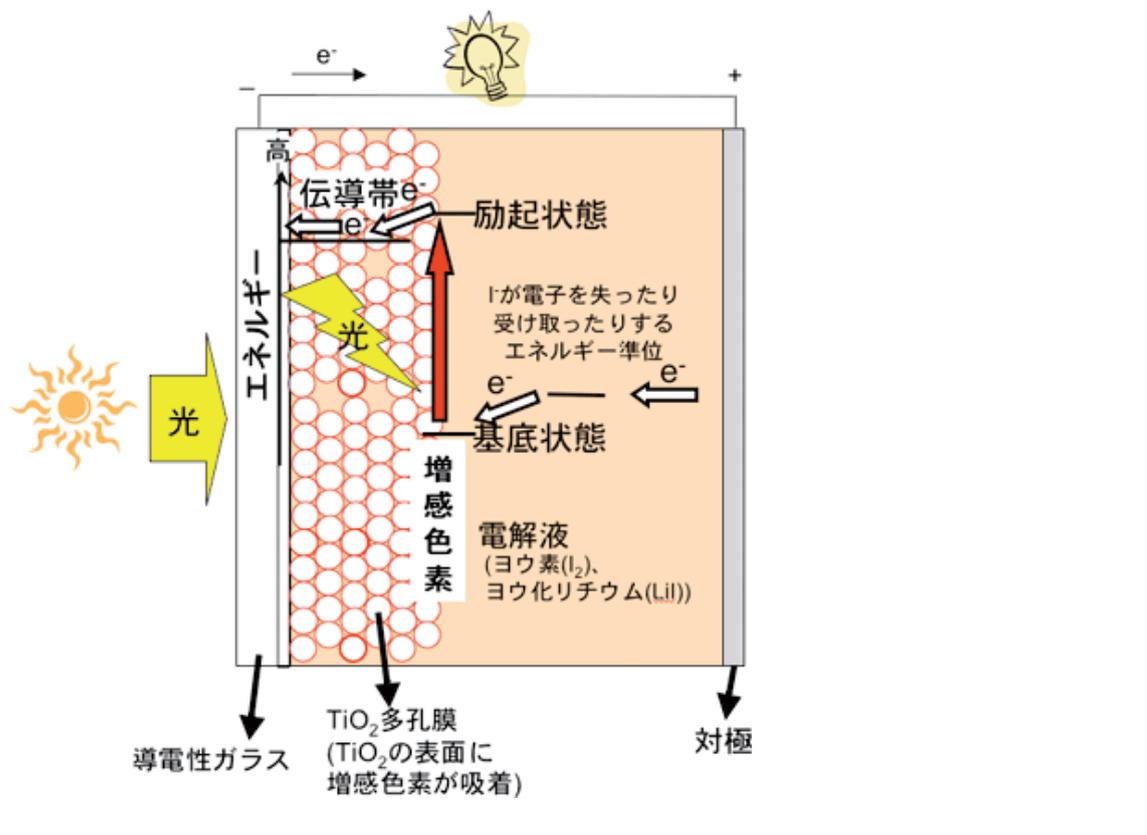
タイトル	LCA による色素増感太陽電池の CO <sub>2</sub> 削減効果の評価
著者	加藤智哉, 義家 亮, 上宮成之, 吉田 司, 田原聖隆
発表年月	2007 年
入手方法	Journal of the Japan Institute of Energy, 86, 978-986 (2007)

主な内容

次世代太陽電池と呼ばれる色素増感太陽電池 (DSC : Dye-Sensitized Solar Cell) はシリコン太陽電池に比べて、安価な原材料と単純な構造という長所を持つ。本研究は LCA を用いて、試作段階である酸化亜鉛型 DSC 試験セルの資源採取から製造段階までのインベントリ分析を行い、CO<sub>2</sub> 排出源を特定するとともに単位発電量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。

DSC の構造を下図に示す。

色素増感太陽電池の模式図と動作原理図



[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2008/pr20080304/pr20080304.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2008/pr20080304/pr20080304.html)

評価範囲：

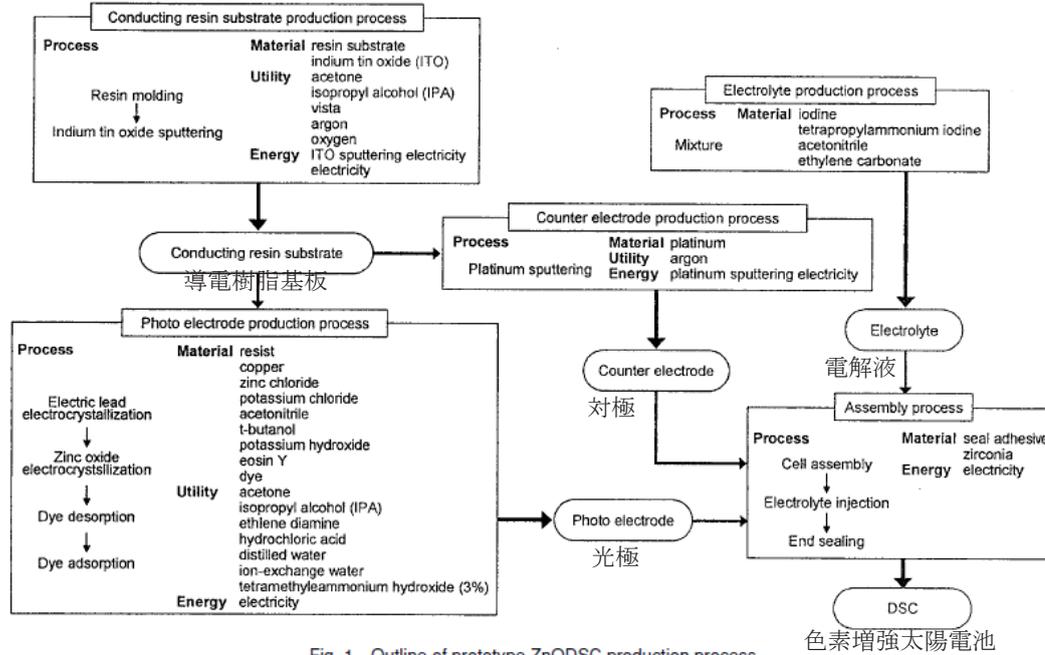
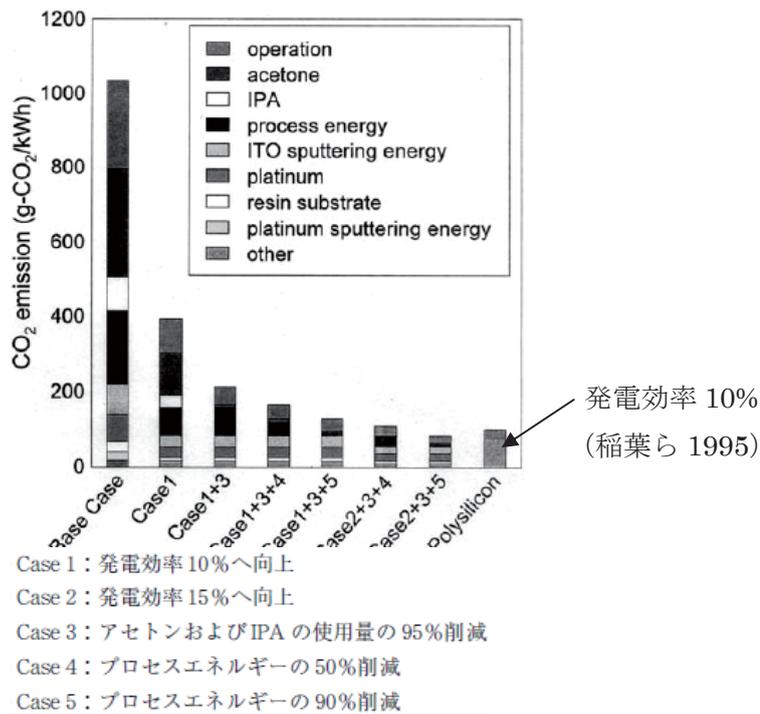


Fig. 1 Outline of prototype ZnODSC production process

データ：ecoinvent, AIST-LCA, 既存文献

評価結果を下図に示す。



① CO<sub>2</sub> 排出量の大部分はアセトン，IPA (isopropyl alcohol) の洗浄用溶剤およびプロセスエネルギーであることがわかる。将来的に量産プロセスへ移行することによって、溶剤、プロセスエネルギー及び白金の使用量の大幅削減が可能である。

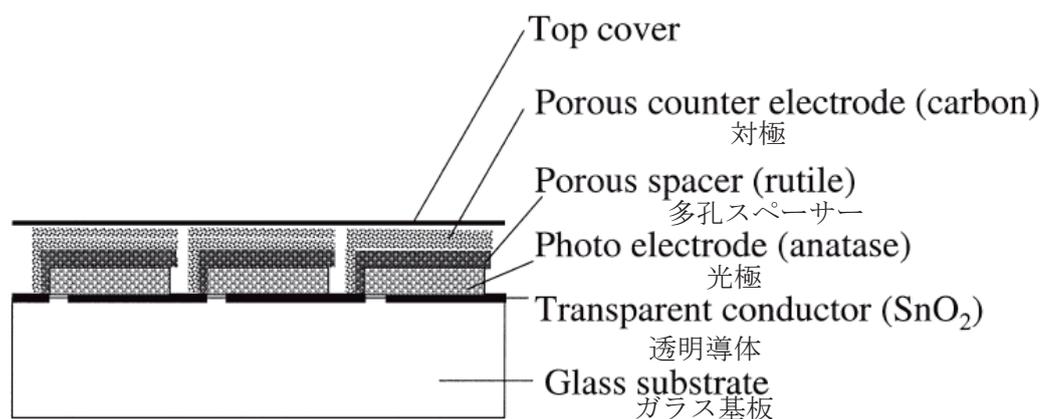
② 今後技術発展によって、洗浄用溶剤の使用量削減、プロセスエネルギーの削減を達成した場合の酸化亜鉛型 DSC は多結晶シリコン太陽電池に対して十分に競合可能であった。

タイトル	Environmental aspects of electricity generation from a nanocrystalline dye sensitized solar cell system ncDSC 太陽電池システムの環境影響
著者	Helena Greijer, Lennart Karlson, Sten-Eric Lindquist, Anders Hagfeldt (Sweden)
発表年月	2001年
入手方法	Renewable Energy 23 (2001) 27-39

主な内容

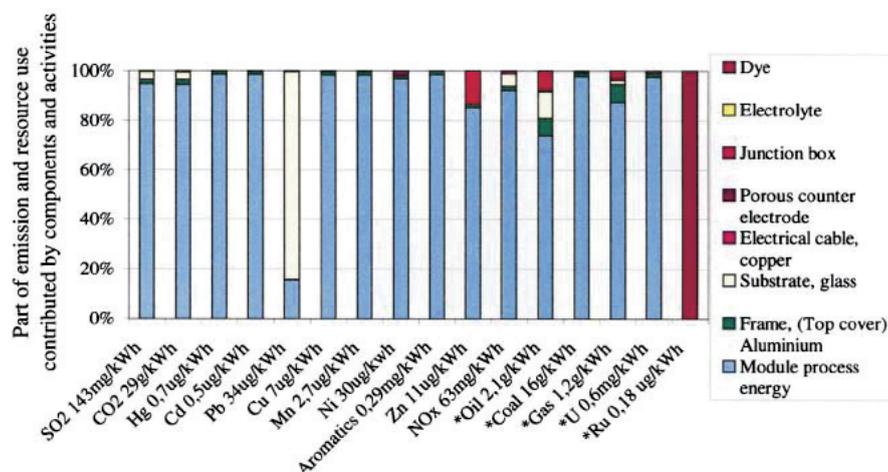
まだ試験段階にある ncDSC( nanocrystalline dye sensitized solar cell)太陽電池システムの LCCO2 分析を行った。

評価対象 :



設定条件 : 洗浄用溶剤及び輸送が含めない。発電効率は 7~12% と想定。設置場所はアフリカのサハラ砂漠。

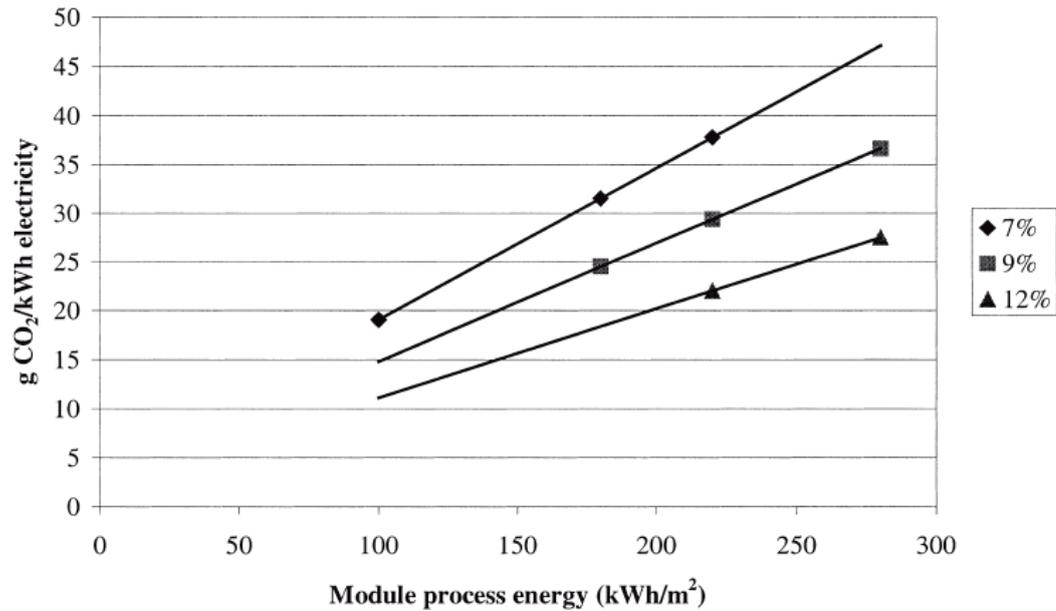
評価結果① :



①プロセスエネルギーの影響が最も大きかった。(モジュール製造、酸化チタンの高温焼結プロセス)

②ガラス基板に鉛が使用されたため、ガラス基板リサイクル時鉛が溶出する。

評価結果②：プロセスエネルギーと発電効率による CO2 排出量の感動分析



発電効率の向上及びプロセスエネルギーの削減は、CO2 排出量の低減に大きく寄与することがわかる。

タイトル	リサイクル対応型太陽電池モジュールの開発—曝露結果と LCA 評価—
著者	土井卓也、津田泉、作田宏一
発表年月	2006 年 10 月
入手方法	太陽/風力エネルギー講演論文集 (2006) pp63-66
主な内容	<p>太陽電池からシリコン回収できる二重封止型モジュールの曝露試験結果及び CO2 削減効果を評価した。</p> <p>評価結果：</p> <p>①1 年 5 ヶ月の屋外曝露試験の結果、劣化は殆ど起きていない。今後長期の屋外試験が必要。</p> <p>②従来型に比べて、二重封止型モジュールの CO2 排出量は約 78%低減効果が確認された。</p>

分類	太陽光発電（4）
タイトル	Life cycle assessment of solar PV systems: An example of a 2.7kWp distributed solar PV system in Singapore
著者	R. Kannan, K.C. Leong, R. Osman, H.K. Ho, C.P. Tso
発表年月	2006年
入手方法	Solar Energy 80 (2006)555-563

主な内容：

1. 評価対象：

シンガポールで稼動する 2.7kWp のグリッド接続単結晶太陽光電システムを分析する。

比較対照：石油燃焼蒸気タービンとその GHG 排出、コストを比較。

太陽電池システムの GHG 排出は石油燃焼蒸気タービンの 4 分の 1、ガス燃焼サイクルプラントの半分。

しかしコストは石油燃焼蒸気タービンの 5 倍から 7 倍。

2. 影響領域：地球温暖化 GWP (CO<sub>2</sub> 等価量)、LCCA (ライフサイクルコスト分析)。

3. 評価範囲：PV モジュール、アルミ、コンクリート、インバータ制御パネル、アルミ (支持構造)

4. 結果

LC エネルギー使用量では太陽電池モジュールが 81%を占めついでアルミ、金属リサイクルが大きい。

ライフサイクル GHG 排出では 217g-CO<sub>2</sub>/kWh であり石油蒸気タービンの 937 に比べ 4 分の 1 以下。

天然ガスコンバインサイクルプラントの 493-CO<sub>2</sub>/kWh に比べ半分以下。177g-CO<sub>2</sub>/kWh に低減。

4. 改良シナリオ評価

技術改善、量産によりエネルギー使用が 50%低下、エネルギーペイバック期間 3.54.8 年に。GHG 排出 129g-CO<sub>2</sub>/kWh に低減。

支持構造のリサイクル材料への転換、エネルギーペイバック期間 4.8年に。GHG 排出 177g-CO<sub>2</sub>/kWh に低減。

冷却による発電効率の改善に付き評価。エネルギーペイバック期間 4.5 年に。GHG 排出

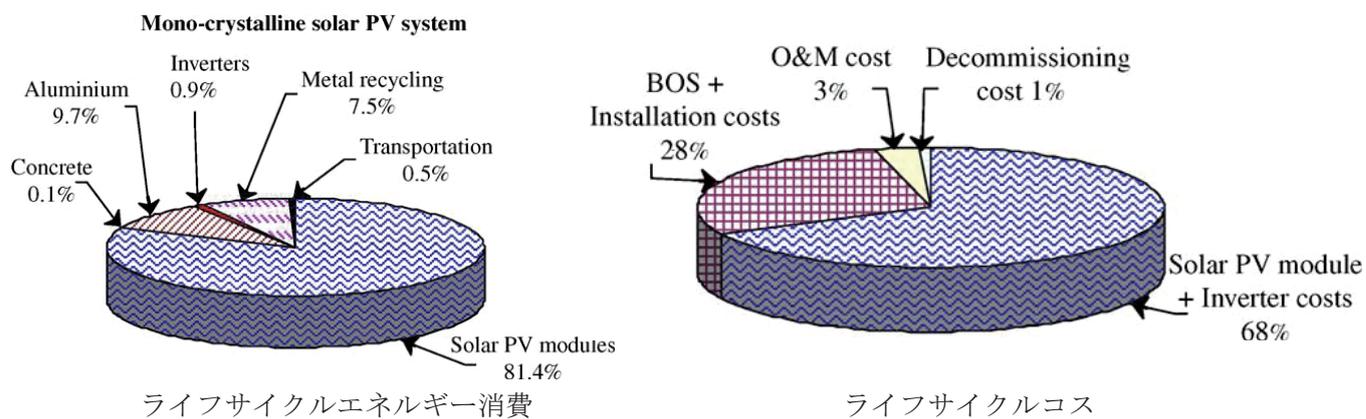
165g-CO<sub>2</sub>/kWh に低減。

### 5. コスト分析 LCCA

太陽電池のモジュールとインバータが 68%、設置が 28%、操作・メンテナンスが 3%。

57cent/kWh と電力の 7 倍。

石油価格の高騰を考慮した場合石油蒸気タービンに比べ 2 倍以上。4 分の 1 以下。



分類	太陽光発電 (5)
タイトル	Evaluation of technical improvements of photovoltaic systems through life cycle assessment methodology
著者	Riccardo Battisti、Annalisa Corrado
発表年月	2005年
入手方法	Energy30 (2005)952 -967

主な内容：

4. 評価対象：

太陽電池システム

比較対照：従来のイタリアの国家電力網に接続した、傾斜した壁につけられた多結晶ビル集積システム 1530kWh/m2yr

使用、廃棄を含む

平屋根、傾斜屋根

材料は鋼、アルミ、コンクリート、ゴム、鉛であるがこれらの使用量が異なる

5. 影響領域：地球温暖化 GWP (CO<sub>2</sub> 等価量)、CED (エネルギー集約要求量)。

SimaPro を用いる。寿命と比較し、おのおののペイバック期間を求める。

影響の大きいプロセスは：高純度の Si 製造が最も大きく、次いでモジュール組立て、  
 鋳造

6. 結果：

環境ペイバック年数はいずれも寿命に比べて一桁小さい。

システムの集積性が高いほどより小さくなる。

	CED, life cycle of 1 kWp system (MJ LHV)	GWP, life cycle of 1 kWp system (kg CO <sub>2</sub> eq)	回収熱の用途	エネルギーペイバック期間 (年)	CO <sub>2</sub> eq ペイバック期間 (年)
平屋根	5.11E+04	4.63E+03	-	3.3	4.1
傾斜屋根旧型接合	5.32E+04	4.73E+03	-	3.8	4.6
傾斜屋根集積型	5.43E+04	4.83E+03	-	3	3.9
傾斜屋根高集積型	4.44E+04	4.16E+03	-	2.9	3.6
光電/熱	4.88E+04	4.24E+03	空間加熱	2.8	2.8
			温水(天然ガス)	2.3	2.4
			温水(電力)	1.7	1.6

分類	太陽光発電 (6)
タイトル	LCA of Multicrystalline Silicon Photovoltaic Systems Part1, Part2
著者	Christopher Koroneos, Nikolaos Stylos and Nicolas Moussiopoulos
発表年月	2006年
入手方法	Int J LCA 11 (3) 183 – 188 (2006)

主な内容

1. 評価対象：下表に4つシナリオの特徴を纏めた (KC-60：京セラ産電池)。各シナリオは年間平方メートル発電量を1797kWhに揃っている。

比較対象は、diesel power station case となる。

Table 3: Technical and energy characteristics of the PV installations on Nisyros island

Parameter	Symbol	Unit	Base case	Improved case	Forward case	KC-60 case
Total installed power	$P_{inst}$	[kW]	293.28	296.21	296.43	294.12
Number of PV-modules	$N_{final}$	-	5104	2640	1640	4902
Total PV-module area	$A_{mod}$	[m <sup>2</sup> ]	2245.76	1710.72	1640	2397.078
Solar irradiation energy	$\Pi_{irr}$	[kWh/m <sup>2</sup> -yr]	1797	1797	1797	1797
Intensity of solar radiation (standard)	STC	[kW/m <sup>2</sup> ]	1	1	1	1
Operation ratio of PV-modules	$\lambda_{mod}$	-	0.82	0.82	0.82	0.82
Produced energy DC	$E_{DC}$	[kWh/yr]	431929.2	436244.41	436568.4	433166.35
System ratio	$a$	-	0.735	0.735	0.735	0.735
Produced energy AC	$E_{AC}$	[kWh/yr]	317539.3	320711.62	320949.8	318448.74
Electricity consumption on Nisyros island	$E_{Nis}$	[kWh/yr]	246050	246050	246050	246050

2. 製造プロセス

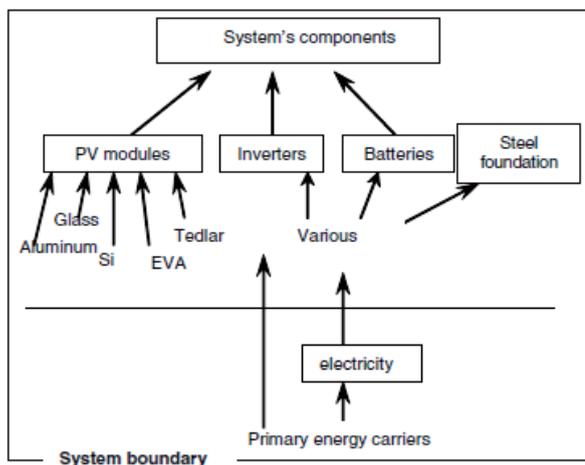


Fig. 2: Basic elements of the grid-connected PV-system with energy storage

3. 廃棄処理シナリオ：アルミリサイクル0%と50%

4. 影響領域

① CO2 equivalent emissions and the greenhouse effect

- ② CFC-11 equivalent emissions and the ozone depletion effect
- ③ SO<sub>2</sub> equivalent emissions and the winter smog effect
- ④ C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equivalent emissions and the summer smog effect
- ⑤ SO<sub>x</sub> (or SO<sub>2</sub>) equivalent emissions and the acidification effect
- ⑥ Phosphate equivalent emissions and the eutrophication effect
- ⑦ Heavy metals
- ⑧ PAH equivalent emissions and Carcinogenesis
- ⑨ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> equivalent emissions (air, water, soil, underground, transfer) and ecotoxicity
- ⑩ Radioactive emissions (放射性物質)

5. 評価結果

シナリオのリストを表 1 に示す。

PV システムの製造、輸送のデータは(Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL 1998)から収集した。

特性化は Eco-indicator95 を使用。

Table 1: List of abbreviations

Memorandum		
Case	Symbol	O.P.T.
Base-alum.0%:	BC.0%	30 yr
Base-alum.50%:	BC.50%	30 yr
Improved-alum.0%	IC.0%	40 yr
Improved-alum.50%	IC.50%	40 yr
Forward-alum.0%	FC.0%	50 yr
Forward-alum.50%	FC.50%	50 yr
KC60-alum.0%	KC60.0%	30 yr
KC60-alum.50%	KC60.50%	30 yr
Diesel	Diesel	30,40,50 yr

①CO<sub>2</sub>

全てのシナリオにおいて PV システムが大きい優位性が見られる。

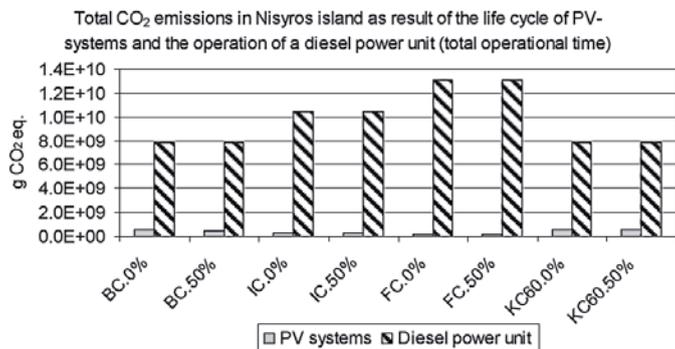
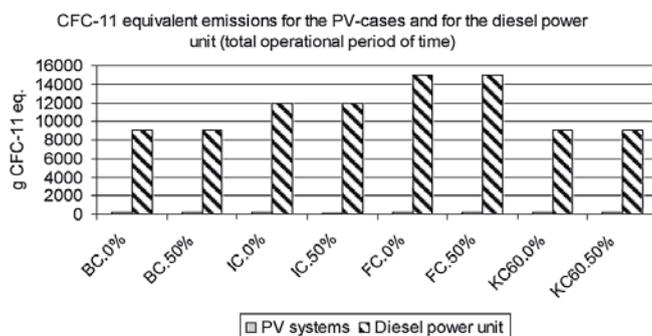


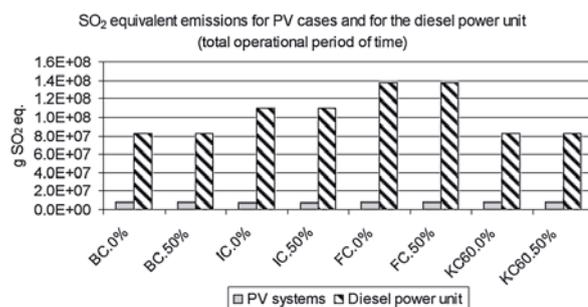
図 CO<sub>2</sub> 排出

②オゾン破壊

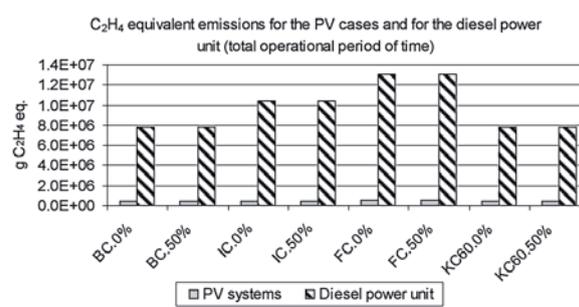


③冬スモック、夏スモック

冬と夏スモック両方において、PVシステムがディーゼルシステムの1/10くらいになる。



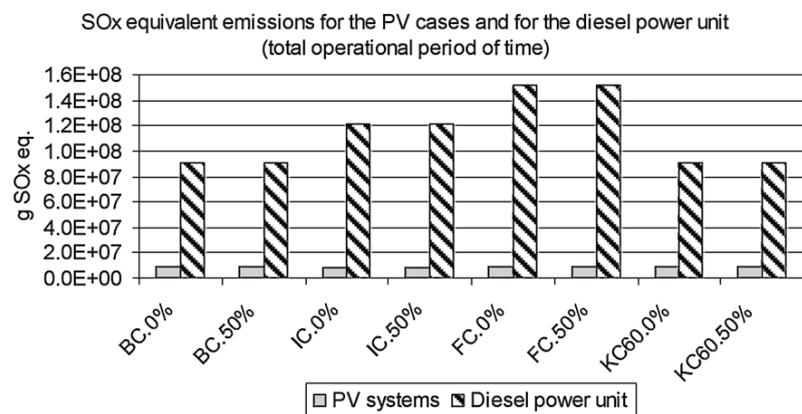
☒ 冬スモック



☒ 夏スモック

④酸性化

PVシステムに関して、大きな特徴はリサイクルをするケースがリサイクルしないケースより影響が大きかった。これは、リサイクルケースの製造段階に欠点がある（排気ガスが増える）。



