

第2研究委員会

東京会場 平成23年9月12日(月) 15:00~16:15

報告者：第2研究委員会 幹事長

(株)クボタ 山村佳裕

1

第2研究委員会の研究テーマ

管路施設のLCAに関する研究

事業者及び住民に対する
事業・更新PR手法に関する研究

*水道事業の新たな取組みに挑戦するテーマ!

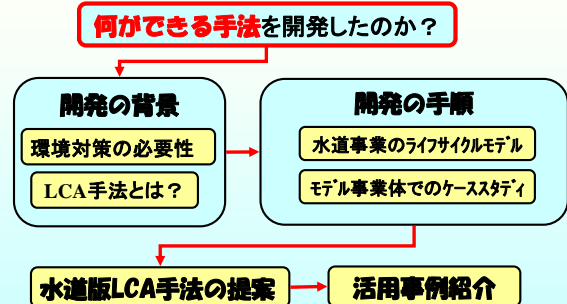
2

| 委員区分 | 委員名 | 所属 |
|-------|---------------|------------|
| 委員長 | 楠井 由彦 | 鳥取大学大学院 |
| 副委員長 | 長岡 裕 | 東京都市大 |
| 事業者委員 | 秋山 正茂 | 東京都水道局 |
| | 岩瀬 伸朗 | 千葉県水道局 |
| | 川内 武彦 | 大阪市水道局 |
| | 栗田 弘幸 (梅原 淳志) | 名古屋市上下水道局 |
| | 高橋 明 (渡部 和俊) | 札幌市水道局 |
| | 古谷 俊 | 横須賀市上下水道局 |
| 企業委員 | 豊山 隆志 (平林 茂美) | 佐久水道企業団 |
| | 山村 佳裕 | (株)クボタ |
| | 高木 啓介 | (株)栗本精工所 |
| | 杉山 修三 | 日本鋼鉄管(株) |
| | 池田 満雄 (原田 潤) | クボタシーアイ(株) |
| | 小島 賢一郎 | 積水化学工業(株) |
| | 大岡 俊明 | 日本水工設計(株) |

() 内前委員名

3

「管路施設のLCAに関する研究」報告の流れ



4

管路施設のLCAに関する研究

「水道版LCA手法の開発」

- 水道水1m³の製造・輸送に伴うCO₂排出量の効率的な算出方法
- この方法を用いた「事業」の定量的評価方法

本研究は、以下の質問に答えるための研究!

- ① 水道事業は、CO₂をどれくらい排出しているのか?
- ② 今推進している事業は、環境にやさしいのか?
- ③ 環境対策は、どこから始めたらよいのか?



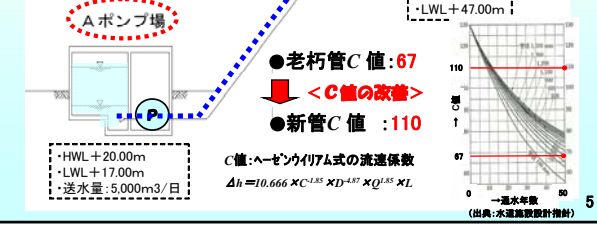
この答えは約30分後

何ができるのか?

具体的な事例を紹介します。

■ <事例2> 老朽管の更新

- 管路延長: 1,500m
- 既設管: 布設後50年のCIP φ 300
- 更新管: DIP φ 300

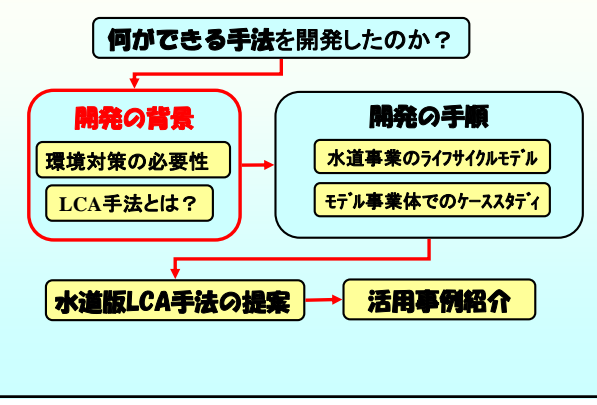


■ <事例2> 老朽管の更新 (算出結果)

| 項目 | 単位 | 更新前 | 更新後 | 効果 | |
|---------------------|----------------------|----------------------|---------|----------|--------|
| 管路損失 | m | 12.1 | 4.8 | ▲ 7.3 | |
| ポンプ実揚程 | m | 47.1 | 39.8 | ▲ 7.3 | |
| ポンプ電動機出力 | kW | 40.0 | 33.8 | ▲ 6.2 | |
| 電力使用量 | kWh/年 | 280,320 | 236,870 | ▲ 43,450 | |
| CO ₂ 排出量 | ポンプ運転 | t-CO ₂ /年 | 117.0 | 99.0 | ▲ 18.0 |
| | 管路更新 | t-CO ₂ /年 | 0.0 | 4.2 | 4.2 |
| 合計 | t-CO ₂ /年 | 117.0 | 103.2 | ▲13.8 | |

