

「水資源消費量を削減したPET
ボトル充填方法」報告書

大日本印刷株式会社

1 一般的事項

1.1 評価実施者

所属機関: 大日本印刷(株) 包装事業部

名 前: 柴田 あゆみ、藤森 麻子

連絡先: Shibata-A3@mail.dnp.co.jp, Fujimori-A@mail.dnp.co.jp

1.2 報告書作成日

2010/06/17

2 調査実施の目的

2.1 調査実施の理由

DNPでは、得意先にPETボトル(プリフォーム)だけでなく、当社で開発した成形充填包装システムも納入している。PETボトルに飲料を充填する場合、電力などのユーティリティの他、ボトル洗浄に用いる水や、加熱のための蒸気など大量の水を使用する。DNPが従来から採用している無菌充填方式は、高温・短時間で殺菌した飲料を常温で充填するために、熱の使用量が少なく、また特殊な殺菌方法を用いるため、PETボトルの洗浄に用いる水の量を減らすことができるという特長がある。

近年、大切な水資源をより効率よく使う方法や、節約する方法を得意先から要望されることも多く、さらなる水の削減を目指した充填方式の開発が求められている。そこで、新たに開発した方式は、ブロー成形機と無菌充填機を直結することにより、洗浄水の使用量を約1/6まで削減することを可能にした。また、エネルギー効率が向上することで熱使用量も削減することができる。

この新充填方式について以下の目的で調査することとした。

ウォーターフットプリントネットワークとして注目されている水を、評価対象項目に加えてLIME2による環境影響評価を実施し、新方式と従来方式の比較を行う

2.2 調査結果の用途

各充填方式の環境影響を把握すると共に、新方式の優位性をアピールする。

3 調査範囲

3.1 調査対象とその仕様

PETボトル無菌充填システム(プリフォーム成形から液処理、ボトル成形、充填、ラベリング、廃棄処理までの各段階を含むシステム)において、充填段階が異なる2種類のシステムを従来方式と新方式と名づけ、比較を行う。

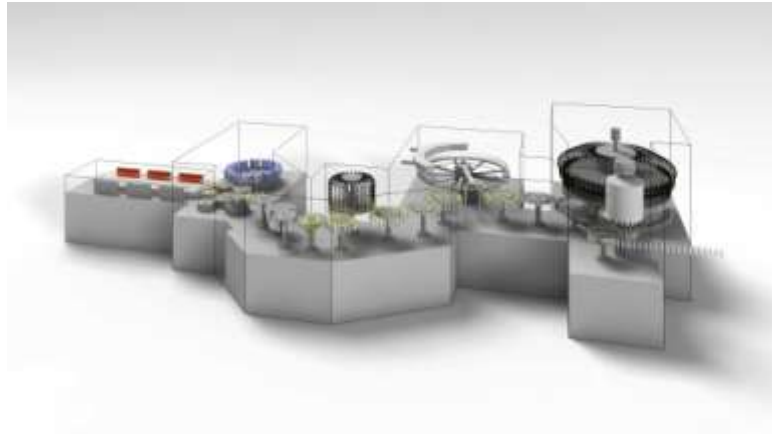


図 3.1.1 無菌充填システムイメージ図

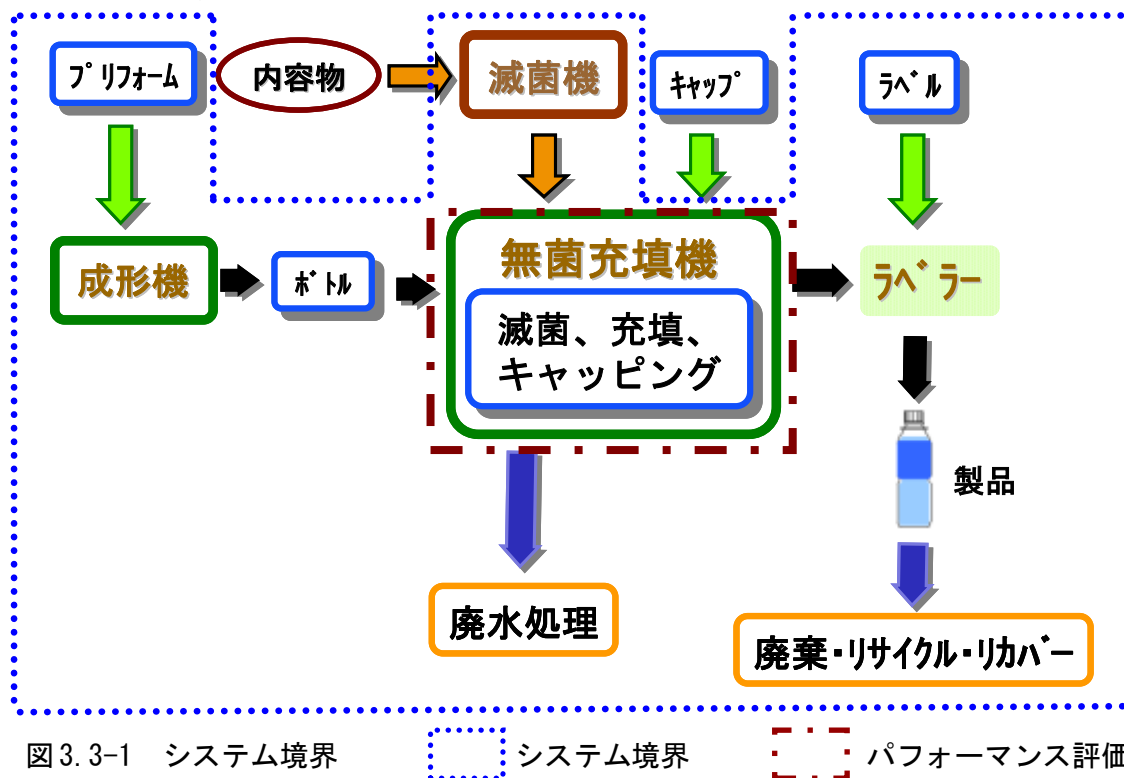
- ① 従来方式： 高温の過酸化水素ミストを吹き込むDNP独自の殺菌充填方式。短時間で高い殺菌効果を得ることができる。
- ② 新方式： 従来方式の進化型。ブロー成形機と無菌充填機を直結することによりエネルギー効率の向上や、水使用量の削減を実現している。