⑤富栄養化

空気と水中のリン酸塩を算定した。アルミリサイクルケースがリサイクルしないケースより

りわずかに影響が高いことが分かった。

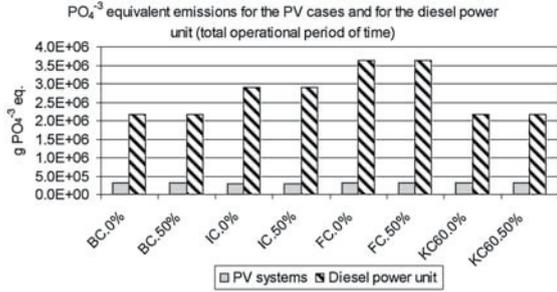


図 空气中排出

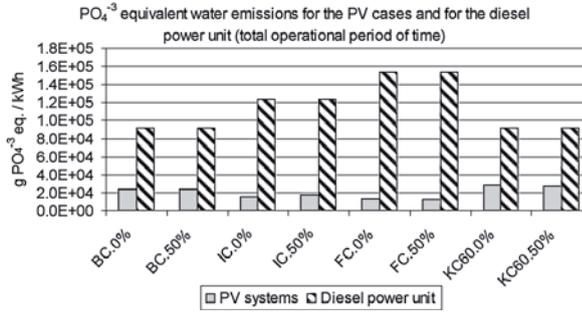


図 水中排出

⑥重金属

空気中の鉛は両システムとも同レベルが、水への鉛排出はPVが非常に少ないことが分かった。

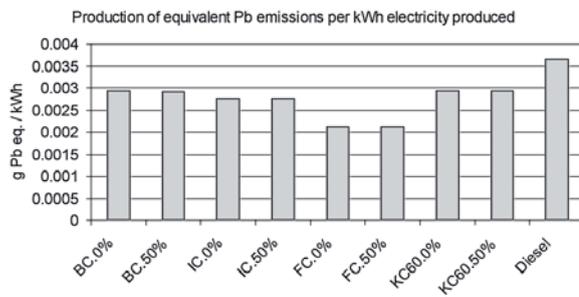


図 空气中鉛排出

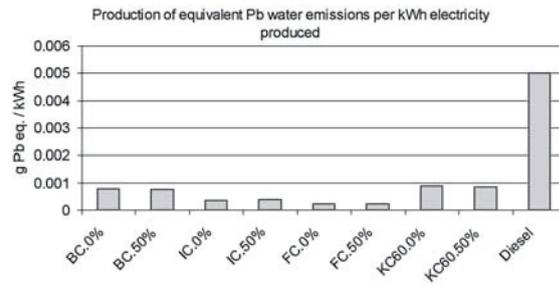
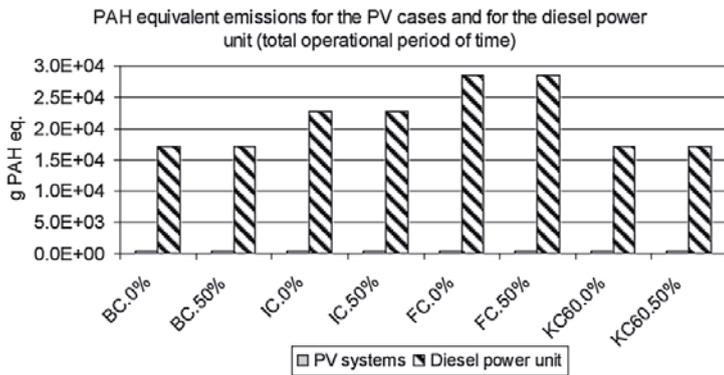


図 水中鉛排出

⑦発がん性

PV システムの発がん性物質がほぼゼロに近い結果となった。

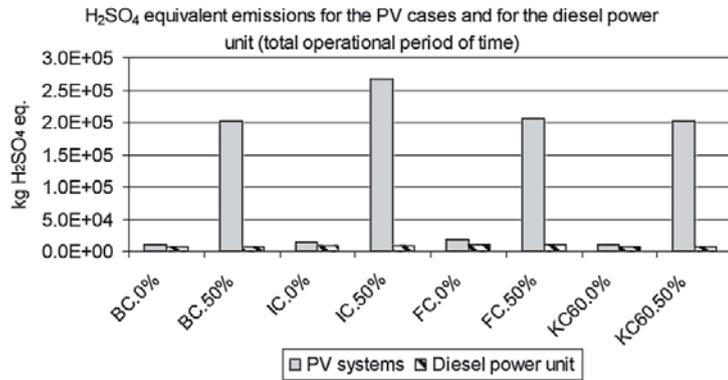


⑧生態毒性

毒性物質がバッテリーとインバータから発生する。

リサイクルケースが大きい結果となった。

今回の結果はオペレーション段階のみの結果である。もし全ライフサイクルで評価すると、ディーゼルの結果が大きいかもしれない。



⑨放射線汚染

現状では、PVシステムがまだディーゼルシステムと同じレベルの放射線汚染を寄与している。今後PVの改善すべき点だと考えられる。

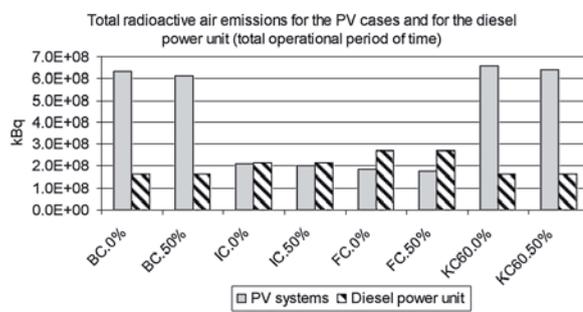


図 空气中放射線物質

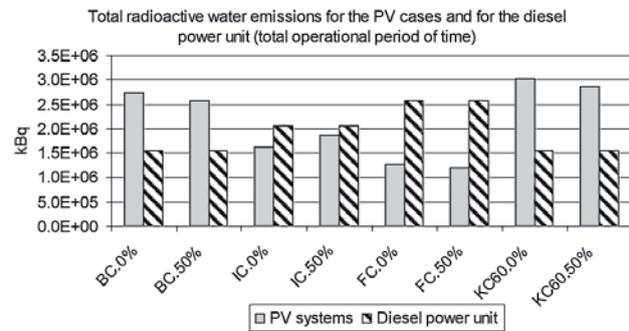


図 水中放射線物質

分類	太陽光発電 (7)
タイトル	Life Cycle Assessment for Emerging Technologies: Case Studies for Photovoltaic and Wind Power
著者	Niels Jungbluth, Christian Bauer, Roberto Dones and Rolf Frischknecht
発表年月	2005年
入手方法	Int J LCA 10 (1) 24 – 34 (2005)

## 主な内容

## 1. 評価対象

- ① mc-Si : 単結晶シリコン
- ② pc-Si : 多結晶シリコン
- ③ mc-Si future : 単結晶シリコンの将来型 (詳細は表 4)
- ④ pc-Si future : 多結晶シリコンの将来型 (詳細は表 4)

## 2. 製造プロセス

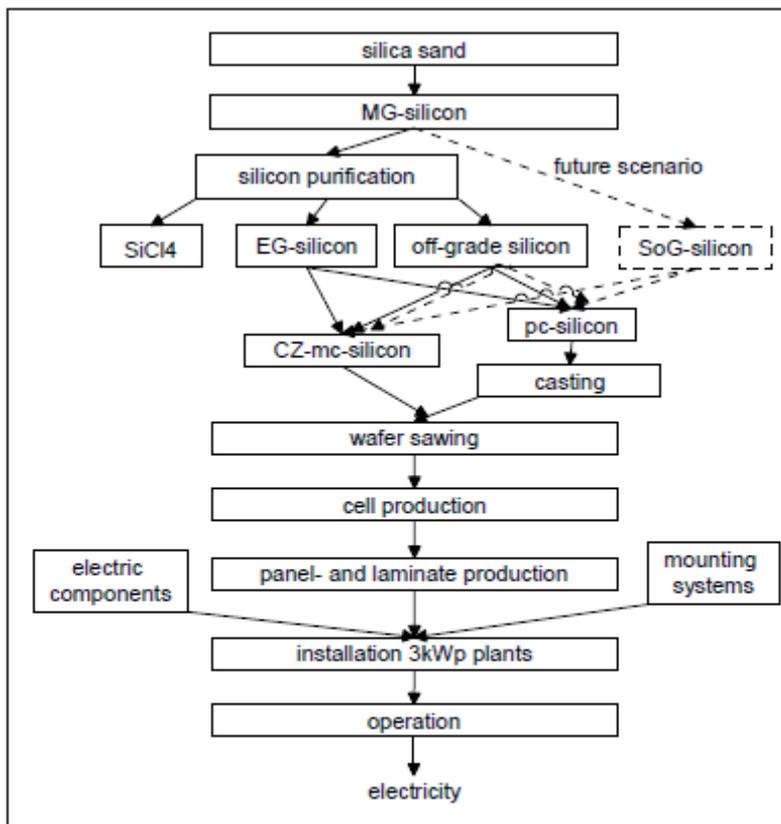


Fig. 1: Different subsystems investigated for photovoltaic power plants installed in Switzerland. The future scenario is shown with dotted arrows. MG-silicon: metallurgical grade silicon, EG-silicon: electronic grade silicon, SoG-silicon: solar-grade silicon

### 3. データ

Table 4: Key parameters of the life cycle inventory for photovoltaic power production (Jungbluth 2003a)

	unit	mc-Si	pc-Si	mc-Si future	pc-Si future
<b>MG-silicon production</b>					
electricity use, NO (mainly hydro power)	kWh/kg	11	11	11	11
<b>EG-silicon production</b>					
electricity use, DE, plant specific	kWh/kg	103	103	37	37
<b>CZ-silicon production</b>					
electricity use, UCTE-mix	kWh/kg	123	-	100	-
<b>mc-Si and pc-Si wafer</b>					
thickness, wafer	µm	300	300	300	300
sawing gap	µm	200	200	200	200
wafer area	cm <sup>2</sup>	100	100	100	100
weight	g	6.99	6.99	6.99	6.99
cell power	Wp	1.65	1.48	1.75	1.57
cell efficiency	%	16.5%	14.8%	17.5%	15.7%
use of MG-silicon	g/Wafer	19.0	19.2	16.3	18.1
EG-silicon use per wafer	g/Wafer	11.2	11.2	9.3	9.3
process energy	kWh/Wafer	0.3	0.3	0.15	0.15
<b>mc-Si and pc-Si cells</b>					
process energy	kWh/cell	0.2	0.2	0.11	0.11
<b>panel/ laminate, mc-Si/ pc-Si</b>					
number of cells	cells/panel	112.5	112.5	112.5	112.5
panel area	cm <sup>2</sup>	12529	12529	12529	12529
active area	cm <sup>2</sup>	11250	11250	11250	11250
panel power	Wp	185	166	197	177
efficiency production	%	97%	97%	97%	97%
use of cells mc-Si/ pc-Si	cells/kW <sub>p</sub>	608	677	571	637
process energy	MJ/kW <sub>p</sub>	0.23	0.26	0.20	0.23
<b>3kWp-plant</b>					
panel area	m <sup>2</sup> /3kW <sub>p</sub>	18.2	20.3	17.1	19.1
<b>operation</b>					
yield, slope-roof	kWh/kW <sub>p</sub>	885	885	885	885
yield, facade	kWh/kW <sub>p</sub>	626	626		
yield, CH PV electricity mix	kWh/kW <sub>p</sub>	819	819		

4. Eco-indicator99 の影響項目

5. 評価結果

① インベントリ結果

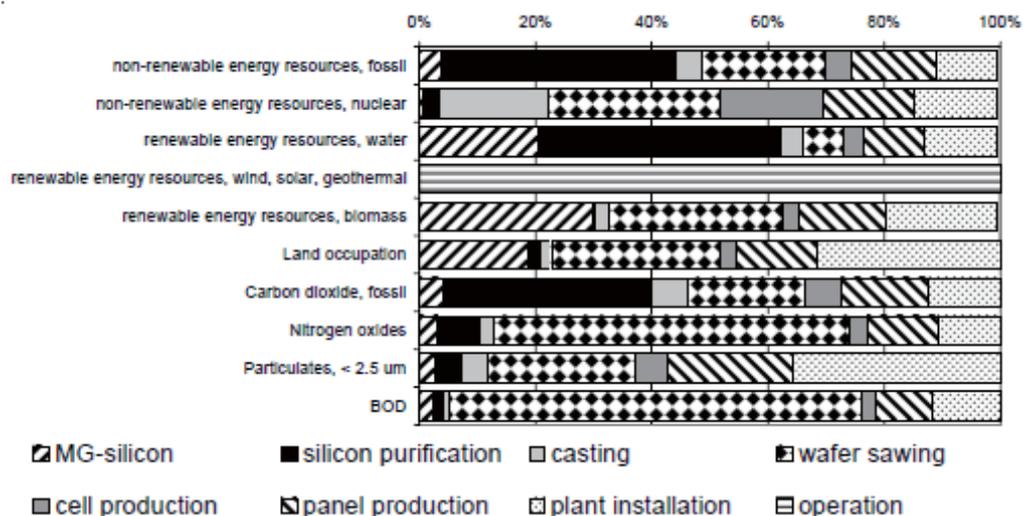


図 pc-Si PV3 kWp power plants を対象としたインベントリ結果

CO<sub>2</sub> 排出量は化石燃料消費量と似たような割合となり、シリコンの精錬が最も大きい影響となった。

wafer sawing プロセスは窒素酸化物と BOD の排出に大きく寄与した。

② 統合化結果（シナリオ比較、最大結果のシナリオを 100%とした）

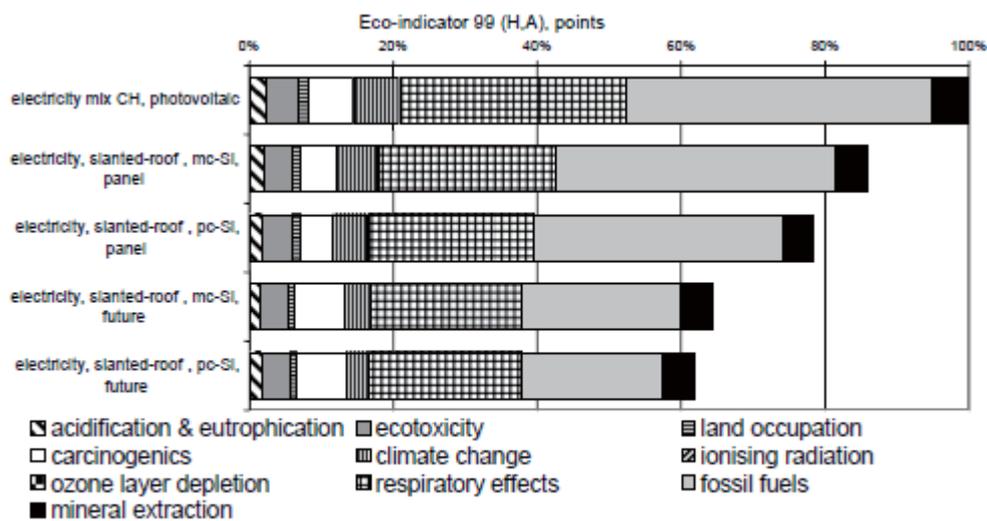


Fig. 5: Comparison of Eco-indicator 99 (H,A) scores for different 3 kWp PV power plants

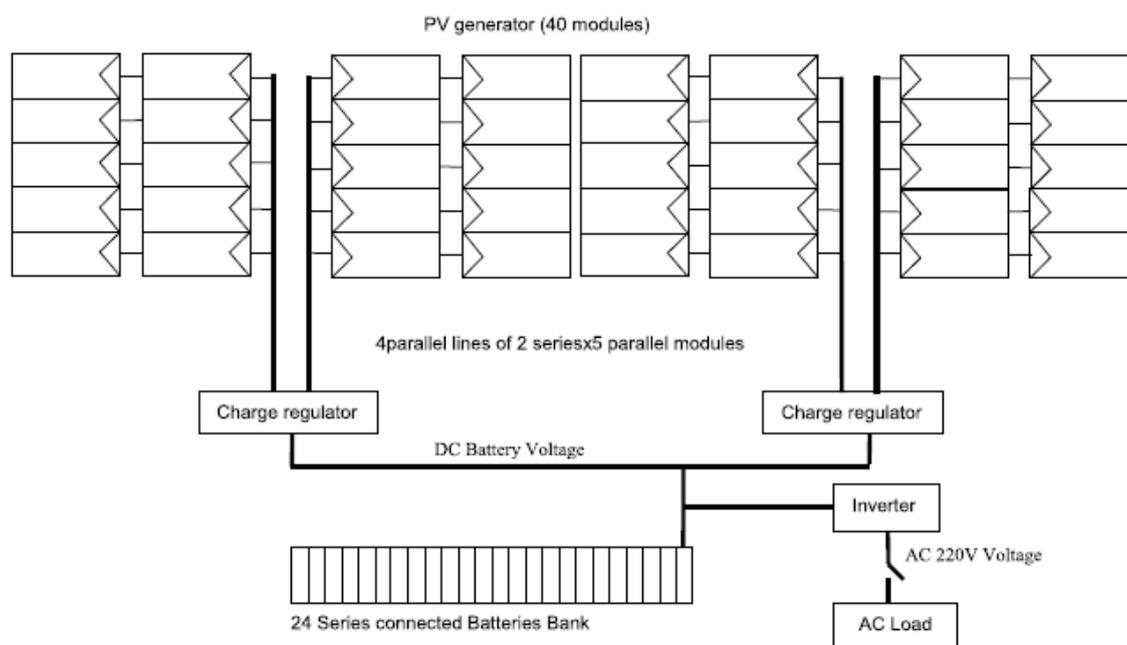
化石燃料消費と呼吸器官影響による影響が大きい。

単結晶は多結晶より影響が高い、今後製造段階の効率を改善すれば、環境負荷の更なる削減が可能。

分類	太陽光発電 (8)
タイトル	Life cycle assessment study of a 4.2 kWp stand-alone photovoltaic system
著者	R. Garcí'a-Valverde, C. Miguel, R. Martí'nez-Be'jar, A. Urbin
発表年月	2009年
入手方法	Solar Energy(2009)

主な内容

1. 評価対象 : Stand-alone photovoltaic (SAPV) systems (独立型太陽光発電システム)
2. 仕組み



(\*) For clarity only one terminal wiring is shown

Fig. 2. Circuit diagram of the PV facility.

### 3. 評価結果

#### ① インベントリ結果 (CO<sub>2</sub>、エネルギー消費)

CO<sub>2</sub> とエネルギー消費量の結果はほぼ一致、鉛蓄電池は最も大きく、次いで PV モジュールが二番目に大きい。

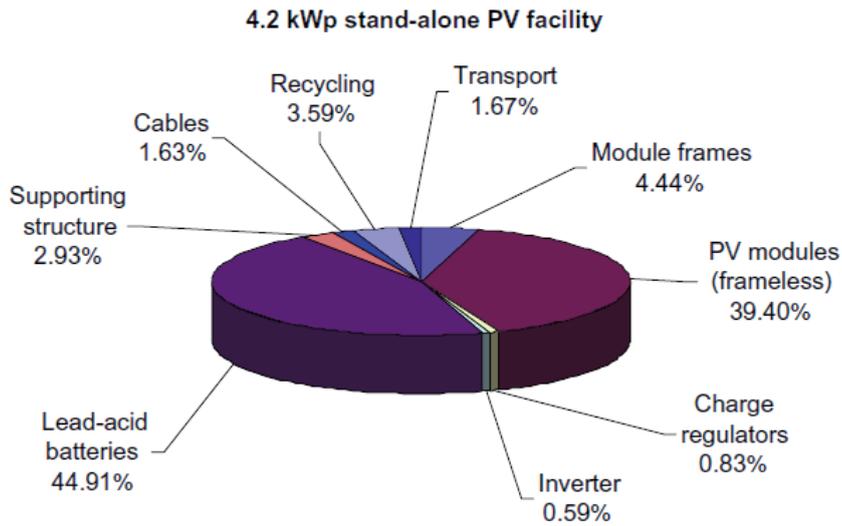


Fig. 8. Distribution of embodied CO<sub>2</sub> in the given PV facility.

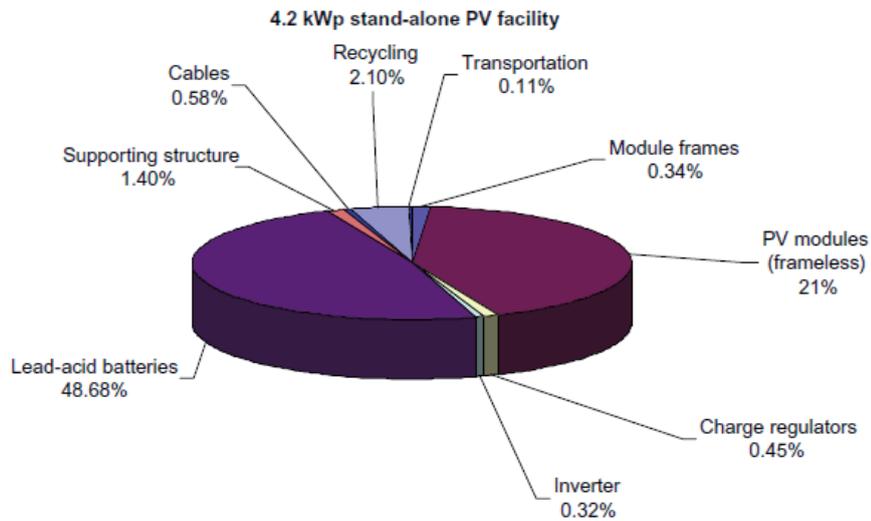


Fig. 9. Distribution of life cycle energy use in the PV facility: embodied energy.

#### ② CO<sub>2</sub> の比較

Diesel generator : (Alsema, 2000b)の文献値を使用。燃料採掘・精錬、燃料輸送 (100km 以上)、燃料燃焼、generator の製造を含む。

Spanish Grid (2006) : スペインの電力グリッド。

Solar Home System (SHS) : インドネシアの平均パフォーマンス 4.2 kWh/m<sup>2</sup>/day から

換算した。

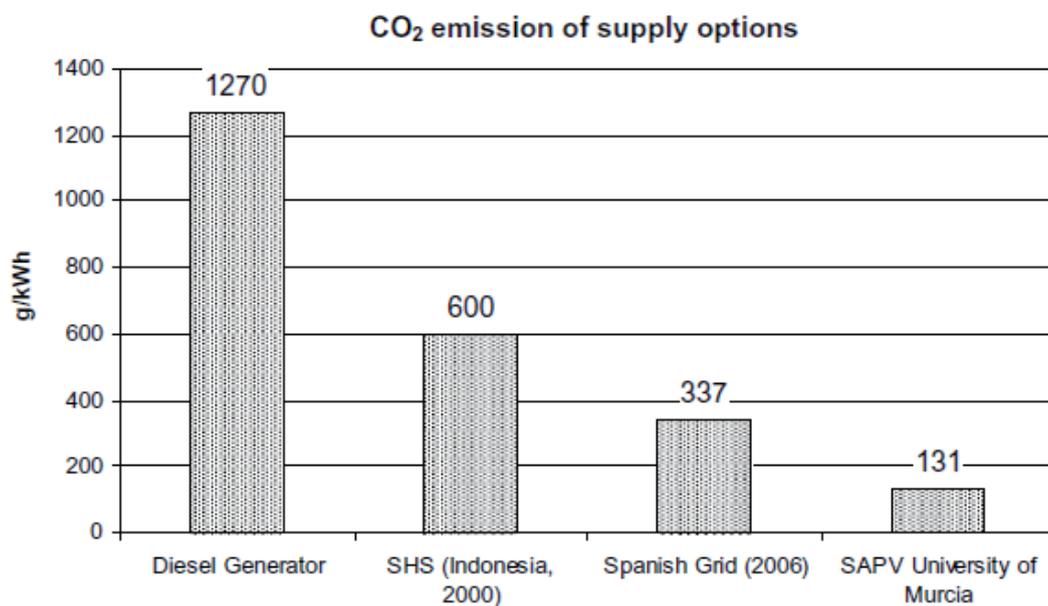


Fig. 10. CO<sub>2</sub> emission per kWh of supplied electricity (assuming a 20-year life time) for different supply options.

### ③ energy pay-back time (EPBT)

Table 9  
EPBT Comparison with other LCA studies of SAPV system.

Source	SAPV system Description	EPBT (years)
Alsema (2000b)	49 W <sub>p</sub> Solar Home System in Indonesia $H_i = 1533 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ , PR = 0.6	10.11
Celik et al. (2008)	12 kW <sub>p</sub> Residential SAPV System in Antalya (Turkey) $H_i = 1733 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ , PR = 0.58	6.2-9.6
Present study <sup>a</sup>	4.2 kW <sub>p</sub> SAPV System in Murcia (Spain) $H_i = 1932 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ , PR = 0.62	9.08

<sup>a</sup> The irradiance and the PR have been estimated from almost 2 years of measured data at the facility each 5 min.

本研究の energy pay-back time は 9.08 年と算定された。

分類	太陽光発電 (9)
タイトル	Life cycle assessment and energy pay-back time of advanced photovoltaic modules: CdTe and CIS compared to poly-Si
著者	Marco Raugei, Silvia Bargigli, Sergio Ulgiati
発表年月	2007年
入手方法	Energy 32 (2007) 1310-1318

主な内容：

1. 評価対象：CIS と CdTe の PV システム (2 種類の薄膜 PV システム)。
2. 比較対象：3 種類 Poly-Si の PV システム (多結晶シリコン PV システム) と UCPTE (ヨーロッパ電力ミックス)。
  - ①Poly-Si A: ワーストケースとして、標準的な文献データ、ETH の研究[1996] を使用
  - ②Poly-Si B: A に比べて、材料とエネルギーがわずかに 30%しか使用しない EG-Si (Electronic Grade Silicon、電子グレードシリコン)。
  - ③Poly-Si C: 最近最先端の研究として Alsema ら (2005) の文献値を使用した。異なる電気混合物で生産された多結晶シリコンを用いる。

3. 特徴：

薄膜技術は、光活性 P/N 接合は 2 つの半導体合成物 CdTe または CuInSe<sub>2</sub> と CdS から成り立つ。この 2 つそれぞれ 10mm と 0.1mm の薄い膜は、真空蒸発プロセス (vacuum vaporization process) で処理した透明なガラスの上に直接組み立てられた。作業は一連のオートメーション化したレーザーと機械のスクライビングプロセスによって行われ、最後は保護ガラスを加えれば、薄膜 PV モジュールが完成。CdTe と CIS モジュールの構造は、図 1 と 2 に示す。表 1~3 はそれぞれモジュールの m<sup>2</sup> 当たり構成素材を示す。

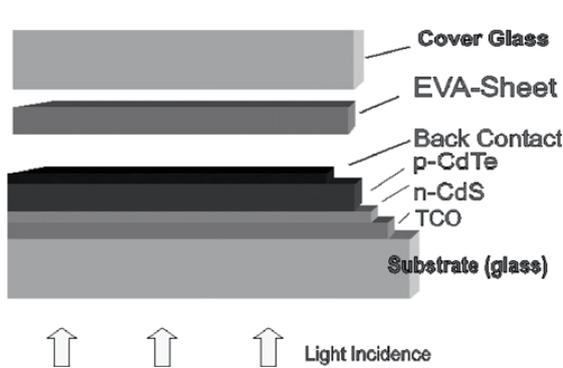


図 1 CdTe PV モジュール

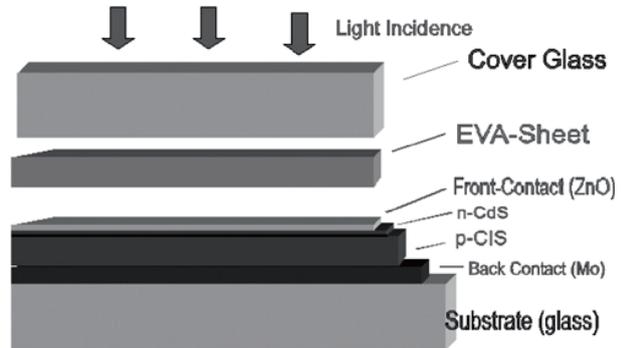


図 2 CIS PV モジュール

**Table 1**  
Inventory of main input flows to the CdTe module manufacturing process

Glass	24,960 g/m <sup>2</sup>
Water	1250 g/m <sup>2</sup>
EVA	630 g/m <sup>2</sup>
{CdTe + CdS + CdCl <sub>2</sub> + Sn + Ni/V + ITO + Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> }	230 g/m <sup>2</sup>
Electricity	236 kWh/m <sup>2</sup>

**Table 2**  
Inventory of main input flows to the CIS module manufacturing process

Glass	24,960 g/m <sup>2</sup>
Water	1250 g/m <sup>2</sup>
EVA	880 g/m <sup>2</sup>
{Mo + Cu + In + Ga + Se + CdS + ZnO + CuSn}	70 g/m <sup>2</sup>
Electricity	24.3 kWh/m <sup>2</sup>

**Table 3**  
Inventory of main input flows to the BOS per square metre of PV module

Al (frame)	1900 g/m <sup>2</sup>
Steel (support structure)	25,000 g/m <sup>2</sup>
Cu (cables and contact boxes)	40 g/m <sup>2</sup>
Plastics (cables and contact boxes)	40 g/m <sup>2</sup>
Fuel oil (for installation)	10.8 MJ/m <sup>2</sup>

注：BOS（balance of system）：PVシステムを構成するモジュール以外の設備

- 影響領域：地球温暖化、酸性化、生態毒性、（計算ソフト CML2）
- データ：製造工場のデータ
- 評価結果：温暖化、酸性化、生態毒性

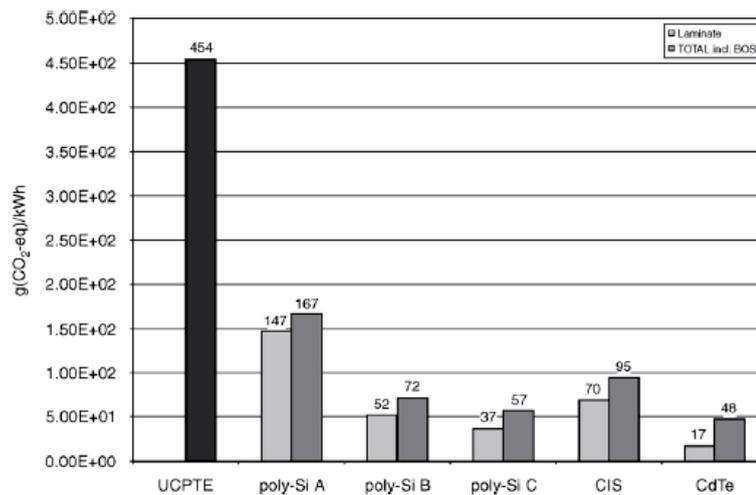


Fig. 8. Global warming potential of PV systems and of the UCPTE electricity mix.

