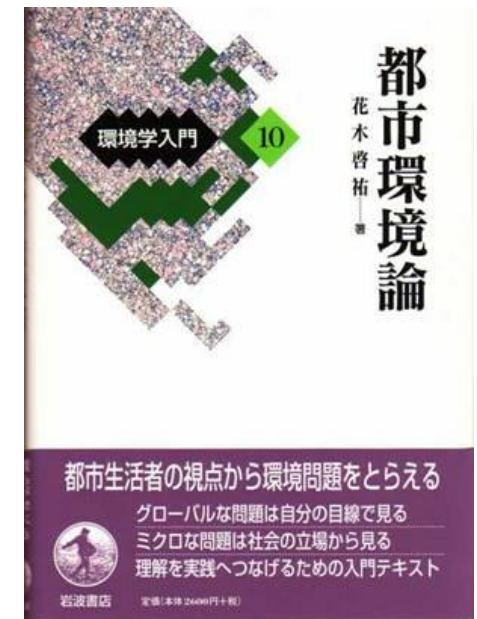


都市環境から見る バイオマスマネジメント

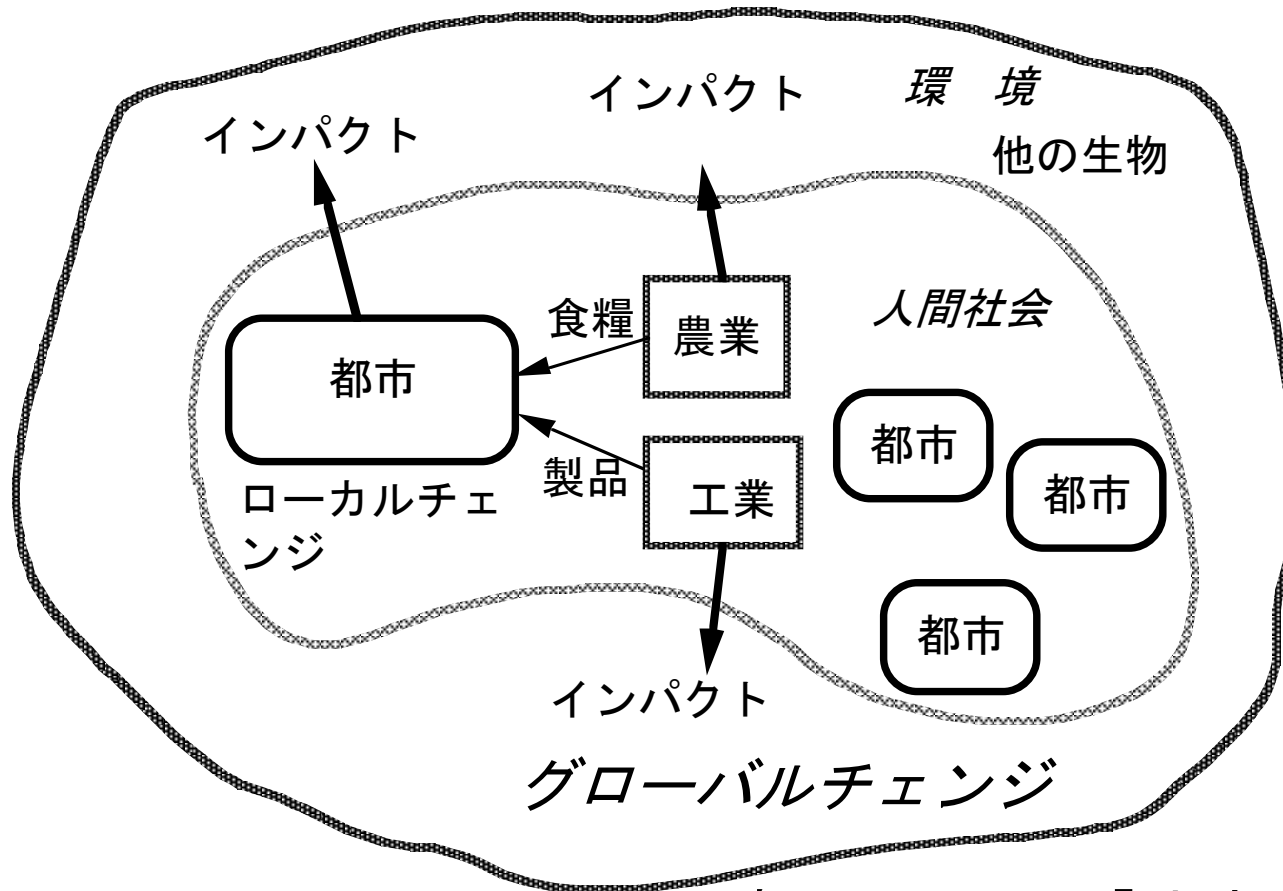
工学部都市工学科 花木 啓祐

<http://www.esys.t.u-tokyo.ac.jp/esys.html>

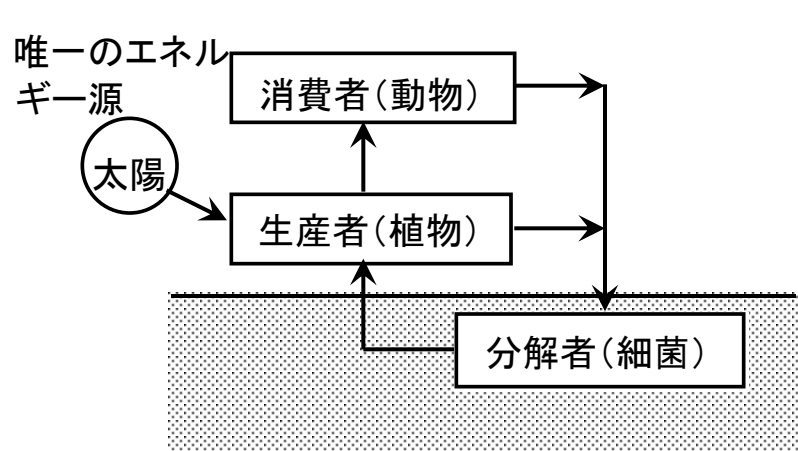
1. 都市の物質フローの俯瞰
2. 都市バイオマスのマネジメント
3. LCAの考え方
4. 研究例