3.2 機能および機能単位

500ml の低酸性飲料（茶系飲料）を PET ボトルへ充填するために必要なシステム

3.3 システム境界

プリフォーム成形から、液処理、ボトル成形、充填、ラベリング、廃棄処理までの各段階を評価対象とし、充填内容物自体については、評価対象外とした。また、インベントリ分析は、PET ボトル入り飲料（茶系飲料）のプリフォーム成形から廃棄処理段階までをライフサイクルとし、その全体を評価した。ボトル容量は 500ml、1 時間生産当たり（36000 本）とした。環境影響評価は、パフォーマンス評価として、充填段階のみの評価とした。



3.4 特記事項（除外したプロセス・項目等について）

廃水には被害評価係数が無いため、調査対象から除外した。廃水処理の投入エネルギーは、計上した。

また、PET ボトルの廃棄処理段階の投入エネルギーは、公表データとして詳細が明らかにされたものが無いため、含めていない（ただし、大気排出データは入力した）。

4 インベントリ分析

4.1 フォアグラウンドデータ

得意先に設置済みの充填ラインにおいて調査した 2008 年度の素材・資源・エネルギーの投入量データを用いた。

4.2 バックグラウンドデータ

JEMAI-LCA Pro および、JEMAI-LCA オプションデータパックを利用した。廃棄処理段階には、リサイクルのリカバリーも含めた。PET ボトル協議会¹⁾の使用済みPET ボトル1gの処理データおよび、リサイクルに関する、耐熱用500ml 業界平均値（回収率62.3%）の場合の入力値を採用した。

4.3 インベントリ分析対象項目と分析結果

表4.3-1に、PETボトルへの無菌充填システム・新方式のインベントリ分析の対象項目と分析結果の一例を示す。従来方式もインベントリ分析の対象項目は同じであるため、分析結果を割愛する。

表 4.3-1 PET ボトルへの無菌充填システムの LCI 分析結果【新方式】
(単位 (kg/f. u.))

		名 前	単 位	プリ フォーム 成形	液処理	ボトル 成形	充填	ラベリング	廃棄処理
消費 負荷	枯 渇 資 源	石炭	kg	1.41E+02	6.51E+00	7.46E+01	5.09E+01	3.04E+01	1.26E+01
		原油(資源)	kg	1.16E+03	2.61E+02	1.38E+01	1.64E+02	1.27E+02	4.87E+00
		天然ガス	kg	1.39E+02	3.02E+00	3.47E+01	2.37E+01	1.87E+01	5.99E+00
		U(資源)	kg	1.24E-02	5.72E-04	6.57E-03	4.48E-03	2.67E-03	1.11E-03
		Cu(資源)	kg	2.98E-05	2.70E-03	0.00E+00	1.59E-04	2.64E-05	0.00E+00
		Al(資源)	kg	1.26E-04	1.14E-02		6.70E-04	1.12E-04	
		Pb(資源)	kg	9.61E-07	8.69E-05		5.11E-06	8.52E-07	
		Zn(資源)	kg	5.33E-06	4.82E-04		2.83E-05	4.72E-06	
		石灰石	kg	1.82E-04	1.65E-02		9.70E-04	1.62E-04	
	再 生 可 能 資 源	!!プロセス水	kg	1.26E+04	3.51E+03		4.75E+03	1.47E+03	1.36E+01
		!!純水	kg	2.53E+03				1.56E+02	
		!!冷却水	kg	3.14E+05	2.51E+00		1.47E-01	1.93E+04	6.07E+02
		水力発電用水	kg	4.25E+04	1.97E+03	2.26E+04	1.54E+04	9.19E+03	3.80E+03
環 境 排 出 負 荷	屋 外 大 気	CO2	kg	2.09E+03	8.93E+02	3.42E+02	7.36E+02	4.00E+02	2.35E+02
		As	kg	1.17E-05	5.42E-07	6.24E-06	4.25E-06	2.54E-06	1.05E-06
		Cd	kg	9.70E-07	4.48E-08	5.16E-07	3.51E-07	2.10E-07	8.68E-08
		CH4	kg	1.10E-01	2.37E-02	7.32E-03	1.87E-02	1.35E-02	1.71E-03
		Cr	kg	2.13E-05	9.86E-07	1.14E-05	7.74E-06	4.62E-06	1.91E-06