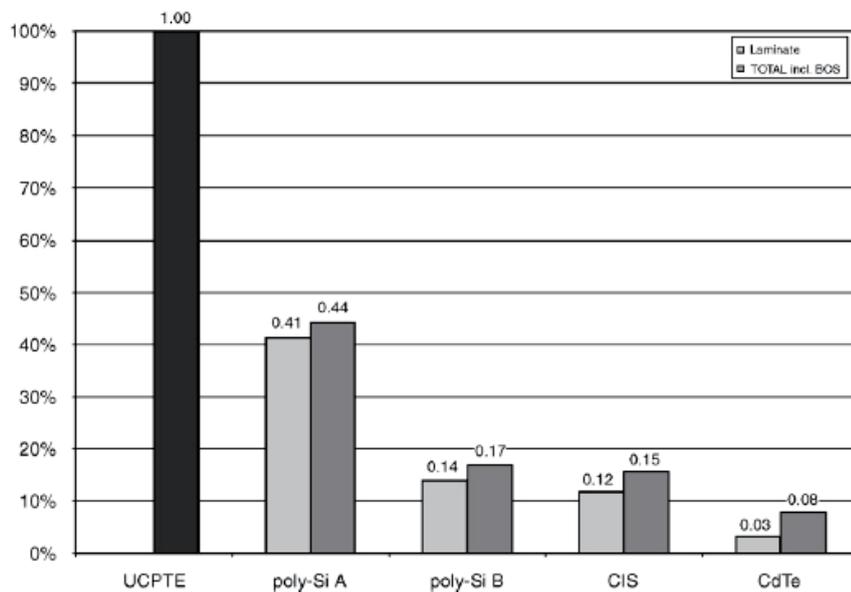


Fig. 9. Acidification Potential of PV systems and of the UCPTe electricity mix (comparison in relative terms).

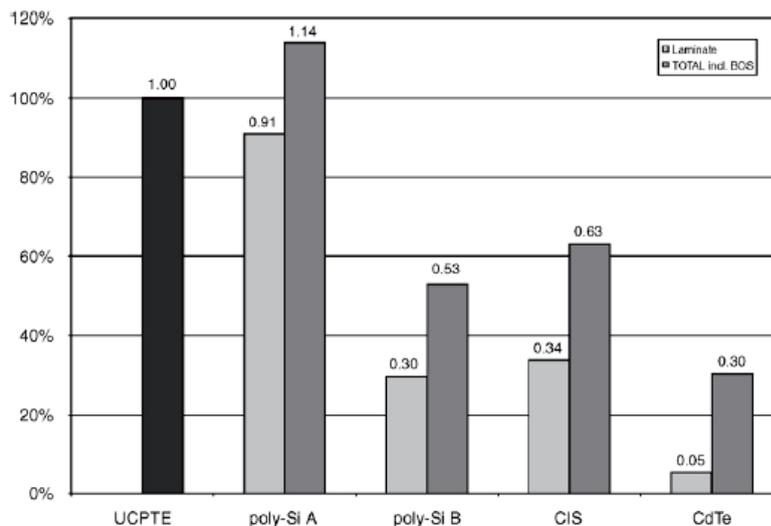


Fig. 10. Freshwater ecotoxicity potential of PV systems and of the UCPTe electricity mix (comparison in relative terms).

薄膜 PV はまだ開発されたばかりの技術にも関わらず、どの影響領域でも最も低い影響を示した。

生態毒性においても低い値となる。その理由は、有害化学物質 Cd は使われるが、CdTe はガラスの中に密封されている。そして、CdTe 自体が非常に安定した物質であり、1700 度の融点を持つ。また計算に使われる Cd 排出量が  $0.06 \mu\text{m/kWh}$  (最悪のケースを想定した場合の排出量)、これは火力発電の  $2\sim 14 \mu\text{m/kWh}$  に比べて、非常に小さい数字となる。

BOS の影響がモジュールより大きい (特に CdTe)。今後改善の余地がある。

薄膜 PV が多くの希少金属を使用するため、戦略的なりサイクルシステムを構築する必要がある。

分類	太陽光発電 (10)
タイトル	Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation
著者	A. Stoppato
発表年月	2008年
入手方法	Energy 33 (2008) 224–232

主な内容

1. 評価対象：多結晶シリコン PV モジュール (polycrystalline silicon)
2. 機能単位：0.65m<sup>2</sup> の太陽光パネル。Wafer thickness は 200 μ m。変換効率は 16%、28 年使用 (3 つの既存文献の平均値)。
3. 評価範囲：

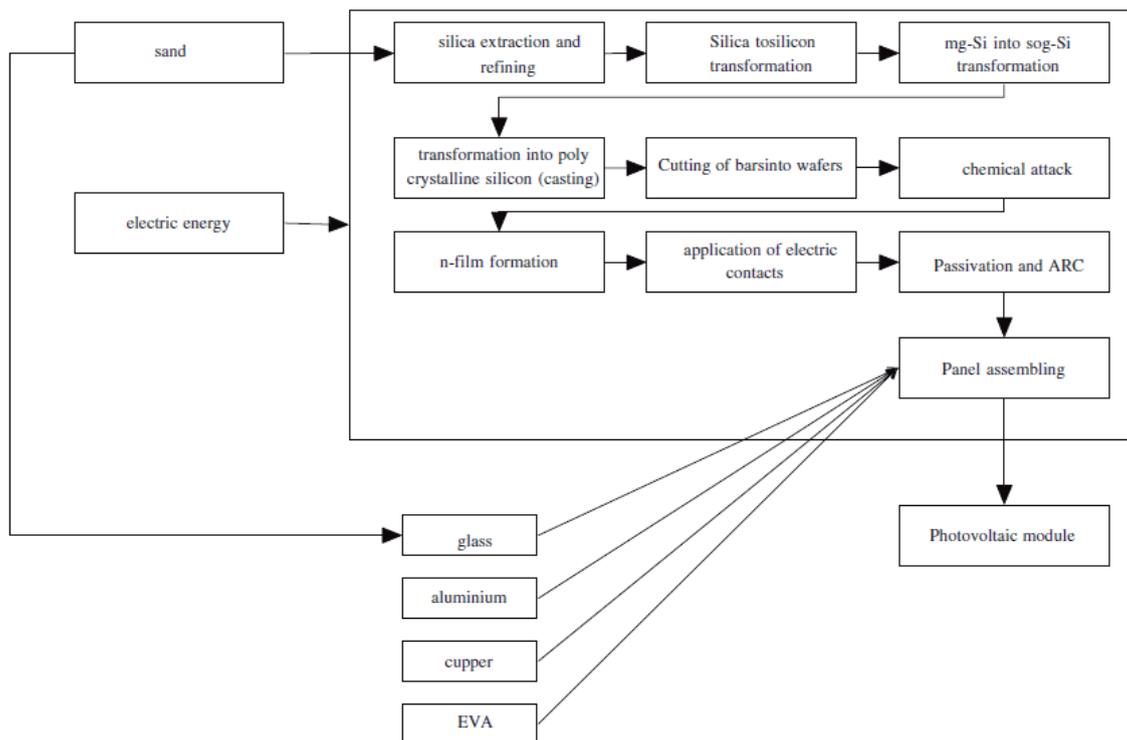


Fig. 1. Schematisation of the production process of a photovoltaic module.

4. データ収集：Boustead データベース (イギリス) を引用。
5. 影響領域：CO<sub>2</sub> とエネルギー消費
6. 評価結果：
  - ① エネルギー消費と CO<sub>2</sub>

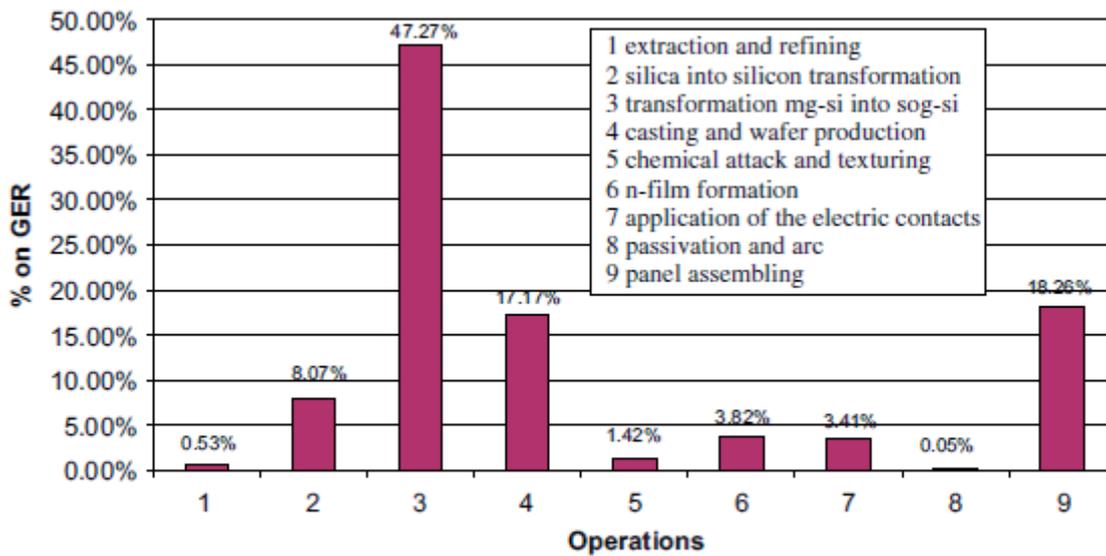


Fig. 2. Contribution of each unit operation to the GER as percentage. Total GER = 1494MJ/panel.

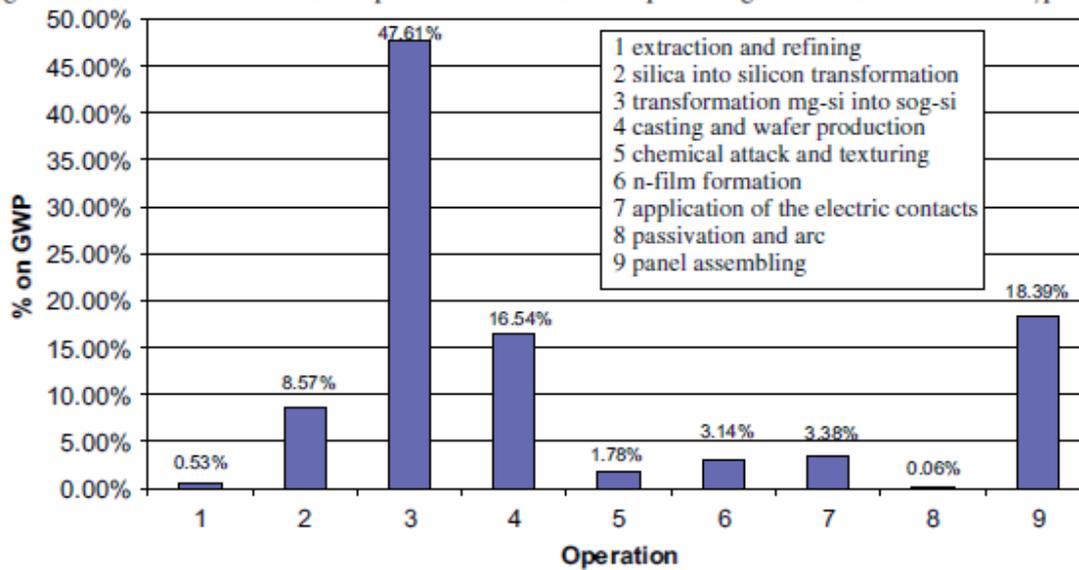


Fig. 3. Contribution of each unit operation to the GWP as percentage of total GWP = 80kgCO<sub>2</sub>/panel.

エネルギー消費について、フェース 3 と 9 の影響が最も大きい。

前者は、殆ど電力消費由来である。

後者はアルミニウムフレームとガラスの屋根ふき材などのエネルギー消費量が大きいためである。(内訳：アルミニウムフレームは 22.3%、ガラスの屋根ふき材は 23%、電気使用は 15.6%、その他は 39%)。

② pay back time

将来予測の設定：

wafer thickness : 2004 年 300 μ m、2010 年 200 μ m、2020 年 150 μ m

変換効率：2004年14%、2010年17%、2020年18%。

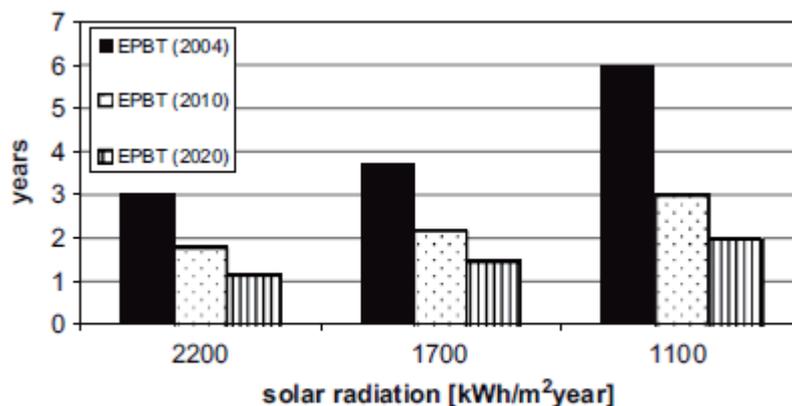


Fig. 4. EPBT evolution for different solar radiation values.

結論：PV パネル単位当たりのエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量が、1494MJ/panel (0.65m<sup>2</sup> surface) と 80 kg となった。

(この研究は既存研究との比較は行っていません)

#### 太陽電池の CO<sub>2</sub> 排出量の総まとめ

CO<sub>2</sub> (発電原単位)

	種類	発電効率	年間太陽輻射量	寿命	原単位
		%	kWh/(m <sup>2</sup> · y)	year	g-CO <sub>2</sub> /kWh
R. Kannan ら	polysilicon	7.3-10.6	1635	25	68-217
H. Hondo	polysilicon	10	1200	30	53
A. Inaba ら	polysilicon	10	1200	30	187
C.Koroneos ら	Mult Silicon	13	1797	30	50-60
R. G.Valverde ら	単結晶 Silicon	?	?	20	131
加藤智哉ら	DSC	10-15	1200	30	84-393
A. Hagfeldt ら	DSC	7-12	2190	20	11-47
M. Raugei ら	薄膜 PV	9-11	1700	20	48-85

タイトル	マイクロ燃料電池の環境優位性評価																								
著者	胡 勝治, 鈴木重治 富士通研究所																								
発表年月	2005年12月																								
入手方法	第1回日本LCA学会研究発表会講演要旨集(2005年12月)																								
<p>主な内容</p> <p>本研究ではマイクロ燃料電池のLCCO<sub>2</sub>を定量化した。</p> <p>評価対象：マイクロ燃料電池</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料：30%メタノール水溶液</li> <li>・燃料補給：カートリッジ交換（18CC）</li> <li>・本体重量：290g</li> </ul> <p>機能単位：10kWhを提供する。</p> <p>システム境界：素材、製造、使用、廃棄</p> <p>評価結果①：カートリッジの負荷が大きいことが分かった。</p> <div style="text-align: center;"> <p>図2 燃料電池の環境負荷の内訳</p> </div> <p>評価結果②：</p> <p>メタノール濃度の向上及びリサイクルは、カートリッジの負荷を効率よく削減できることが分かった。</p> <div style="text-align: center;"> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>排出量 (kg-CO<sub>2</sub>)</caption> <thead> <tr> <th>燃料電池</th> <th>メタノール濃度 (%)</th> <th>リサイクル数</th> <th>CO<sub>2</sub>排出量 (kg-CO<sub>2</sub>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>30%</td> <td>0回</td> <td>~110</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>100%</td> <td>0回</td> <td>~45</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>100%</td> <td>5回</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>100%</td> <td>10回</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>アルカリ乾電池</td> <td>-</td> <td>カートリッジ</td> <td>~280</td> </tr> </tbody> </table> </div>		燃料電池	メタノール濃度 (%)	リサイクル数	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )	1	30%	0回	~110	2	100%	0回	~45	3	100%	5回	~15	4	100%	10回	~10	アルカリ乾電池	-	カートリッジ	~280
燃料電池	メタノール濃度 (%)	リサイクル数	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )																						
1	30%	0回	~110																						
2	100%	0回	~45																						
3	100%	5回	~15																						
4	100%	10回	~10																						
アルカリ乾電池	-	カートリッジ	~280																						

タイトル	定置用燃料電池システムのライフサイクル評価
著者	みずほ情報総研
発表年月	2008年3月
入手方法	平成19年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構 委託業務成果報告書
<p>主な内容</p> <p>本調査では、家庭用の定置用燃料電池システムのライフサイクル評価について、現在国内で大規模実証の段階にある固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC) を対象とした評価を実施した。また、得られた結果をガス給湯器と比較する。</p> <p>評価物質 : CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>及びエネルギー消費量。</p> <p>機能単位 : 全国平均1世帯10年間の電力及び給湯サービスの供給。給湯器と燃料電池システムを各一台使用。</p>	
<p>図 2.1.1-1 定置用燃料電池システムの部品構成</p>	
<p>評価結果 :</p>	

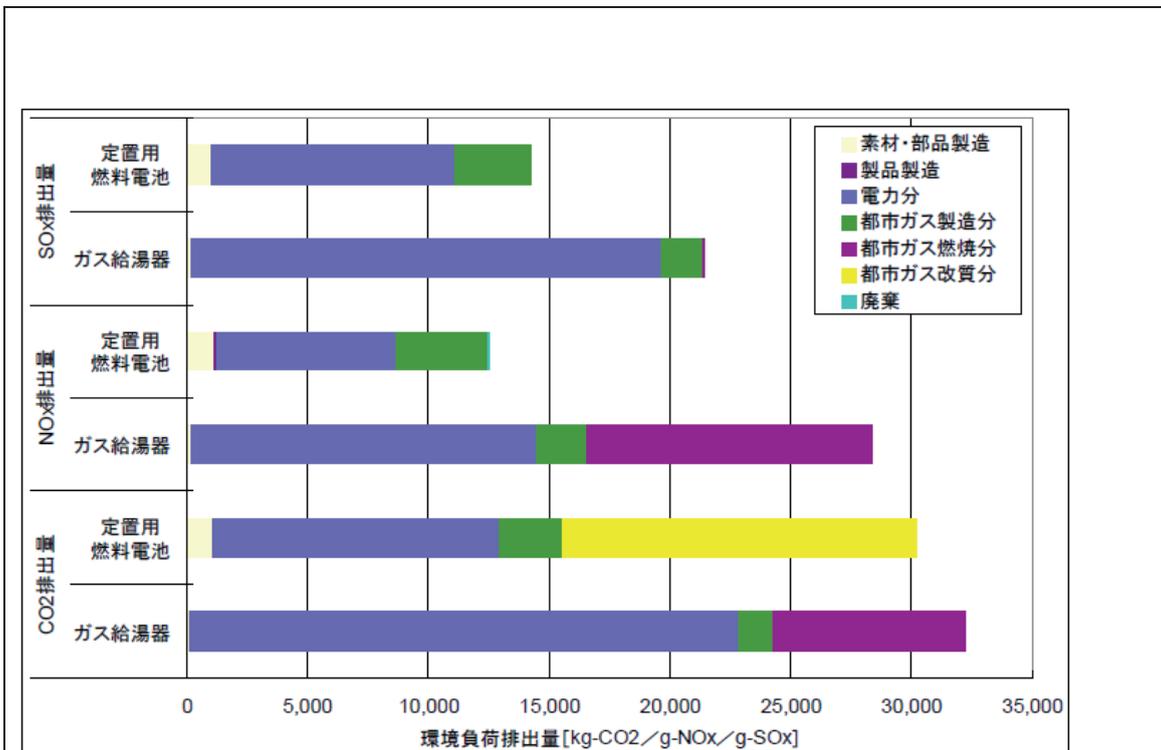


図 4.4-1 定置用燃料電池とガス給湯器のライフサイクルにおける環境負荷量の比較

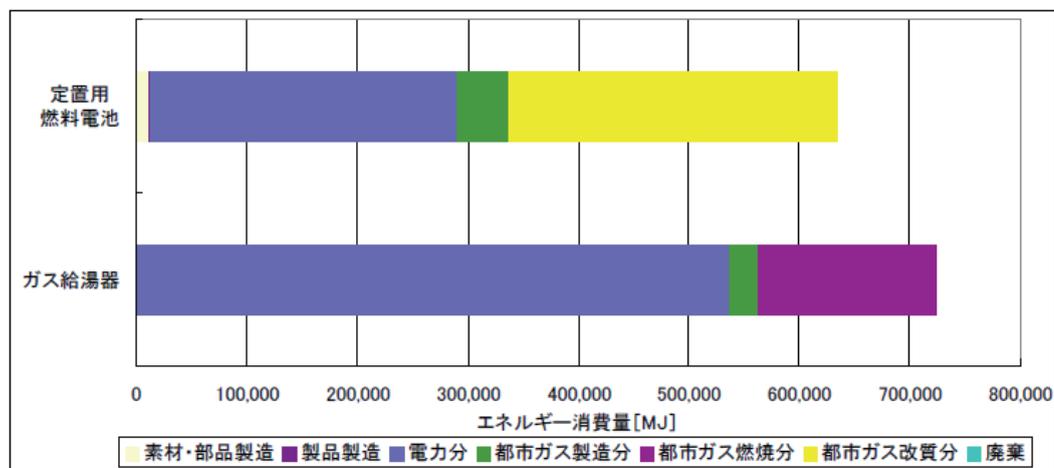


図 4.4-2 定置用燃料電池とガス給湯器のライフサイクルにおけるエネルギー消費量の比較

- ①燃料電池の製造時の負荷が大きいが、使用段階の環境負荷削減に寄与することによって、全体では燃料電池のほうがガス給湯器より低い結果となった。
- ②燃料電池のCO2排出量の場合、ガス改質による影響が大きかった。将来的には、純水素型燃料電池とオフサイト水素製造・二酸化炭素貯蔵の組み合わせなど、社会インフラの形態も含めたより広い範囲での検討を行っていくことが必要と考えられる。

分類	燃料電池自動車の LCA
タイトル	燃料電池自動車の普及に関連する技術に対するライフサイクル影響評価等に関する調査
著者	NEDO 委託先 : みずほ情報総研株式会社
発表年月	2005 年 10 月
入手方法	NEDO 平成 16-17 年度報告書 (番号 100008650) <a href="http://www.tech.nedo.go.jp/PDF/100008650.pdf">http://www.tech.nedo.go.jp/PDF/100008650.pdf</a>

- ①目的 : 燃料電池車の環境優位性の検証。
- ②評価対象 : ハイブリッド型乗用車 (1,500 cc、5 人乗り)、固体高分子形燃料電池、燃料電池出力 75 kW、燃料は水素。
- ③システム境界 : 自動車製造 + 走行段階
- ④機能単位 : FCV1 台、GV (1,500 cc) 1 台、10 万キロ走行
- ⑤影響項目 : CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>
- ⑥結果 :
  - CO<sub>2</sub> はほぼ同等が、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> は FCV が大きい。

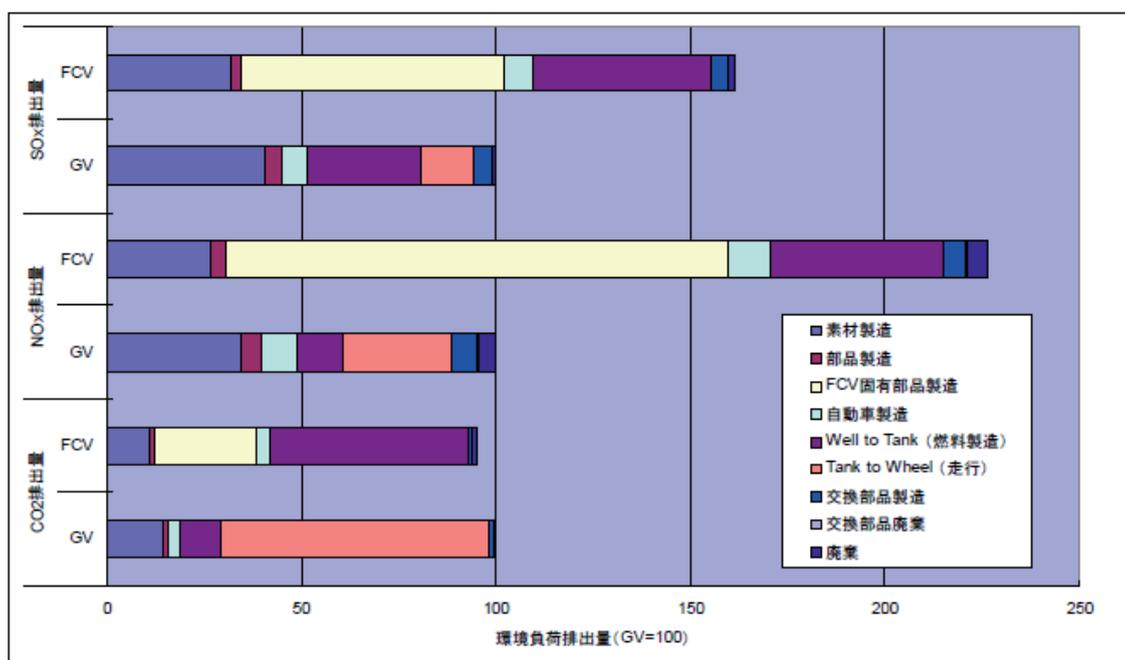
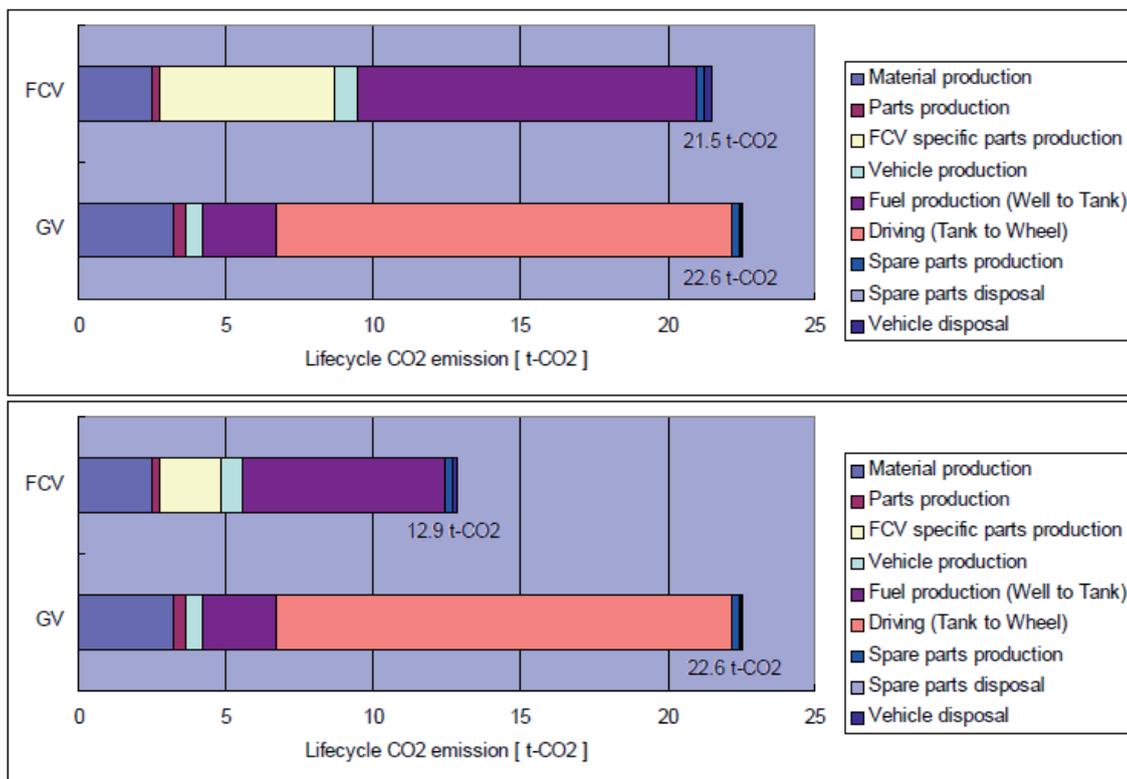


図 比較 (GV を 100 とした場合)

➤ 改善ケースでは、FCV が GV より有利

改善ケースの主な改善点：

- 触媒の白金がバージン材の代わりに再生材を使用
- 燃費が 11.1 km/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>→16.6 km/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>
- 都市ガス改質効率が 70%→80%
- カーボン樹脂セパレータ、厚さ 0.25mm/枚→導電性金属析出物を分散させたステンレスセパレータ、厚さ 0.05 mm/枚



⑦まとめ：燃料電池自動車の環境優位性は、改善ケースに挙げたような技術更新、エコ材料の導入が必要。

分類	燃料電池自動車
タイトル	日本における輸送用燃料製造（Well-to-Tank）を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書
著者	トヨタ自動車 委託先：みずほ情報総研
発表年月	2004年11月
入手方法	みずほ情報総研 WEB サイト <a href="http://www.mizuho-ir.co.jp/newsrelease/wtw041129.html">http://www.mizuho-ir.co.jp/newsrelease/wtw041129.html</a>