削減率12%

「管路施設のLCAに関する研究」報告の流れ



■ 研究の背景と目標の設定

(1) 水道事業体における環境対策の現状調査

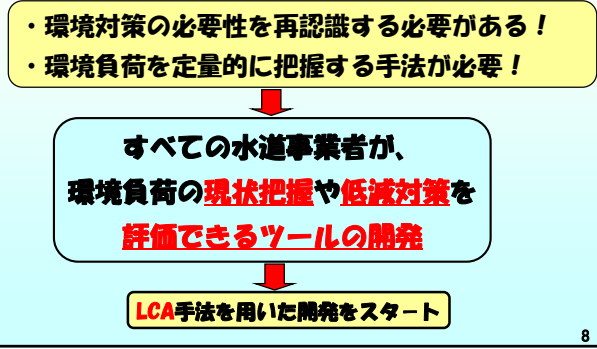
- 水道事業の環境対策への取組みアンケート調査
- ⇒ 環境報告書作成なし、定量的目標設定なし : 約8割
- ⇒ PI算出なし、LCAを知らない・必要ない : 約4割

(2) 事業環境の変化: 地球環境問題への対応

- 水道事業に関わる**環境関連の法体系の整備**が進んでいる!
- ⇒ 環境基本法、地球温暖化対策の推進に関する法律
- ⇒ 省エネ法、廃棄物処理法、建設リサイクル法等
- ⇒ **水道事業は、環境対策の実行を迫られている!**

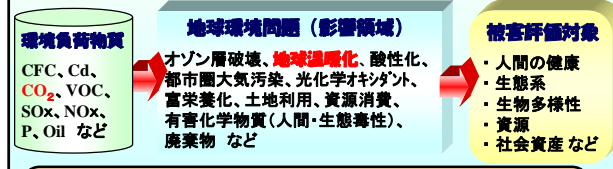
■ 研究の背景と目標の設定

(3) 研究目標の設定

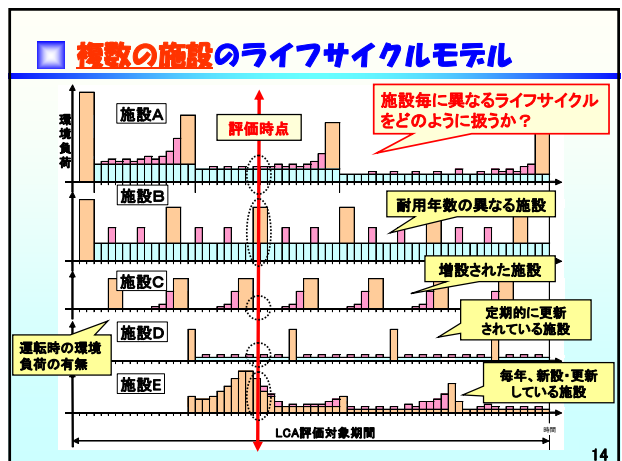
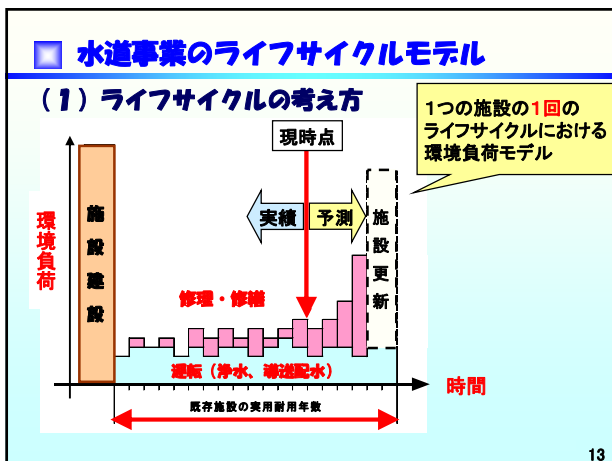
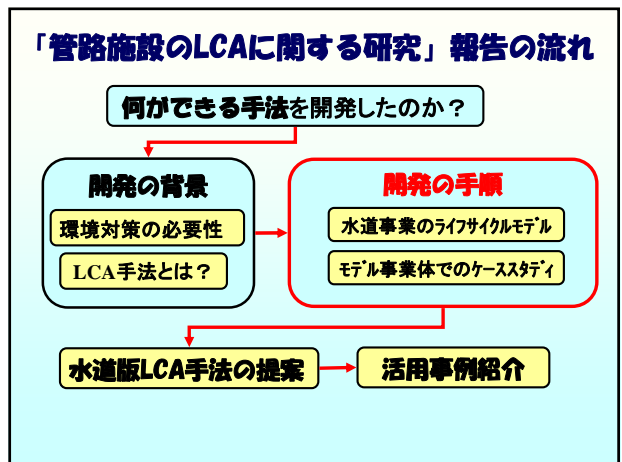
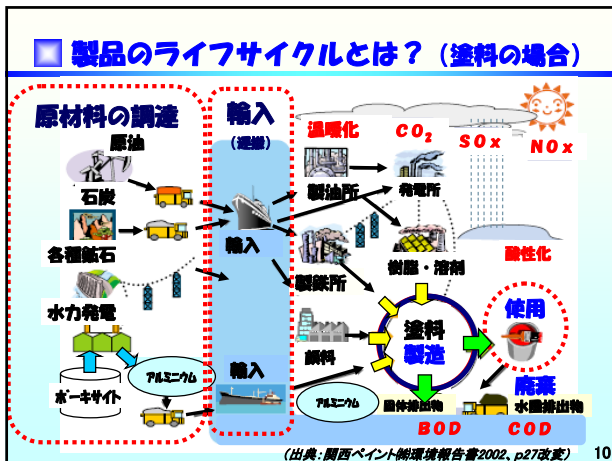


■ LCA(ライフサイクルアセスメント)手法とは?

