

## 竹炭を用いた水質浄化材と爆砕竹繊維を用いた建設材料のLCAに関する研究

神田 沙英\* シア メイ シェン\*\*\* 新免 友里子\*\* 渡部 守義\*\*

### A Study on the LCA of Water Purification Methods Using Bamboo Charcoal and Construction Materials Using Blasted Bamboo Fiber

Sae KANDA, Mei Shen SIA, Yuriko SHINMEN and Moriyoshi WATANBE

#### ABSTRACT

Recently, wood and bamboo have been replaced by plastic and aluminum. That's why bamboo is not used as much and the bamboo production areas in Japan are becoming untended. And, this causes some problems such as invasions and expansions into neighboring forests, decreases in river's cultivation functions, and a decrease in biological diversity. To resolve these problems, we need to reduce the number of bamboo trees in certain areas. Wood from these trees can be used in the study of water purification methods using bamboo charcoal and the study of construction materials using blasted bamboo fiber which are carried out at the National Institute of Technology, Akashi College. Both of these studies have shown routes to the effective use of bamboo. But, they have fallen short on sharing knowledge about their influence on the environment. In this article, we carry out the LCA (Life Cycle Assessment) of these studies. LCA is a method of evaluating environmental influence. As the result of LCA, in study of water purification, the total amount of CO<sub>2</sub> emission was 23.279 kg-CO<sub>2</sub>/5 kg. And, in a study of construction materials using blasted bamboo fiber, it was proven that canceling drainage made the water environment worse.

**KEY WORDS:** Life Cycle Assessment, bamboo charcoal, construction materials, bamboo fiber

#### 1. はじめに

##### 1・1 背景と目的

日本の木竹材は、近年プラスチックやアルミニウムなどの代替資材の普及により、使われなくなってきており、日本各地で放置された竹林が増加している。竹は、成長速度は速く、樹高の成長に多くの光を必要としないため、竹林を放置することで、周辺森林への侵入や拡大が進行し、高密度化する。その結果、竹材の下部は太陽光が遮断され、森林内の主要な樹木の枯死、植生の単純化、生物多様性の低下を引き起こす。また、竹林では地表約 30 cm に地下茎が集中するため、雨水が地中深く浸透しなくなり、森林の持つ水源涵養機能が

低下するなど、放置竹林が増加することで、森林の持つ多面的な環境保全機能への影響が考えられる。これらの問題を解決するためには、適度な伐採・間伐と間伐竹材の有効活用を図る必要がある。間伐竹材の有効活用法の一例としては、竹材を炭化させて脱臭や除湿などを目的として用いたり、竹の特性を生かした建設資材として活用することが考えられる。

現在、明石高専都市システム工学科では、間伐竹材の有効活用に関する2つのテーマが取り組まれている。河川環境研究室では、竹炭による水質浄化に関する研究<sup>1)</sup>、コンクリート研究室では、竹繊維を用いたコン

\*建築・都市システム工学専攻 \*\*都市システム工学科 \*\*\*大阪大学地球総合工学科

クリートに関する研究<sup>2)</sup>が行われている。ここで簡単に各テーマの内容について説明する。竹炭による水質浄化に関する研究では、間伐竹材を炭化して竹炭をつくり、これを河川に設置し河川の水質浄化を行っている。竹繊維を用いたコンクリートに関する研究では、爆砕した竹繊維をコンクリートに混入することで、コンクリートの強度を強化し、環境にやさしい建設材料の開発を行っている。いずれの研究においても、間伐竹材の有効活用への道筋は示されているものの、費用や環境への影響に関する検討は行われていない。本研究では、これら2つの研究テーマに用いられる間伐竹材の活用に関するライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment : 以降、LCA) を行うことを目的とする。

## 1.2 竹について

竹の生長は一般の木より早く、筍は地上に頭を出してから2~3ヶ月で成竹となる。適地としては、表土はなるべく深いほうがよく、いくらか砂地がかつた少し日陰のある北向きの土地でよく育つ。成竹になるとそれ以降大きくはならないため、年輪がない。竹の寿命は20年ほどであり、竹は固く空洞と節がある。また、弾力性と、割裂性という縦に細かく割れる性質がある。