		Hg	kg	1.42E-05	6.54E-07	7.53E-06	5.13E-06	3.06E-06	1.27E-06
		N2O	kg	1.18E-01	1.52E-02	1.48E-02	1.84E-02	1.43E-02	2.75E-03
		Ni	kg	2.40E-05	1.11E-06	1.28E-05	8.69E-06	5.19E-06	2.15E-06
		NMHC	kg	6.06E-02	3.99E-03	2.12E-02	1.57E-02	1.03E-02	4.26E-03
		NOx	kg	9.87E-01	4.49E-01	1.43E-01	3.51E-01	1.89E-01	-3.90E-01
		Nox (移動発生源)	kg	1.31E-01	3.55E-03	4.03E-02	2.77E-02	1.98E-02	1.23E-02
		Pb	kg	5.62E-05	2.60E-06	2.99E-05	2.04E-05	1.22E-05	5.03E-06
		PM10 (移動発生源)	kg	9.63E-03	2.61E-04	2.95E-03	2.03E-03	1.45E-03	9.01E-04
		SO2	kg	1.84E+00	1.31E+00	6.42E-02	7.98E-01	3.92E-01	-4.87E-01
		ばいじん	kg	1.93E-01	1.28E-01	2.69E-03	7.56E-02	3.81E-02	1.04E-03
水域	As	kg	1.25E-09	1.13E-07		6.66E-09	1.11E-09		
	Cd	kg	1.88E-10	1.70E-08		9.98E-10	1.66E-10		
	Hg	kg	1.25E-10	1.13E-08		6.66E-10	1.11E-10		
廃棄物	がれき類(埋立)	kg	3.90E-08	3.53E-06		2.08E-07	3.46E-08		
	鉱さい(埋立)	kg	5.04E-05	4.56E-03		2.68E-04	4.47E-05		
	産業廃棄物 (不明・一律)	kg	7.92E+03	5.40E-04	4.60E-03	3.14E-03	4.86E+02	7.94E+01	
	廃プラスチック類 (埋立)	kg	1.96E-08						

二酸化炭素排出量

図 4.3-1 に二酸化炭素排出量を示した。充填段階より排出される二酸化炭素排出量は全体の約 2 割程度ではあるが、新方式を採用することで、1 時間あたり約 300kg、1 日で 7.2t もの二酸化炭素を削減できることがわかった。これにはエネルギー効率の向上により電力や蒸気などを削減できたことが寄与している。また、廃水量が減ることにより、廃水処理段階における二酸化炭素排出量が減少していた。