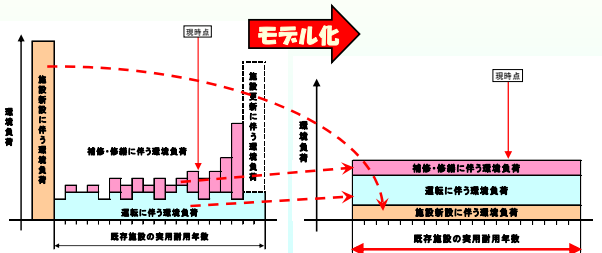
「LCA手法」は、事業活動による**環境負荷**が、**地球環境に、どのような影響を与えるか?**を**定量的に評価する手法の1つ!**



- ★本研究では、地球温暖化の主要因であるCO₂の直接排出のみを対象とし、被害(影響)評価は対象外とした。
- ★LCAの基本概念に基づいており、「LCA」と称した。
- ★CO₂のみを対象としたことから、**LC-CO₂**の研究と言える。



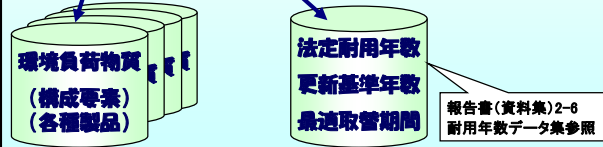
■ 本研究における水道事業活動のモデル化



本研究における比較評価のためのモデル

■ 本研究での水道事業活動のモデル化手法

$$\text{CO}_2\text{排出量 (評価指標)} = \frac{\text{「環境負荷物質の集計値」} \times \text{「CO}_2\text{換算係数 (原単位)」}}{\text{「耐用年数」}}$$



■ CO₂換算係数 (原単位)

原単位は、種々の公的機関・企業から公表されている！

本研究で主に用いた原単位は、

★(独) 国立環境研究所 地球環境研究センター(2005)
「産業連関法による環境負荷原単位データベース(3EID)」

★(社) 日本建設機械化協会(2003)
「建設施工における地球温暖化対策の手引き」など

★水道で固有に用いられる原単位は、独自算出

- <参照> 報告書「資料集」2-5 原単位データ
- 2-5-1 水道工事における一般的な工種の原単位リスト
 - 2-5-2 本研究で用いた物量当りの原単位リスト
 - 2-5-3 3EIDの原単位リスト(2005年基準)

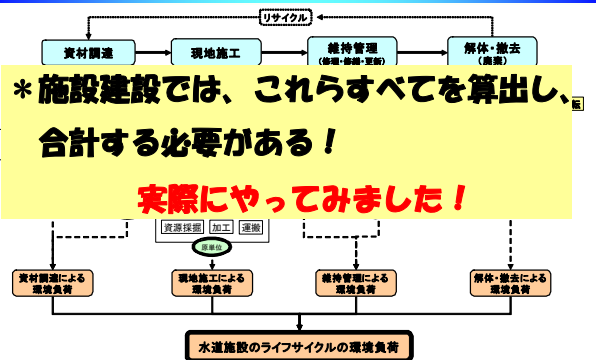
■ 本研究での水道事業活動のモデル化手法

環境負荷物質、原単位、耐用年数
3つのデータが揃えば、
算出できそうなことがわかった！

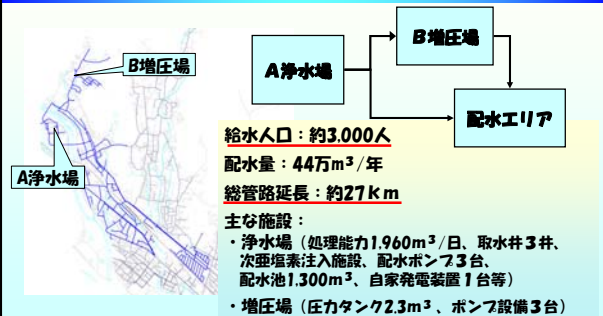
実際の算出方法の検討！

施設建設のライフサイクル

■ 施設建設のライフサイクルモデル



■ モデル事業体 (A市) での評価対象施設



給水人口：約3,000人
配水量：44万m³/年
総管路延長：約27Km

主な施設：
・浄水場(処理能力1,960m³/日、取水井3井、次亜塩素素注入施設、配水ポンプ3台、配水池1,300m³、自家発電装置1台等)
・増圧場(圧力タンク2.3m³、ポンプ設備3台)

*永年保存されている設計書から約2,000枚を抽出(6名で2泊3日)
⇒ この作業は、大変な作業でした！

設計書に基づいたCO₂排出量算出方法 (例1)

| 工種・施工名等 | 数量 | 単位 | 単価 | 金額 | 備考 |
|---------|-----|----------------|----|----|----------|
| 監督役 | 0.1 | 人 | | | |
| 特殊作業員 | 0.2 | 人 | | | |
| 普通作業員 | 0.4 | 人 | | | |
| コンクリート | 12 | m ³ | | | |
| 養生工 | 1 | 式 | | | 必要に応じて計上 |
| 舗装費 | 1 | 式 | | | |
| 計 | | | | | |

