

基于日本生命周期评价(LCA)方法的思考 ——以东洋制罐公司对饮料包装 LCA 分析为例

高翔宇

浙江仁欣环科院有限责任公司, 浙江宁波 315012

摘要: 日本采用损害计算环境影响评价方法(LIME)对产品进行生命周期评价。本文首先介绍 LIME 的发展和应用。以 2010 年日本东洋制罐公司利用 LIME2 方法对四种饮料包装进行 LCA 分析为例, 反映了 LIME 分析法的特点。日本的 LCA 发展和 LIME 分析过程, 对我国 LCA 方法的发展和推广应用有借鉴意义。

关键词: 日本; 生命周期影响评价; 损害计算环境影响评价; 饮料包装

DOI: 10.14068/j.ceia.2021.01.016

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 2095-6444(2021)01-0075-05

Discussion on Life Cycle Assessment(LCA) in Japan ——A Case Study of LCA on Four Containers by Toyo Seikan Company

GAO Xiangyu

Zhejiang RenXin Environmental Research Institute Co., Ltd. Ningbo 315012, China

Abstract: The LCA method based on endpoint modeling (LIME) was widely implemented in LCA in Japan. The development and application of LIME were introduced in this paper. The LCA launched by Toyo Seikan Company on four drinking containers had been taken as an example. The process of LCA by LIME2 had been laid out, which reflected the features of the LIME. Experiences could be drawn to ameliorate the LCA in China.

Key words: Japan; Life cycle assessment(LCA); LCA method based on endpoint modeling(LIME); drinking container

二十世纪七十年代, 欧美国家率先用生命周期分析(LCA)对工业产品进行环境影响评价。1993 年里约环境峰会结束后, 国际标准化组织决定成立专门负责制定环境管理国际标准技术的委员会。该委员会制定的 ISO14040 和 ISO14044 对 LCA 的方法有明确定义^[1]。

1994 年, 日本民间企业, 国立研究所和大学共同成立了日本 LCA 协会, 并向经济产业省提出 LCA 国家战略计划, 并于 1998 年开始实行。同时开展 LCA 数据库和评价方法研究。在 1998 年之后的五年间, 由于得到了产业界的支持, 以日本初版 LCA 清单数据库为基础, 开发了第一版损害计算环境影响评价方法

(后简称 LIME)^[2]。2003—2006 年间, 在初版基础上, 对被害系数和归一化系数进行修正, 增加了噪声和室内空气污染项目, 研发了第二代 LIME(简称 LIME2)。2011 年后, 为在别的国家开展 LCA, 又开发了 LIME3, 这也是首个适用全球的 LCA 分析方法。目前日本国内主要使用 LIME2 方法进行 LCA 分析。实例涉及木质颗粒制造、室内空气污染、纸杯制造等, 并在日本 LCA 协会官网上公开。在学术研究方面, 长田守弘等利用 LIME2, 分析四种汽车碎渣资源化处理方法对环境的影响。大田和康规等用 LIME2 法, 比较花王公司的五种洗衣粉对环境的影响, 在评价中首次考虑了土地占有和废表面活性剂的影响。S. Matsuo 等利用 LIME2 分析金回收过程对环境的影响。T. Shimizu 等首先开发了日本氢能源利用过程污染排放模型, 用来分析日本氢能源使用时废气的排放情况, 之后用

收稿日期: 2020-06-15

作者简介: 高翔宇(1987—), 男, 浙江宁波人, 硕士, 主要从事环境影响评价及相关研究, E-mail: bryangao905@163.com

LIME2 分析日本各地利用氢能源对环境的影响^[3]。N. Itsubo 等利用 LIME2 分析了纸尿布回收工艺的环境负荷。K. Nakano 等利用 LIME2 分析正交胶合木技术造房子时的环境负荷。LIME2 也被用来与其它几种生命周期评价方法比较,开发更为综合的评价方法。Y. Dong 等基于 LIME2, EPS2015 和 ReCiPe2016 三种评价方法的特点,比较了三者在温室气体排放环境影响分析的效果。LIME2 还被用来分析各产业对环境的影响。J. Yamasaki 等利用 LIME2,研究了 2015 年日本各地方产业对环境的影响,并为政府决策提供参考。LIME3 由于包含了更为广泛的数据,因此被用于分析除日本外的其它国家的环境负荷。山崎润也等用 LIME3 方法研究 42 个国家每年因环境破坏造成的损失,并为政府提供一种环境审计的有效途径^[4]。T. Supasri 等利用 LIME3 方法,分析了泰国玉米种植和玉米粒制造对环境的影响,向政府提出建议。Y. Kirino 等利用 LIME3,分析世界各国混凝土制造方