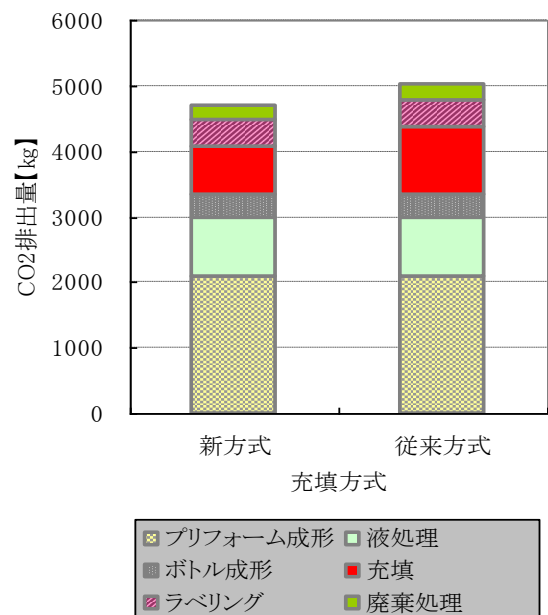


図 4.3-1 二酸化炭素排出量

水使用量

充填段階における水使用量の分析結果を表 4.3-2 に示した。また、図 4.3-2 にグラフを示した。

表 4.3-2 水使用量

充填方式	新方式	従来方式
ユーティリティ由来の水 (t)	17.1	18.7
殺菌・洗浄に用いる水 (t)	3.0	18.0
合計	20.1	36.7

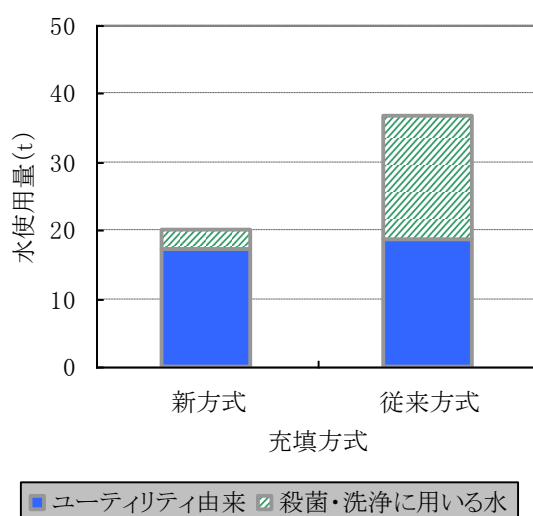


図 4.3-2 水使用量

水使用量に着目した評価を行ったところ、新方式は、従来方式に比べ、水の使用量を約 2/3 に削減できることが表 4.3-2 及び図 4.3-2 からわかった。特に殺菌・洗浄に使用する水は従来方式の 1/6、1 時間あたり約 12 t の水使用量を削減することができる。また、ユーティリティ由来の水の削減率は、殺菌・洗浄に用いる水の削減率に比べて顕著ではないものの、1 時間あたり約 1.6t の水を削減できることが明らかになった。

5 インパクト評価

5.1 対象とした評価ステップと影響領域

インパクト評価は日本版被害算定型影響評価手法 LIME2 を利用し、被害評価、統合化の2ステップについて評価をした。また水資源消費による健康被害評価係数を用いて被害評価を行った。評価対象とした影響領域と評価ステップについて表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 評価対象とした環境影響領域と評価ステップ

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

5.2 インパクト評価結果

5.2.1 被害評価

水資源消費による被害評価係数は以下2種類の係数を使用して評価した。

- A) 独立行政法人 産業技術総合研究所 本下氏提供「水資源消費による健康被害評価係数リスト（暫定版 2009.10.18 現在）」²⁾
- B) Anne-Marie Boulay, Jean-Baptiste Bayart, Cecile Bulle, Manuele Margni, Louise Deschenes 「Using GIS to evaluate regional human health impacts from water use」³⁾

5.2.1.1 係数Aを用いた場合の被害評価

水資源消費による被害評価係数として係数A（5.2.1参照）を適用し、充填段階で消費される水量（以下、水消費量）について、国別の被害評価を行った。対象国としては、当社製充填機を導入した事例のある国やその可能性のある国、また被害係数の高い国等を選択した。各国の健康被害係数に1時間あたりの水消費量を掛け合わせ、健康被害（円）に換算した。その結果を表5.2-1、表5.2-2及び図5.2-1に示した。

表 5.2-1 無菌充填システム導入国における水の健康被害（係数A）

国	健康被害係数 【DALYs/m ³ 】	1時間あたりの健康被害【yen】	
		新方式	従来方式
世界平均	9.47E-09	¥0.5	¥2.6
中国	1.30E-10	¥0.0	¥0.0
韓国	6.72E-10	¥0.0	¥0.2
アメリカ	4.00E-09	¥0.2	¥1.1
ベトナム	5.92E-10	¥0.0	¥0.2
日本	9.90E-10	¥0.1	¥0.3

表 5.2-2 その他の国における水の健康被害（係数A）

国	健康被害係数 【DALYs/m ³ 】	1時間あたりの健康被害【yen】	
		新方式	従来方式
シンガポール	1.38E-09	¥0.1	¥0.4
インド	1.25E-08	¥0.7	¥3.4
インドネシア	1.84E-09	¥0.1	¥0.5
ミャンマー	9.47E-09	¥0.5	¥2.6
中央アフリカ	1.30E-06	¥68.4	¥355.3