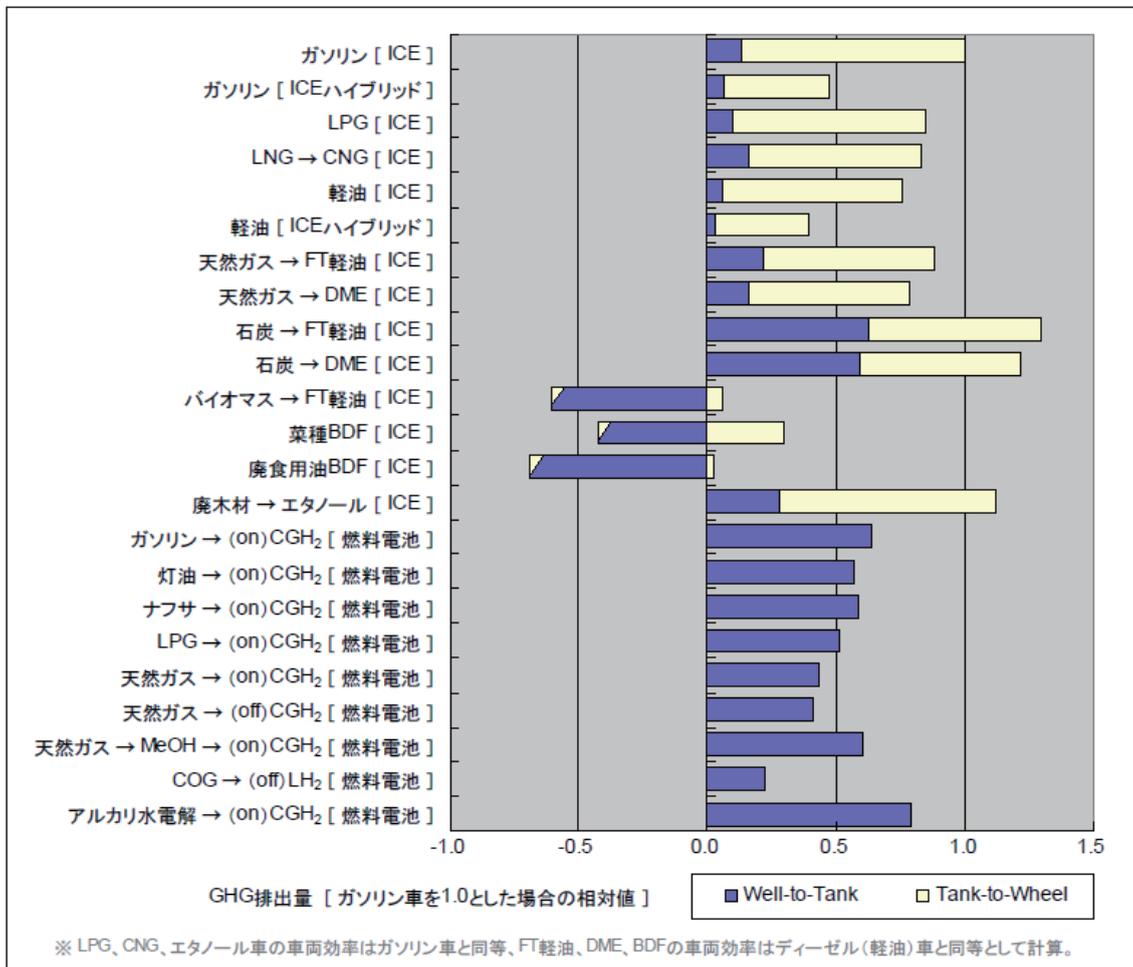
- ①目的：各種燃料製造パスの GHG 及びエネルギー消費量を整理する
- ②評価対象：石油起源燃料、天然ガス起源燃料、石炭起源燃料、バイオマス資源関連燃料、電力由来燃料、副生水素
- ③システム境界：燃料製造＋走行（自動車の製造含めない）
- ④機能単位：セダン型、10・15 モード走行、各車種の燃費は以下のように設定した。（ガソリン車の燃費を 1 とした場合）

代表パワートレーン車	燃費 <sup>1</sup> (対ベース比)
ガソリン車	1.00 (ベース)
ガソリンハイブリッド車	2.31
LPG 車	1.00
天然ガス車	1.00
ディーゼル車	1.25
ディーゼルハイブリッド車	2.44 <sup>2</sup>
燃料電池車	3.75 <sup>3</sup>

⑤影響項目：CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、エネルギー消費量

⑥結果：

- ハイブリッド車の優位性が顕著
- FT 軽油、DME 等の合成燃料や水素は、Well-to-Tank での温室効果ガス排出量のばらつきは大きい。
- バイオマス起源燃料は優位性がある。
- 天然ガス起源の水素はハイブリッド車と同等の効果を挙げ、今後 CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術等の動向によって更なる GHG 低減が期待できる。



⑦まとめ：水素製造のGHGはガソリンより大きいですが、使用時を考慮すると燃料電池車がガソリン車より平均5割小さくなっている。しかし、これは燃料電池及び自動車の製造が考慮しない場合の結果である。

分類	その他燃料電池
タイトル	マイクロ燃料電池の環境優位性評価
著者	胡 勝治, 鈴木重治 富士通研究所
発表年月	2005年12月
入手方法	第1回日本LCA学会研究発表会講演要旨集(2005年12月)

本研究ではマイクロ燃料電池のLCCO<sub>2</sub>を定量化した。

評価対象：マイクロ燃料電池

- ・燃料：30%メタノール水溶液
- ・燃料補給：カートリッジ交換（18CC）
- ・本体重量：290g

機能単位：10kWhを提供する。

システム境界：素材、製造、使用、廃棄

評価結果①：合計重量は約120 kg-CO<sub>2</sub>。また、カートリッジの負荷が大きいことが分かった。

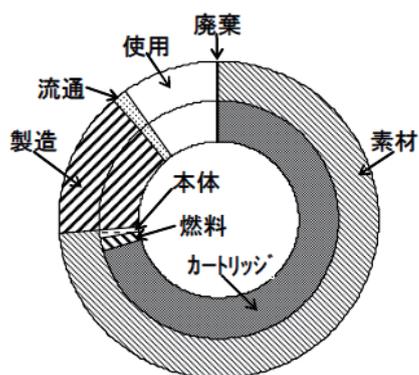
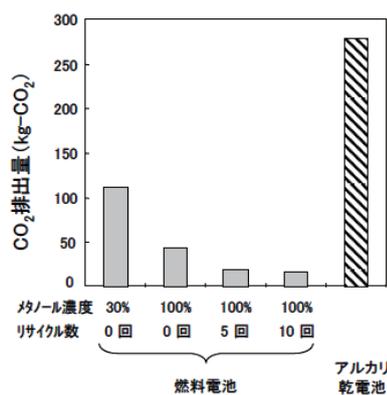


図2 燃料電池の環境負荷の内訳



評価結果②：

メタノール濃度の向上及びリサイクルは、カートリッジの負荷を効率よく削減できることが分かった。

分類	その他燃料電池
タイトル	A comparative study on life cycle analysis of molten carbon fuel cells and diesel engines for marine application
著者	Selim Alkaner , Peilin Zhou
発表年月	2006年
入手方法	Journal of Power Sources 158 (2006) 188–199

主な内容 :

1. 評価対象 : 客フェリーの補助動力としての熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)。比較対象はディーゼルエンジン (DE)
2. 機能単位 : 20年間使用 (DE 寿命 20年、MCFC 寿命 5年)。  
 DE の燃料 : low sulphur fuel oil (LSFO)  
 MCFC の燃料 : low sulphur car diesel fuel (S < 10 ppm)、改質効率 85%
3. 評価範囲 : 製造、使用、リサイクル

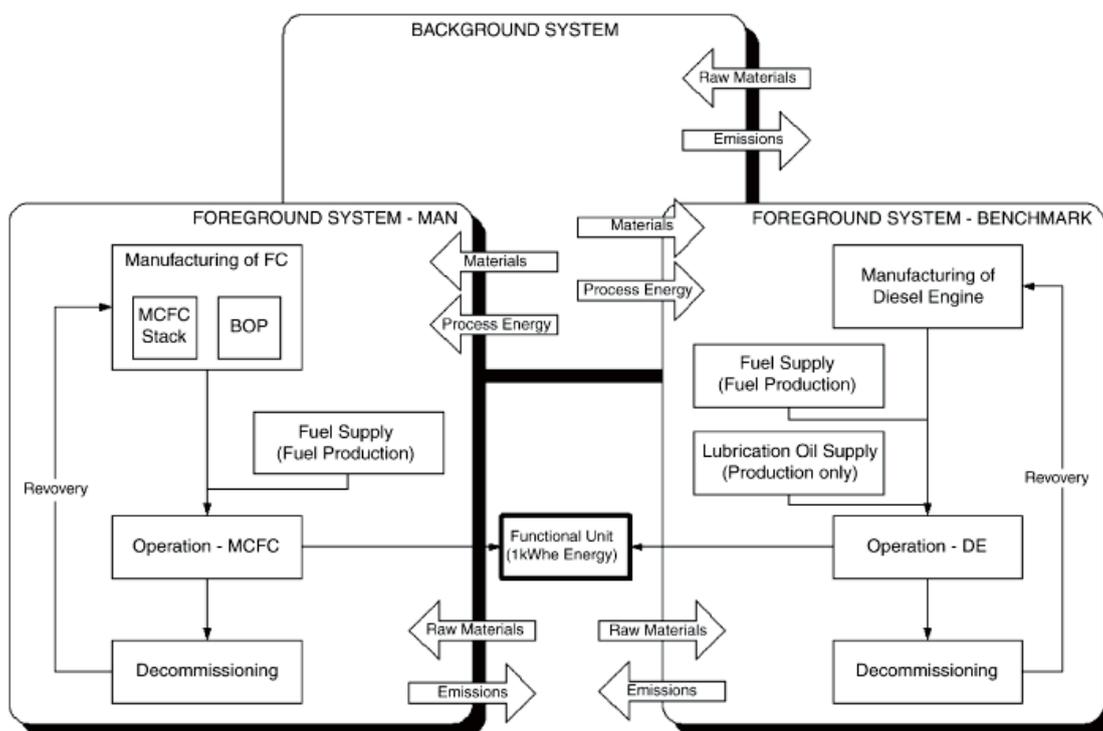


Fig. 2. System boundaries of the LCA study.

4. 影響領域 : 地球温暖化、酸性化、光化学オキシダント、人間毒性。(EI-95 による統合

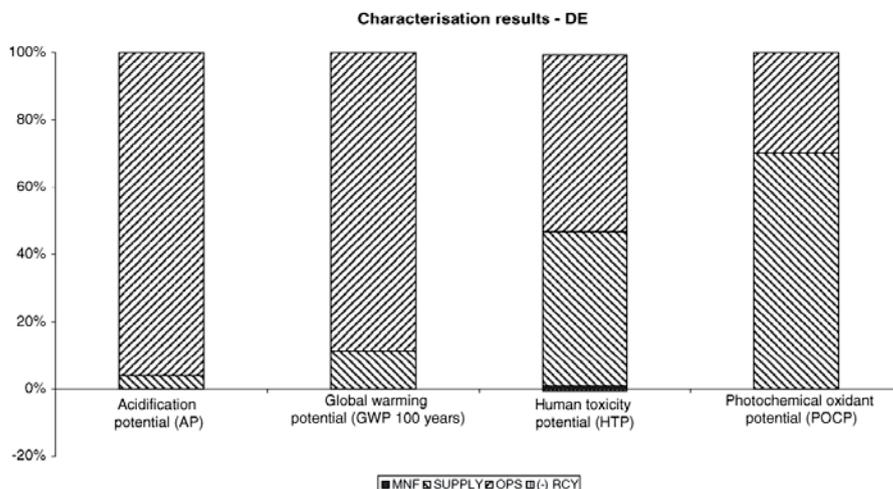
化を実施)

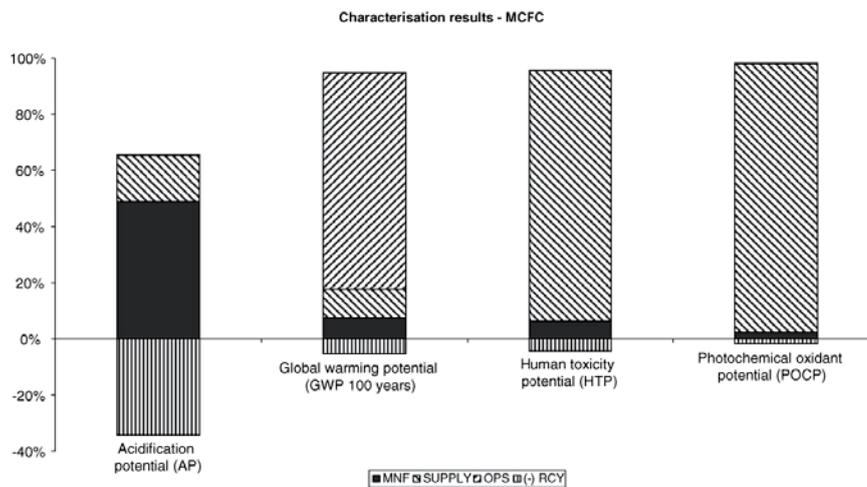
5. 評価結果

- ① DE と MCFC のプロセス別の特性化結果を示す。オペレーション段階は、両電池とも温暖化影響が大きかった。燃料供給段階は光化学オキシダントの影響が大きかった。製造段階は、MCFC が DE に比べて多くのNO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> が排出されるため、酸性化の影響が大きかった。リサイクル段階では、MCFC の削減効果が大きかった。(MCFC の素材を 90%リサイクルされると仮定、close loop)

Table 9  
Total life cycle emissions and environmental quantities for DE and MCFC for functional unit

Substance	DE (operating life = 120,000 h)					MCFC (operating life = 174,000 h)						
	Mnf	F.Supl	Oper.	Recycl.	Total	Mnf-stack	Mnf-BOP	Mnf-total	F.Supl	Oper	Recycl	Total
Electric energy (MJ)	1.341E-03	2.083E-01	-	-8.425E-04	1.792E-01	3.306E-02	8.082E-03	4.114E-02	3.373E-01	0.000E+00	-3.041E-02	3.480E-01
CO <sub>2</sub> (kg)	4.453E-04	6.859E-02	6.150E-01	-2.955E-04	6.227E-01	8.395E-02	2.866E-03	8.682E-02	1.010E-01	9.138E-01	-6.135E-02	1.040E+00
CO (kg)	2.356E-06	1.187E-04	1.436E-03	-1.792E-06	1.133E-03	5.920E-04	9.768E-06	6.018E-04	1.891E-04	4.608E-05	-4.232E-04	4.138E-04
NO <sub>x</sub> (kg)	2.186E-06	3.527E-04	1.106E-02	-4.749E-07	1.139E-02	2.210E-05	9.169E-06	3.127E-05	5.626E-04	2.314E-05	-2.372E-05	5.932E-04
SO <sub>2</sub> (kg)	1.082E-06	1.645E-04	2.367E-03	-6.288E-07	1.206E-03	1.871E-03	1.851E-05	1.890E-03	2.451E-04	0.000E+00	-1.327E-03	8.084E-04
NMVOC (kg)	N/A	1.360E-03	4.462E-04	-1.021E-07	N/A	N/A	N/A	N/A	2.201E-03	7.323E-07	N/A!	2.202E-03
CH <sub>4</sub> (kg)	1.441E-06	5.453E-04	4.656E-04	-1.031E-06	9.878E-04	2.873E-05	4.921E-06	3.365E-05	8.829E-04	1.160E-04	-2.454E-05	1.008E-03
Acidification potential (AP) (kg SO <sub>2</sub> equiv.)	2.628E-06	4.146E-04	1.011E-02	-9.752E-07	9.176E-03	1.895E-03	2.492E-05	1.920E-03	6.439E-04	1.620E-05	-1.349E-03	1.231E-03
Global warming potential (GWP 100 years) (kg CO <sub>2</sub> equiv.)	4.761E-04	8.074E-02	6.248E-01	-3.175E-04	6.435E-01	8.516E-02	3.179E-03	8.834E-02	1.207E-01	9.163E-01	-6.247E-02	1.063E+00
Human toxicity potential (HTP) (kg DCB equiv.)	5.195E-05	2.834E-03	3.254E-03	-5.339E-05	5.923E-03	3.055E-04	2.987E-06	3.085E-04	4.439E-03	6.016E-06	-2.166E-04	4.537E-03
Photochemical oxidant potential (POCP) (kg ethene equiv.)	2.022E-07	5.686E-04	2.406E-04	-1.139E-07	7.928E-04	2.219E-05	1.223E-06	2.341E-05	9.201E-04	2.776E-06	-1.663E-05	9.296E-04





②統合化結果を示す。DE のオペレーション段階の影響が大きい、温暖化と酸性化の影響が大きく寄与している。一方、MCFC は製造段階の影響が大きかった。MCFC がより多くの燃料が消費するため、燃料提供段階の影響も大きかった。

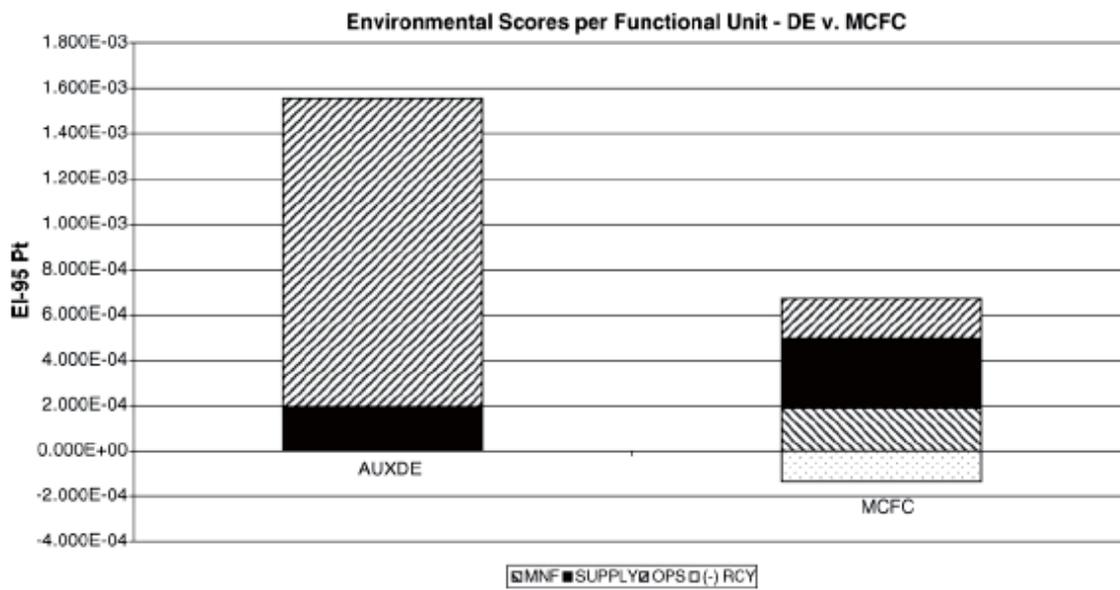


Fig. 6. Environmental scores (EI-95) per functional unit.

分類	その他燃料電池
タイトル	A preliminary life cycle assessment of PEM fuel cell powered automobiles
著者	M.M. Hussain , I. Dincer , X. Li
発表年月	2007年
入手方法	Applied Thermal Engineering 27 (2007) 2294–2299

主な内容

1. 評価対象 :
  - ①PEM 燃料電池車 (天然ガス改質)
  - ②ICE 車 (ガソリン)
2. データ : 既存文献から引用したもの
3. 機能単位 : 300000km 走行、廃棄処理は shredded+埋め立て
4. 影響領域 : GHG、エネルギー消費
5. 評価結果
  - ① 燃料製造時

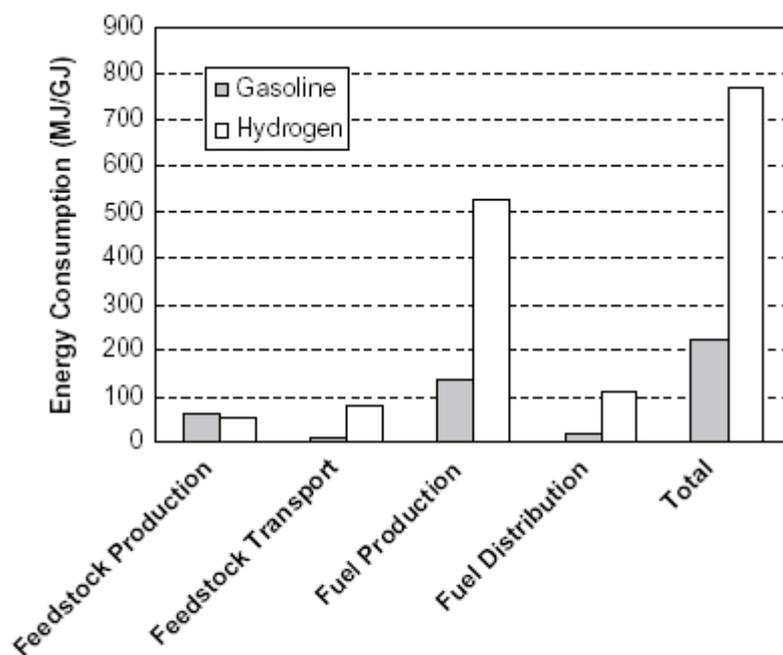


Fig. 2. Energy consumption during fuel cycles, using actual data from [3,11,12].

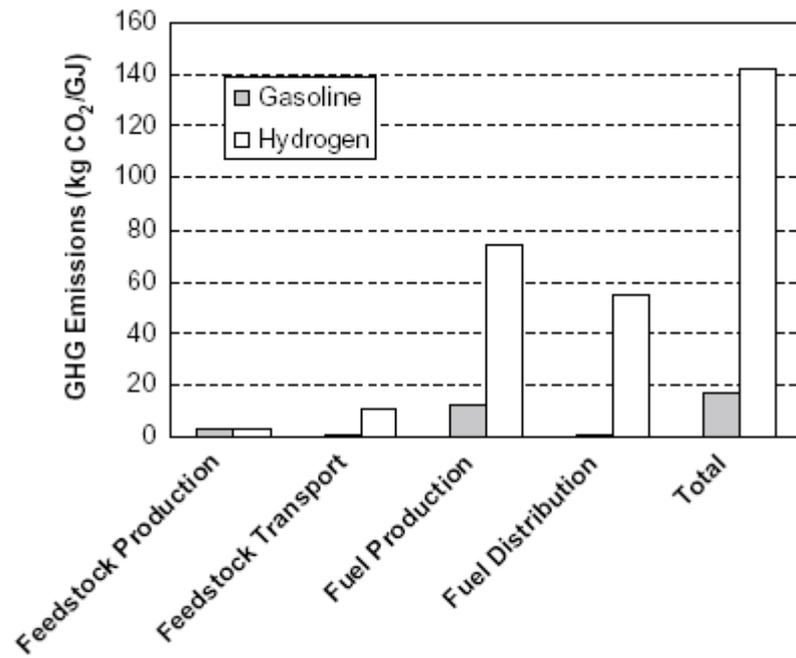


Fig. 3. Greenhouse gases emissions during fuel cycles, using actual data from [3,11,12].

② ライフサイクルの評価結果

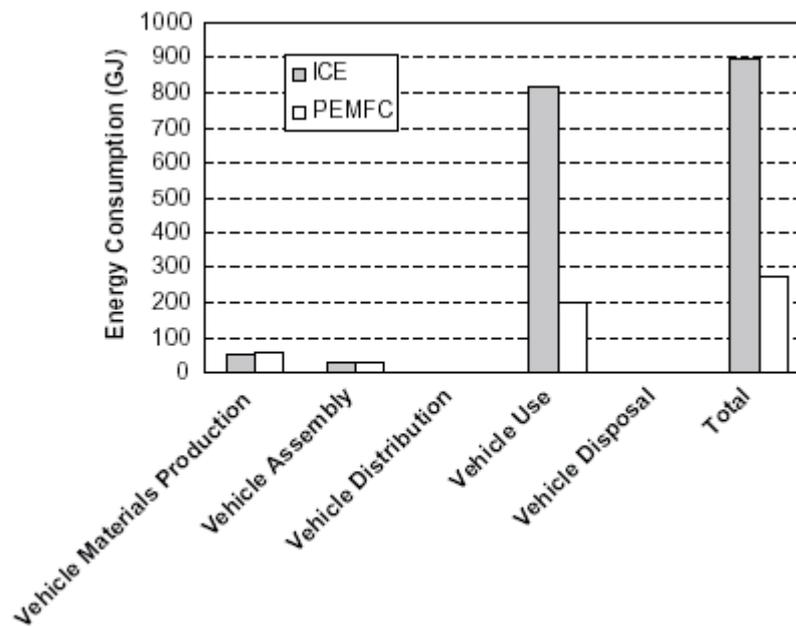


Fig. 4. Energy consumption during vehicle cycles, using actual data from [3,8].

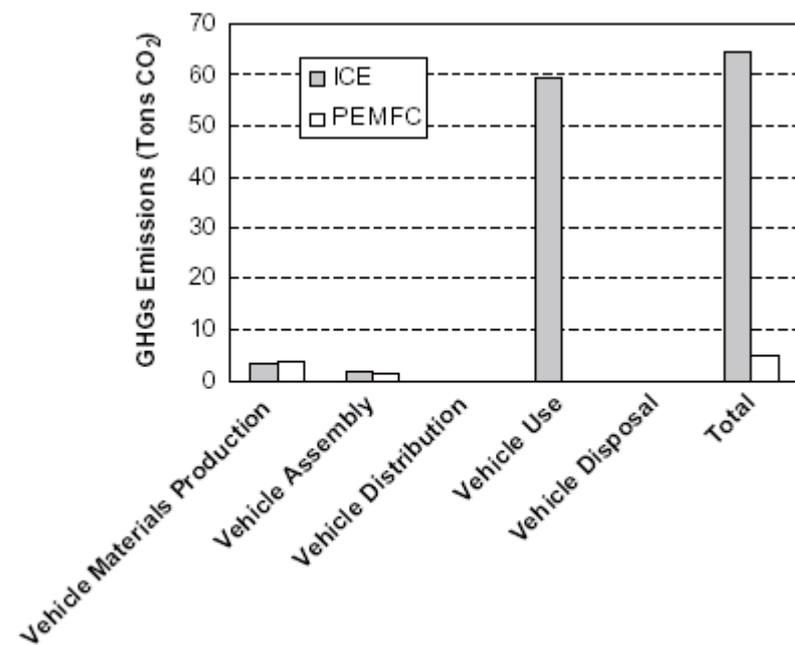


Fig. 5. GHGs emissions during vehicle cycles, using actual data from [3,8].

まとめ：水素を製造するのにかけたエネルギーはガソリンより 3.5 倍大きいですが、車ライフサイクル全体を見ると、ICE 車のエネルギー消費量が PEM 燃料電池車より 2.3 倍大きい。一方、CO<sub>2</sub> においては、水素製造ではガソリンより 8.5 倍も高いが、ライフサイクルでは 2.6 倍小さくなる。

分類	その他燃料電池
タイトル	Assessing Future Energy and Transport Systems: The Case of Fuel Cells
著者	Martin Pehnt
発表年月	2003年
入手方法	Int J LCA 8 (6) 365 – 378

主な内容

1. 評価対象 :

- ① 車用燃料電池 (天然ガス改質、polymer electrolyte membrane fuel cell (PEFC))
- ② 定置型燃料電池 (PEFC、ガスタービン、SOFC (solid oxide fuel cell))

2. 燃料電池車の評価結果

PEFC 燃料電池、白金 75%リサイクルと設定した場合

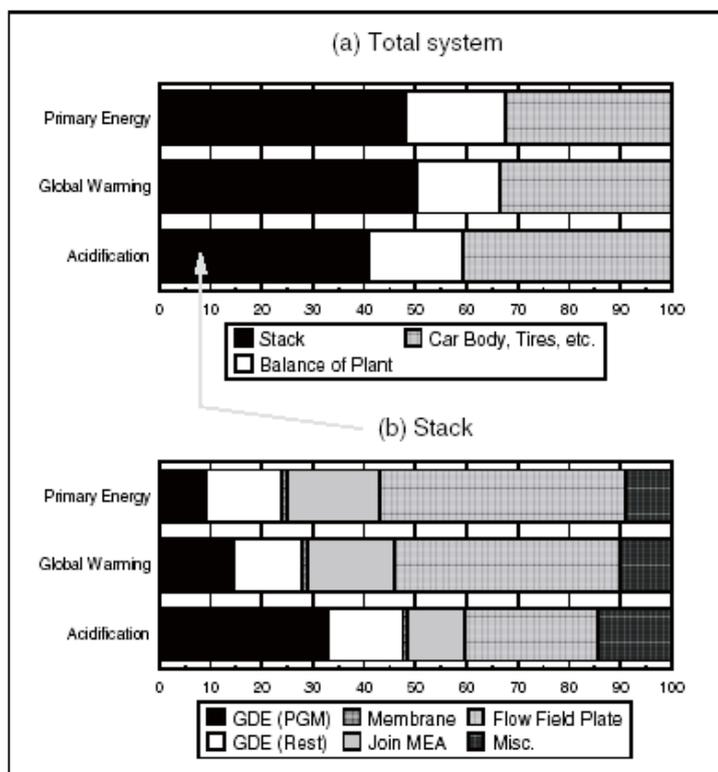


Fig. 4: Production of a fuel cell vehicle based on methanol: Contribution of components to primary energy (non-renewable), global warming and acidification. Assumption: 75% platinum group metals (PGM) recycling

### 3. 定置型燃料電池の評価結果

#### ① 評価シナリオ

Table 3: Efficiencies (averaged over life time) and emissions of the assessed electricity production systems

	Power (kW <sub>el</sub> )	Electrical efficiency (%)	Thermal efficiency (%)	Emissions	Remark
PEFC	200	41	37	From PAFC operation	Determined by system simulation for district heating application
Engine CHP	200	32	60	1/3 old TA Luft (CO, NO <sub>x</sub> ) (German legislation) and empirical data	Determined from modern operating engine CHPs and (Ifeu 1999, IKARUS 1994, Stein 1998)
SOFC (industrial cogeneration)	3000	57	23	From PAFC operation	Hybrid system with gas turbine
Gas turbine	3000	39	36 *	Low-NO <sub>x</sub> combustion chamber	Determined from modern operating gas turbines and (GEMIS 2001, Heinisch and Trumpf 1998, Hella_KG 1999)
SOFC (no cogeneration)	20.000	65	-	From PAFC operation	Hybrid system with gas turbine
Gas Combined Cycle (CC)	600.000	58	-	Empirical data	Determined from modern operating CC power plants and (Dones, Gantner 1996, Neubrandenburg 1999).
Future German electricity mix 2010					Scenario based on (Prognos 1998)

Efficiencies based on LHV. \* Heat output as process steam

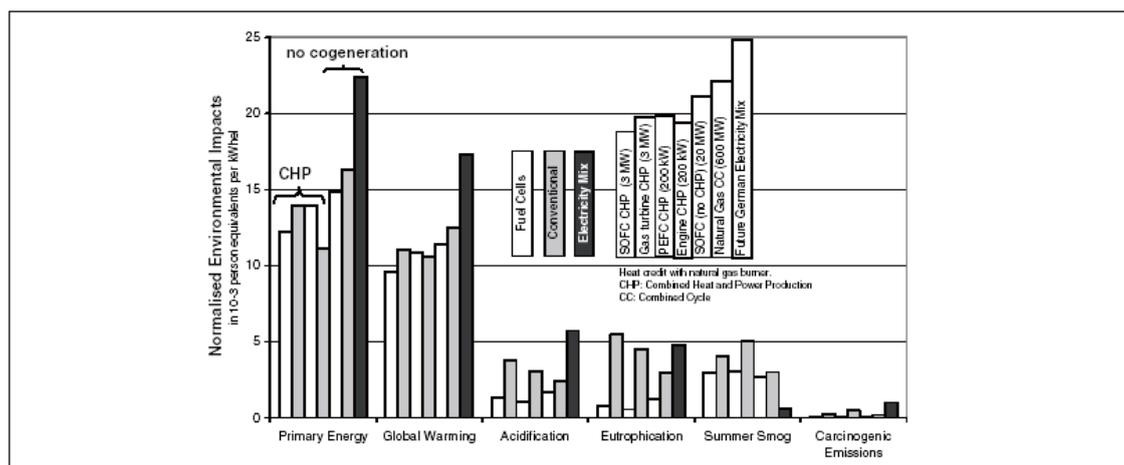


Fig. 5: Normalised results of LCAs of different electricity generating systems (non-renewable fuels) for various impact categories (functional unit: 1 kWh<sub>el</sub>). If heat is co-produced it is credited with a modern natural gas burner ('avoided burden'). All data is normalised to person equivalents by dividing the impacts by the average daily per capita impact in Germany. (10 x 10<sup>-3</sup> person equivalents equal 4.93 MJ primary energy (non-renewable); 361 g CO<sub>2</sub> eq.; 1.46 g SO<sub>2</sub> eq.; 0.153 g PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> eq.; 0.625 g NMHC; 2.54 e-6 g Unit risk factor weighted carcinogenic emissions)