取得した設計書

コンクリート工の場合

距離・距離構造物人力打設に係るCO₂排出量持？

コンクリート総用量 × CO₂排出量原単位
 $12 \text{ (m}^3\text{)} \times 62.97 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)} = 755.64 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$

| 原料・資材等 | CO ₂ 排出原単位 |
|--------|--|
| 燃料 | 721.2000 kg-CO ₂ /kL |
| 電力 | 9.1047 kg-CO ₂ /kWh |
| コンクリート | 62.9700 kg-CO ₂ /m ³ |
| 鉄筋 | 258.2000 kg-CO ₂ /t |

公表されているCO₂換算原単位

<参考>人間は、1日約1kg-CO₂排出

モデル事業体での算出結果 (施設建設)

| 施設 | 施設分類 | ライフサイクル | | 建設 | |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------|-------------|------------------------------|
| | | CO ₂ 排出量(t) | | 耐用年数 (年) | CO ₂ 排出量 (t/年) |
| | | 内訳 | 計 | | |
| 浄水場 | コンクリート系土木構造物及び土木工事 | 111.841 | 743.756 | 58 | 14.453 |
| | 電気・機械設備 | 171.902 | | | |
| | ポンプ設備 | 381.737 | | | |
| | 井戸施設 | 71.015 | | | |
| | 遮断物 | 28.877 | | | |
| 増圧場 | 管路施設 | 0.384 | 94.523 | 40 | 48.187 |
| | コンクリート系土木構造物及び土木工事 (含む基礎掘削) | 77.462 | | | |
| | 電気・機械設備類 | 3.310 | | | |
| | 遮断物 | 3.302 | | | |
| 導送配水管 | 導送配水管 | 1927.497 | 150.322 | 20 | 7.516 |
| | 給水装置 | 150.322 | | | |
| 施設建設に伴うCO ₂ 排出量合計(t/年) | | | 70.157 | | |

モデル事業体での算出結果 (事業全体)

| 施設分類 | 建設 | | 修理・修繕 CO ₂ 排出量 (t/年) | 運転 | |
|--|----------------------------|-------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | CO ₂ 排出量 (t) | 耐用年数 (年) | | CO ₂ 排出量 (t/年) | CO ₂ 排出量 (t/年) |
| 浄水場 | 743.756 | 58 | — | 125.204 | 0.523 |
| 増圧場 | 94.523 | — | — | — | — |
| 導送配水管 | 1927.497 | 40 | 6.754 | — | — |
| 給水装置 | 150.322 | 20 | 1.020 | — | — |
| 計 | 70.157 | 7.774 | 125.727 | | |
| プロセス構成比 | 34.4% | 3.8% | 61.7% | | |
| CO ₂ 排出量合計(t) | 203.658 | | | | |
| 配水量(m ³ /年) | 443.986 | | | | |
| 1m ³ 当りCO ₂ 排出量(g) | 458.7 | | | | |

<参考>この算出結果は、500mL換算 0.23g-CO₂に対して、500mLペットボトル水 100g-CO₂以上(PETボトル協議会公表値)であり、水道水の435倍以上！

※ 図中の赤字は「算出結果が小さい」として強調されている。

ケーススタディに基づいた開発要件の見直し

特に、施設建設データは、

- 設計書を永年保存している水道事業体が少ない
- 施設毎に集計する作業は、膨大な労力が必要

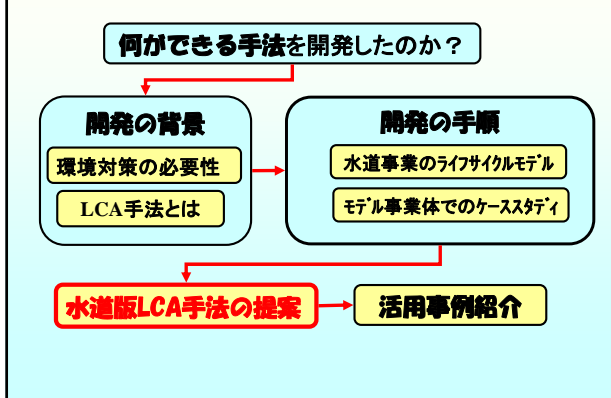
↓

「水道版LCA手法」の開発要件

★ 日常業務で容易に入手できるデータで算出

- 日常業務で管理しているデータ
- 管理図面などから容易に算出できるデータ

「管路施設のLCAに関する研究」報告の流れ



水道版LCA手法の提案

1. 建設のLCA (提案式)
2. 運転のLCA
3. 修理・修繕のLCA
4. 廃棄・リサイクルのLCA
5. 運搬のLCA

提案式の詳細は、テキスト5-8~10参照

1. 建設のLCA (提案式)

設計書に基づいた算出データを用い、
水道施設を8分類し、効率的な算出方法を提案

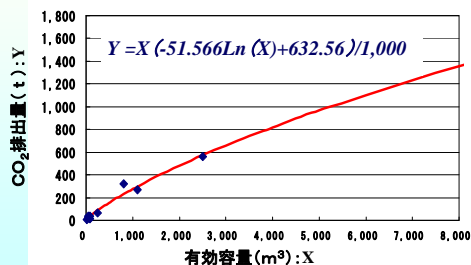
- (1) 池状構造物(配水池、配水塔、高架タンクなど)
- (2) 管路施設(管+弁類)
- (3) 給水装置(給水分岐+管+止水栓+水道メータ)
- (4) 電気・機械設備
- (5) 建築物
- (6) 井戸施設
- (7) コンクリートを主材とする構造物(導水施設など)
- (8) 浄水場