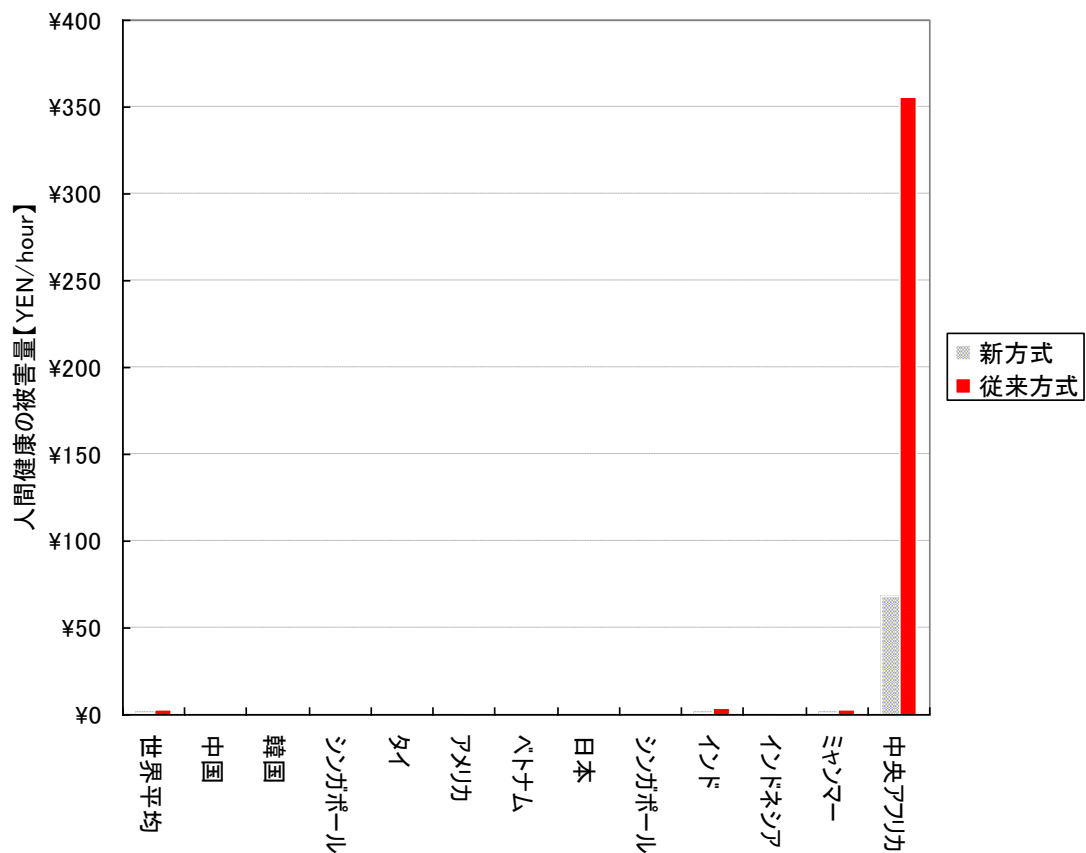


図 5.2-1 各国における水に健康被害（係数 A）

水資源消費による健康被害は、ほぼ 0 円であることが表 5.2-1、表 5.2-2 及び図 5.2-1 よりわかった。日本における水の健康被害もほぼ 0 円であった。ただし、被害係数が最も高い中央アフリカにおいては、従来方式が 355 円、新方式は 68 円と大きな差が生じることが明らかになった。

物質ごとの被害評価を図 5. 2-2 に示した。

人間健康の被害量は、新方式の方が $1.22\text{E-}04$ (DALYs)、日本円に換算すると、1時間あたり約 1800 円の被害が軽減されることとなる。それらは、二酸化炭素と二酸化窒素の削減が影響しており、新方式を採用したことによるエネルギー効率化の達成が、使用電力量等の削減につながったためと考えられた。一方、水資源消費による影響は多くの国ではほぼ 0 円であり、人間健康に与える影響としては、水資源消費よりも二酸化炭素や二酸化硫黄による影響がはるかに大きいことが明らかになった。

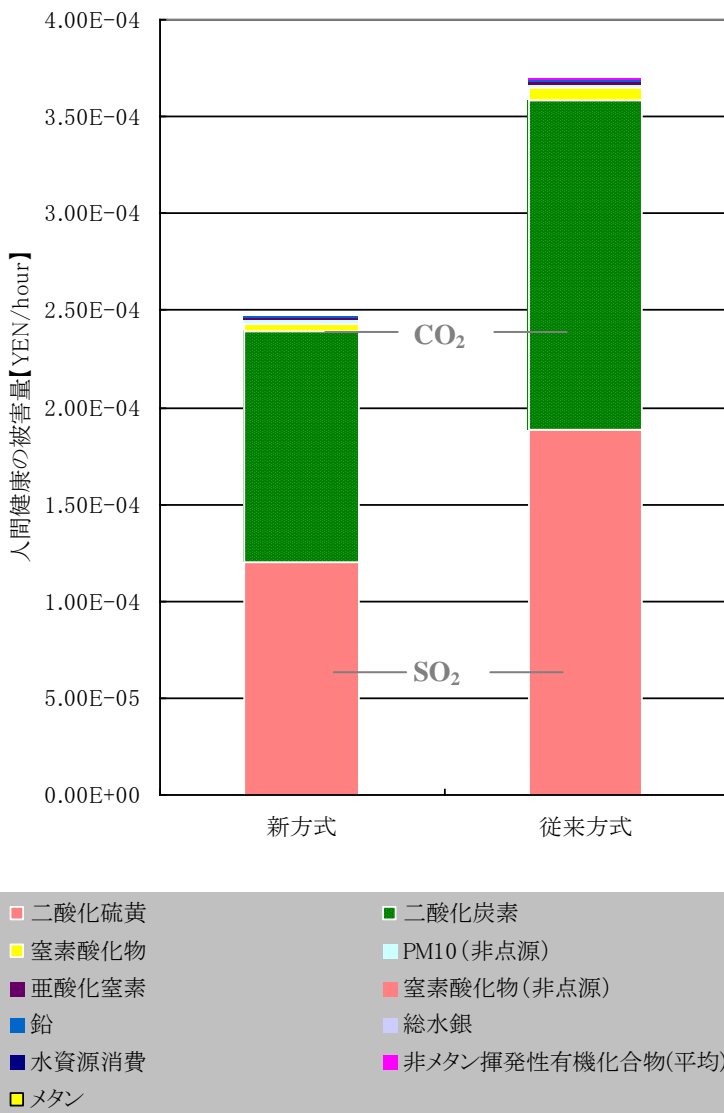


図 5. 2-2 物質ごとの被害評価 (係数 A)