注：CHP (combined heat and power production)

#### ② 結果：

SOFC はほぼ全ての影響項目において、既存技術とドイツの将来電力より低い値となった。

CHP プラントはそうでないプラントよりわずかに有利。

燃料電池プラントは、酸性化、夏スモック、富栄養化において環境影響が低い。それは、例えば、SOFC の NO<sub>x</sub> 排出量はガスタービンに比べて、3 割すくない。

今後熱効率の向上は更に環境負荷の低減に寄与する。

分類	その他燃料電池
タイトル	Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies: A 25-year life cycle and fleet impact assessment
著者	Andreas Schafer, John B. Heywood, Malcolm A. Weiss
発表年月	2006年
入手方法	Energy 31 (2006) 2064-2087

主な内容

1. 評価対象 : 2020年のガソリン車4車種、ディーゼル車②車種、燃料電池車4車種。各車種の詳細データは既存文献を参考したうえで設定した。(表3)

Table 3  
Characteristics of the powertrain-vehicle combinations examined in this study

Abbreviation:	Reference REFV <sub>G</sub>	Evolving EBLV <sub>G</sub>	Advanced AV <sub>G</sub>	Advanced HICEV <sub>G</sub>	Advanced AV <sub>D</sub>	Advanced HICEV <sub>D</sub>	Advanced FCV <sub>G</sub>	Advanced HFCV <sub>G</sub>	Advanced FCV <sub>H2</sub>	Advanced HFCV <sub>H2</sub>
Fuel Year	Gasoline 2001	Gasoline 2020	Gasoline 2020	Gasoline 2020	Diesel 2020	Diesel 2020	Gasoline 2020	Gasoline 2020	Hydrogen 2020	Hydrogen 2020
Drivetrain/engine	Mechanical	Mechanical	Mechanical	ICE-Hybrid	Mechanical	ICE-Hybrid	FC-Electric	FC-Hybrid	FC-Electric	FC-Hybrid
Displacement (L)	2.5	1.8	1.7	1.1	1.8	1.2				
No. cylinders	6	4	3	3	3	3				
Max. engine/motor power (kW)	110	93	85	86	89	89	120	103	105	95
Fuel cell system power (kW)							120	69	105	63
Transmission	Auto-Clutch	Auto-Clutch	Auto-Clutch	CVT	Auto-Clutch	CVT	Single-St.	Single-St.	Single-St.	Single-St.
Vehicle glider										
Tire rolling res. coefficient	0.009	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Aerodynamic drag coefficient	0.33	0.27	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Frontal area (m <sup>2</sup> )	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Vehicle empty mass (kg)	1322	1109	998	1019	1050	1055	1462	1238	1259	1132
By component										
Body, filled	657	616	540	540	540	540	520	520	520	520
Closed body structure	418	359	282	282	282	282	282	282	282	282
Chassis	273	229	206	210	217	218	302	256	260	234
Power train	341	231	223	248	267	278	615	441	399	309
ICE/FC system & motor	164	103	95	83	139	112	597	378	379	250
Fuel system mass	51	33	29	21	26	19	25	22	80	69

<i>By material</i>										
Ferrous metals	834	612	328	359	357	384	819	612	604	486
Aluminum	107	125	302	283	322	289	256	254	255	253
Other metals	47	44	44	55	44	59	40	44	37	42
Plastics & rubber	160	165	164	163	171	166	150	145	147	144
Glass	35	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Other	139	131	127	126	124	124	163	150	183	174
<i>Energy use (MJ/km)</i>										
US Urban	2.82	2.00	1.78	1.20	1.53	1.03	1.56	1.16	0.82	0.66
US Highway	2.06	1.45	1.25	0.91	1.04	0.78	1.03	0.88	0.57	0.51
Combined	2.48	1.75	1.54	1.07	1.30	0.92	1.32	1.04	0.71	0.59
US06	2.81	1.94	1.67	1.49	1.39	1.29	1.83	1.56	1.00	0.87
<i>Costs (US\$ 2001)</i>										
Vehicle base price	21,600	21,600	21,600	21,600	21,600	21,600	21,600	21,600	21,600	21,600
Engine modifications		880	660	660	1650	1650	-3840	-3840	-3840	-3840
Exhaust gas cleaning		320	240	240	320	320	-300	-300	-300	-300
ICE Hybrid (battery & motor)				1930		1940				
Fuel cell system, battery, transmission & motor							12,720	11,770	11,860	11,630
Reduction of driving resistances			1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
Total	21,600	22,800	24,050	25,980	25,120	27,060	31,730	30,780	30,870	30,640

Notes: All vehicles have a range of approximately 650 km and a similar acceleration capability, expressed by a ratio of engine/motor power to vehicle mass of 75 kW/ton. The auxiliary power of the REFV<sub>G</sub> is 700 W and 1 kW for all other vehicles.

## 2. 評価結果

四台ハイブリッド車はエネルギー消費と GHG において低い結果となった。そのうち、ガソリン ICE と FC ハイブリッドの結果が最も低かった。

エネルギー消費については、各車種約 46~74% が車オペレーション段階から寄与した。GHG は、ICE 車のオペレーション段階が 67~74% を占める。FC 車では水素製造するための GHG が約 8 割を占める。

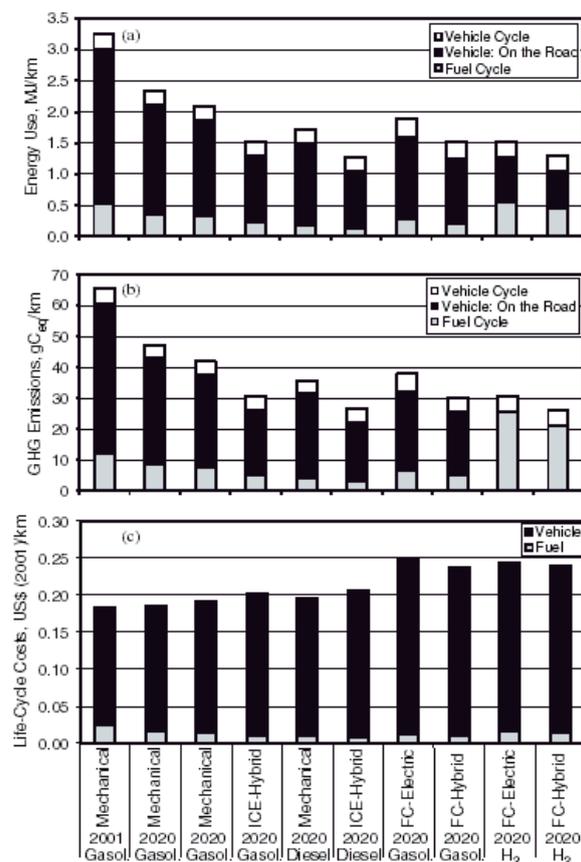


Fig. 3. Life-cycle energy use (a) and greenhouse gas emissions (b) and costs (c) of all power train/vehicle combinations examined.

分類	その他燃料電池
タイトル	LCA of a molten carbonate fuel cell system
著者	Piero Lunghi, Roberto Bove, Umberto Desideri
発表年月	2004 年
入手方法	Journal of Power Sources 137 (2004) 239-247

主な内容

1. 評価対象 : MCFC 燃料電池、天然ガス改質 (定置型)。シナリオ①は、天然ガス改質は一箇所で行い、得られる水素を各地へ輸送する。この場合、燃料電池発電に必要な熱も天然ガス焼却から得る。シナリオ②は、ガス改質が燃料電池発電と一緒に進む、その際廃熱の利用が可能である。

2. 評価結果

①酸性化において、燃料電池とガスタービンはイタリア電力に比べて優位性があるが、GHG では逆である。

②GHG において、燃料電池のシナリオ 2 は廃熱利用が可能のため温暖化影響がシナリオ 1 より小さい。

③統合化結果では、燃料電池の環境負荷がガスタービンの半分以下となった。

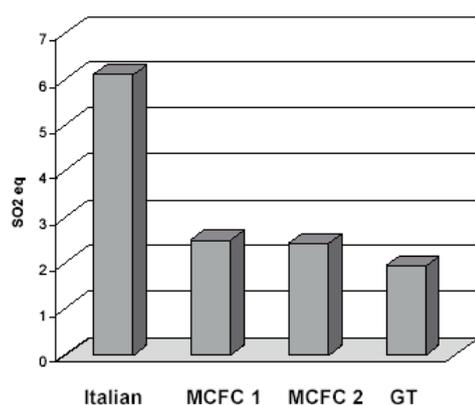


Fig. 7. Acidification effect comparison between the supposed scenarios.

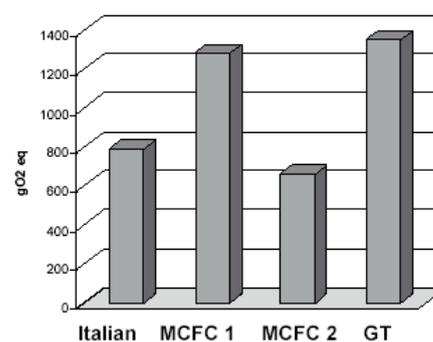


Fig. 8. Global warming effect comparison between the supposed scenarios.

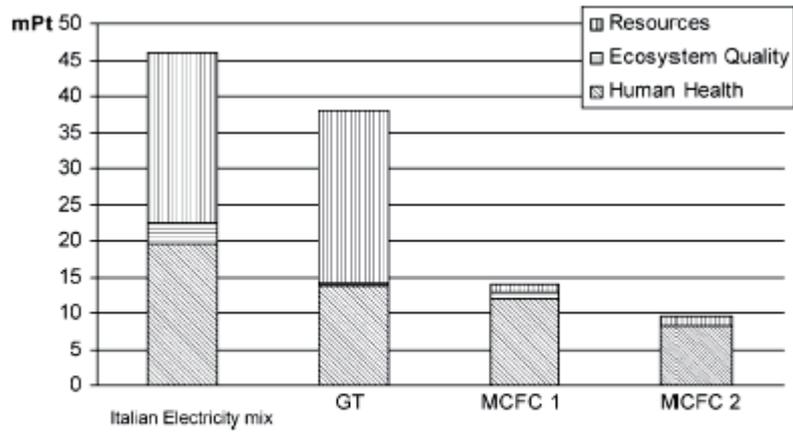


Fig. 10. Weighting phase results, according to the EI-99 methodology for the supposed scenarios.

分類	その他燃料電池
タイトル	Life Cycle Assessment of Electrical and Thermal Energy Systems for Commercial Buildings
著者	Ayat Osman and Robert Ries
発表年月	2007年
入手方法	Int J LCA 12 (5) 308 – 316 (2007)

主な内容

1. 評価対象 : 1kWh の発電システム (SOFC、internal combustion engine (ICE) cogeneration system, microturbine (MT) cogeneration system, natural gas combined cycle (NGCC) power plant
2. 機能単位 : 1kWh の発電
3. 影響領域 : 地球温暖化、酸性化、tropospheric ozone precursor potential(TOPP);
4. 評価結果 :

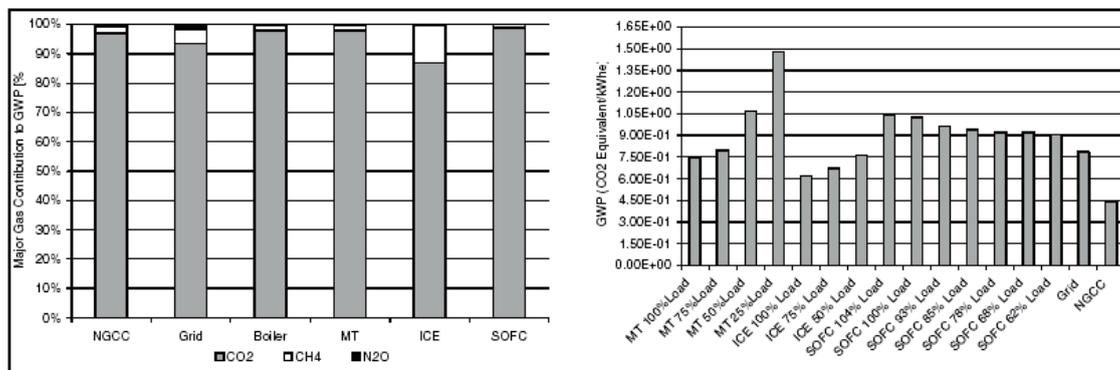


Fig. 1: Illustration of the GWP indicator values and the major gas contribution for the GWP factors resulting from the energy systems when used to produce the functional unit of electrical energy

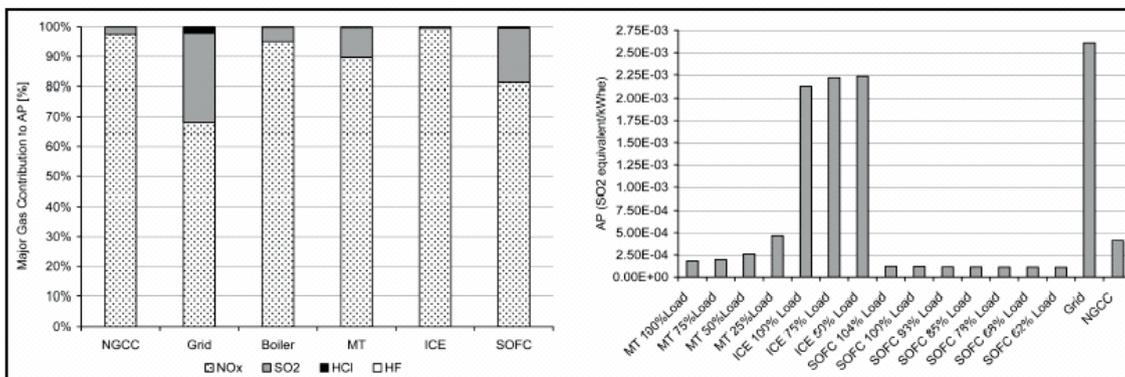


Fig. 2: Illustration of the AP indicator factors and the major contributions to AP from the energy systems for 1 kWh of energy with the cogeneration systems operating at 100% load

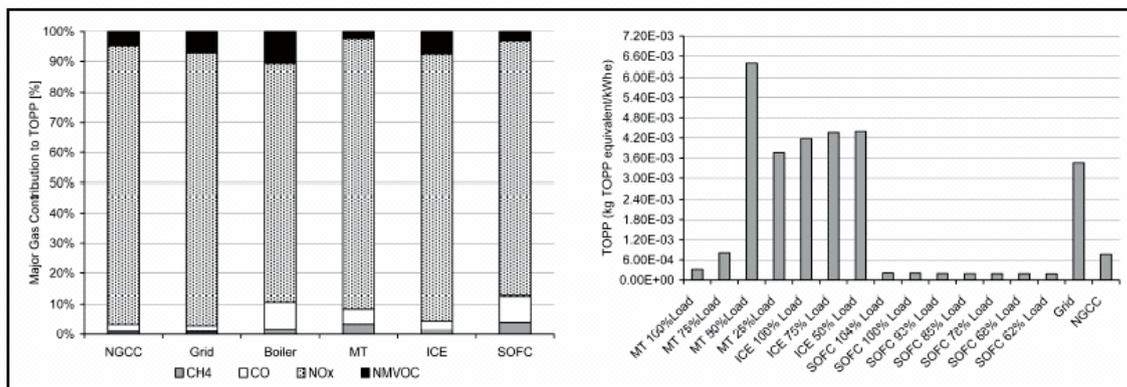


Fig. 3: Illustration of the TOPP indicator factors and the major gas contribution to the TOPP factors resulting from the energy systems when used to produce unit output of electrical energy

- ①地球温暖化において、燃料電池の優位性がまだ見られないが、AP と TOPP においては環境影響が非常に低い。
- ②燃料電池の温暖化影響に天然ガスの改質が大きく寄与した。廃熱利用が削減するのに有用である。

分類	その他燃料電池
タイトル	Life-cycle assessment of fuel cell stacks
著者	Martin Pehnt
発表年月	2007年
入手方法	International Journal of Hydrogen Energy 26 (2001) 91 – 101

## 主な内容

1. 評価対象 : 75 kW<sub>el</sub> mobile stack、275 kW<sub>el</sub> stationary stack
2. 影響領域 : 酸性化、地球温暖化、資源消費 (計算ソフト GaBi 3)
3. 燃料電池の素材及びリサイクル設定

Table 1  
Reference stacks and sensitivity analysis for the LCA of stack production

Reference stack PEFC	Data source
Electrical power Status	75 kW <sub>el</sub> (mobile)/275 kW <sub>el</sub> (stationary) future series production (relevant for energy consumption, catalyst loading, yields)
<i>Materials</i>	[8]
<i>PGM</i> PGM loading	0.3 mg/cm <sup>2</sup> (mobile)/1 mg/cm <sup>2</sup> (stationary) Ballard
Production country <i>Graphite</i>	South Africa natural graphite manufactured graphite [6] Streamlined LCA according to [21]
<i>Membrane</i>	BAM membrane [6] according to Ballard
<i>PTFE</i> <i>Carbon fibre</i>	[8] [8]
<i>Sensitivity analysis</i>	
Case 1	German electricity mix, first generation stack, i.e. no recycled PGMs. Other materials: recycling share according to German average
Case 2	Hydroelectricity, first generation stack
Case 3	Electricity from german electricity mix, 75% PGM recycling (mobile) or 90% PGM recycling (stationary)
Case 4	Hydroelectricity 75% PGM recycling (mobile) or 90% PGM recycling (stationary)

4. 評価結果：燃料電池スタックの製造段階の影響

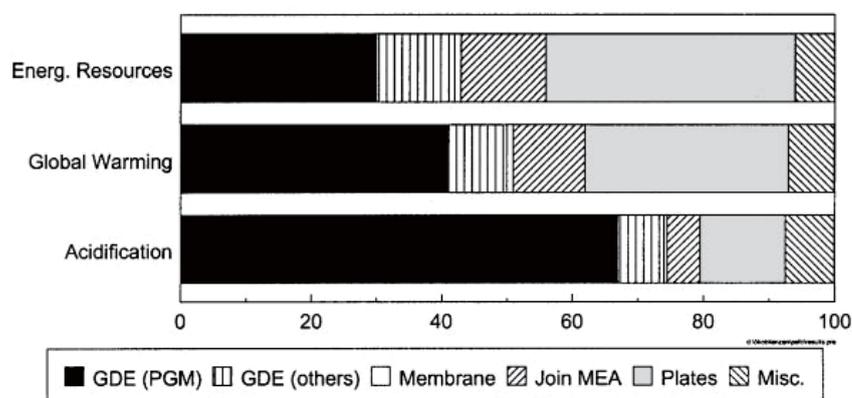


図1 燃料電池スタックの環境影響

注：①GDE：ガス拡散電極

②PGM：Platinum group metals (PGM) 白金

③Membrane：膜

④MEA：membrane electrode assemblies

図1の結果から、GDEは酸性化の約74%、温暖化の5割を占める。酸性化に寄与するSO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>は殆ど白金由来。それは、白金の産地ロシアが脱硫装置が少ないことが原因。

Platesが二番目の大きさを持つ。それは、樹脂注入に電力消費が大きいため。

5. 評価結果：ライフサイクル、シナリオ別の結果

Table 2  
Inventory and impact assessment results of the LCA of fuel cell stacks

	Mobile stack				Stationary stack	
	Case 1 German mix No	Case 2 Hydropower No	Case 3 German mix Yes (75%)	Case 4 Hydropower Yes (75%)	Case 1 German mix No	Case 3 German mix Yes (90%)
Electricity for production PGM recycling?						
Non-renewable primary energy(MJ/kW <sub>el</sub> )	940	581	744	369	5,100	1,446
<i>Global emissions(kg/kW<sub>el</sub>)</i>						
CO <sub>2</sub>	57	38	40	20	275	78
CH <sub>4</sub>	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5	0.2
N <sub>2</sub> O	0.005	0.004	0.005	0.004	0.019	0.014
<i>Local/regional emissions(kg/kW<sub>el</sub>)</i>						
SO <sub>2</sub>	0.17	0.14	0.10	0.06	0.73	0.17
CO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.14	0.10
NO <sub>x</sub>	0.17	0.15	0.07	0.05	0.74	0.14
NMHC	0.02	0.02	0.02	0.02	0.09	0.04
Dust and particles	0.03	0.03	0.01	0.01	0.14	0.03
NH <sub>3</sub>	1.4E-03	1.3E-03	1.4E-03	1.3E-03	2.5E-03	2.0E-03
Benzene	2.7E-05	2.7E-05	2.7E-05	2.7E-05	4.3E-04	3.6E-04
Benzene(a)pyren	4.0E-07	3.7E-07	3.3E-07	3.1E-07	6.2E-06	4.9E-06
<i>Impact categories(Kg/kW<sub>el</sub>)</i>						
Global warming potential (CO <sub>2</sub> -eq.)	61	41	43	22	293	86
Acidification (SO <sub>2</sub> -eq.)	0.29	0.25	0.15	0.10	1.25	0.27

表2では、リサイクルによるエネルギー消費、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>の削減効果が非常に大きいことが分かった。(特に定置型)

燃料電池の CO2 排出量の総まとめ

	CO2 排出量 (t-CO2/10 万 km 走行)													
	Pehnt		前田		山田		MIT		Sorensen		みずほ		M Hussan	
	GV	FCV	GV	FCV	GV	FCV	GV	FCV	GV	FCV	GV	FCV	GV	FCV
車製造	2.3	4.2	5.8	10.2	3.2	11.2	6	5.7	1.7	2.8	3.4	8.6	5.3	5.3
燃料製造	2.5	10.2	1.4	19.3	2.7	4.9	4.4	7.1	3.6	7	2.4	11.8		4.7
走行	14.8		31.2		21.5		17.7		16.1		15.5		19.7	
その他											0.6	1.7	0.1	0.1
合計	19.6	14.4	38.4	29.5	27.4	16.1	28.2	12.8	21.4	9.8	21.9	22	25.1	10.1

注：各文献を 10 万 km 走行に合わせた値

車製造：全体的には、FCV が GV の約 2 倍となる。GV より FCV の差異が大きい。白金のデータの扱いが FCV の製造段階の負荷に大きく影響する。

燃料製造：GV のほうは燃費の設定によるところが大きい、各文献間の差異が小さい。FCV は水素の供給源と燃費に影響されやすい。

走行：各文献の違いは小さい。

合計：ライフサイクル合計では、FCV の優位性が見られた。

タイトル	ライフサイクルからみた蓄電池の電力負荷平準化等によるエネルギー・環境改善効果
著者	梶山啓輔、岡島敬一、内山洋司
発表年月	2006 年
入手方法	Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.2 No.4 pp379-385
<p>主な内容</p> <p>本研究は自動車用鉛蓄電池 (PbA)、ニッケルカドミウム二次電池 (NiCd)、ニッケル水素二次電池 (NiMH) とリチウムイオン二次電池 (Li-ion) の LCCO<sub>2</sub> を評価した。</p> <p>評価範囲 : 部品製造、組み立て、使用段階。</p> <p>機能単位 : 80%の放電深度で 30kWh/day の放電を 10 年間毎日行う。</p> <p>評価結果 :</p> <p>① (論文の図 3) リチウムイオン二次電池は、重量が小さいため、製造時の影響が小さく、かつ、使用段階の充放電損失が他の電池より小さいため、LCCO<sub>2</sub> が他の電池と比べて、最も小さい結果となった (671g-CO<sub>2</sub>/kWh)。</p> <p>②使用段階において夜間電力を用いた場合、どの蓄電池でも CO<sub>2</sub> 排出量が約 3 割減少する。</p> <p>③一般的に深い深度での放電を繰り返すと、電池の寿命が短くなる。放電深度を 80% から 100% にあげると、NiMH と Li-ion はわずかに CO<sub>2</sub> が上昇するが、PbA と NiCd が約 1 割の CO<sub>2</sub> 上昇が見られた (論文図 6)。</p> <p>④一般に、大電流放電を短時間でを行うと利用できる蓄電池の容量が減り、エネルギー密度が低下する。放電率と CO<sub>2</sub> の関係を調べたところ、どの蓄電池でも放電率が高くなるほど CO<sub>2</sub> 排出量が上昇し、特に PbA の度合が著しいことが分かった (論文図 7)。</p>	

2 次電池 (2)

文献番号 : 75

分類	二次電池 (2)
タイトル	The Environmental Impact of Disposable Versus Re-Chargeable Batteries for Consumer Use
著者	David Parsons
発表年月	2007 年
入手方法	Int J LCA 12 (3) 197 – 203 (2007)

主な内容 :

1. 評価対象 : NiMH, NiCd, Alkaline
2. 機能単位 : 1kWh の電力を提供するのに必要な電池の量

Table 1: Range of battery types, scenarios and functional equivalents

	NiMH			NiCd			Alkaline	
	Optimistic case	Realistic case	Worst case	Optimistic case	Realistic case	Worst case	Optimistic/normal case	Worst case
Number of recharge cycles	400	50	50	400	50	50	-	-
Storage time and temperature	0	0	30 days at 37 degrees C	0	0	30 days at 37 degrees C	0	-
Discharge rate	Low	Low	High	Low	Low	High	Low	High
Percentage of capacity assumed	100	100	30	100	100	36	100	40
Number of cells to deliver 1 kWh	2.3	18.2	66.7	3.8	28.6	100	834	2085

3. 被害評価影響領域 :

- ① Human Health. (DALY)
- ② Ecosystem Quality. ( PDF)
- ③ Resources. (MJ)

Eco-Indicator 99

4. 評価範囲 :

図 1 は二次電池の評価範囲、電池製造、充電、充電器を含む。

図 2 はアルカリ電池の製造、使用、処理。

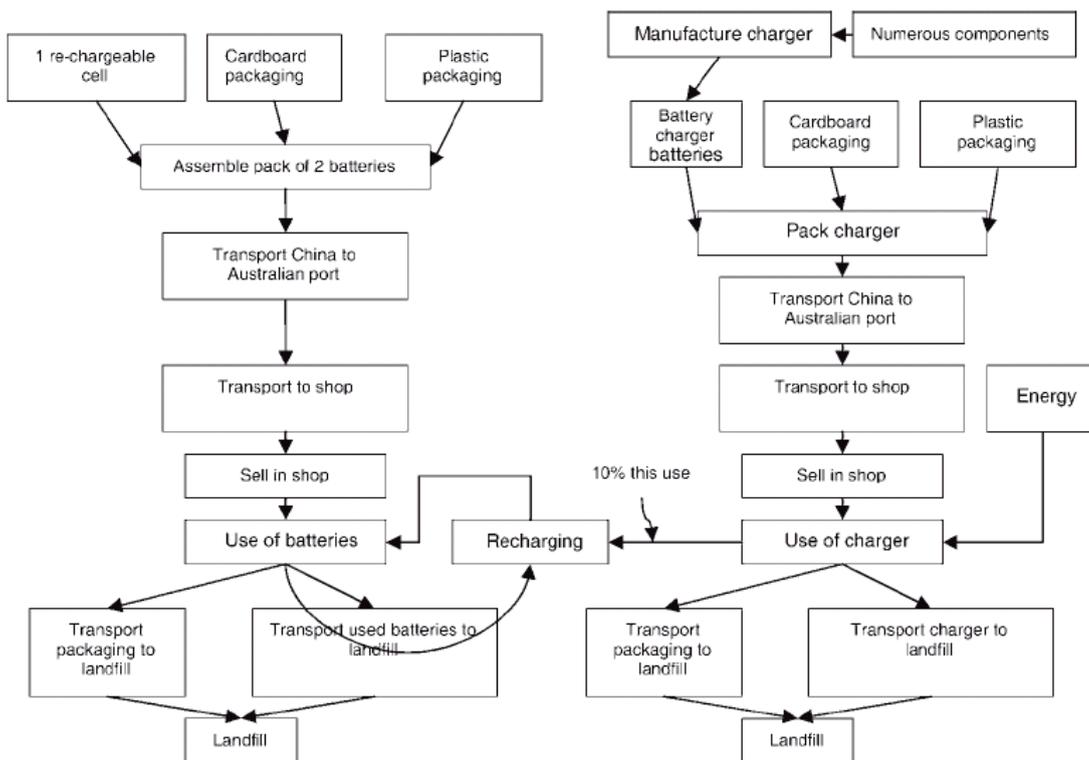


図1 二次電池の評価範囲

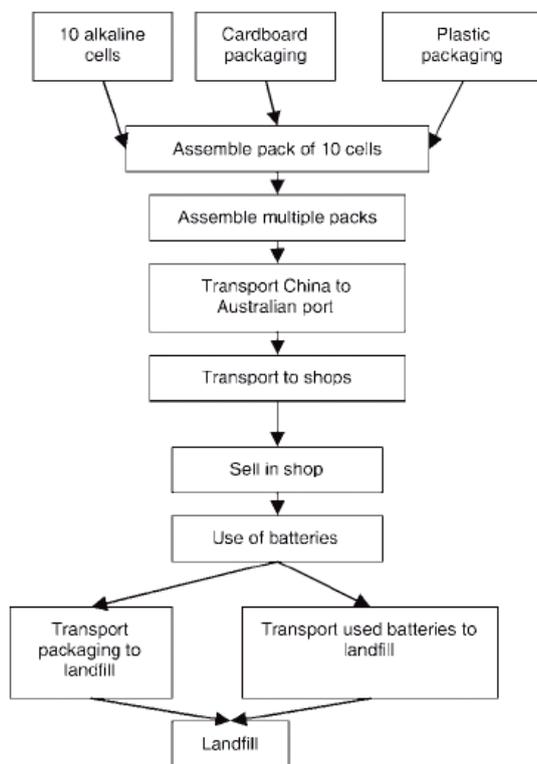


図2 アルカリ電池の評価範囲

## 5. 結果

①下表に 400 回使用する場合の被害評価結果の比較。アルカリ電池は二次電池より約 100 倍大きくなる。二次電池の埋め立て処理とリサイクル処理を比較すると、両電池ともリサイクルのほうが、健康影響と生態系影響において被害が大きくなる。一方、資源は節約される結果となった。