竹の種類は世界で1200種類もあり、主な分布地は日本、中国、台湾、アジア南部のほか、アフリカ、南米などである。日本の竹は、真竹(6割)、孟宗竹(2割)、破竹(1割)の3大竹から構成されており、孟宗竹と真竹が主に分布している。孟宗竹は直径25cm、高さ25mにもなる日本で最大の竹で、中国から導入された外来種である。節の輪が1本であり、新しい孟宗竹の表面は白く見えることなどが特徴である。昔から孟宗竹は建築材料や細工用材として用いられてきたが、現在では用途が激減したため、新建築材料や竹炭などへの活用が注目されている。真竹は直径12cm、高さが24mになる竹である。真竹の色は明るい緑色であり、節の輪は2本である。また、細めの真竹は上の輪が目立ち、手触りは角がない。真竹は伝統竹工芸品や建築材料として使用されている。

## 2. LCAの概要

### 2.1 LCAとは

LCAは対象とする製品を生み出す資源の発掘から素材製品、生産だけでなく、製品の使用、廃棄段階まで、ライフサイクル全体(ゆりかごから墓場まで:資源採掘→輸入→素材製造→部品製造→組立て→使用→廃棄)を考慮し、資源消費量や排出物量を計量するとともに、

持続可能な社会を構築するため、その環境への影響を評価する手法である。実際にみえている製品やサービスの使用段階での環境影響だけでなく、製品が製造されてから廃棄に至るまで、目にみえない所での環境影響を考えることが特徴的である。LCAの結果は、人間活動の様々な局面において、環境負荷を提言するための意思決定に活用される。すなわちLCAは環境への負荷を削減するための判断材料を提供する意思決定支援ツールの一つである。

## 2.2 LCAの一般的手順

### 1) 目的と範囲の設定

目的の設定では、特に製品間比較を行うかどうか、また、それを一般に開示することを意図するかどうか慎重に考える必要がある。また調査範囲については、LCAは常に反復して実施される手法なので、設定した調査の範囲も進捗によって変更されることがある。

### 2) インベントリ分析

LCA調査の対象である製品やサービスの一生においてどれだけの物質が投入され、どれだけの物質が排出されているのかリストを作成する。実施者によって収集されるデータをフォアグラウンドデータ、部品や素材の納入企業へのヒアリング、文献およびLCAの実施例、データの引用等で収集されたデータをバックグラウンドデータという。

### 3) ライフサイクル影響評価

ライフサイクル影響評価LCIA (Life Cycle Impact Assessment) は環境負荷の発生を通じてどのような環境影響がどの程度発生し得るかについて定量的に評価する。

### 4) ライフサイクル解釈

ライフサイクル解釈はLCA手順の最終段階であり、この段階でインベントリ分析および影響評価の結果が、目的と調査範囲の設定にしたがって、結論、提言および意思決定のための根拠として要約され、議論される。

## 3. 竹炭を用いた水質浄化材に関するLCA

### 3.1 竹炭水質浄化材の製造フロー

明石高専都市システム工学科河川環境研究室で実施されている竹炭を用いた水質浄化に関するLCAについて、図3.1に示すようなフローで研究を行った。まず、竹炭に関する文献調査を行い、竹炭作りの方法とその活用法を調べた。平成25年12月21日に兵庫県加西市の竹林で竹の間伐を行い、その後学校に移動して竹炭製造を行った。この成果をもとに竹炭製造に関するLCAを行った。



図3. 1 間伐竹材-竹炭研究フロー

1) 加西市での竹材の間伐

兵庫県加西市にある竹林において、間伐を行った。作業者は学生6名で、作業時間は2時間であった。竹林では、半径1m以内に竹が1本残る要領で間伐を行った。その後、炭化装置に入れるため、約50cmの長さに切断し、切った竹材を車で明石高専まで運搬した。

2) 竹炭の製造

明石高専において50cmずつ切断された間伐竹材を竹の直径に合わせて、竹割器で4等分または6等分に割り、節取器で竹の中節を取り、炭化ケースに細密に充填した。その後、竹を詰め込んだ炭化ケースを炭化室に投入し、高収率低温炭化装置で炭化室上部の温度が400~500℃、下部の温度が240℃になるまで燃焼させる。完成した竹炭を2~3日放置し、常温まで冷やした。作業の様子を写真3.1と写真3.2に示す。