5.2.1.2 係数Bを用いた場合の被害評価

水資源消費による被害評価係数として係数B(5.2.1参照)を適用し、充填段階で消費される水量(以下、水消費量)について、地域別の被害評価を行った。各地域の健康被害係数(平均値)に1時間あたりの水消費量を掛け合わせ、健康被害(円)に換算した。その結果を表5.2-3に示した。

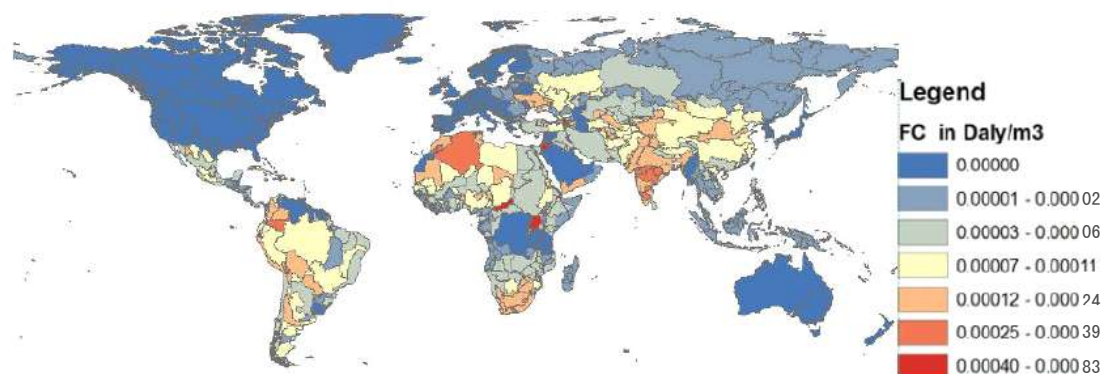


図 5.2-3 Characterization Factors for Human Health Impacts(water Surface1)
文献B)「Using GIS to evaluate regional human health impacts from water use」

表 5.2-3 地域別水の健康被害

Legend	健康被害係数 【dalys/m3】	人間健康被害【DALYs】		人間健康被害【yen】		差 従来-新
		新方式	従来方式	新方式	従来方式	
0.00000	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	¥0	¥0	¥0
0.00001-0.00002	2.80E-04	5.38E-05	2.80E-04	¥789	¥4,100	¥3,311
0.00003-0.00006	8.39E-04	1.61E-04	8.39E-04	¥2,367	¥12,299	¥9,932
0.00007-0.00011	1.68E-03	3.23E-04	1.68E-03	¥4,735	¥24,598	¥19,864
0.00012-0.00024	3.36E-03	6.46E-04	3.36E-03	¥9,469	¥49,197	¥39,728
0.00025-0.00039	5.97E-03	1.15E-03	5.97E-03	¥16,834	¥87,461	¥70,627
0.00040-0.00083	1.15E-02	2.21E-03	1.15E-02	¥32,353	¥168,089	¥135,736

日本や北米、ヨーロッパ地域は係数が0であり、水資源消費による健康被害は0円という結果となった。その他の地域においては、係数Aを使用した場合と比べ、水資源消費による健康影響が大幅に高くなることがわかった。被害係数が最も高い中央アフリカにおいては、従来方式が168,089円、新方式は32,353円と1時間あたり135,736円あまりの差が生じることが明らかになった。

中国に代表される黄色で色分けされた地域の水資源消費による健康被害を、LIME2による物質ごとの被害評価結果と合わせた。

(図 5.2-4)

水資源消費による被害が健康影響の大部分を占めるという、係数 A を使用した場合とは全く違う結果となった。

被害量を日本円に換算すると、1時間あたり従来方式が約 30000 円となり、約 82%が水資源消費による被害であることがわかった。一方、新方式の場合全体で約 8000 円の被害量となり、そのうち約 56%が水資源消費による被害であることがわかった。