Table 4: Comparison of battery types with 400 cycles of discharge/charge and of recycling and landfill alternatives using Eco Indicator (E) 1999 methodology

Battery type	NiCd		NiMH		Alkaline
	Landfilled	Recycled	Landfilled	Recycled	Landfilled
Damage to human health DALY	6.14 E-6	6.42 E-6	5.03 E-6	5.26 E-6	482 E-6
Ecosystem quality PDF*m <sup>2</sup> Yr	0.23	0.24	0.20	0.21	19.4
Resources MJ surplus	5.71	4.40	5.40	4.23	427

②下表は 50 回使用、埋め立て処理、プロセス詳細な結果を示す。

二次電池は両方とも、3 つの被害項目において、バッテリー製造段階が全体影響の約 70% を占める。

アルカリ電池は約 75% の影響が店舗電力消費由来である（石炭発電：オーストラリアは石炭発電がメイン）。

輸送は 3 つの電池において、生態系被害の 13% が占める。

充電器は 10% の影響を持つ。鉛フリー、軽量化などで影響の低下が可能。

二次電池について、カドミウムが環境中に放出されるための健康被害が大きいため NiMH が NiCd よりやや有利。

Table 7: Major sources of damage for three battery types with 50 cycles of discharge/charge and landfill of discarded batteries

		NiCd	%	NiMH	%	Alkaline	%
Human Health (DALY)	<b>Total</b>	<b>21.8 E-6</b>	<b>100</b>	<b>14.7 E-6</b>	<b>100</b>	<b>482 E-6</b>	<b>100</b>
	Battery	16.3 E-6	75	10.3 E-6	70	64.5 E-6	13
	Charging electricity	1.6 E-6	7.5	1.5 E-6	10	-	-
	Shop electricity	0.9 E-6	4.2	0.9 E-6	6.3	384 E-6	80
	Printed circuit board	0.6 E-6	2.8	0.6 E-6	4.1	-	-
	Transport to landfill	0.5 E-6	2.2	0.3 E-6	2.1	14.3 E-6	2.9
	Packaging	0.2 E-6	<1	0.1 E-6	<1	8.8 E-6	1.8
Ecosystem Quality (PDF*m <sup>2</sup> Yr)	<b>Total</b>	<b>0.675</b>	<b>100</b>	<b>0.463</b>	<b>100</b>	<b>19.4</b>	<b>100</b>
	Battery	0.37	55	0.24	51	3.23	17
	Charging electricity	0.055	8.1	0.051	11	-	-
	Shop electricity	0.031	4.6	0.031	6.7	12.9	66
	Transport to landfill	0.088	13	0.056	12	2.59	13
	Printed circuit board	0.045	6.6	0.045	9.6	-	-
	Packaging (plastic)		<<1		<<1	0.26	1.3
Resources (MJ surplus)	<b>Total</b>	<b>15.5</b>	<b>100</b>	<b>14.3</b>	<b>100</b>	<b>427</b>	<b>100</b>
	Battery	9.9	64	9.6	67	78.2	18
	Coal (for recharging)	1.4	8.9	1.3	8.8	-	-
	Coal (for shop electricity)	0.8	5.0	0.8	5.4	324	76
	Printed circuit board (in charger)	0.5	3.2	0.5	3.5	-	-
	Copper (in charger)	1.1	6.8	1.1	7.4	-	-
	Oil (for transport)	>0.3	>2	0.2	1.3	9.2	2.2
	Plastic packaging	0.2	1.5	0.15	1.0	10.9	2.6

分類	二次電池 (3)
タイトル	Influence of Functional Unit on the Life Cycle Assessment of Traction Batteries
著者	Julien Matheys, Wout Van Autenboer, Jean-Marc Timmermans, Joeri Van Mierlo, Peter Van den Bossche and Gaston Maggetto
発表年月	2007年
入手方法	Int J LCA 12 (3) 191 – 196 (2007)

#### 主な内容

1. 評価対象 : 5種類自動車用2次電池 (Pb-Ac, NiCd, NiMH, Li-ion, NaNiCl)
2. 機能単位 :

**Table 5:** Used characteristics of the different battery technologies

	Specific Energy (Wh/kg)	Number of cycles	Energy efficiency
Pb-acid	40	500	0.825
NiCd	60	1350	0.725
NiMH	70	1350	0.7
Li-ion	125	1000	0.9
Zebra	125	1000	0.925

上記各電池の機能に基づく、それぞれ①重量 : 300 kg、②battery pack : 12kWh、③one-charge : 60km、を揃った場合の3つの機能単位を設定。3つの機能単位とも走行距離1600000kmと設定。

3. 評価範囲 : アセンブリ、リサイクル、電池重量による電力ロス、電池効率による電力ロスを考慮
4. 評価結果
  - ① 3つの機能単位による結果の変動は非常に小さい。
  - ② Pb-Ac, NiCd, NiMHの結果は近い、Li-ionとNaNiClより大きい結果となった。

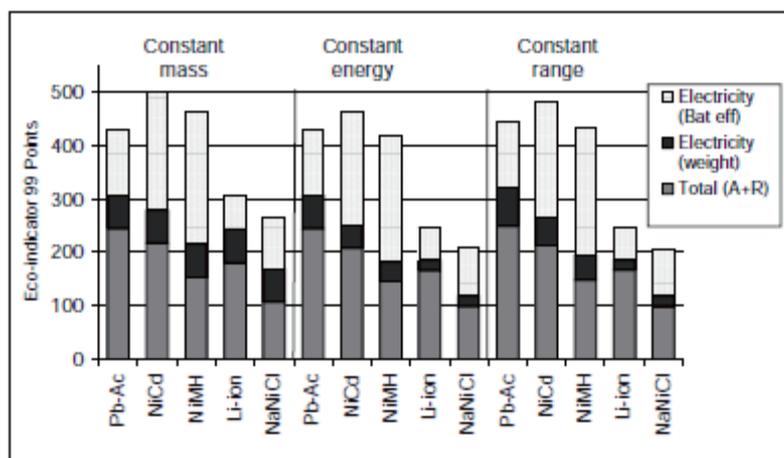


Fig. 1: Results of the LCA for the different FU and battery technologies

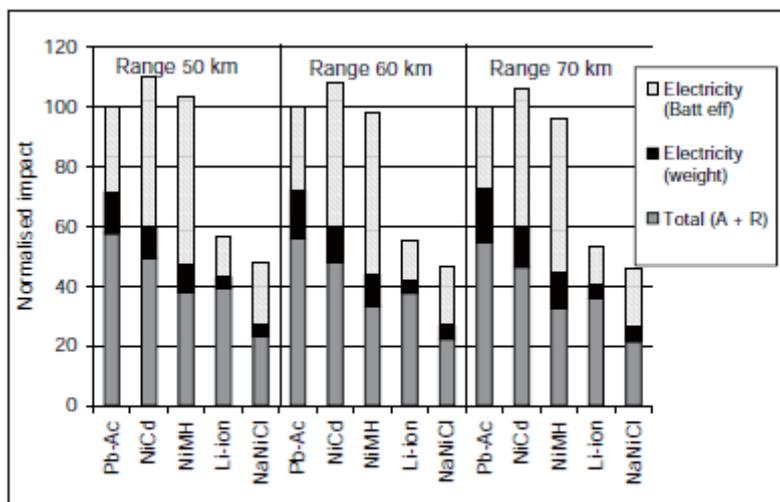


Fig. 3: Normalised environmental impact when the 'one-charge range' is modified to 50 or 70 km

③ もし、下表の機能単位を設定した場合、図1の range constant の結果と比較した結果が図4に示す。機能単位の選択は結果に大きい影響を及ぼす可能性がある。本研究で設定した3つの機能単位(図1)は表1のシナリオ比べて、より現実に近いため、結果の信頼性が高いと思われる。

Table 1: Examples of potential FU in literature

Scenario 1	Impact per km for an arbitrary chosen mass in function of range, including losses due to battery efficiency and energy consumption of the car (Garcia and Schluter 1999, Rantik 1999)
Scenario 2	Impact per kWh battery (Ishihara et al. 1999)
Scenario 3	Impact per kg battery

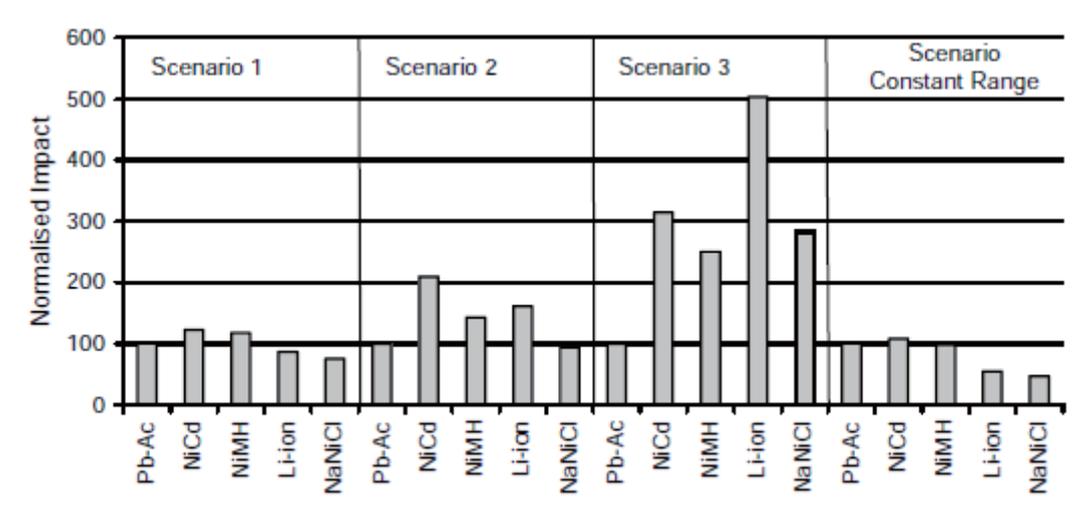


Fig. 4: Results of the other FU available in the literature (results are normalized to Pb-acid=100)

タイトル	A Life Cycle Inventory Analysis of Liquid Crystal Displays 液晶ディスプレイの LCI 分析
著者	山口博司、田原聖隆、稲葉敦
発表年月	2002 年
入手方法	第 5 回エコバランス国際会議
主な内容	<p>携帯電話用小型 LCD 製造の CO<sub>2</sub> 排出量を評価された。</p> <p>評価対象 : TFT を含む下部基板、カラーフィルター (CF) を有する上部基板、液晶を封入する工程。</p> <p>データ : LCD の重量比 90% の素材・材料のインベントリデータを作成した。</p> <p>計算ソフト : NIRE-LCA ver.3</p> <p>評価結果 :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>①合計 CO<sub>2</sub> 排出量は 98kg-CO<sub>2</sub>/kg-panel。素材起因するものは 1.4kg-CO<sub>2</sub>/kg。</li><li>②工程別に見ると、約 6 割が半導体のプロセスを持つ TFT 工程に集中。</li><li>③製造プロセスの CO<sub>2</sub> 排出量の九割が電力由来となり、その内 34% はクリーンルームの電力消費であった。</li><li>④従って、CO<sub>2</sub> 排出量削減において、特にクリーンルーム運転の電力削減は素材の削減より効果的である。</li></ol>

タイトル	Environmental Load of Decolorable Ink with an LCA Perspective 消去インクの LCA 分析
著者	TANAKA I、SANO K、MINAKAMI K、TAKEYAMA N、KAGAMI H、HARUKI K (東芝)
発表年月	2002 年
入手方法	第 5 回エコバランス国際会議
<p>主な内容</p> <p>消去可能インクで印刷した場合と通常のカーボンブラックインクで印刷した場合の LCCO<sub>2</sub> の比較を行った。</p> <p>評価範囲：紙製造、印刷、インク消去、輸送、リサイクル。</p> <p>評価結果：</p> <p>①通常のインクを使用した場合に比較して、消去可能インクを使って印刷し、消去した紙を再度印刷に利用する場合には CO<sub>2</sub> 排出量で 28% の削減が可能。</p> <p>②5 回消去して 6 回印刷する場合には、CO<sub>2</sub> 排出量で 47% の削減が可能。</p> <p>③更に、1 回も消去せずに古紙回収に回した場合には、脱墨工程が容易になるため、脱墨工程に投入するエネルギーや水、化学薬品の量を削減することができる。それは、紙再生工程のアルカリ水や工程の熱により簡単に脱色するからである。</p>	

分類	6 価クロム代替材
タイトル	Use of LCA to evaluate the environmental benefits of substituting chromic acid anodizing (CAA)
著者	Erwan Harscoet, Daniel Froelich
発表年月	2008 年
入手方法	Journal of Cleaner Production 16 (2008) 1294-1305

主な内容 :

表面処理プロセスであるクロム酸陽極処理 (Chromic Acid Anodizing: CAA) を行う場合、6 価クロムの放出が少ないため、最近 6 価クロム合成物の代替材として三酸化クロム ( $\text{CrO}_3$ ) は注目されている。しかし、 $\text{CrO}_3$  も他の 6 価クロム合成物から製造されるため、製造段階にも 6 価クロムを放出されるため、製造段階を含めたライフサイクル的評価が必要。

評価対象 : 図 2 は CAA 表面処理の詳細を示す。図 1 に評価範囲を示す。

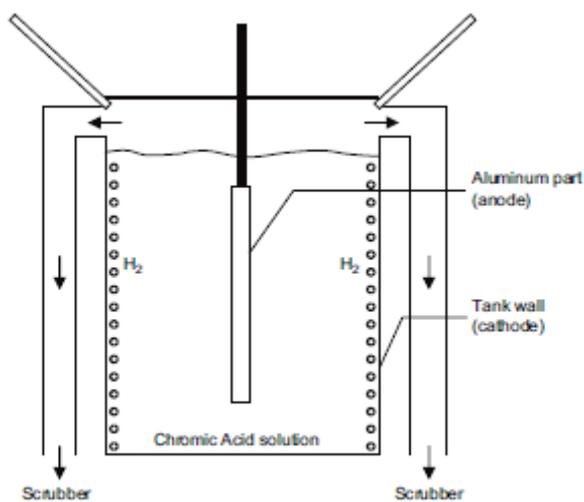


Fig. 2. Formation of hydrogen gas bubble during anodizing.

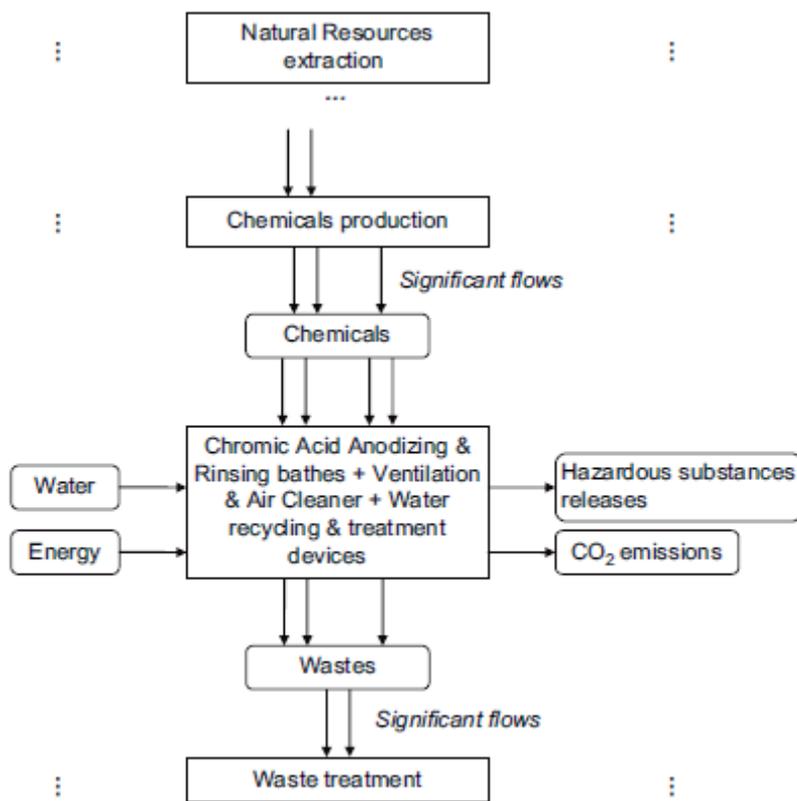


Fig. 1. Simple diagram of the life cycle phases included in our assessment.

評価結果：

下表は CAA 処理のライフサイクルインベントリ結果を示す。CAA 処理に関わる全ての素材の製造段階、処理段階、と廃棄処理段階が含まれている。

6 価クロムは、製造段階の影響が使用段階（処理段階）より大きいことが分かった。

Table 6  
Environmental impacts incurred during the life cycle of a CAA process

	Energy consumptions (MJ)			Natural resources consumption (kg)	Water consumption (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> emissions (kg)			Wastes generated (kg)	Cr(VI) atmospheric emissions (g)	Cr(VI) water discharge (kg)	Other atmospheric emissions (kg)	Other water discharges (kg)
	Electricity	Thermal	Transport			Process	Energy	Transport					
Limestone mining	0	82	0	0	0.00	0	5	0	0	0	0	0.49	0
Limestone crushing	11	18	0	0	0.00	0	3	0	0	0	0	0	0
Lime production	1001	4919	24	4389	1.86	2331	507	10	0	0	0	0.15	616.01
Sodium chloride production	1024	1436	157	0	16.22	0	277	128	0	0	0	0	0
Soda production	282	14,127	3707	2935	99.88	0	996	3385	2359	0	0	3.91	520.08
Chromite ore mining	380	228	0	0	7.60	0	115	0	0	0	0	22.74	0
Sodium chromate production	565	20,927	0	2825	0.00	3270	1501	0	1949	0	0	0	0
Sulfur production	102	3193	0	0	3.64	0	232	0	0	0	0	0	0
Sulfuric acid production	135	7	1168	809	104.98	0	24	957	0	0	0	21.75	2.93
Hydrochloric acid production (HCl)	55	840	512	498	6.39	0	66	420	0	0	0	0.33	18.07
Sodium hydroxide production (NaOH)	5243	0	147	814	47.39	0	929	111	0	0	0	0.26	11.63
Sodium dichromate production	1144	42,419	13,476	0	53.02	0	3043	7771	1215	265	0	0	0
Chromium trioxide production	1580	2638	4263	0	39.57	0	457	3493	1894	79	13.08	2.64	28.79
Sodium sulfate production	1424	2378	0	0	0.00	0	412	0	1050	0	0	0	30.67
Aluminum anodizing	1,26,252	8,85,530	0	0	134.90	0	61,045	0	36,786	142	0	0	0
Waste treatment (chromic VI to chrome III reduction)	31	6	0	0	0.00	0	1	0	0	0	0.28	0	0.28
Final disposal	0	21,322	2431	0	0.00	0	1428	1893	0	0	0	0	0
<b>TOTAL (With anodizing)</b>	<b>1,39,228</b>	<b>10,00,068</b>	<b>25,885</b>	<b>12,270</b>	<b>515</b>	<b>5600</b>	<b>71,043</b>	<b>18,167</b>	<b>45,254</b>	<b>487</b>	<b>13</b>	<b>52</b>	<b>1228</b>
<b>TOTAL (without anodizing)</b>	<b>12,976</b>	<b>1,14,538</b>	<b>25,885</b>	<b>12,270</b>	<b>381</b>	<b>5600</b>	<b>9985</b>	<b>18,167</b>	<b>8467</b>	<b>344</b>	<b>13</b>	<b>52</b>	<b>1228</b>

Functional unit: 10,000 m<sup>2</sup> of anodized aluminium.

素材製造  
陽極処理  
廃棄処理

図 6 は陽極処理段階の項目別影響が CAA の全体影響に占める割合を示している。エネルギー消費、廃棄物と CO2 はそれぞれ全体影響大きい割合を占めていることが分かった。廃棄物は電解質を形成するための溶液（化学製品+水）の廃棄から発生し、約 CAA 処理全ライフサイクルの 8 割を占めた。

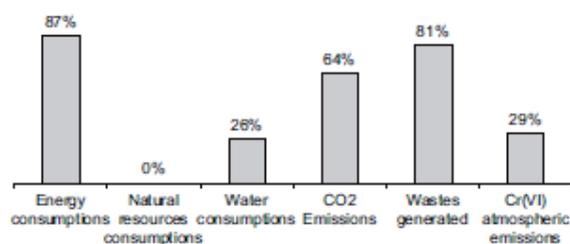


Fig. 6. Contribution of the anodizing stage to global life cycle environmental impacts.

図 10 に水消費を示す。水消費量は陽極処理と硫酸製造プロセスによる影響が大きかった。使用済み水はイオン交換樹脂を用いてリサイクルするため、最終的に水の消費量が非常に少ない（表 6 参照）。

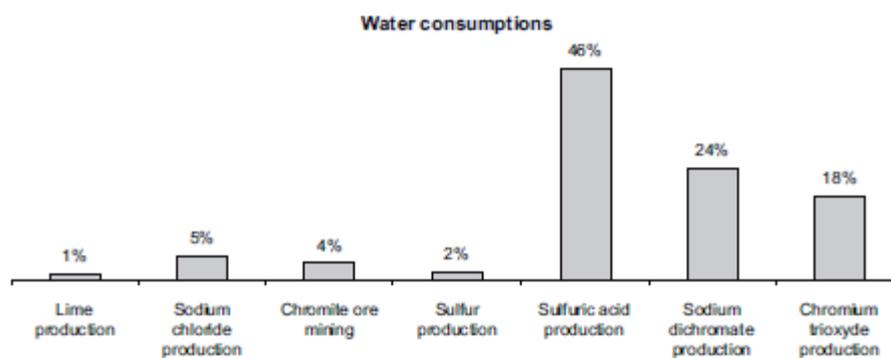


Fig. 10. Water consumptions classified by phase when the anodizing stage is not included.

図 9 について、CO2 は陽極処理に除いて、輸送段階の影響がエネルギー処理よりも大きかった。それは、各種素材、ソーダ、硫酸、CrO3 など素材の製造地と使用地が離れていると解釈されている。

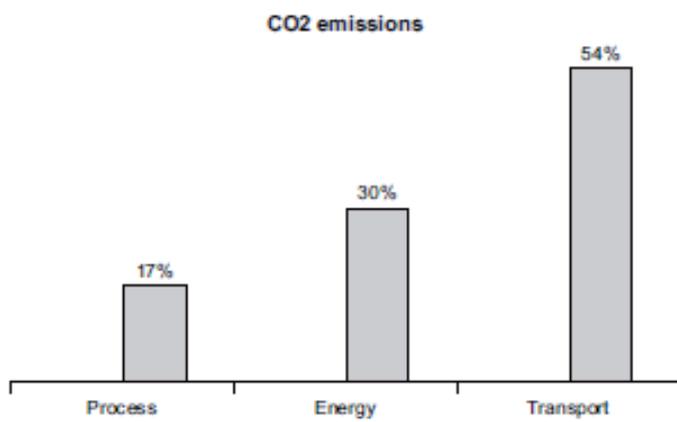


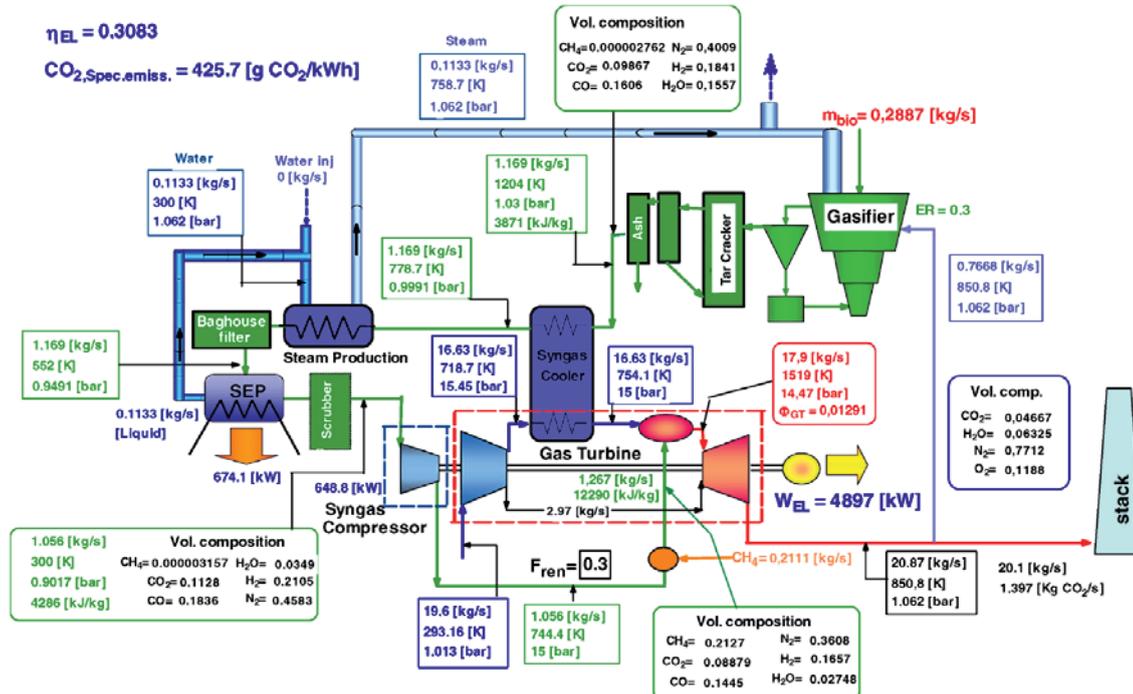
Fig. 9. CO<sub>2</sub> emissions classified by source when the anodizing stage is not included.