写真3.1 炭化ケース内の様子と高収率低温炭化



写真3.2 竹炭の製造風景

3) 竹炭水質浄化材

製造された竹炭を5~10cmほどの大きさに破碎し、一辺60cmの洗濯用ネットに約5kg詰め、それを兵庫県加古川市尾上町にある養田川(河川長1445mの準用河川)に設置し年に一度交換する<sup>1)</sup>。

3・2 竹炭水質浄化材のLCA検討

本研究では表3.1のように、ケース1として、平成25年12月21日に行った作業をモデルとした間伐竹材を竹炭水質浄化材に利用するものと、比較対象事例として、同竹材における間伐竹材を、チップパーで破碎し、竹林に撒き処分するケース2を設定した。表には各ケースの調査範囲と時間境界、空間境界および分析境界を合わせて示している。本研究では、竹炭水質浄化材5kgに対して検討を行う。なお、温室効果ガス排出量の算定には、表3.2に示す算出式を用いる<sup>7)</sup>。輸送コストについては平成25年12月16日に発表された兵庫県のガソリン代金157.1円<sup>3)</sup>をもとに算出する。

表3.1 検討ケースと境界設定

境界	ケース1	ケース2
時間	竹間伐→水質浄化材の廃棄	竹間伐→利用せず廃棄
空間	竹林→炭化装置→河川→廃棄場	竹林
分析	LC-CO <sub>2</sub> 、LC-C	

表3.2 各項目の温暖化ガス排出量の算出式

プロパン換算	1m <sup>3</sup> =1.99kg
二酸化炭素排出量計算式 式(A)	式(1)+式(2)+式(3)
ガソリン 式(1)	ガソリン量(ℓ)×発熱量0.00346(GJ/ℓ)×炭素排出係数18.3(kg-C/GJ)×44/12(CをCO <sub>2</sub> に換算)
プロパンガス 式(2)	プロパンガス量(m <sup>3</sup> )×1.8(kg/m <sup>3</sup> )×発熱量0.0508(GJ/kg)×炭素排出係数16.1(kg-C/GJ)×44/12(CをCO <sub>2</sub> に換算)
電気 式(3)	電気量(kwh)×二酸化炭素排出係数0.384(kg-CO <sub>2</sub> /kwh)
メタン排出量計算式 式(B)	式(4)+式(5)
ガソリン 式(4)	ガソリン量(ℓ)×燃費10(km/ℓ)×CH <sub>4</sub> 排出量係数0.000010(kg-CH <sub>4</sub> /km)
プロパンガス 式(5)	プロパンガス量(m <sup>3</sup> )×1.8(kg/m <sup>3</sup> )×発熱量0.0508(GJ/kg)×CH <sub>4</sub> 排出係数0.0045(kg-CH <sub>4</sub> /GJ)
一酸化二窒素排出量計算式 式(C)	式(6)+式(7)
ガソリン 式(6)	ガソリン量(ℓ)×燃費10(km/ℓ)×N <sub>2</sub> O排出量係数0.000029(kg-N <sub>2</sub> O/km)
プロパンガス 式(7)	プロパンガス量(m <sup>3</sup> )×1.8(kg/m <sup>3</sup> )×発熱量0.0508(GJ/kg)×N <sub>2</sub> O排出係数0.000090(kg-N <sub>2</sub> O/GJ)
温暖化ガス排出量[kg-CO <sub>2</sub> ] 式(8)	式(A)+21×式(B)+310×式(C)

3・2・1 ケース1：間伐竹材を竹炭水質浄化材にした場合の温暖化ガス排出量とコストの検討

ケース1の作業工程を図3.2に示す。この工程に沿って、以下にフォアグラウンドデータとバックグラウンドデータについて説明する。

1) フォアグラウンドデータ

**製造段階：**竹炭水質浄化材の主原料は孟宗竹と真竹の間伐材である。そのほかに、竹を炭化させるため、プロパンガス(498円/缶)を3缶(0.75kg)使用した。  
**輸送段階：**輸送は図3.2に示す通り、間伐作業のための輸送1、水質浄化材設置のための輸送2、水質

浄化材廃棄のための輸送3がある。輸送1では、明石高専から兵庫県の加西市にある竹林（間伐現場）往復で間伐した竹材をミニバンで学校まで輸送する。その走行距離は往復40 km、給油量は4.0 ℓである。