法的环境影响,并对减少环境负荷提出建议^[5]。

我国正处在 LCA 的发展阶段。LCA 的研究主要集中在针对特定产品、工艺流程及废弃物处置的环境影响上。由于缺少地方性开发样本和模型以及环境数据库的不健全,导致在进行 LCA 分析时,不得不借用发达国家的评价方法。虽然我国在 LCA 数据库建设上取得了不少成绩,但在 LCA 的理论和评价方法研究以及向工业化推进等方面仍需完善^[6]。

本文介绍日本的 LIME 方法。通过列举东洋制罐公司对四种饮料包装的 LCA 分析,具体介绍 LIME 的操作过程,从中引出日本 LIME 的特点,以期对我国的 LCA 研究提供参考。

1 LIME 方法介绍

从图 1 可以看出 LIME 的步骤主要分为暴露分析,影响分析,损害分析和归一化。下面主要介绍这四个过程。

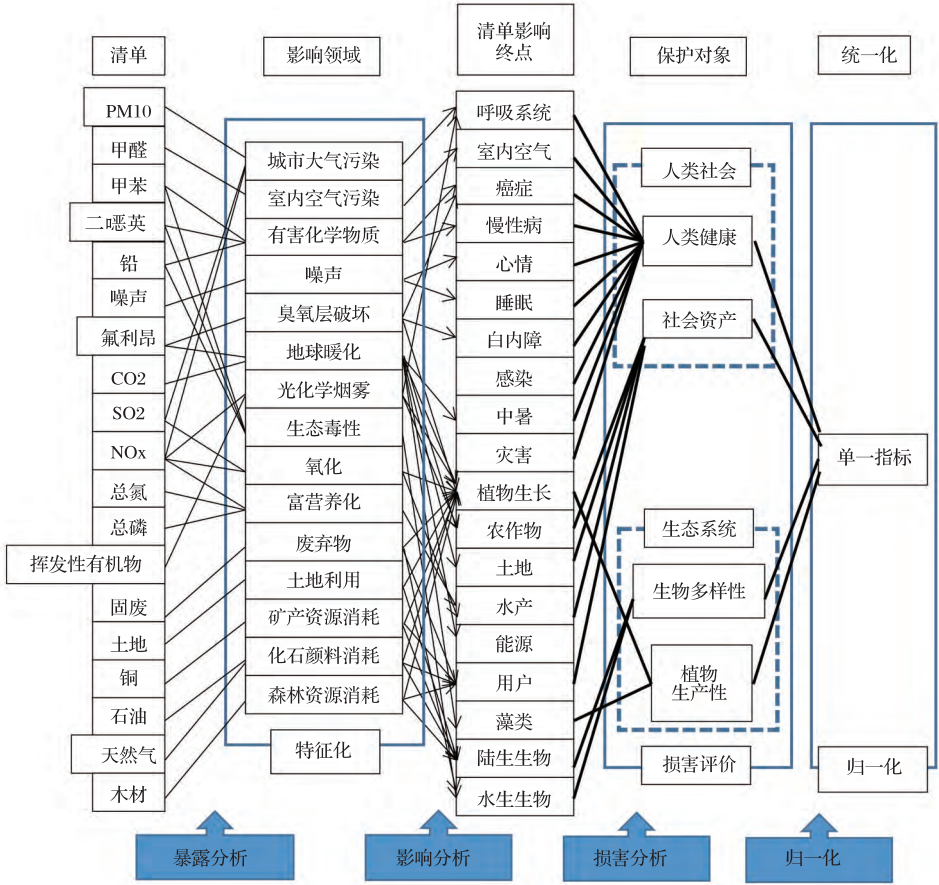


图 1 LIME 分析流程
Fig. 1 LIME process

1.1 暴露分析

该过程将输入系统的清单物质归到不同的环境影响类型。在项目开始前首先需要确定有哪些类别的环境影响，之后在将清单中的物质归为特定的环境影响。比如甲醛主要来源于室内装修，因此将其归为室内空气污染类。