最後、6価クロムを完全に削減することは簡単ではない。今回の評価結果では三酸化クロムを使用した CAA 処理方法が非常によい環境パフォーマンスを挙げているといえる。

分類	ガスタービン
タイトル	CO <sub>2</sub> abatement by co-firing of natural gas and biomass-derived gas in a gas turbine
著者	Daniele Fiaschi, Riccardo Carta
発表年月	2007年
入手方法	Energy 32 (2007) 549-567

主な内容 :

Co-firing ガスタービン発電の仕組み (下図) は : ガスタービンの熱い排気ガスを利用して、固体のバイオマスを経由して気体のバイオ燃料に変換する。得られた気体のバイオ燃料は常温まで冷却後、天然ガスと混合してガスタービンで発電するものである。



バイオマスガスを添加することは、ガス化装置を追加する必要があるが、ガスタービン排気ガスの熱再利用によって従来装置の同レベルの効率を実現できる。

評価結果 :

バイオマス由来ガスを混入した合成ガスは、天然ガス使用量減少により、CO<sub>2</sub> 排出減少

に寄与するが、合成ガスの再圧縮に電力かかるため、例えば 30%混合した合成ガスの場合は **co-firing** ガスタービン発電の出力が約 8~10%低下した。しかし、合成ガス濃縮クーラー (syngas condensing cooler: SEP)を使用すれば、このエネルギー消費量は、大きく減らすことが可能である。また、凝縮された汚染水をリサイクルしてガス化装置へ再利用することは、水処理負荷の減少に寄与する。更に、ガス化装置への水蒸気の再注入は合成ガスの水素濃度を高めることに寄与する。以上特徴を考慮し、本研究では 10~30%のバイオガス混入するによって、30~50%の CO2 削減ができるという結果を得た。

分類	塗料
タイトル	Life Cycle Assessment in Green Chemistry : A comparison of various industrial wood surface coatings
著者	Linda M. Gustafsson and Pål Börjesson
発表年月	2007 年
入手方法	Int J LCA 12 (3) 151 – 159

主な内容 :

7. 評価対象 :

**green wax** : 菜種油からバイオ触媒 (酵素) を用いて作られた **wax** コーティング材。

**fossil wax** : 原油から作られたパラフィンベースの **wax** コーティング材。

(両 **wax** とも 60% **wax**, 40% アクリル酸塩から構成される。)

**water based UV** : 水性 UV 塗料

**100%UV** : 乾性 UV 塗料

(両方樹脂系塗料、紫外線を照射することにより、瞬時に硬化させるとい  
う特殊な工法で施工。)

使用量 : **100%UV** は平方メートル当たりわずかに使うに対して、**wax** 系塗料はその 9  
倍、水性 UV はその 15 倍が必要。

寿命 : UV 系塗料は 20 年、**wax** 系塗料はわずか 5 年。

8. 影響領域 : 地球温暖化、酸性化、富栄養化、光化学オキシダントとエネルギー消費。

毒性評価は、デンマークの EDIP97 (Environmental Design of Industrial Products 1997) とオランダの CML2001 (USES : Uniform System for Evaluation of Substances) の両手法を用いる。結果は 1,4-dichlorobenzene (1,4-DCB) に変換して表す。評価対象製品は、**wax** がデータ収集できなかったため UV 系塗料のみとなる。

9. 結果 :

全体の結果 (図 1) から、① **100%UV** の環境影響はどの影響項目においても小さい。

② 酸性化と富栄養化は、**green wax** が高い。それは、植物生産段階に使用する化学肥料由来である。③ 光化学オキシダントは **fossil wax** が **green wax** よりわずかに高い。

一方感動分析として、仮に **wax** の寿命が 20 年となる場合は図 2 の結果となる。**green wax** の環境影響がかなり削減できる。

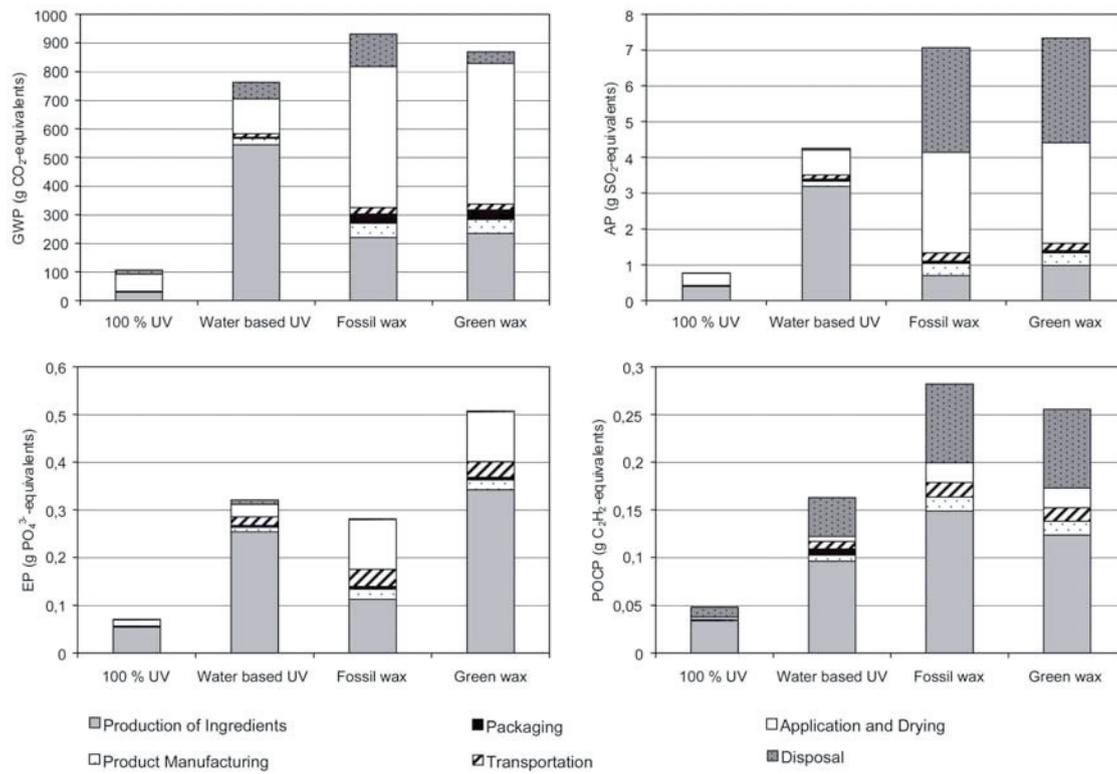


図1 評価結果

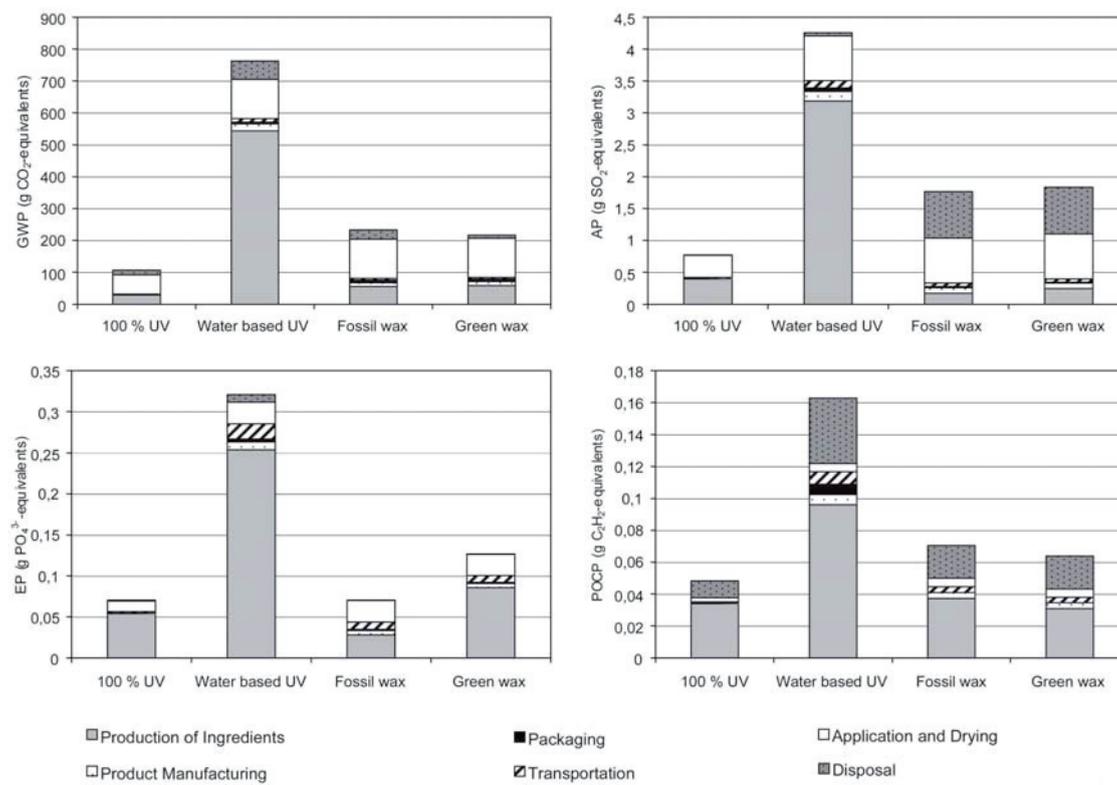
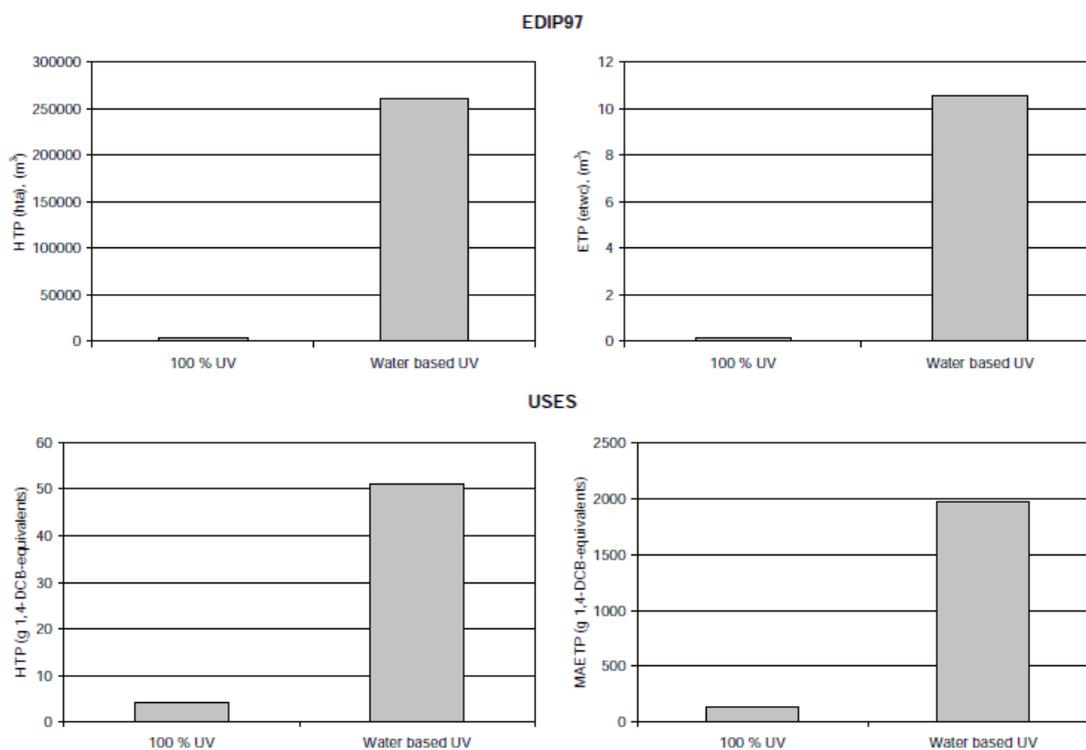


図2 寿命が20年と設定した場合

毒性評価モデルの共通基盤を作る必要がある。(手法の違いによって、結果が大きく変わる table 2)



**Table 2:** Comparison of EDIP97 and USES. For human-toxicity the contribution from air, water and soil for EDIP97 is aggregated and transformed into 1,4-DCB-equivalents. For eco-toxicity ETP (etwc) chronic toxicity in water is compared with USES marine waters subcategory (MAETP). All values are presented per functional unit

	Human-toxicity		Eco-toxicity	
	EDIP97 to USES g 1,4-DCB-eq	USES g 1,4-DCB-eq	EDIP97 to USES g 1,4-DCB-eq	USES g 1,4-DCB-eq
100% UV	4.0	4.2	0.33	130
Water-based UV	220	51	19	2,000

green wax の環境影響を削減するには、①使用寿命を延ばす、②原材料である菜種油をローションやヘルスケア製品中のパラフィン成分に代用するなどが考えられる。

分類	ナノ材料
タイトル	Towards a framework for life cycle thinking in the assessment of nanotechnology
著者	C. Bauer, J. Buchgeister, R. Hischer, W.R. Poganietz, L. Schebek, J. Warsen
発表年月	2008年
入手方法	Journal of Cleaner Production 16 (2008) 910-926

ナノ技術は将来市場規模が大きいと予想され、LCAによる評価も重要と考えられる。ナノ材料のデータベースがまだ少ない。かつ最近のLCIAであるCML2001、EI99、Impact2002+にもナノ材料の毒性評価を対応していない。一方、Swiss ecoinvent CentreはPM2.5からPM10までをPM10とし、PM2.5以下はPM2.5と分けるようにしている。

ケーススタディ 1：physical vapour deposition (PVD) コーティング技術。製造プロセスは下図に示す。機能単位は、100,000 ドリル、直径 6mm のコーティング。

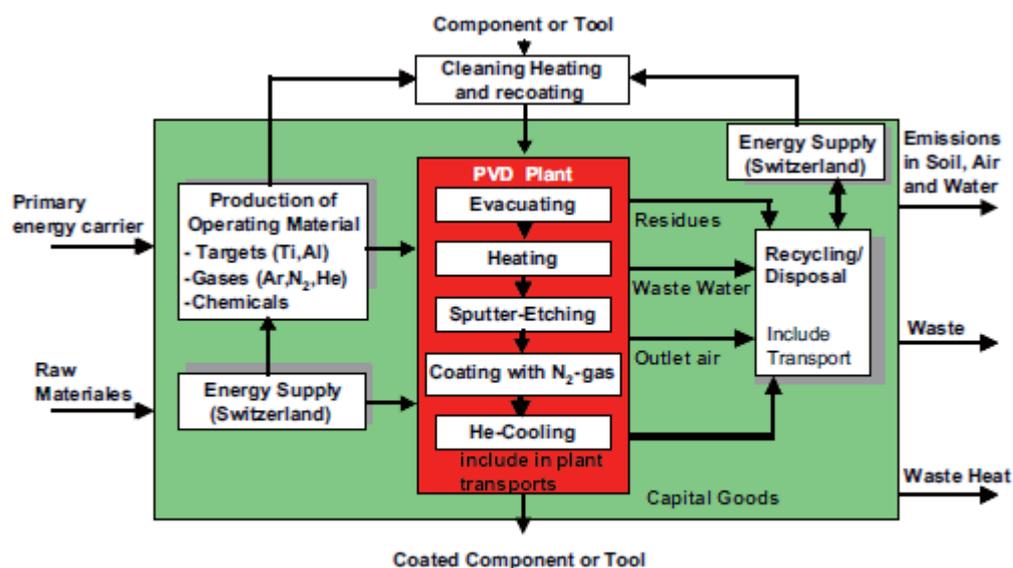


Fig. 2. System boundary of the investigated PVD process.

使用材料の違いにより、三つの結果を下図に示す。電力需要量 (CED) では Ti+TiAlN が最も大きい、CML の統合化結果は TiAlN が大きかった。その理由は、スイスの電力データは原子力や水力発電の割合が大きいため、電力による温暖化への寄与度が小さい。一

方、チタンとアルミは温暖化の 75%を寄与し、材料による影響が大きかった。TiAlN は Ti+TiAlN より材料使用量が大きいいため、CML の統合化結果では TiAlN の影響が最も大きかった。

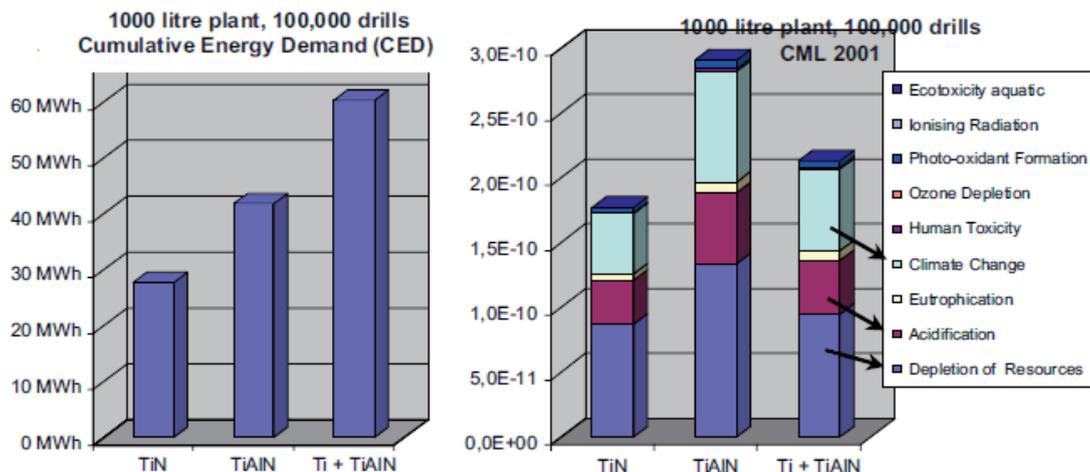


Fig. 3. Life cycle impact assessment of different PVD processes with CED and CML methods.

ケーススタディ 2： field emission display(FED) 技術。製造プロセスは下図に示す。機能単位は 15 インチのディスプレイ。

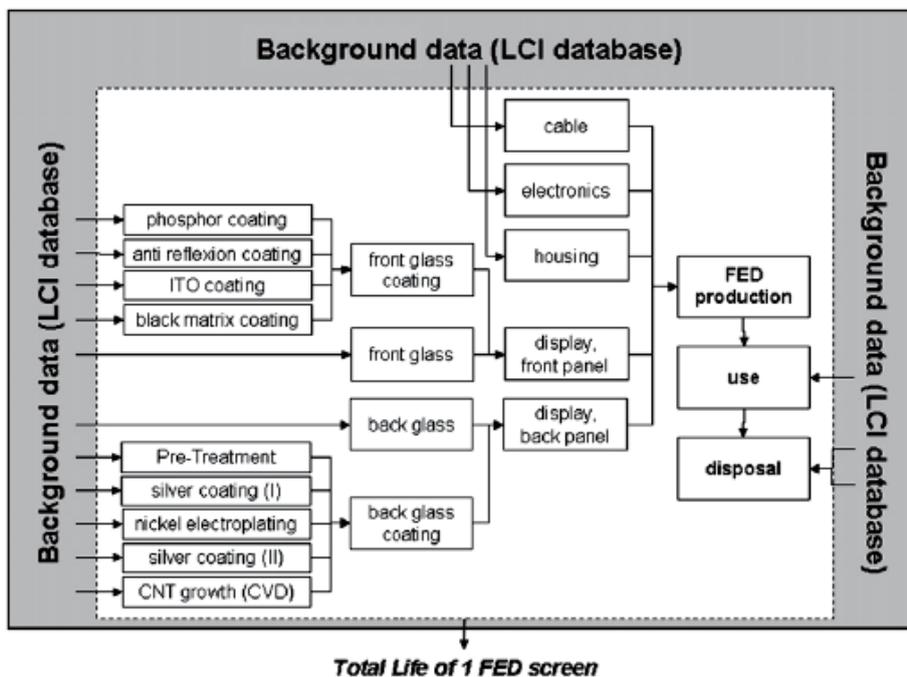


Fig. 6. System boundary of the life cycle of an FED screen (established based on information from Refs. [21,44,48]).

CNT は基本的に電子回路に使われるシリコンや半導体と同じ役割を果たす。CNT のような分子レベルの技術に比べて、半導体は物理的限界がある。CNT を用いた場合、材料が大

幅に減らせる。一方、これら特徴にあわせた環境影響評価はまだやられていない。本ケーススタディの評価結果は以下に示す。FED の使用段階の環境影響はどの影響領域においても約 7 割を占めている。次いで大きいのは約 2 割のバックガラスコーティングプロセスであり、その中でも CNT コーティングが最も大きい影響を持つ。FED を CRT と LCD と比べた場合、FED の環境優位性が明らかである (図 10)。

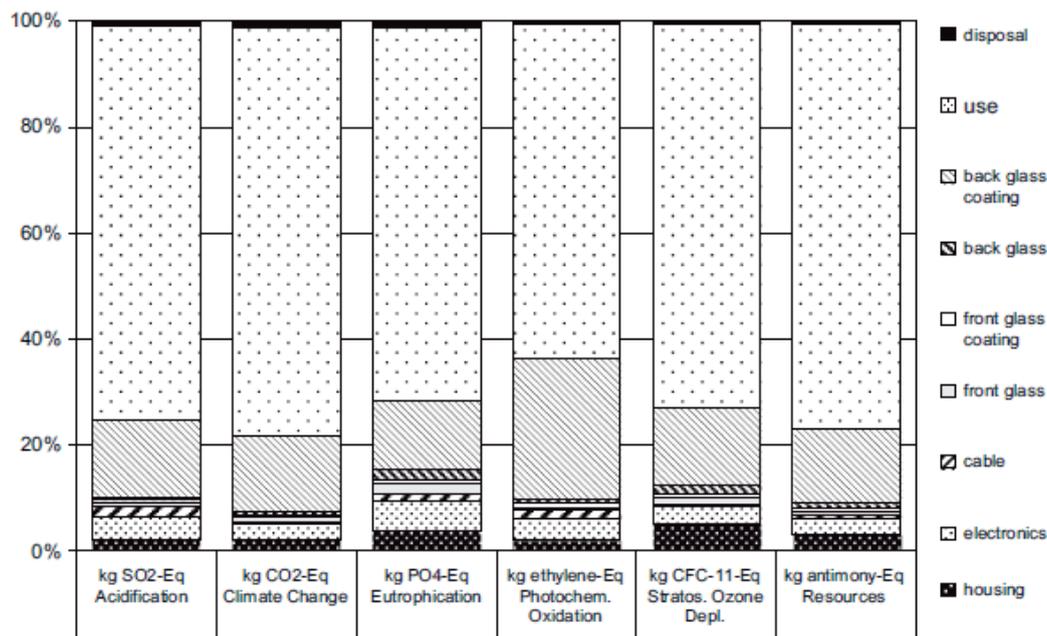


Fig. 8. LCA result of the life cycle of a 15" FED screen for several LCIA factors according to CML 2001 guide [35].

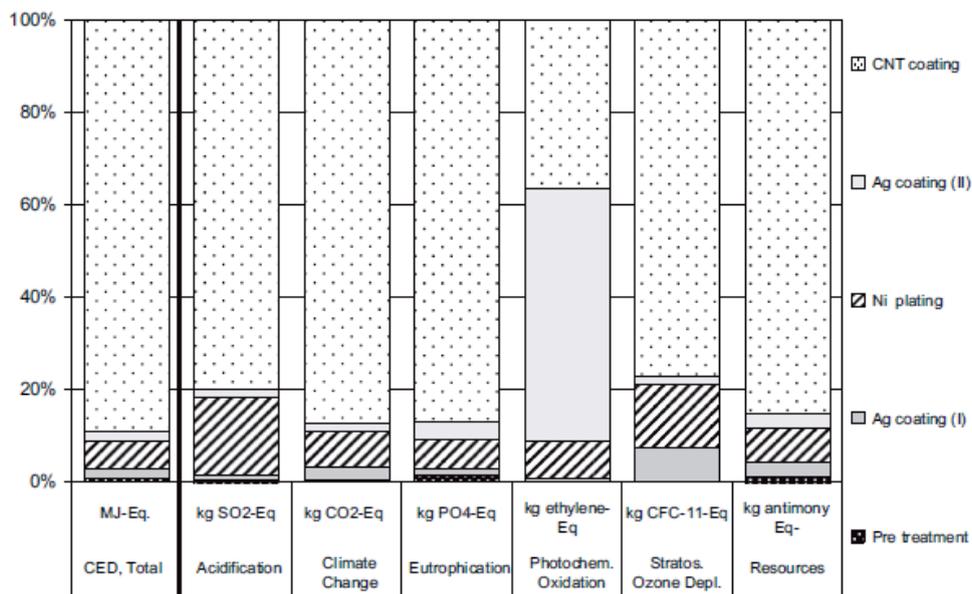


Fig. 9. LCA result for the back glass coating of one 15" FED screen (according to the CED and the CML 2001 methods [35,39]).

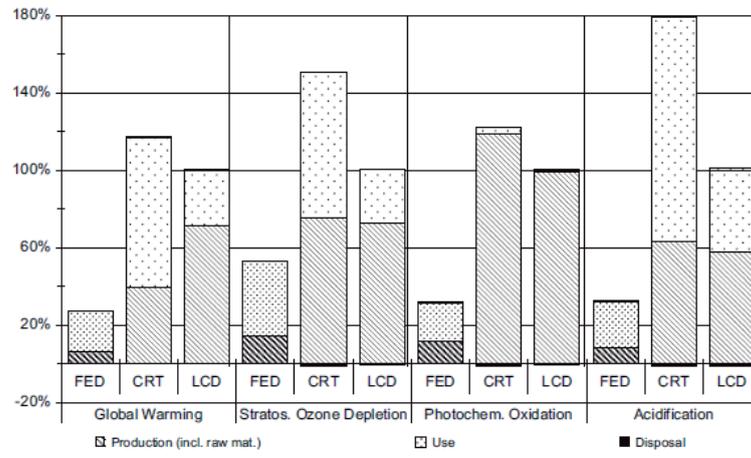


Fig. 10. Selected LCIA factors for FED, CRT and LCD computer screens (FED results: own calculations – CRT and LCD according to Refs. [44,45]). The result of the LCD screen is normalized to 100% for each single LCIA factor.

分類	淡水化技術 (1)
タイトル	Life Cycle Assessment of Water Production Technologies Part 1: Life Cycle Assessment of Different Commercial Desalination Technologies (MSF, MED, RO)
著者	R. Gemma Raluy, Luis Serra and Javier Uche
発表年月	2005 年
入手方法	Int J LCA 10 (4) 285 – 293 (2005)

主な内容 :

1. 評価対象

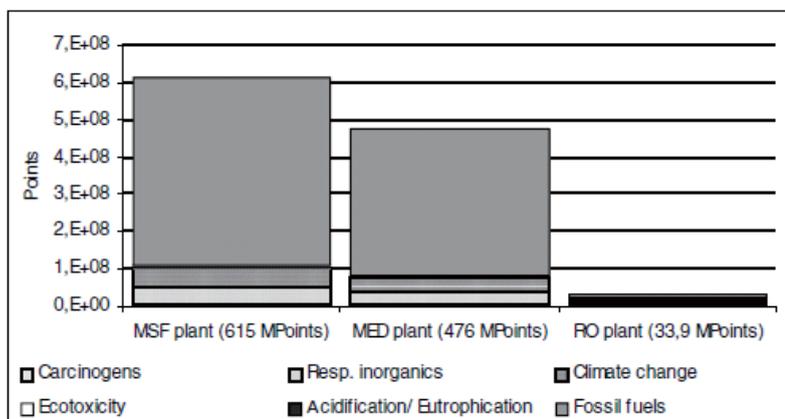
- ① 多重効用法 (Multiple effect distillation : MED)は、蒸発室 (効用缶) を多数並べて、最初の効用缶中の海水を加熱する。ここで蒸発した蒸気を次の効用缶の加熱蒸気として使用し、これを順次繰り返して蒸発させる方法である。
- ② 多段フラッシュ法 (Multi stage flash desalination : MSF) は、減圧度が順次大きくなる蒸発室 (フラッシュ室) を多数並べて、個々に加熱昇温した海水を順次送り込んで蒸発させる方法である。
- ③ 逆浸透膜法 (Reverse Osmosis : RO) は、水は通過するがイオンや分子は通過しない性質を持つ半透膜を用いて、海水の浸透圧以上の圧力をかけて水のみを透過させて淡水を得る方法である。

上記 3 種類の淡水化技術のうちに、①と②は熱分離、③は膜分離と分けられる。これら技術で処理した水は全世界の約 9 割をしめる。

2. 機能単位 : 淡水製造 45,500 m<sup>3</sup>/day、8,000 時間/年。設備寿命 25 年、膜は 5 年に一回交換とする。

3. 評価結果 :

- ① どの技術がどの評価ソフトで評価しても、オペレーション段階のエネルギー消費による化石燃料項目の影響がもっとも大きかった。



**Fig. 4:** EI 99 method, Hierarchist Perspective H/A, where Human Health and Ecosystem Quality Damages have been assigned 400 Points and Resources Damage has 200 Points. Overall scores obtained in the Evaluation phase for each desalination technology. The calculus bases are about 379 hm<sup>3</sup>, 375 hm<sup>3</sup> and 383 hm<sup>3</sup> of total water production for MSF, MED and RO, respectively

**Table 3:** Environmental load depending on the assessment method corresponding to each life cycle phase and overall scores for the different desalination technologies. The calculus bases are about 379 hm<sup>3</sup>, 375 hm<sup>3</sup> and 383 hm<sup>3</sup> of total water production for MSF, MED and RO, respectively

Process	Life cycle phase	Unit	EI 99	Ecopoints 97	CML 2 baseline
MSF	Assembly	%	0.78	3.69	1.31
	Operation	%	99.21	96.31	98.69
	Final disposal	%	0	0	0
Total scores			615 Mpoints	3,490 GPoints	0.0168
MED	Assembly	%	2.00	11.37	3.01
	Operation	%	98.00	88.63	96.99
	Final disposal	%	0	0	0
Total scores			476 Mpoints	2,790 GPoints	0.0116
RO	Assembly	%	1.53	1.55	0.88
	Membranes	%	0.91	0.36	0.08
	Operation	%	97.56	98.09	99.04
	Final disposal	%	0	0	0
Total scores			33.9 Mpoints	500 GPoints	0.0053

② 下表に示したように、電力産出国が変わることで、結果に大きく影響を及ぼした。

**Table 7:** Overall scores obtained by the analyzed desalination technologies with different scenarios of electricity production. The calculus bases are about 379 hm<sup>3</sup>, 375 hm<sup>3</sup> and 383 hm<sup>3</sup> of total water production for MSF, MED and RO, respectively

		EI 99	Ecopoints 97	CML 2 baseline
		MPoints	GPoints	-
European model	MSF	39.3	631	0.00587
	MED	25.9	556	0.00301
	RO	33.9	500	0.00529
Spanish model	MSF	42.9	734	0.00874
	MED	27.7	607	0.00444
	RO	37.6	605	0.00818
French model	MSF	16.5	313	0.00247
	MED	14.7	398	0.00134
	RO	10.9	178	0.00185
Portuguese model	MSF	79.4	1,130	0.00947
	MED	45.6	804	0.00480
	RO	74.5	1,000	0.00894
Norwegian model	MSF	8.53	195	0.00084
	MED	10.7	340	0.00053
	RO	2.84	58.9	0.00020

- ③ 膜分離法 RO は熱分離法である MED、MSF よりエネルギー使用量が少ないため、環境影響も少ない。
- ④ MED と MSF の比較では、MED のほうがよりエネルギー使用効率がいいので、環境負荷が低い。したがって、熱分離法において、いかに廃熱を利用するかによって、環境負荷削減ポテンシャルが非常に高い。
- ⑤ 淡水化に消費する電力の原単位が全体に大きい影響を与える。

分類	淡水化技術 (2)
タイトル	Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources
著者	Ivan Munoz, Amadeo Rodriguez Fernandez-Alba
発表年月	2008年
入手方法	WATER RESEARCH 42 (2008) 801 – 811

## 主な内容

## 1. 評価対象 : 塩けのある地下水淡水化プラント

場所、スペインの Almeri'a 地域。この地域は連続早魃、降雨量が少なく、農業灌漑用 20000m<sup>3</sup>/日の淡水が淡水化工場から生産されている。地下塩水は平均 31000m<sup>3</sup>/日、6 つの井戸で 7~8m の深さでポンプで押し上げられた。

## 2. 淡水化技術 : Reverse Osmosis (RO) 膜分離技術

3. 機能単位 : 1m<sup>3</sup> 淡水の製造

## 4. 製造プロセス

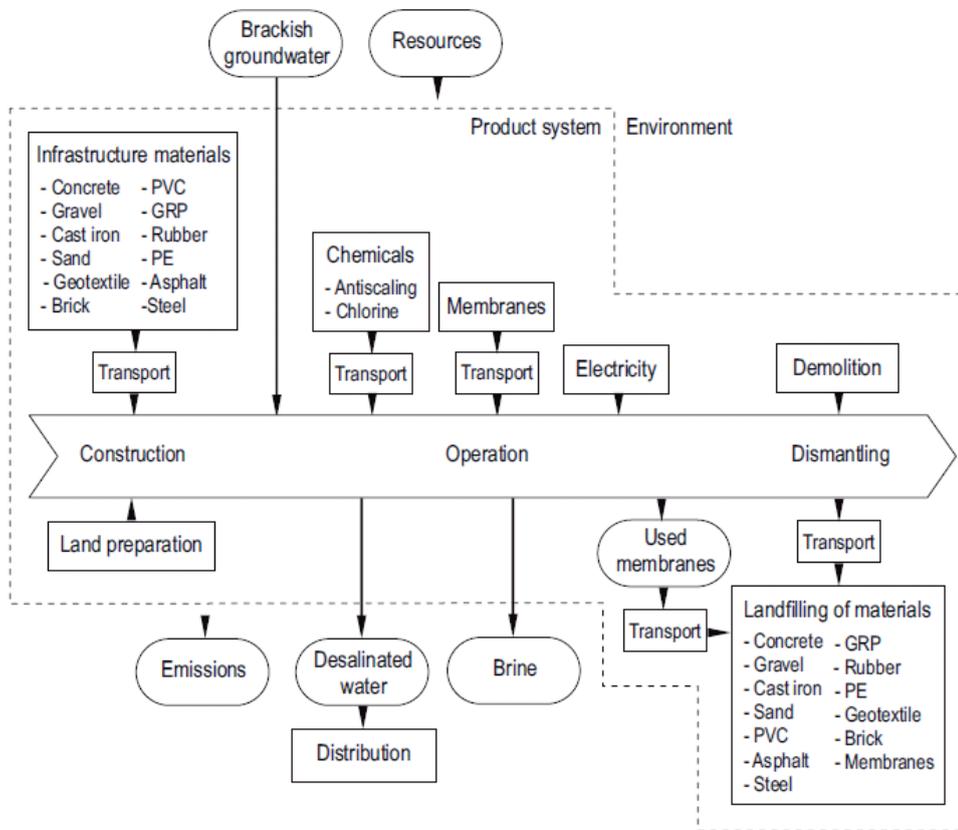
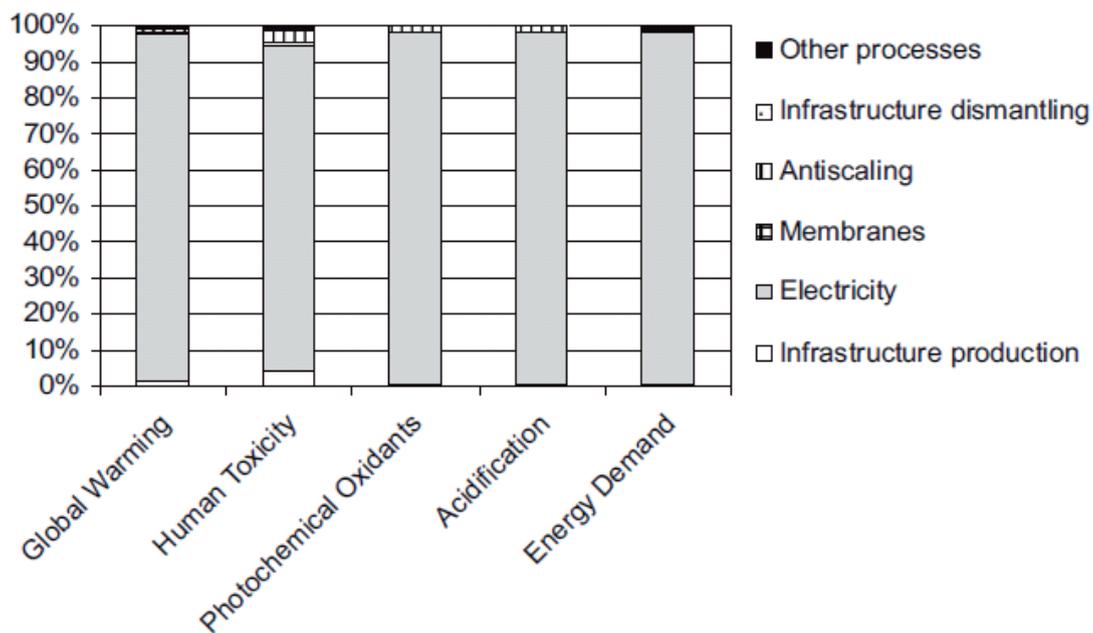


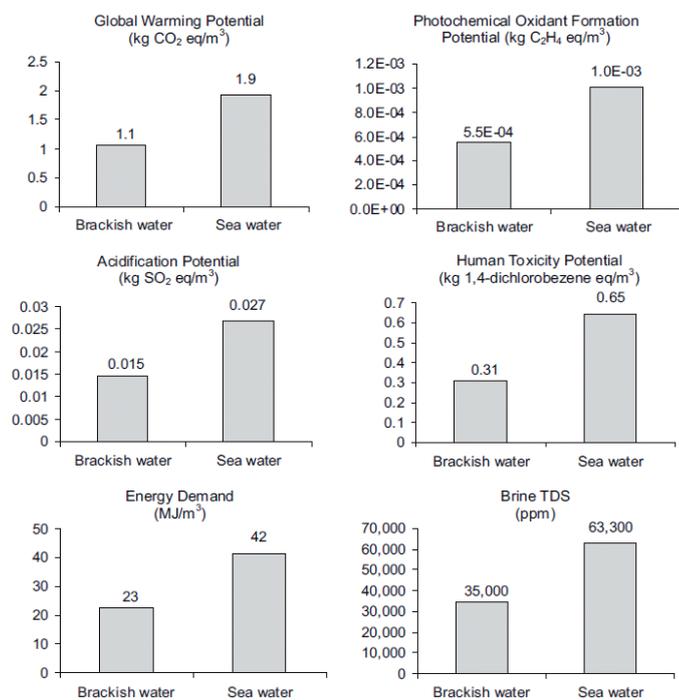
Fig. 2 - Brackish groundwater desalination system boundaries.