**製品使用段階：**竹炭を水質浄化材として利用される際には電力の消費や温室効果ガスの排出量はないが、水質浄化の効果がある。

**廃棄・リサイクル段階：**竹炭水質浄化材は、明石高専内に持ち帰り敷地に撒いたり、埋めたりして廃棄する。

各段階から得られたデータを表3.4に示すフォアグラウンドデータとしてまとめる。

2) バックグラウンドデータ

フォアグラウンドデータをもとに、温室効果ガス排出量とコストを算出する。

**製造段階：**竹炭水質浄化材5 kgには間伐竹材20 kgが必要である。製造段階では炭化のためにプロパンガス0.75 kgを使用する。表3.2より、プロパンガスの二酸化炭素排出量をA式、メタン排出量をB式、一酸化二窒素排出量をC式で求め、式(8)により温暖化ガス排出量を算出すると2.039 kg-CO<sub>2</sub>となる。コストはプロパンガスの1,494円であった。

**製品の輸送：**表3.2より、ガソリンの二酸化炭素排出量をA式、メタン排出量をB式、一酸化二窒素排出量をC式で求め、式(8)により温暖化ガス排出量を算出すると、輸送1ではガソリン4.0 ℓ必要で、温暖化ガス排出量は9.655 kg-CO<sub>2</sub>となる。また、輸送コスト（ガソリン代）は628円であった。

**製品使用段階：**輸送2は、明石高専から養田川まで竹材を輸送する。表3.2より、ガソリンは2.4 ℓ必要で、温室効果ガス排出量は5.793 kg-CO<sub>2</sub>となる。輸送コストは377円であった。

**廃棄・リサイクル段階：**輸送3は、竹炭水質浄化材を明石高専へ輸送し、廃棄するため、輸送2と同様に、ガソリンは2.4 ℓ必要で、温室効果ガス排出量は5.793 kg-CO<sub>2</sub>となる。輸送コストは377円であった。

以上の結果をバックグラウンドデータとしてまとめると表3.5のようになる。ケース1の間伐竹材を竹炭水質浄化材に利用すると、竹炭水質浄化材5 kgあたりでは温暖化ガス排出量は23.279 kg-CO<sub>2</sub>、コストは2,876円必要となる。

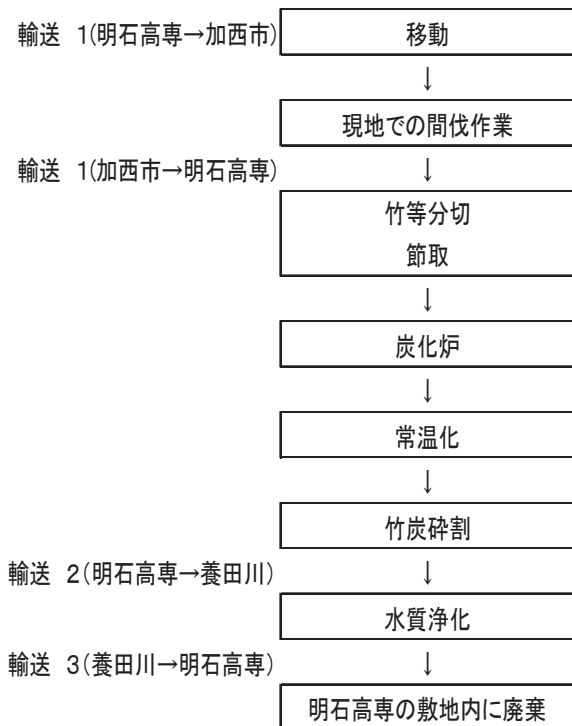


図3.2 ケース1の作業工程

表3.3 輸送の詳細

輸送(往復)	輸送1(明石高専⇄加西市)	輸送2、3(明石高専⇄養田川)
時間[分]	120	40
走行距離[km]	40	24
給油量[ℓ]	4.0	2.4
燃費[km/ℓ]	10	10
1リットル当りのガソリン代[円]	157	

表3.4 ケース1のフォアグラウンドデータ

<入力>		品名	数量
原料	主原料	孟宗竹[kg]	20
		真竹[kg]	
	副原料	-	-
		-	-
エネルギー		電力[kWh]	-
		プロパンガス[kg]	0.75
		ガソリン[ℓ]	2
		-	-
<出力>		品名	数量
製品	主製品	竹炭[kg]	5
	副製品	ロス[kg]	15