1.2 影响分析

该阶段将特定的影响类目对应到相应的清单影响终点。比如地球暖化会造成中暑，引起自然灾害，影响植物和农作物生长，影响能源利用，对藻类陆生和水生生物造成影响。这些影响往往是直接影响，通过特征化系数，定量分析清单物质对环境的影响。

1.3 损害分析

该阶段将影响领域和保护对象建立关系，通过损害评价，分析清单污染物对保护对象的影响。日本将保护对象分为人类健康、社会资产、生物多样性和植物生产性四大类。与人类健康相关的有呼吸系统、室内空气、癌症、慢性病、心情、睡眠、白内障、感染和中暑等。通过损害系数，定量分析清单物质对保护对象的影响。

1.4 归一化

归一化的目的是将损害评价结果通过单一指标反映。LIME 中将保护对象的损害指标通过经济指标来表示。

LIME 的四步分析中涉及到的特征化系数、损害系数和归一化系数都可以从 LIME 表中查出。日本利用 LCA 软件 MiLCA 进行分析，只要在软件中建立评价流程，选择特定生命周期模块，即可得到清单分析、特征化、损害评价和归一化结果，并可以作图分析。

2 东洋制罐公司四种饮料包装 LCA 分析

本文通过介绍东洋制罐公司对四种饮料包装进行 LCA 分析，具体介绍日本利用 LIME2 法进行 LCA 的过程。

2.1 项目背景

日本东洋制罐公司用 LIME2 分析了四种饮料瓶的环境负荷。四个研究对象分别为两种铝制饮料瓶 (DWI 和 TULC)，PET 瓶和自立袋。具体参数和特点见表 1。

2.2 项目评价范围

项目 LCA 分析包含了原料的生产，产品制造，

运输，使用，处理和循环使用。灌装成分制造不包含在内。具体见图 2。

表 1 研究对象特点和参数

Table 1 Specifications and characteristic of subject containers			
研究对象	特点和参数	质量	照片
DWI	容积：350ml；制作工艺：拉伸，成型，抛光和上涂层	15.5g	
TULC	容积：350ml；制作工艺：拉伸，成型，抛光	14.2g	
PET	容积：350ml；制作工艺：吹塑；本次 LCA 评价包括瓶盖和标签	29.1g	
自立袋	容积：350ml；制作工艺：塑料薄膜印刷，层压和成型	8.2g	

(注：来源于 JLCA News letter 2011, No. 10&11, P225)

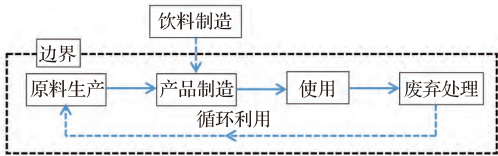


图 2 项目评价边界

Fig. 2 System boundary for a container

2.3 数据选择

该项目生命周期清单输入的数据主要包括优先数据和背景数据。优先数据主要包括原料生产时所投入的原料量及制造过程中消耗的能源。在本项目中，优先数据包括制造瓶子过程中需要的辅助材料及生产制造需要的能源。优先数据来源于东洋制罐公司提供的 2008 年数据。

背景数据主要是指包括在产品制造，运输，使用，废弃及循环过程中的物质和能量流动。本项目 DWI 和 TULC 的制造，运输，使用和回收数据来源于“日本生态环保型产品准入”中的饮料食品金属罐分支(PCR: BC-01)。PET 瓶的处理和回收过程的数据来源于政策科学研究所的研究。自立袋的处理和回收过程数据来源于日本包装协会统计的数据。

2.4 清单分析

在 MiLCA 中设置生命周期流程和工艺参数，得到四种研究对象的清单分析结果。由于四种研究对象均选择同样的分析清单，因此表 2 仅列出了 DWI 的清单结果。

表 2 DWI 清单分析结果
Table 2 DWI Can LCI analysis result (kg/can)