以下、提案式の内容について事例紹介します！

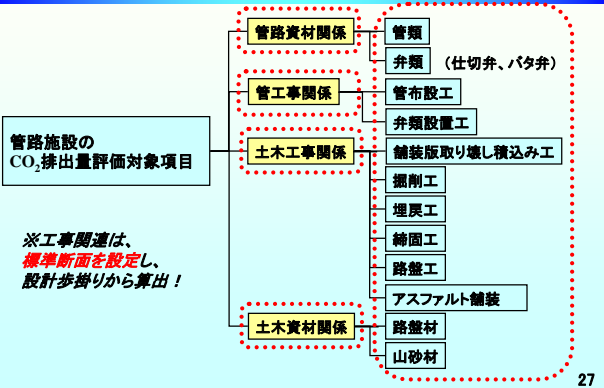
池状構造物の例

9つの池状構造物の積上げにより算出

コンクリート製配水池(受水槽)有効容量とCO₂排出量の関係



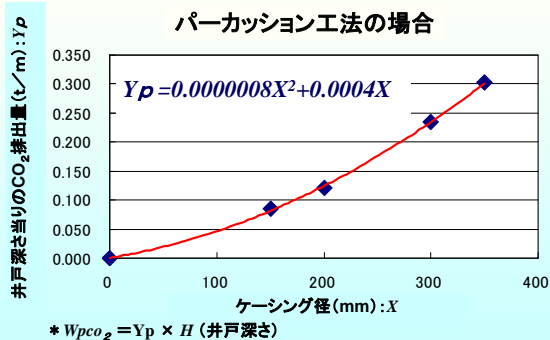
管路施設(管+弁類)の例



管路施設(管+弁類)の例

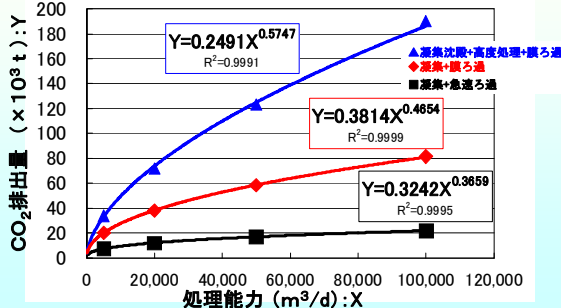
| 口径 | 口径別標準原単位 (t-CO ₂ /m) | | 口径 | 口径別標準原単位 (t-CO ₂ /m) | |
|-----|---------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|
| | 新設 | 更新 | | 新設 | 更新 |
| 50 | 0.013 | 0.014 | 1,000 | 0.928 | 0.928 |
| 75 | 0.023 | 0.024 | 1,100 | 1.060 | 1.063 |
| 100 | 0.035 | 0.036 | 1,200 | 1.200 | 1.202 |
| 125 | 0.048 | 0.049 | 1,350 | 1.419 | 1.422 |
| 150 | 0.062 | 0.064 | 1,500 | 1.648 | 1.651 |
| 200 | 0.094 | 0.095 | 1,800 | 1.808 | 1.810 |
| 250 | 0.129 | 0.130 | 1,850 | 1.887 | 1.891 |
| 300 | 0.167 | 0.168 | 1,800 | 2.136 | 2.140 |
| 350 | 0.208 | 0.209 | 1,900 | 2.307 | 2.312 |
| 400 | 0.251 | 0.253 | 2,000 | 2.481 | 2.487 |
| 450 | 0.297 | 0.299 | 2,100 | 2.660 | 2.665 |
| 500 | 0.345 | 0.347 | 2,200 | 2.842 | 2.848 |
| 600 | 0.448 | 0.449 | 2,300 | 3.027 | 3.034 |
| 700 | 0.557 | 0.559 | 2,400 | 3.216 | 3.223 |
| 800 | 0.674 | 0.676 | 2,500 | 3.408 | 3.416 |
| 900 | 0.797 | 0.799 | 2,600 | 3.604 | 3.612 |

井戸施設の例 (設計歩掛りから導出)



浄水施設の例 (e-Water IIの成果を活用)

浄水場処理フロー、浄水能力別CO₂排出量の関係(例)



★浄水場処理フロー18パターンから選択

■ 水道版LCA手法の提案 (必要なデータ例)

| 対象施設 | 必要なデータ |
|------------|-----------------------------------|
| 管路施設 | 管口径(mm)、管路布設延長(m) |
| 池状構造物 | 有効容量(m ³)、主材質 |
| 給水装置 | メータ口径(mm)、設置箇所数 |
| ポンプ施設 | 電動機出力(kW) |
| 電気・機械設備 | 取得金額(百万円) |
| 建築物 | 延べ床面積(m ²) |
| 井戸施設 | 井戸深さ(m)、ケーシング径(mm)、工法 |
| コンクリート系構造物 | コンクリート体積(m ³)、鉄筋重量(t) |

以上、施設建設のモデル化(提案式)