表 3.5 ケース 1 のバックグラウンドデータ

ケース1	プロパンガス		電気	ガソリン			
	0.75 kg	0		輸送1	輸送2	輸送3	備考
入力	0.377 m <sup>3</sup>	0	kWh	4.0	2.4	2.4	ℓ
CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> ]	2.034 式(2)	0 式(3)		9.287	5.572	5.572	式(1)
メタン排出量[kg-CH <sub>4</sub> ]	0.000 式(5)	0		0.000	0.000	0.000	式(4)
一酸化窒素[kg-NO]	0.000 式(7)	0		0.001	0.001	0.001	式(6)
温暖化ガス排出量[kg-CO <sub>2</sub> ]	2.039 式(8)	0 式(8)		9.655	5.793	5.793	式(8)
各項目のコスト[円]	1494	0		628	377	377	
温暖化ガス排出量合計[kg-CO <sub>2</sub> ]				23.279			
コスト合計[円]				2876			

3・2・2 ケース 2 : 間伐竹材を直接廃棄した場合の温暖化ガス排出量とコストの検討

ケース 2 の作業工程を図 3.3 に示す。間伐竹材を竹林の肥料としてその場に撒くため、チッパーなどの粉砕機で間伐竹材を粉砕する。

1) フォアグラウンドデータ

製造段階：竹炭水質浄化材の主原料は、孟宗竹と真竹の間伐材である。ケース 1 と比較するため、20 kg の間伐竹材を対象とする。間伐竹材 20 kg を粉砕するのにチッパーの燃料としてガソリン 2 ℓが必要となる。

輸送段階：輸送は、間伐・粉砕作業のための現地への移動だけである。このためケース 1 の輸送 1 と同様となる。

廃棄・リサイクル段階：粉砕された間伐竹材を撒く作業となり、環境負荷とコストは発生しないものとする。

各段階から得られたデータを表 3.6 に示すフォアグラウンドデータとしてまとめる。

2) バックグラウンドデータ

フォアグラウンドデータをもとに表 3.7 を作成し、温暖化ガス排出量とコストを算出する。ケース 2 では作用のための移動（輸送 1）と間伐竹材の粉砕工程のみが評価の対象となる。両方ともガソリンの使用に関して温暖化ガス排出量を表 3.2 より算出すると 14.482 kg-CO<sub>2</sub> となる。コストはガソリン代の 943 円であった。

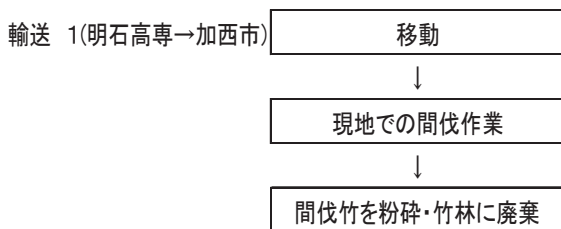


図 3.3 ケース 2 の作業工程

表 3.6 ケース 2 のフォアグラウンドデータ

<入力>		品名	数量
原料	主原料	孟宗竹[kg]	20
		真竹[kg]	
原料	副原料	-	-
		-	-
エネルギー		電力[kWh]	-
		プロパンガス[kg]	-
		ガソリン[ℓ]	2
		-	-
<出力>		品名	数量
製品	主製品	竹粉[kg]	20
	副製品	ロス[kg]	0

表 3.7 ケース 2 のバックグラウンドデータ

ケース2	プロパンガス		電気	ガソリン		
	0	kg		輸送1	廃棄-粉砕	備考
入力	0	0	kWh	4.0	2.0	ℓ
CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> ]	0 式(2)	0 式(3)		9.287	4.643	式(1)
メタン排出量[kg-CH <sub>4</sub> ]	0 式(5)	0		0.000	0.000	式(4)
一酸化窒素[kg-NO]	0 式(7)	0		0.001	0.001	式(6)
温暖化ガス排出量[kg-CO <sub>2</sub> ]	0 式(8)	0 式(8)		9.655	4.827	式(8)
各項目のコスト[円]	0	0		628	314	
温暖化ガス排出量合計[kg-CO <sub>2</sub> ]				14.482		
コスト合計[円]				943		