5. 評価結果

塩けのある地下水淡水化技術の評価結果は、下図に示したように電力による影響が支配的な影響を持つ。



6. 海水と地下水の比較：地下水プラントは海水に比べて、どの影響においても約半分くらい影響が小さい。それは、地下塩水の濃度が 15300ppm/L に対して海水は 36000ppm/L のため、浸透圧が低くて済み、電力消費量も小さくなるためである。



## Summary of Investigation

### 1. Purpose of Investigation

Collecting reference of LCA on Eco-materials to understand how much LCA is carried out in the materials, and summarizing the information obtained.

### 2. Summary of Investigation

We collected references of LCA on Eco-materials listed in the contents of “Materials Outlook for Energy & Environment” and “Exhibition on Materials for the Environment & Energy 88”. Each reference of LCA activity was checked individually to have them put in order. LCA result of the Eco-materials in the same classification such as Fuel Cell, Hydrogen, Solar Cell etc were compared. Finally Overview of LCA is given on the basis of the investigation.

In Main Conclusion of Overview, 1) Number of references showing the same kind of results, 2) Reference Number, and 3) Reliability of conclusion is presented.

Reliability has been ranked as below.

A: Several References support the idea and there seems to be agreement.

B: Not yet agreed, but at least two references have the idea in common.

C: Different conclusions are shown in references, or the idea is pointed out in only one reference, and not yet come to the agreement.

### 3. Field of Investigation

Twenty one Eco-materials listed in the table of the Contents, two pages ahead, have been examined. Classification of Eco-materials was according to the “Materials Outlook for Energy & Environment” and “Materials for Energy & Environment Exhibition 88”.

Table 1 shows References from “Materials for Energy & Environment Exhibition 88”.

In most references, effects of Eco-materials on global warming (especially on CO<sub>2</sub> emission) were being examined. However, resources, ecological toxicity and acidification are also examined here, because some references abroad (other than Japan) included the effects on those items.

Table1. References from “Environmental Energy Materials Exhibition 88

Field	No. Report	Field	No. Report	Field	No. Report
Fuel Cell	12	New life	1	Green structure Technique	1
Hydrogen	7	Lighting	1	Environmental clean up	1
Secondary Cell	3	Magnet	-	Catalyst Design	-
Solar cell	10	Energy transmission	-	Materials Design	1
Thermoelectric Materials	-	Light weight structure materials	10	Daily Materials	1
Heat-retention, Cooling	-	Efficiency category	-	Analysis Technique	-
Materials Less burden to resources	-	Electrical power saving	2		

#### 4. Source of References investigated

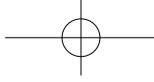
- The Institute of Life Cycle Assessment, Japan (Journals, Proceedings)
- Proceedings of Eco Balance International Conference (2002、 2004、 2006、 2008)
- Proceedings of Eco-Material International Conference (2001、 2005、 2007)
- Transactions of the MRS-J (2004)
- J-STAGE
- JDream 2
- Research papers in Science Direct

#### 5. References

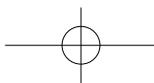
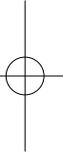
will be listed and given later, sorry.

## Contents

Field No.	Field	Invest. No.	Peer Review (No.)	English (No.)	Overview Page	Reference Page
1	Lighting	1			6	18
2	Light weight structural materials	10	(7)	(8)	6	20
3	Bio Polymer	6	(2)	(4)	7	41
4	Bio Fuel	8		(5)	7	50
5	Lead Free Solder	2	(1)		8	60
6	Wrapping Materials	1		(2)	8	64
7	Metallic Materials	1			8	65
8	Building Materials	10	(4)	(4)	9	66
9	Electric Power	2			11	84
10	Wind Electricity	3	(2)		11	90
11	Hydrogen (Energy Transmission)	7	(7)	(4)	12	93
12	Solar Energy	10	(9)	(8)	12	103
13	Fuel Cell	12	(8)	(7)	13	130
14	Secondary Batteries	3	(3)	(2)	13	155
15	Liquid Crystal for Cell-phone	1			14	162
16	Erasable Ink	1		(1)	14	163
17	Alternative Materials for Cr6+	1	(1)	(1)	14	164
18	Co-firing Gas turbine power generation	1	(1)	(1)	15	168
19	Paint	1	(1)	(1)	15	170
20	New life (FED)	1	(1)	(1)	16	173
21	Water Conversion Technique	2	(2)	(2)	16	177
	total	84	(49)	(58)		



# Overview



## 1. Lighting

1.1	LED Lamp: 1 (Reviewed: 0)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing LED with Fluorescent	.		
Main Conclusion	LED lamp Discharges 6 times more CO <sub>2</sub> at most, than that of Fluorescent in production process. LED lamp discharges 70% less LC-CO <sub>2</sub> for its much longer lifetime and lower power consumption in service.	1	C	1
	LED lamp discharges 95-99% of its LC-CO <sub>2</sub> during in service.	1	C	1

## 2. Light weight structure materials

2.1	CFRP light-weight vehicle: 2 (Reviewed: 0)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Effects of weight reduction by utilizing CFRP in vehicles.	.		
Main Conclusion	CFRP discharges CO <sub>2</sub> 10 times more than Iron during production, and results in 30kg-CO <sub>2</sub> /kg -CFRP.	1	C	2
	If CFRP alternates iron in ordinary vehicle, the effect is little; weight reduction merit in service is almost equal to demerit of CO <sub>2</sub> increase in production stage.	1	C	2
	CFRP is worth applied to BUS. Because the merit of weight reduction in service is quite big for bus.	1	C	3
2.2	Comparison of light weight composite materials: 5 (Reviewed: 5)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing Glass Fiber RP with Plant fiber RPs: Curaua fiber, China reeb fiber and Flax fiber.	.		
Main Conclusion	CO <sub>2</sub> Emission Glass Fiber RP: 1.92~2.17kg/kg Plant Fiber RP: 1.26~1.6kg	2	B	10, 11
	If weight is a functional unit, Plant fiber RP discharges less CO <sub>2</sub> .	5	A	7~ 12
	If strength is a functional unit, in some cases Glass fiber RP discharges less CO <sub>2</sub> .	1	B	10
	Plant Fiber RP has more negative effects in terms of Nutrient Enrichment.	4	A	7~ 12
2.3	Effect of lighter weight engine block: 2 (Reviewed:1)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Three kinds of engine blocks are compared: cast iron, aluminum and magnesium.	.		

Main Conclusion	Engine Block of Aluminum and Magnesium discharge about the same amount of CO <sub>2</sub> : discharging 2~3t/EB LC-CO <sub>2</sub> . (50-70% less than cast iron)	2	B	4
	If recycled materials are used, it would reduce CO <sub>2</sub> emission by 40% compared with virgin materials.	1	C	4
2.4	Light weight plastic materials for vehicle door: 1 (Reviewed:1)	No .	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing traditional materials (PVC, PES, POM) with alternate light weight materials (TPO, PP)			
Main Conclusion	If alternate light weight materials are applied, it would reduce CO <sub>2</sub> emission, acidification and ecological toxicity by 20%, and reduce waste and land use by 70%.	1	C	5

### 3. Bio Polymer

3.1	Bio Polymer: 6 (Reviewed: 2)	No .	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Environmental burden of bio polymer during production and recycling.			
Main Conclusion	Environmental burden of bio polymer (PLA) is the same or slightly higher than that of PP, when produced by traditional method.	4	B	14~16, 18
	CO <sub>2</sub> emission of bio polymer production by traditional method is 1.8kg/kg. When waste heat or green electricity is applied, -0.2~-1.9kg/kg.	2	A	16, 18
	Chemical Recycle of PLA has apparent influence on reduction of CO <sub>2</sub> .	1	C	17
Problem	Effects of fire-retardant should be also examined.			

### 4. Bio Fuel

4.1	Bio Fuel: 8 (Reviewed: 0)	No .	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing Bio Fuel with Gasoline			
Main Conclusion	LC-CO <sub>2</sub> of Bio Fuel is less than that of Gasoline.	7	A	20~25
	CO <sub>2</sub> emission can be further reduced by using waste materials and waste heat.	3	A	21, 24, 25
	Food-originated fuel such as from soybean discharges more CO <sub>2</sub> than that of waste wood, Cellulosic biomass and woody biomass.	1	C	25
	How to use the land can affect the result. Conversion from tropical forest to crop field will increase CO <sub>2</sub> Emission.	1	C	21

	In terms of the integrated result, environmental burden of bio Fuel is bigger than that of gasoline. It is mostly because of nutrient enrichment generated in biomass production, and ecological toxicity derived from agricultural chemicals and use of the land.	1	C	25
--	--	---	---	----

#### 5. Lead Free Solder

5.1	Lead free solder: 2 (Reviewed: 1)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing lead free solder with traditional solder.	.		
Main Conclusion	Lead free solder discharge CO <sub>2</sub> sometimes more and sometimes less than traditional solder.	2	C	26, 27
	LC-CO <sub>2</sub> of lead free solder is larger than that of traditional solder, because detoxifying needs much energy, and.	1	C	27
	Since harmful effect of lead is big, lead free solder has less negative effect to environment in total.	1	C	26

#### 6. Container and Wrapping Materials

6.1	Ecological aluminum can: 1 (Reviewed: 0)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing ecological aluminum can (aTULC) with traditional can.	.		
Main Conclusion	LC-CO <sub>2</sub> can be reduced by laminating polyester film on outer and Inner surface so that no painting is needed.	1	C	28
	Ecological aluminum can (aTULC) needs less water than traditional can during production.	1	C	28

#### 7. Metallic Materials

7.1	Ni-added steel: 1 (Reviewed: 0)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing Ni-added steel with traditional steel.	.		
Main Conclusion	Bridge made of Ni-added steel has longer life and that makes it have less negative effects on environment. (approximately 20% ~ 40% less in total)	1	C	29

## 8. Building Materials

8.1	Materials for railways or trains: 2 (Reviewed: 0)	No.	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing new materials with traditional ones.			
Main Conclusion	Geo polymer concrete discharge less amount of CO <sub>2</sub> as it does not depend upon limestone in production. (75kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> , about 20% of traditional concrete.)	1	C	30
	Sliders are mainly made of sintered Cu alloy at the moment. If it is replaced by carbon-based slider, it will reduce LC-CO <sub>2</sub> emission by 20% as carbon-based slider is attacked less by trolley wire than traditional one.	1	C	30
8.2	Plywood: 1 (Reviewed: 0)	No.	Reliability	Ref. No..
Purpose of Evaluation	Comparing ordinary GM with Particle Board (PB), Wood Particle Composite Board (WP ) and Cork.			
Main Conclusion	LC-CO <sub>2</sub> Emission of is averagely 30kg/m <sup>2</sup> in WP > averagely 20kg/ m <sup>2</sup> in GM > averagely 8kg/ m <sup>2</sup> .in PB.	1	C	32
	Waste of WP is small and it does not consume virgin materials, WP has less negative effect on exhaustion of resources and use of land.	1	C	32
8.3	Siding Materials for Housing: 1 (Reviewed: 0)	No.	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing four siding materials: vinyl, metal, wood and ceramics.			
Main Conclusion	Vinyl Materials use more resources than others but not much negative effects on global warming, acidification and solid waste.	1	C	33
	Problem: Disposal process of vinyl should be also examined.			
8.4	Waterproofing Materials and Interior Materials: 2 (Reviewed: 0)	No.	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing building materials without VOC and traditional one.			
Main Conclusion	Waterproofed Coating Film of MY ROOFER is 10% of Organic Solvent Waterproofing Materials in integrated result as it does not discharge VOC.	1	C	35
	New wall paper (MOISE) has slightly more negative effect on Environment in production process than traditional ones. But it absorbs and decomposes VOC, so, in lifecycle integrated result, it has about 50% less negative effects than traditional ones.	1	C	39
8.5	Continuous-fiber reinforced Concrete: 1 (Reviewed: 0)	No.	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing continuous-fiber reinforced concrete with ferroconcrete.			
Main Conclusion	If tensile strength is taken as functional unit, they show equivalent degree of TMR and Energy Consumption.	1	C	36
	Lifetime of continuous-fiber reinforced Concrete is 100 years and that of ferroconcrete is 65 years, thus the former is superior to the latter in terms of environmental burden.	1	C	36

8.6	Electric Wire: 1 (Reviewed: 1)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Effects of increasing the diameter size of electric wire and of raising voltage to reduce CO <sub>2</sub> .	.		
Main Conclusion	CO <sub>2</sub> can be reduced drastically by raising voltage from 100V to 200V. The advantageous effect in is 1.3~2.25 million t/year.	1	C	38
	If the diameter of electric wire is doubled, we can expect the CO <sub>2</sub> reduction of 2.5 million ton/year after 4 years passed. When replacement is completed after 21 years passed, 14.8 million ton/year will be saved in all.	1	C	38
8.7	Cement: 1 (Reviewed: 1)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing Portland cement (traditional) with fly ash cement.	.		
Main Conclusion	Fly ash cement contributes to reducing materials as it is consisted of fly ash admixture materials. Thus the integral result is smaller by 20%.	1	C	40
	In all cements, heavy metals contained have large effects on environmental burden. Especially lead in fuel oil is quite big.	1	C	40
8.8	Insulator Materials: 2 (Reviewed: 2)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing rock wool, paper wool and flax.	.		
Main Conclusion	Flax has larger effects on global warming, acidification and nutrient enrichment, because flax needs chemical fertilizer in its production process.	2	A	41, 42
	Paper wool generates toxic-waste the most. It is due to disposition of newspaper and boric acid in production process.	1	C	41
	Flax products need total energy consumption the most. Paper wool and rock wool need the same amount of total energy consumption. Paper wool consumes more energy for recycling.	1	C	41

## 9. Electric Power

9.1	Electric Power: 3 (Reviewed: 0)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparison of nations by electric resource and by country.	.		
Main Conclusion	Thermal Power Generation and Biomass Power Generation vary from country to country.	1	A	45
	Thermal power generation by coal and oil discharge most. Biomass gas does less than those. Atomic energy, waterpower, solar energy and wind power discharges less.	1	B	45
	Effect on global warming is relatively larger in power generation. Less effects on others.	2	A	43, 45
	Effects on human health are significant. (Air pollutants and so on)	1	C	45
	In Japan, environmental burden of power generation is smaller than that of other countries. Especially negative effects by air pollution is small. (due to thorough desulfuration and denitration)	1	C	45

## 10. Wind Electricity

10.1	Wind Electricity: 3 (Reviewed: 2)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing small-sized wind electricity facilities with large-sized ones.	.		
Main Conclusion	Electrical power generation unit depends on the size of wind power facility: 7~29.5g/kWh.	3	B	46, 47
	There is a scale merit by enlargement.	3	B	46, 47
	According to the integrated result on environmental effects, disease of respiratory system and exhaustion of resources by cement production have biggest effects.	2	A	46, 47

## 11. Hydrogen

11.1	Hydrogen Storage: 1 (Reviewed: 1)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	LC-CO <sub>2</sub> of hydrogen storage and transportation by organic hydrides.	.		
Main Conclusion	Emission of CO <sub>2</sub> is highest in the process of hydrogen desorption and it surpasses 50 % of LC-CO <sub>2</sub> .	1	C	48
	If waste heat of Fuel Cell is utilized to desorb hydrogen, LC-CO <sub>2</sub> can be reduced by about 50%.	1	C	48
11.2	Hydrogen Production: 6 (Reviewed: 6)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparison of the method of hydrogen production.	.		
Main Conclusion	High temperature thermochemical decomposition of water discharges less CO <sub>2</sub> by 80% than that of steam reforming of natural gas. (2000~2700g/kg -H <sub>2</sub> )	5	A	49~ 51
	Hydrogen production of water electrolysis from solar power, hydraulic power and wind power discharge less CO <sub>2</sub> than thermochemical decomposition. (584~2124g/kg- H <sub>2</sub> )	4	A	49~ 51

## 12. Solar Energy

12.1	Solar Cell: 10 (Reviewed: 9)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	CO <sub>2</sub> emission and integrated effects of solar cell are examined.	.		
Main Conclusion	CO <sub>2</sub> emission of solar cell is 50~200g/kWh, which corresponds to 10% ~ 50% of that of purchased electricity. The reason for the wide range is it is affected by location (the Sahara, Italy and city center of Singapore), lifetime (20~30 years) and size (small or large).	8	A	52~ 61
	Both Dye-sensitized cell and thin film PV discharges less than purchased electricity, however, technical development is desired.	3	A	52, 53, 60
	Single-crystal silicon shows higher by 10% in integrated result than polycrystalline silicon. It needs more uses fossil fuel in production.	1	B	58
	Thin film PV system shows better results on global warming, acidification and ecological toxicity than other silicon systems.	1	B	60

### 13. Fuel Cell

13.1	Fuel Cell: 12 (Reviewed: 8)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing with Gasoline Vehicle.	.		
Main Conclusion	In vehicle production process, FCV discharges 2 times more CO <sub>2</sub> than GV. (FCV: 2.8~11.2t-CO <sub>2</sub> , GV: 1.7~6-CO <sub>2</sub> )	5	A	62~73
	The fluctuation of data is larger for FCV than GV. Data treatment of platinum has significant effect.	7	A	
	In process of fuel cell production, CO <sub>2</sub> discharged in hydrogen production is significant.	7	A	
	Fuel efficiency has big influence on evaluation results of GV, however there is no big variance among references. Hydrogen supply source and fuel efficiency have big influence on evaluation results of FCV.	7	A	
	In driving process, variance of data among references is small. Effect of driving process on LC-CO <sub>2</sub> of GV is bigger than that of hydrogen production process on LC-CO <sub>2</sub> of FCV.	7	A	
	Lifecycle in total, FCV is superior to GV.	6	A	
	There is a hope for CO <sub>2</sub> reduction of FCV based on technical development.	3	B	63, 71, 73
	FCV has less negative effect on exhaustion of resources, nutrient enrichment and ecological toxicity as fuel cell consumes less fossil fuel and discharge less emission to air in fuel burning process.	3	A	69, 71~73

### 14. Secondary Cell

14.1	Secondary Battery: 3 (Reviewed: 3)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing conventional battery with secondary battery. Also among secondary batteries.	.		
Main Conclusion	Conventional battery results to have 100 times more effect on human body health, ecological system and resources. (When SB is used 400 times)	1	C	75
	In terms of global warming, Li-ion < NiCd < PbA < NiMH (671~832g-CO <sub>2</sub> /kWh). Energy consumption unit in production process of hydrogen storage alloy used for NiMH is 6 times larger than that of aluminum.	1	B	74
	In integral result, it shows as Li-ion < NiMH < PbA < NiCd. Cd has significant effect.	2	B	75, 76

### 15. Liquid Crystal for Cell-phone

15.1	Liquid Crystal for Cell-phone: 1 (Reviewed: 0)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Evaluating Environmental Burden of Liquid Crystal Effect in Production Process.	.		
Main Conclusion	CO2 Emission in total is 98kg/kg-panel.	1	C	77
	60% of CO2 Emission is discharged in TFT Process. (Process of Semiconductor)	1	C	77
	90% of CO2 is discharged from Electricity among which 34% is generated in Clean Room.	1	C	77

### 16. Erasable Ink

16.1	Erasable Ink: 1 (Reviewed: 0)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Evaluating Environmental Burden through comparison of Erasable Ink with Traditional Carbon Black Ink.	.		
Main Conclusion	CO2 Emission can be reduced by 30% if paper erased printed ink is to be reprinted.	1	C	78
	If erasing 5 times and (re)printing 6 times, CO2 Emission can be reduced by 50%.	1	C	78

### 17. 6 Chrome Alternative Materials

17.1	6 Chrome Alternative Materials: 1 (Reviewed: 1)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Evaluating Cro3 as 6 Chrome Alternative Materials.	.		
Main Conclusion	LCCO2 of 10000m2 Aluminum anode disposition is 94810kg. 64% of it is discharged in Energy Consumption and 30% is in production and transportation of all Chemicals and Materials.	1	C	79
	If CrO3 is used, 6 Chrome is reduced in Using Process (Disposition Process), and 6 Chrome is discharged less in its Production Process.	1	C	79
	Large quantity of Waste water is discharged from Solution, however, Water Consumption ultimately will be reduced by utilizing Ion-exchange resin.	1	C	79

### 18. Co-firing Gas turbine power generation

18.1	Co-firing Gas turbine power generation: 1 (Reviewed: 1)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Ecological burden of Gas turbine.			
Main Conclusion	Power Generation Unit: 425.7 ( $\pm 65.98$ ) g/kWh.	1	C	80
	CO2 can be reduced by 10~50% of Traditional one. (by use of Biomass make it reduce consumption of Natural Gas)	1	C	80
FYI	Co-firing Gas turbine power generation is build up with adding Biomass conversion to traditional Gas turbine Plant, so that Hot waste gas discharged from Gas turbine can be used for Generating Electricity in Gas turbine through converting Biomass to Bio Fuel in order to mix up in Natural Gas.			

### 19. Paint

19.1	Paint: 1 (Reviewed: 1)	No	Reliability	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparison of Waterborne Paint, Dry UV Paint, Green Wax Paint and Fossil Wax Paint.			
Main Conclusion	Result of m2 Surface Disposition effect on Global Warming is UV(0.1kg) < Waterborne UV (0.76kg) < Green Wax (0.87kg) < Fossil Wax (0.93kg). Dry UV is absolutely small. (1/8 of 3 other paints)	1	C	81
	CO2 Emission of Wax Paint is biggest in Construction Stage. Biggest in Production Process for UV Paint. (about 60%)	1	C	81
	Green Wax has the most effect on Acidification and Nutrient Enrichment. (It is because of Plant-derived Production Process.)	1	C	81
	If Green Wax is stated to be lifetime of 20 years (5 years at the moment), it can be expected for reducing bad effect of Environment.	1	C	81
FYI	Because UV Paint is made of Resin and can irradiate Ultraviolet rays, Construction Method of UV Paint is that it is made harden immediately.			

## 20. New Life (FED)

20.1	FED: 1 (Reviewed: 1)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing FED with CRT and LCD.	.		
Main Conclusion	70% LCCO <sub>2</sub> of FED is discharged when it is used and 30% is when it is produced. 90% of LCCO <sub>2</sub> discharged in Production Process is from CNT (Carbon Nano Tubes) coating.	1	C	82
	LCCO <sub>2</sub> Comparison. FED<LCD (approx. 3 times more than FED)< CRT (approx. 4 times more than FED) CNT is coated on FED which reduced Bad effect on Environment as it uses less Silicon and Semiconductor in Production Process.	1	C	82
	Damage to Health due to Discharging Nano Particles is not Evaluated.	1	C	82

## 21. Water Conversion Technique

21.1	Water Conversion Technique: 2 (Reviewed: 2)	No	Relia bility	Ref. No.
Purpose of Evaluation	Comparing Heat Separation Method (MED, MSF) with Membrane Separation Method (RO).	.		
Main Conclusion	LCCO <sub>2</sub> of Heat Separation Method is 1.11~1.98kg/m <sup>3</sup> and that of Membrane is 1.78kg/m <sup>3</sup> . Every Technique consumes the most energy in Production Process.	2	A	83, 84
	Because Membrane Separation Method needs less energy than Heat Method, it has less bad effect on Environment.	2	A	83, 84
	Underground Salt water Plant has less bad effect on Global Warming by 50% than that of Seawater, as concentration of Salt water of underground is lower than that of seawater and Osmotic pressure can be also lower. Salt water of Underground: 1.1kg/m <sup>3</sup> , Salt water of Sea: 1.98kg/m <sup>3</sup> .	1	B	84

## References

## NIMS-EMC 材料環境情報データ

- |        |  |           |
|--------|--|-----------|
| No. 1  | 金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定に関する調査                           | (2003年3月) |
| No. 2  | 鉛マテリアルフロー作成のための基礎調査                                    | (2004年3月) |
| No. 3  | 我国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向                              | (2004年3月) |
| No. 4  | 鉄スクラップの消費動向とその拡大技術シナリオのLCA的検討                          | (2004年3月) |
| No. 5  | 我が国のアルミニウムマテリアルフロー調査                                   | (2004年3月) |
| No. 6  | バイオマスノ利活用に関する調査  | (2005年3月) |
| No. 7  | 中国の非鉄金属リサイクル動向と日本の廃家電を中心とする<br>リサイクル6法のその後の状況          | (2005年3月) |
| No. 8  | 「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数                                    | (2005年3月) |
| No. 9  | 中国の鉄鋼需給の現状と展望  | (予定)      |
| No. 10 | 関与物質総量 (TMR) の算定 - 資源および工業材料のTMR -                     | (2006年3月) |
| No. 11 | 金属元素のマテリアルフローを統一した形式で整理する試み                            | (予定)      |
| No. 12 | 社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査                                    | (2006年3月) |
| No. 13 | Ni, Co, V, REEの現状に対する考察                                | (2006年3月) |
| No. 14 | ナノテクノロジーの倫理・社会影響に関する調査研究                               | (2006年3月) |
| No. 15 | 中国のリサイクル・資源利用調査報告                                      | (2007年3月) |
| No. 16 | マテリアルリース社会システムのグランドデザインの検討                             | (2007年3月) |
| No. 17 | 社会インフラとしての鋼構造物のハイバーネーション・ストック<br>としての評価                | (2007年3月) |
| No. 18 | 概説 資源端重量 (Total Material Requirement: TMR)             | (2009年3月) |
| No. 19 | 環境エネルギー材料に関わるLCAに関する文献のレビュー作成報告書                       | (2010年3月) |
| No. 20 | 日本のエコマテリアルの現状と今後の課題<br>- 2001年度から2007年度までの現況報告書を調査して - | (2010年3月) |

独立行政法人物質・材料研究機構  
元素戦略センター

〒 305-0047

茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL 029-859-2668

FAX 029-859-2601

e-mail [emc@wotome.nims.go.jp](mailto:emc@wotome.nims.go.jp)

home page <http://www.nims.go.jp/>