31

テキスト5-12参照

■ 2. 運転のLCA

運転(水道水の製造・輸送)に伴うCO₂排出量算出手順

施設毎の電力量使用量、薬品使用量等の集計

CO₂換算係数(原単位)を乗じ、CO₂排出量を算出

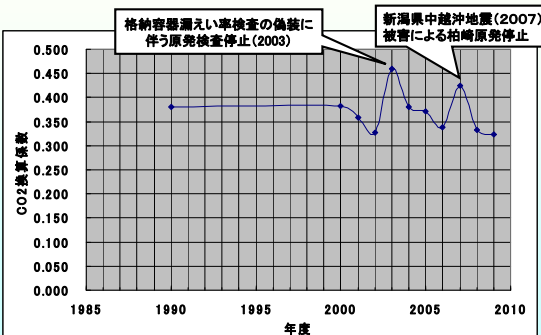
電力の原単位は、各電力会社が毎年公表

施設毎のCO₂排出量を集計し、水量(取水、浄水、配水など)で除し、1m³当りのCO₂排出量を算出

32

参考

東京電力のCO₂換算係数の推移



テキスト5-13参照

■ 3. 修理・修繕のLCA

修理・修繕に伴うCO₂排出量の算出手順

各施設毎の修理・修繕内容と実績金額(Y)の集計 → 実績金額にデフレータ(D)を乗じ、基準年度金額(Z=Y×D)に換算

例1:原動機: 1.98(t-CO₂/百万円)

例2:ポンプ及び圧縮機: 4.10(t-CO₂/百万円)

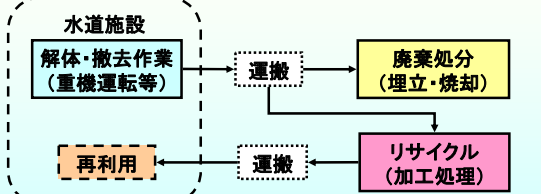
CO₂排出量を、実績集計期間(T)で除し、年平均CO₂排出量(A=C/T)を算出

33

テキスト5-14~15参照

■ 4. 廃棄・リサイクルのLCA

廃棄・リサイクルに伴うCO₂排出量算出の考え方



リサイクル例:撤去鑄鉄管を、運搬、溶解、鑄造し、水道管として再利用

本研究期間中に、廃棄処分(埋立、焼却)、リサイクル(加工処理)に関する詳細データが入手できなかったため、ここでは考え方のみを示す。

34

■ 5. 運搬のLCA

運搬距離1km当りのCO₂排出量

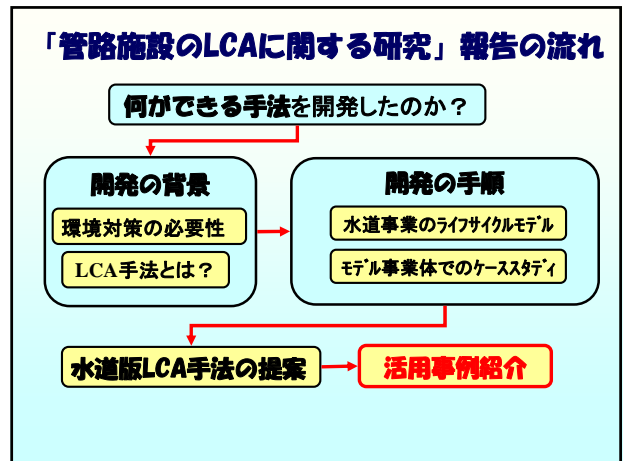
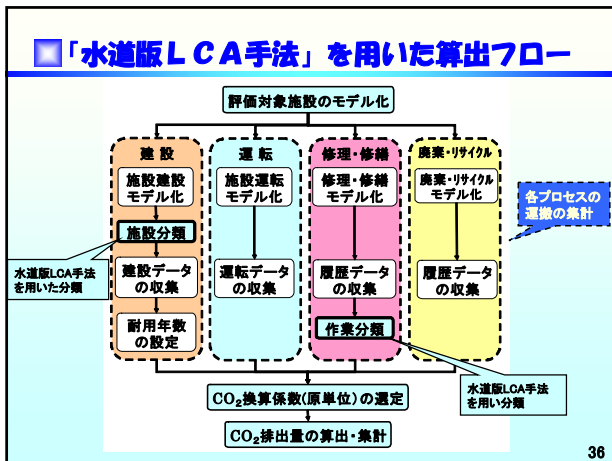
| 機種 | 積載重量(t) | CO ₂ 排出量(kg/km) |
|----------------------|---------|----------------------------|
| ダンプトラック (普通ディーゼル) | 2 | 0.448 |
| | 4 | 0.692 |
| | 6~7 | 0.845 |
| | 8 | 0.917 |
| | 10 | 1.222 |
| | 12 | 1.935 |

(参考)

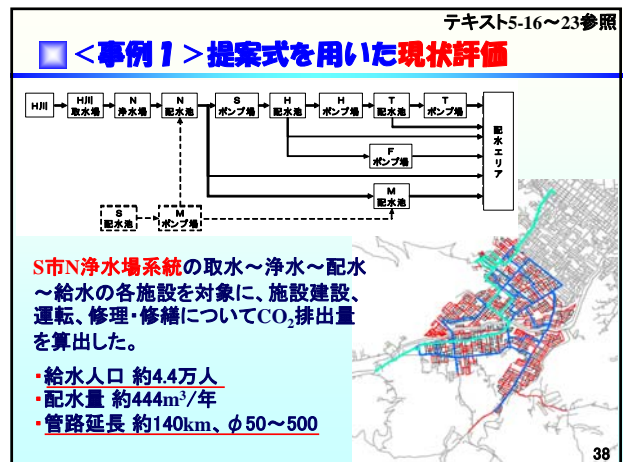
| | | |
|-------|---|-------|
| 6~6.5 | - | 0.784 |
| 8 | - | 0.947 |
| 11 | - | 1.324 |
| 15 | - | 1.426 |

予想以上に大きな排出量!