3・3 ライフサイクルの影響評価

ケース 1 とケース 2 における温暖化ガス排出量とコストを比較したものを図 3.5 と図 3.6 に示す。温暖化ガス排出量とコストともケース 2 の方が、ケース 1 より温暖化ガス排出量は小さく、コストについても安いことがわかる。これより短期的な視点では、間伐材を何にも利用せず、粉砕し竹林ないで処分する方が良く考えられる。しかし、長期的な視点では、河川保全の観点から、間伐材を竹炭に処理し、水質浄化材として利用すれば、河川環境的には有意であると考えられる。2013 年日本高専学会誌に投稿された河川環境研究室の水質浄化材とする竹炭研究成果は次のようにまとめられている<sup>1)</sup>。

- 1) NH<sub>4</sub>-N については、竹炭設置初期は河川水が竹炭内を通過するごとに減少することがわかった。
- 2) SS については、河川水が竹炭内を通過するごとに減少することがわかった。
- 3) BOD についても、SS と同様に、水温が高いほど除去率が大きくなる。

通常、浄水処理量当りの温室効果ガス排出量は 0.12 kg-C/C/m<sup>4</sup>であるが、水質浄化材とする竹炭を利用す

れば、浄水規模が大きくなると、スケールメリットがはたらし、温室効果ガス排出面から多少有利となる<sup>5)</sup>。との報告もあり、水質浄化がもたらす効果についても評価する必要がある。

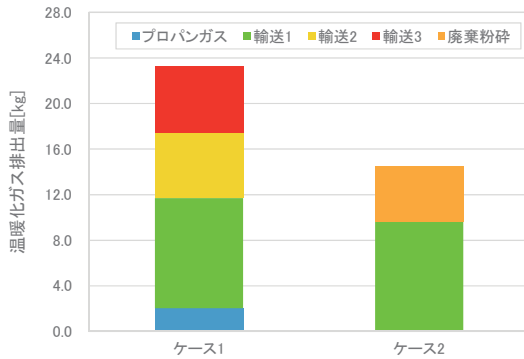


図 3.4 各ケースの温暖化ガス排出量

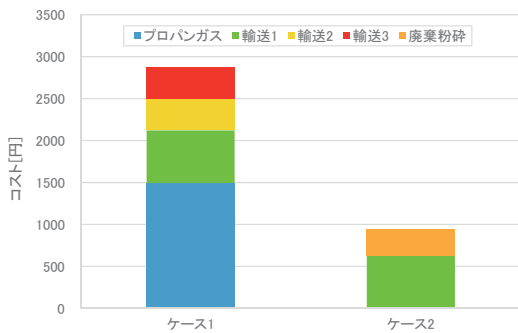


図 3.5 各ケースのコスト

#### 4. 竹繊維を用いた建設材料についてのLCA

##### 4.1 竹繊維混入コンクリートの製造

明石高専都市システム工学科コンクリート研究室で実施されている竹繊維混入コンクリート (Bamboo Fiber Reinforced Concrete : 以降、BFRC) の研究に関して、繊維補強されていないコンクリートと竹繊維で補強されたコンクリートの製造過程における環境負荷を比較した。図 4.1 に研究フローを示す。本報告では、除糖の際に発生する排水の水質を中心に結果をまとめる。



図 4.1 BFRC の LCA 検討の研究フロー

##### 1) 竹繊維の除糖

竹繊維は糖分が多く含まれているため、セメントの水和反応を遅らせ、コンクリートの圧縮強度を低下さ

せてしまう。よって、竹繊維をコンクリートに混入するにあたり竹繊維の糖分除去が必要である。コンクリート研究室では竹繊維を水に浸漬することで糖分を除去し、凝結遅延を防ぐとしている。竹繊維糖分除去法の手順を以下に示す。

- ①竹繊維をバケツに入れ水洗いする。
- ②竹繊維を水に浸漬し、その水の糖度をデジタル糖度計で測定する。
- ③糖度が 0.1 % 以下になるまで①と②を繰り返す。



写真 4.1 竹繊維

##### 2) 竹繊維の混入手順

洗って乾燥させた竹繊維 (写真 4.1) を一定の長さに合わせて切る。竹繊維混入コンクリートを配合し練り混ぜ、7 日、28 日、91 日間に分けて養生する。

#### 4.2 BFRC の LCA 検討

本研究では、BFRC と繊維補強されていないコンクリートの使用目的、使用期間、廃棄に関しては同じであると、その作成過程で最も大きく異なる要因である除糖作業に注目し、竹繊維から糖分を除去して建設材料として使用できるまでの水使用量と排出した水についてのこの 2 検討を行う。まず、BFRC の製造・使用・廃棄に関わる基本的なデータをまとめる (フォアグラウンドデータ)。次に、製造・使用段階で消費される水使用量と排水の水質データ (バックグラウンドデータ) から環境負荷に関する影響の考察を行う。