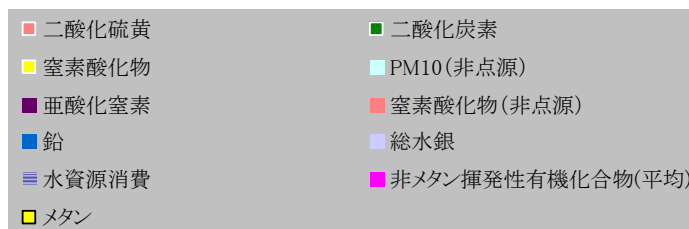
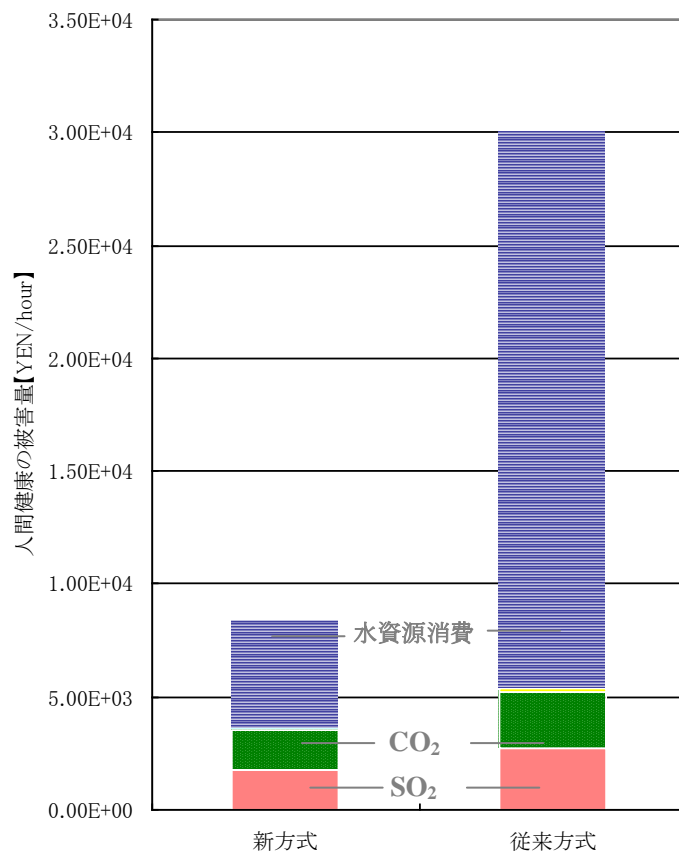


図 5.2-4 物質ごとの被害評価 (係数 B)

5.2.2 統合化

図 5.2-2 に各充填方式の統合化結果（物質毎）を示した。

新方式では、環境影響が大きい順に二酸化炭素、二酸化硫黄、原油であることが明らかになった。環境影響は新方式が 5340 円、従来方式が 7680 円と算出された。

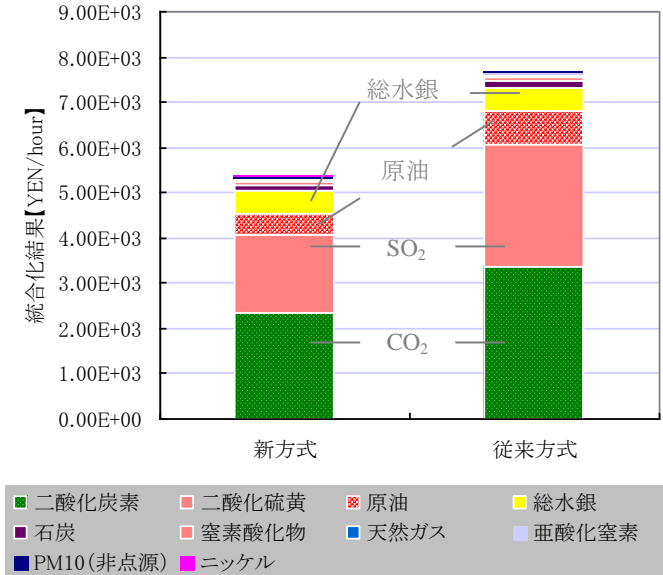


図 5.2-5 統合化結果（物質ごと）

図 5.2-3 にカテゴリー毎の統合化結果を示した。地球温暖化、都市大気汚染に与える影響が大きいことがわかる。またその二つのカテゴリーにおいて、新方式は影響が小さいことが明らかになった。

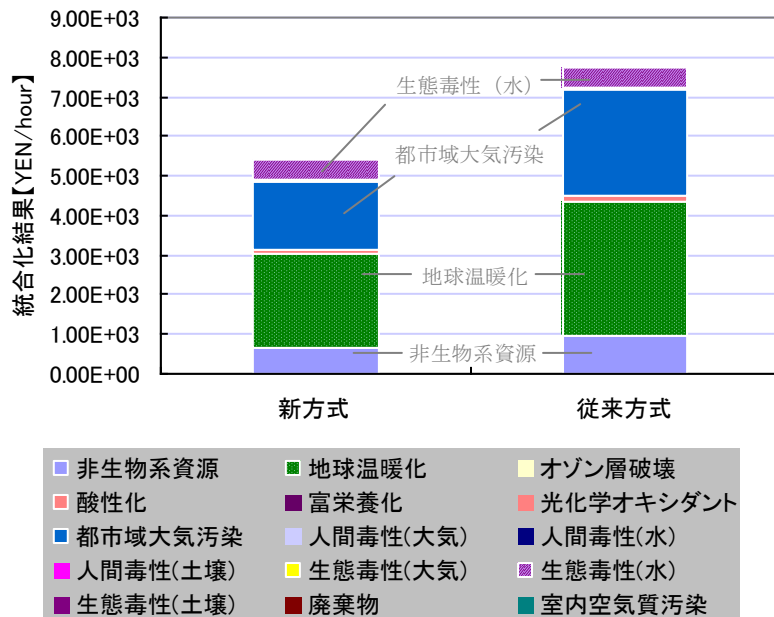


図 5.2-6 統合化結果（カテゴリーごと）

LIME2 による物質ごとの統合化結果に、係数 B を用いて算出した健康被害を追加した (図 5.2-7)