				单位	制品		运输	使用	废弃处理循环
					原材料	产品			
输入	非可再生资源	能源	煤炭	千克	2.63E-02	2.21E-03	2.57E-07	5.49E-04	-1.73E-02
			石油	千克	1.41E-02	5.61E-03	2.40E-03	5.02E-04	-4.22E-03
			天然气	千克	1.31E-02	4.94E-03	3.72E-05	3.43E-04	-1.74E-03
			铀矿石	千克	9.66E-09	1.50E-07	1.74E-11	3.71E-08	1.51E-09
		物质资源	石油(原材料)	千克	6.14E-04	0	0	0	0
			铝	千克	6.30E-03	0	0	0	-4.21E-03
			岩盐	千克	7.85E-04	0	0	0	-4.28E-04
			石灰石	千克	1.05E-03	0	0	0	-7.00E-04
	可再生资源	木材	千克	9.72E-04	0	0	2.04E-02	0	
		水	千克	3.80E-01	1.96E+00	1.93E-04	1.66E+00	-8.81E-03	
输出	向空气排放	CO ₂	千克	8.61E-02	3.69E-02	7.75E-03	1.82E-02	-3.36E-02	
		SO _x	千克	2.45E-04	1.85E-05	9.52E-06	4.57E-06	-2.41E-04	
		NO _x	千克	1.49E-04	1.02E-04	1.19E-04	3.35E-05	-7.33E-05	
		N ₂ O	千克	5.35E-07	1.34E-05	1.40E-07	7.55E-07	1.59E-07	
		CH ₄	千克	8.03E-08	4.01E-07	4.66E-11	9.97E-08	4.05E-09	
		CO	千克	4.50E-07	3.00E-05	4.75E-05	9.97E-07	1.68E-07	
		NM VOC	千克	1.47E-07	1.90E-05	9.15E-11	1.95E-07	7.93E-09	
		C _x H _y	千克	2.61E-07	3.44E-06	2.40E-06	3.34E-07	9.76E-08	
		颗粒物	千克	1.48E-04	5.74E-06	9.52E-06	4.89E-07	-9.88E-05	
	向水体排放	BOD	千克	1.12E-06	—	—	—	-3.84E-09	
		COD	千克	3.02E-06	—	—	—	-1.58E-07	
		总 N	千克	4.82E-07	—	—	—	—	
		总 P	千克	6.67E-08	—	—	—	—	
		SS	千克	8.36E-06	—	—	—	-4.86E-06	
	向土壤排放	非特定固体废物	千克	2.61E-03	4.38E-06	0	2.56E-04	0	
		低放射性废物	千克	4.60E-09	1.05E-07	1.22E-11	2.60E-08	1.06E-09	

(注：来源于 JLCA News letter 2011，No. 10&11，P227)

2.5 影响评价分析

该项目 LCA 评价将分为特征化，损害评价和权重分析三个步骤。表 3 总结了三个步骤所涉及的影响领域。

①特征化

将清单分析中的数据乘特征化系数后，得到特征化结果。按照表 3，该项目有 11 个影响领域需要分析。本文只介绍资源消耗(能源)的特征化分析。

MiLCA 自带作图功能，自动生成特征化分析图。具体见图 3。

从图 3 可以看出，能源资源消费的情况：DWI>TULC>PET>自立袋。铝罐生产时的资源消耗远大于 PET 和自立袋。其中天然气消耗远大于 PET 和自立袋。这是由于生产铝制品时(加工成型等)需要消耗大量天然气造成的。对于 PET 和自立袋，由于采用树脂作为原料，天然气消耗较小。自立袋的资源消

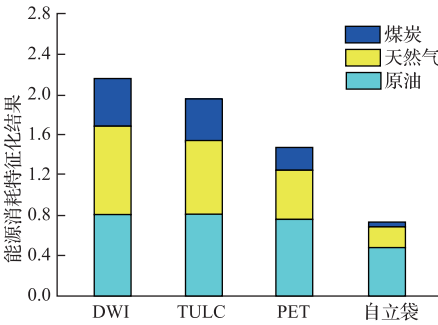


图 3 资源消耗特征化结果

Fig. 3 Characterization result of resources consumption
(注：来源于 JLCA News letter 2011，No. 10&11，P229)

耗远小于 PET，是由于自立袋的生产单位产品过程中，树脂使用量较小造成的。

②损害分析

按照表 3，本项目有十二个损害分析对象。通过软件作图，分析四种研究对象的影响。由于分析

类似，因此本文以对人类健康的影响进行介绍。具体见图 4。

表 3 影响评价涉及的影响领域
Table 3 Subject areas of environmental impact
and assessment steps