##### 4.2.1 間伐竹材を用いて BFRC を製造した場合の温暖化ガス排出量と環境負荷

BFRC の製造から廃棄に至るまでの作業工程を図 4.2 に示す。

##### 1) フォアグラウンドデータ

**製造段階:** BFRC を製造するため、主に必要となる素材は竹繊維、普通ポルトランドセメント、海砂、碎石、AE 減水剤および AE 助剤である。

**製品輸送段階:** BFRC の流通経路は図 4.2 に示す。

**製品使用段階:** BFRC は建設材料として利用される。使用段階については電力などのエネルギーは消費、廃棄物の発生はない。ただし、BFRC は使用段階で

周囲温度が 1~2 °C 温度上昇を抑制でき 2)、地球温暖化対策に有効だとする報告があるため、今後これらの効果を考慮する必要がある。

**廃棄・リサイクル段階:** 廃棄段階は 10 t 車で 50 km リサイクル工場へ輸送するものと仮定する。処理のエネルギーに関しては、粉碎シュレッダーにより粉碎セメントの回収を行い、シュレッダーダストは埋立て処理されるとした。この調査では、セメント回収による環境負荷量の削減を考慮しない。

以上の項目に関して、BFRC の原料の数量などを調べ、表 4.1 にまとめた。

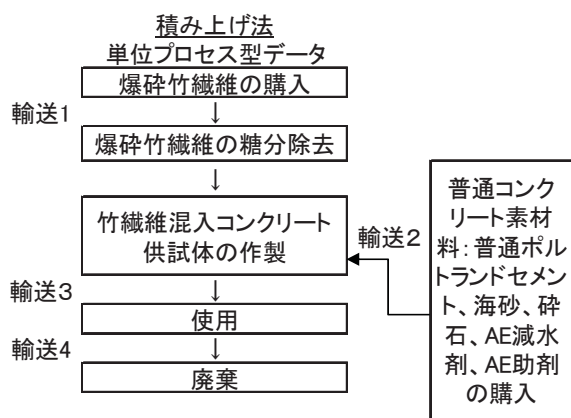


図 4.2 BFRC の作業工程

表 4.1 ケース 1 のフォアグラウンドデータ

入力		品名	数量	単位
原料	主原料	普通PC	350	kg/m <sup>3</sup>
		細骨材(海砂)	709	kg/m <sup>3</sup>
		粗骨材(砕石)	944	kg/m <sup>3</sup>
		竹繊維	5	kg/m <sup>3</sup>
		水	175	kg/m <sup>3</sup>
	副原料	AE減水剤	1924	ml/m <sup>3</sup>
	AE助剤	2098	ml/m <sup>3</sup>	

## 2) バックグラウンドデータ

バックグラウンドデータは BFRC が製造・使用される段階で消費されたエネルギーについて検討する。

**製品の輸送:** BFRC の輸送は図 4.2 のように輸送 1、輸送 2、輸送 3、輸送 4 に分けられる。輸送 1 については爆砕竹繊維を製造・販売している徳島県の A 社から、学校まで処理した爆砕竹繊維を運搬する。仮に走行距離を 40 km、給油量 4 l とすると、輸送料は、628 円、温暖化ガス排出量は表 3.1 より 9.655 kg-CO<sub>2</sub> となる。

**使用・廃棄・リサイクル段階:** 輸送 2、輸送 3、輸送 4 については普通コンクリートと同様に扱われているので省略される。

表 4.2 実験結果と環境基準値<sup>6)</sup>

調査項目		環境基準値	
		水道1級	水道2、3級
COD[mg/l]	20	1[mg/l]以下	3[mg/l]以下
SS[mg/l]	12	1[mg/l]以下	5[mg/l]以下
リン[mg/l]	1.3	0. 2[mg/l]以下	
窒素[mg/l]	1.85	0. 01[mg/l]以下	
水使用量[l]	35		