35



- ### 水道事業のLCA評価事例
- <事例1> 提案式を用いた現状評価 : テキスト5-32参照
 - <事例2> 老朽管の更新 : テキスト5-16参照
 - <事例3> 長寿命資材の採用 : テキスト5-25参照
 - <事例4> 老朽管更新事業(耐震化)の評価 : テキスト5-28参照
 - <事例5> 直結給水方式の導入 : テキスト5-35参照
- 37



<事例1> 現状評価 評価結果 (S市)

テキスト5-23参照

| 施設分類 | 建設 | | 修理・修繕 | 運転 | |
|---------------|--|----------|---------|--|---|
| | CO ₂ 排出量 (t-CO ₂) | 耐用年数 (年) | | CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年) | 電力使用によるCO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年) |
| 取水施設 | 2673.687 | 40 | 66.842 | 23.509 | 729.336 |
| 浄水場 | 27852.82 | 58 | 480.221 | 135.680 | 125.215 |
| 配水池 | 3464.5 | 60 | 57.742 | — | — |
| ポンプ施設 | 411.817 | 15 | 27.454 | 5.816 | 269.869 |
| 導送配水管路 | 7913.267 | 40 | 197.832 | 0.162 | — |
| 給水装置 | 2139.817 | 20 | 106.991 | 2.063 | — |
| 計 | | | 937.082 | 167.229 | 1,124.420 |
| ライフサイクル構成比(%) | | | 38.7% | 6.9% | 46.5% |
| | | | | | 7.9% |
| | | | | | 54.4% |

A市同様、全体の1/3以上、無視できない比率！

39

<事例1> 現状評価 評価結果 (S市)

テキスト5-23参照

| 施設分類 | 施設別合計CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年) | 施設別構成比 (%) | 系統別CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年) | 系統別*配水量 (m ³) | 1m ³ 当りCO ₂ 排出量 (g) |
|--------|---|------------|---|---------------------------|---|
| 取水施設 | 819.687 | 34% | 1,752.226 | 3,577,940 | 490 |
| 浄水場 | 932.539 | 39% | | | |
| 配水池 | 57.742 | 2% | 667.929 | 4,442,230 | 150 |
| ポンプ施設 | 303.139 | 13% | | | |
| 導送配水管路 | 197.994 | 8% | | | |
| 給水装置 | 109.054 | 5% | | | |
| 計 | 2,420.154 | 100% | 2,420.155 | | 640 |

A市: 458.7g-CO₂/m³

* 総配水量=N浄水場系配水量(4,442,230m³/年)

* 取水・浄水水量=総配水量-Mポンプ場からの送水量(864,290m³/年)

40

■<事例4>老朽管更新事業(耐震化)評価

★評価期間中に地震が発生したことを想定して、耐震化事業のCO₂削減効果を評価した。

- (1)評価対象:
モデル事業体(A市)2水系(管路106km、φ50~350)
- (2)比較モデル:
ケース1:既設管をそのまま使用
ケース2:幹線(給水分岐の無い管路)のみ耐震化
ケース3:全管路耐震化
- (3)評価手順
①被害想定、②復旧シナリオ作成、③CO₂排出量算出(応急給水、復旧工事、耐震化工事、管路給水)

■<事例4>耐震化①被害想定

水道技術研究センター式を用いて、**口径別被害箇所数**を算出した。

$$Rm(\alpha) = Cp \times Cd \times CI \times Sd$$

ここに、 $Rm(\alpha)$: 地表面加速度(α)に対する被害率(件/km)

Cp : 管種による補正係数、 Cd : 管径による補正係数

CI : 液状化に関する補正係数、 Sd : 標準被害率(件/km)

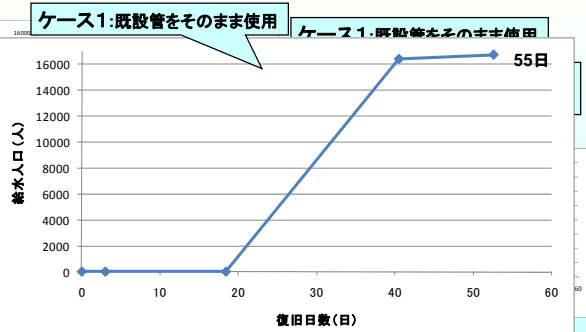
$$Sd = 4.11 \times 10^{-9} \times \alpha^{2.92} \quad \alpha: \text{地表面加速度(gal)}$$