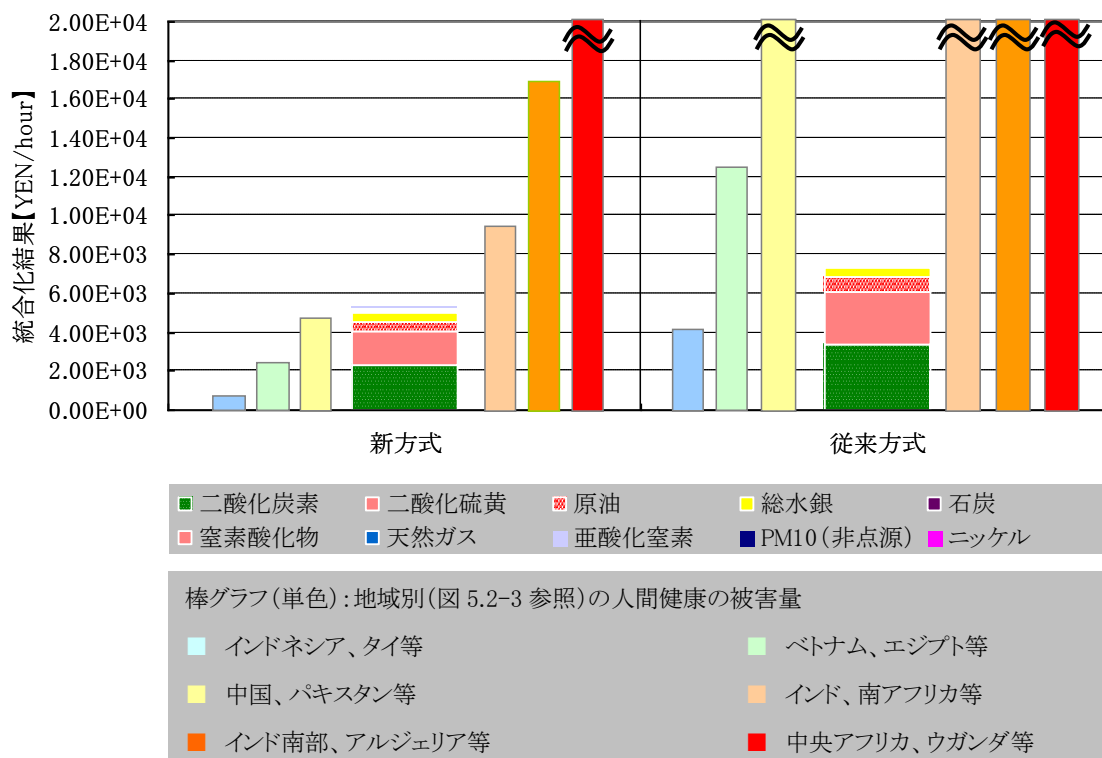


図 5.2-7 統合化結果 (物質ごと) +水資源消費による健康被害 (係数 B)

係数 B を用いて算出した健康被害は、統合化による結果と比較しても非常に大きいことが図 5.2-7 よりわかった。特に従来方式ではベトナムで代表される緑の地域から、健康被害が統合化結果を上回った。新方式ではインドで代表される薄オレンジの地域から健康被害が上回った。

6 結論

6.1 調査結果のまとめ

日本は水資源の豊富な国であり、水資源消費による人間健康への被害は、係数に関わらず、0 円に近い値であった。ただ、新方式は水の使用量を大幅に削減でき、CO₂ や SO₂ による被害量を低減できる非常に優れた充填方式であることが明らかになった。

一方、健康被害係数として係数 B を適用し、中国、インド、アジア諸国またアフリカ諸国等に、弊社充填システムを導入すると仮定した場合、新方式は、従来方式に比べ、水資源消費による被害量を大幅に低減できる可能性が示唆された。

6.2 限界と今後の課題

利用できる水の種類や量は全国各地、世界各地において様々である。今回の評価では、水は工業用水として評価したが、利用する水の種類に応じ、適した原単位を選択する必要があると考える。そのためには、多種多様な水原単位が求められる。

また水資源消費による被害評価係数は確立されておらず、数値に大きな違いがあるのが現状である。評価の信頼性を高めるためにも、水資源消費による被害評価係数の早期確立を望む。

今後、貴重な水資源使用の効率化・エネルギーの効率化をさらに進めるとともに、より実態に即した評価を行っていききたい。

参考文献

- 1) PET ボトル協議会 (2006) : PET ボトルの LCI 分析調査報告書、P31, P53
- 2) 独立行政法人 産業技術総合研究所 本下氏提供「水資源消費による健康被害評価係数リスト (暫定版 2009.10.18 現在)」
- 3) Anne-Marie Boulay, Jean-Baptiste Bayart, Cecile Bulle, Manuele Margni, Louise Deschenes 「Using GIS to evaluate regional human health impacts from water use」 SETAC (2010.5) abstract