## 4・3 除糖排水の水質

竹繊維の除糖作業において、100 g の竹繊維の除糖には約 35 l の水が必要とし、さらに竹繊維の大気乾燥に 3 日程度かかり、コンクリートへ混入させるまでに、かなり時間と手間を要する作業が必要であることが分かった。

次に竹繊維の除糖作業で発生した排水の水質分析を行った。水質分析項目としては、水中に浮遊・懸濁物質の指標である SS、水の有機汚濁の程度を示す指標である COD、富栄養化の指標として用いられる無機態の窒素とリンである。この結果 COD は 20 mg/l、SS は 12 mg/l、窒素は 1.3 mg/l、リンは 1.85 mg/l と全ての水質項目で環境基準値を上回っており、非常に高濃度な汚濁負荷と言える。このため、除糖した排水をそのまま流出させると下水道や公共水域の水環境に非常に大きな負荷がかかることが分かった。

## 5. おわりに

本研究では、間伐竹材の有効活用に関して、明石高専都市システム工学科の河川環境研究室とコンクリート研究室で行われている竹炭を用いた水質浄化材と爆砕竹繊維を混入した竹繊維混入コンクリートの LCA を行った。

### 1) 竹炭を使った水質浄化材の LCA

間伐竹材を水質浄化材とする竹炭にするケース 1 と、間伐竹材を廃棄物処分するケース 2 と分けてそれぞれの温暖化ガス排出量とコストについて検討した。ケース 1 とケース 2 の温室効果ガス排出量はそれぞれ 23.279 kg-CO<sub>2</sub>、14.482 kg-CO<sub>2</sub> であった。またコストは、2,876 円、934 円で、ケース 2 の方が、ケース 1 より温暖化ガス総排出量は小さく、コストについても安いことがわかった。今後は水質浄化の効果を加えた LCA を行い他の水質浄化材との比較を行うことで竹

炭水質浄化材の有効性を示すことができると考えている。

## 2) 竹繊維を使った竹繊維混入コンクリートのLCA

竹繊維の除糖作業において、竹繊維 100 g の除糖には 35 l の水が必要となり、除糖後の排出水の有機物の指標である COD は 20 mg/l、浮遊物質の指標である SS は 12 mg/l と環境基準値を上回っており、無機物の指標である全窒素、リンにおいてもそれぞれ 1.3 mg/l、1.85 mg/l と基準値を上回ったことから、そのまま排水を流すと、水環境に大きな負荷がかかってしまうことが判明した。

一方、コンクリート研究室の成果から、竹繊維混入コンクリートは竹繊維を混入していないコンクリートに比べて温度上昇を 1°C~2°C 低減し、このことから竹繊維混入コンクリートが地球温暖化対策に有効で、四季のない 1 年中温暖な気候の諸国には非常に適したコンクリートということが示された<sup>2)</sup>。また、混入する竹繊維長が長くなると圧縮・引張強度が増加することが確認され、このことからひび割れ幅の拡大を抑制でき、コンクリートの靱性が大幅に改善されることが示されている。

今後は、除糖による水環境への負荷と、温度上昇を抑える建設材料としての効果を比較し、総合的な環境

影響を評価しなければならない。

## 参考文献

- 1) 池田愛・神田佳一: 竹炭を用いた河川水の有機物質除去に関する実験的研究、日本高専学会誌第 18 巻第 3 号、pp.15-20、2013
- 2) 河野史弥: 竹繊維を混入したコンクリートの物理的特性、国立明石工業高等専門学校都市システム工学科卒業論文、p.21、2011
- 3) ガソリン・灯油価格情報 NAVI: 兵庫県ガソリン価格、<http://oil-stat.com/reg/%E5%85%B5%E5%BA%A B%E7%9C%8C.html>(2014 年 9 月 29 日取得)
- 4) 土木学会地球環境委員会[LCA 評価・環境パフォーマンス評価研究小委員会]: ISO014030-40 の規格化による建設業の環境パフォーマンス評価とライフサイクルアセスメント、鹿島出版会、pp.122、2000
- 5) 井村秀文: 建設の LCA、Ohmsha、pp.24-26、2001
- 6) 奥村充司・大久保孝樹: 環境衛生工学、コロナ社、p.126、2011
- 7) カシオ: 二酸化炭素の排出量換算、<http://keisan.casio.jp/keisan/lib/real/system/2006/1192427170/comment.html>(2014 年 12 月 11 日取得)