口径別被害箇所数は、被害率に管路の延長を乗じることにより求める。

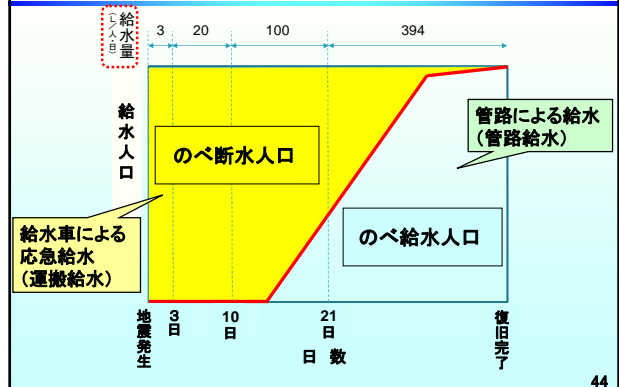
$$\text{被害箇所数} = Rm(\alpha) \times L \quad L: \text{管路延長(km)}$$

この結果を用い、**応急復旧工事に伴うCO₂排出量**を算出した。

■<事例4>耐震化②復旧シナリオの作成



■<事例4>③応急給水シナリオの作成



■<事例4>評価結果(A市の場合)

| 単位:t-CO ₂ | | | |
|----------------------|--------------|-------------------|----------------|
| ケース | ケース1 既設管路 | ケース2 幹線管路のみ耐震化 | ケース3 全管路耐震化 |
| 評価項目 | | | |
| 応急復旧 | 23 | 13 | 0 |
| 応急給水 | 7,679 | 1,700 | 0 |
| 管路給水 | 47 | 76 | 102 |
| 老朽管更新耐震化工事 | 0 | 2,756 | 4,504 |
| 合計 | 7,749 | 4,545 | 4,606 |
| | | 削減率約41% | 削減率約41% |

■<事例4>評価結果(S市の場合)

| 単位:t-CO ₂ | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|
| ケース | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
| 合計 | 15,082 | 14,117 | 8,275 |
| | | 削減率6% | 削減率45% |

●老朽管路を更新して耐震化する事業は、環境にやさしい事業である！

●管路構成によって、効果に差があるので、個々の事業体、配水系統で比較評価する必要がある！

6. 水道事業のLCA評価事例

- <事例1> 提案式を用いた現状評価 : テキスト5-32参照
- <事例2> 老朽管の更新 : テキスト5-16参照
- <事例3> 長寿命資材の採用 : テキスト5-25参照
- <事例4> 老朽管更新事業(耐震化)の評価 : テキスト5-28参照
- <事例5> 直結給水方式の導入 : テキスト5-35参照

以上、「水道版LCA手法」を用いた事例紹介

冒頭で紹介した質問にお答えします。

Q1: 水道事業は、CO₂をどれくらい排出しているのか?

A1: <事例1>現状評価の方法で、1m³当りのCO₂排出量が算出できます。

Q2: 今推進している事業は、環境にやさしいのか?

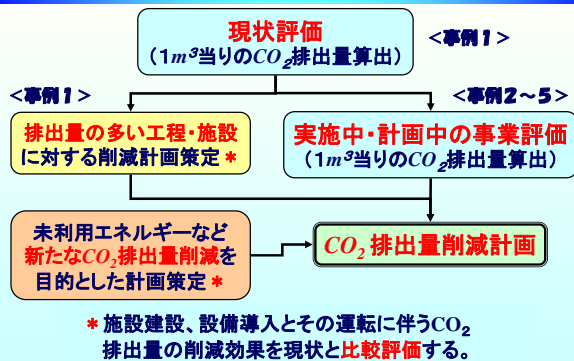
A2: <事例2~5>の方法を用いて、事業実施前後のCO₂排出量を比較して評価できます。

Q3: 環境対策は、どこから始めたらよいのか?

A3: 「水道版LCA手法」を用いて、CO₂排出量削減計画を策定できます。

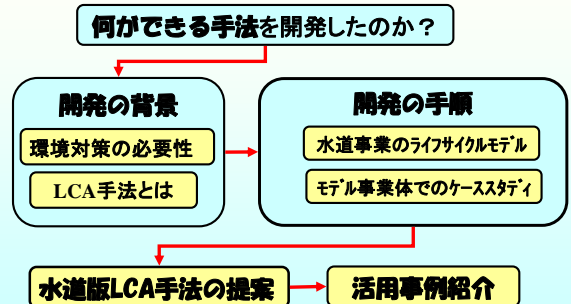
47

CO₂排出量削減計画策定手順(例)



48

「管路施設のLCAに関する研究」報告の流れ



今後の課題

1. 提案式の精度向上:
事例データの追加収集。提案式の補正。
2. 原単位のデータ整備・DB化:
公表データ比較。算出根拠確認。データ更新。
3. 廃棄・リサイクルの検討:
廃棄、リサイクルデータの収集。提案式の追加。
4. 環境負荷低減策の検討:
未利用エネルギー、新エネルギー等のデータ収集。
原単位や提案式の追加。

49

おわりに

- ★持続可能な地球と水道事業のために、定量的な目標を設定し、対策を立案し、直ちに実行しよう!
- ★水道事業活動の環境負荷の現状把握、削減目標達成のための具体策の評価に、「水道版LCA手法」を活用しよう!
- ★本研究の成果が、環境対策を身近な課題として認識する機会になり、水道事業としての本格的な対策への取組みがスタートすることを期待する。

50

**管路施設のLCAに関する研究の
成果報告は以上です。**



水道事業は、自然の水循環の一部を借っている！



**持続可能な水道事業のために、
この水循環を持続できる環境を守ろう！**