	特征化	损害评价	权重分析
资源消耗(能源)	✓	✓	✓
资源消耗(物质)	✓	✓	✓
全球变暖	✓	✓	✓
城市空气污染	✓	✓	✓
臭氧层破坏	✓	✓	✓
酸化	✓	✓	✓
富营养化	✓	✓	✓
光化学氧化	✓	✓	✓
人类毒性	✓	✓	✓
生物毒性	✓	✓	✓
室内空气污染	—	✓	✓
噪声	*	*	*
固废	✓	✓	✓
土地利用	*	*	*

(注：✓表示涉及的影响领域；—表示 LIME 没有该系数；* 表示 LIME 不支持计算。)

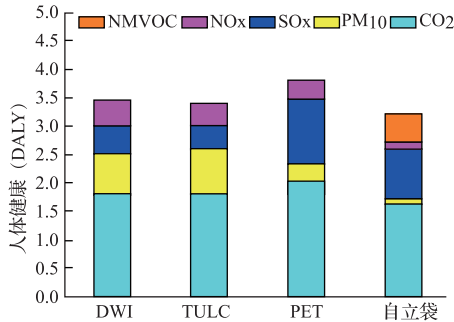


图 4 人类健康损害评价
Fig. 4 Damage assessment result of human health
(注：来源于 JLCA News letter 2011, No. 10&11, P230)

从图 4 可以看出，四种研究对象中，PET 对人体健康影响最大。其中 SO₂ 和 CO₂ 的影响比其他研究对象大。这可能是由于在 PET 成型时，需要消耗大量的电能，其中转化生成 SO₂ 造成的。研究对象中，自立袋对人体健康影响较小，但自立袋中非甲烷总烃的影响尤为显著。这可能是由于在自立袋的印刷过程中需要消耗大量的油墨等溶剂，虽然经过焚烧等尾气处理，但仍然有不少无组织排放造成。由于生产铝制罐的工艺类似，TULC 和 DWI 对人体健康的影响差不多。

③归一化分析

本项目将各物质对环境的影响转化为经济影响。

通过 MiLCA 作图，可以直观看出各排放物质对经济的影响。

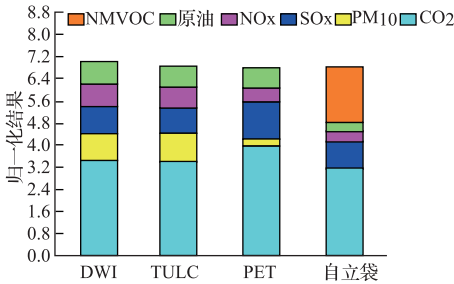


图 5 各物质归一化结果
Fig. 5 Weighting result by substances
(注：来源于 JLCA News letter 2011, No. 10&11, P231)

从图 5 可以看出，四种研究对象对经济的影响相差不多。相对而言，铝制罐产生的经济成本大于 PET 和自立袋。其中 CO₂ 的影响在四种研究对象中最大。对于 PET 和自立袋，SO₂ 和非甲烷总烃是需要注意的影响因素。

3 分析与讨论

3.1 日本 LIME 法的特点

通过上面的介绍，可以看出 LIME 分析法在日本的实际应用的特点。

(1)LIME 法可以分析中点(影响领域)和终点(保护对象)的影响。通过特征化分析，考察研究对象对各个领域的影响，如铝罐生命周期中天然气的消耗。也可以对人体健康，社会资产等进行损害分析。与单纯进行中点分析相比，分析更为广泛和直接。

(2)LIME 法可以将环境影响与经济指标挂钩。利用归一化系数，将清单数据转化成经济指标，一方面可以将不同研究对象横向比较，另外也有助于企业进行环境审计。

(3)LIME 法和数据库的联系紧密。只有建立了 LCA 数据库后，才有 LCA 方法论的发展。LIME 作为 LCA 的方法论，建立在日本产业数据库基础之上。该项目信息一方面由东洋制罐提供，另外来自于日本生态环保型产品数据库。数据库的建立为日本在业界推行 LCA 奠定了基础。

3.2 对我国的借鉴

(1)将中点分析逐渐扩大到终点分析。国内 LCA 主要采用中点分析法。为了更加直观反映企业行为对

(下转第 96 页)

(3)统筹谋划,提升水体流动性。对濛溪河流域水电站进行评估,提出逐站处理意见,确保濛溪河长期流动起来。

(4)强化区域联防联控。加强与重庆荣昌和大足、内江、隆昌的联防联控,同步加强支流治理,避免雨季支流水质对濛溪河干流造成不利影响。

4.2 工程措施

(1)加快雨污分流改造和截污干管建设进度。倒排工期,挂图作战,确保各场镇雨污分管网改造新建项目落地,加强污水收处,从源头上解决因雨污合流导致的生活污水、工业污水直排,杜绝截污干管溢流情况的发生。

(2)结合美丽乡村建设,强化农村污染治理。加强农村环保基础设施建设,因地制宜采取沼气池,人工湿地、氧化塘等简单方式处理农村生活污水,避免直排。整理废旧坑(水)塘,增加垃圾集中堆放点,及时收集,避免垃圾和垃圾浸淋液入河。

(3)建设岸边生态拦截工程。在濛溪河流域沿岸水产养殖密集区域和种植坡度大、易受雨水

冲刷影响的地区采用生物碎石床加生态植草沟渠或植草生物滞留池等面源阻控技术建设生态缓冲带工程,阻控地表径流中的氮、磷、农药、化肥等污染物进入河道。

参考文献(References):

- [1] 泸州市环境保护局.《泸州市环境质量报告书(2011—2015)》2016年5月.
- [2] 中华人民共和国环境保护部.《重点流域水污染防治“十三五”规划编制技术大纲》(环办污防函[2016]107号)[EB/OL]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201601/t20160121_326727.htm.
- [3] 陈国珍,祝长生,邢建晶.濛溪河泸县段流域水环境污染现状评价[J].四川环境,2009,28(6):76-80.
- [4] 饶瑶,佟洪金,余涛,缪白玉.濛溪河流域泸县段水污泥源分析及对策研究[J].四川环境,2007,36(03):760-65.
- [5] 王佩,卢少勇,王殿武,许梦爽,甘树,金相灿.太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J].中国环境科学,2012,32(4):703-709.
- [6] 周理,刘星,黎小东,张洪波,敖天其.小流域农业非点源污染防治措施探究——以濛溪河(泸县境内)为例[J].中国农村水利水电,2014(05):7-10+14.

(上接第79页)

保护对象的影响。国内可以努力开发数据库,取得更具有代表性的数据,扩充本土LCA分析方法。

(2)国内可研究将清单和经济指标挂钩的评价方法。为了更加有效的进行经济评估,日本将清单数据归一化,对企业行为进行生命周期成本分析(LCC)。随着我国企业环保意识提升,环境审计将会逐渐受到重视,LCA和LCC结合也将是今后的研究重点。

(3)建立LCA委员会。企业做完LCA后,需要对LCA报告进行评审。日本LCA报告评审交由LCA委员会负责。随着LCA在我国业界的发展,需要更多具备LCA审核能力的人才。

(4)加强在业界的应用推广。在我国,LCA仅停留在科研界,而未充分进入到业界。随着我国的发展,我国政府应该设立LCA相关的法律法规,将LCA作为获取环保标志的一种评价方式推广。

4 结论

本文介绍了日本运用LIME的LCA分析法。日本LCA建立在成熟的数据库基础上,并有合适的数据分析软件相匹配。LCA的发展是一个系统工程,

在数据库完善的基础上,才有LCA方法论的发展。LCA的普及体现了国家和企业对环境可持续发展的重视程度。我国可以借鉴日本在LCA上的经验,完善方法论,并循序渐进地将其推广到业界。

参考文献(References):

- [1] 邓南圣,王小兵.生命周期评价[M].北京:化学工业出版社,2003:44.
- [2] 伊坪德宏,村上佳世,湯龍龍.ライフサイクル影響評価手法のLIMEの世界化[J].第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集,2012:208-209.
- [3] T. Shimizu, Y. Tsukushi, K. Hasegawa, et al. A region-specific analysis of technology implementation of hydrogen energy in Japan. International Journal of Hydrogen Energy, 2019, 44(35): 19434-19451.
- [4] 山崎潤也,伊香賀俊治,伊坪德宏.国際対応型LCIA手法LIME3の枠組みに基づく世界42カ国の行政区域の年間環境影響評価[J].日本建築学会環境系論文集,2020,85(767):67-77.
- [5] Y. Kirino, T. Shinmi, K. Kawai, etc. Environmental impact assessment of world cements considering production method and environmental condition in each country[J]. Cement Science and Concrete Technology, 2020, 73: 401-406.
- [6] 王玉涛,王丰川,洪静兰等.我国生命周期评价理论与实践研究进展及对策分析[J].生态学报,2016,36(22):7179-7184.