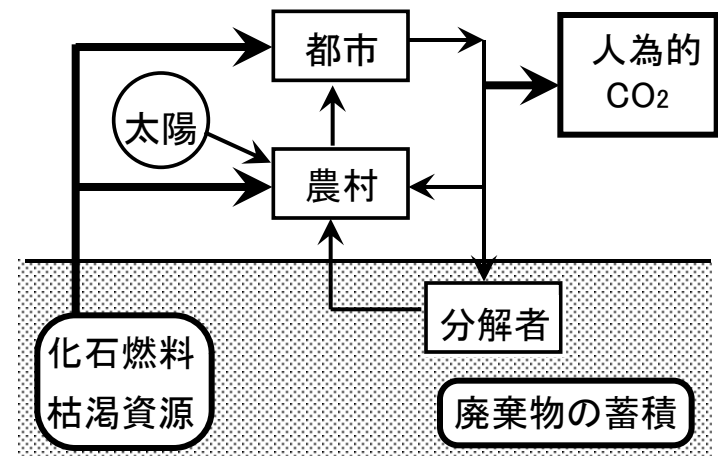
1. 都市の物質フローの俯瞰



境界としての「地球」の存在の認識

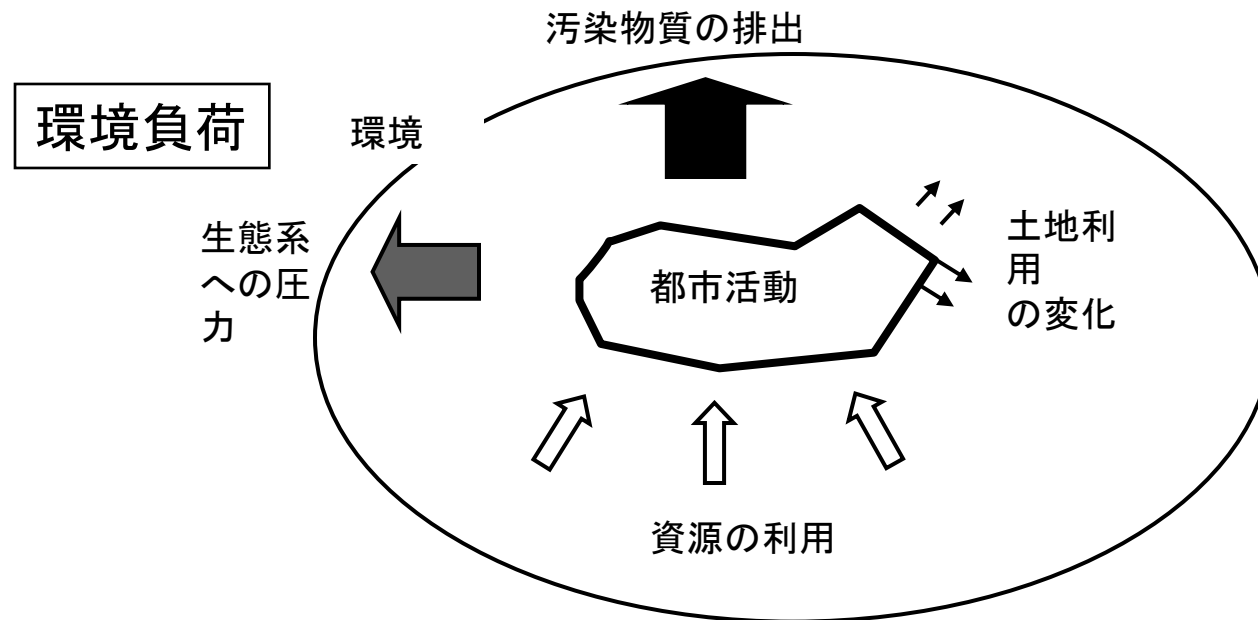


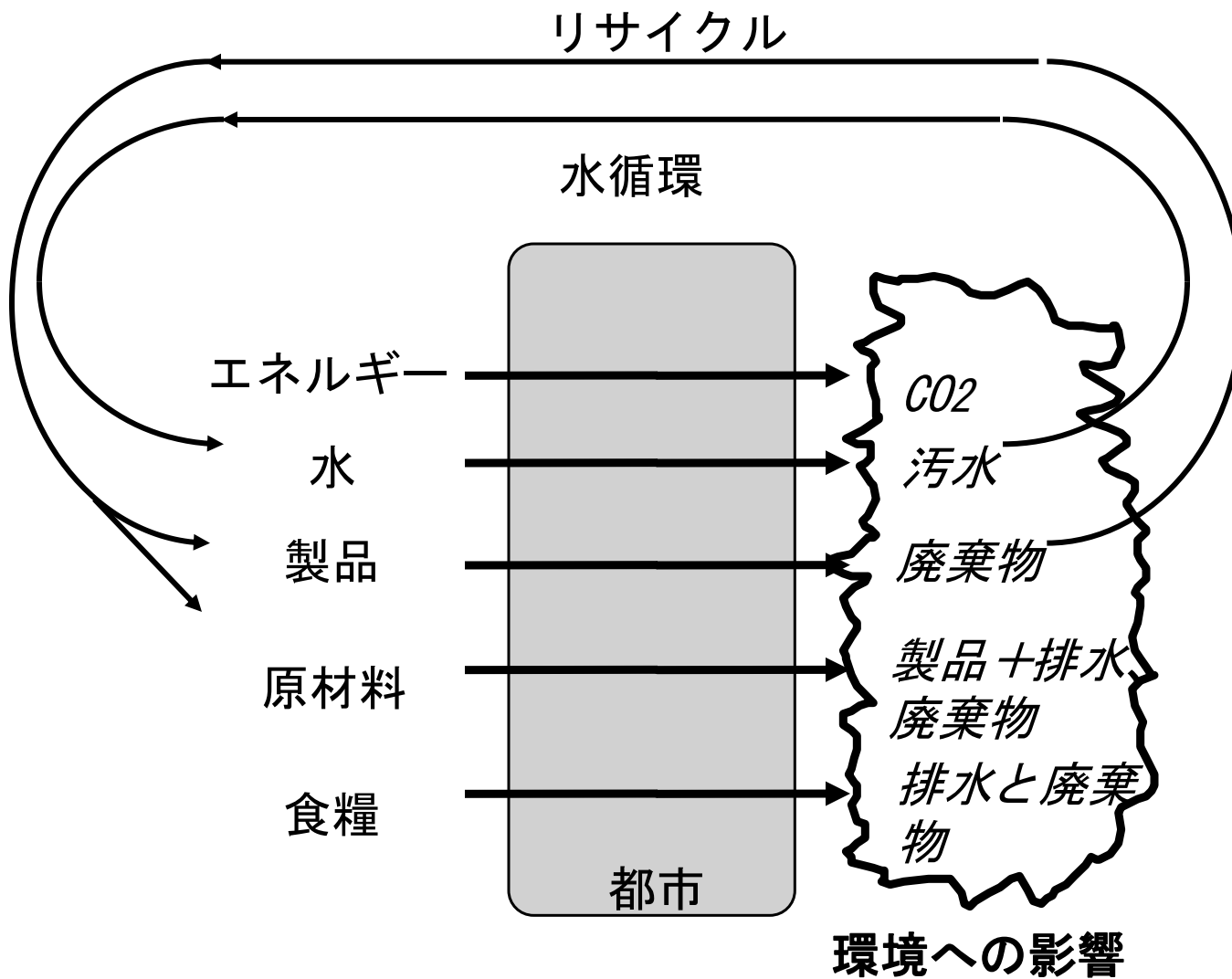
a) 自然生態系

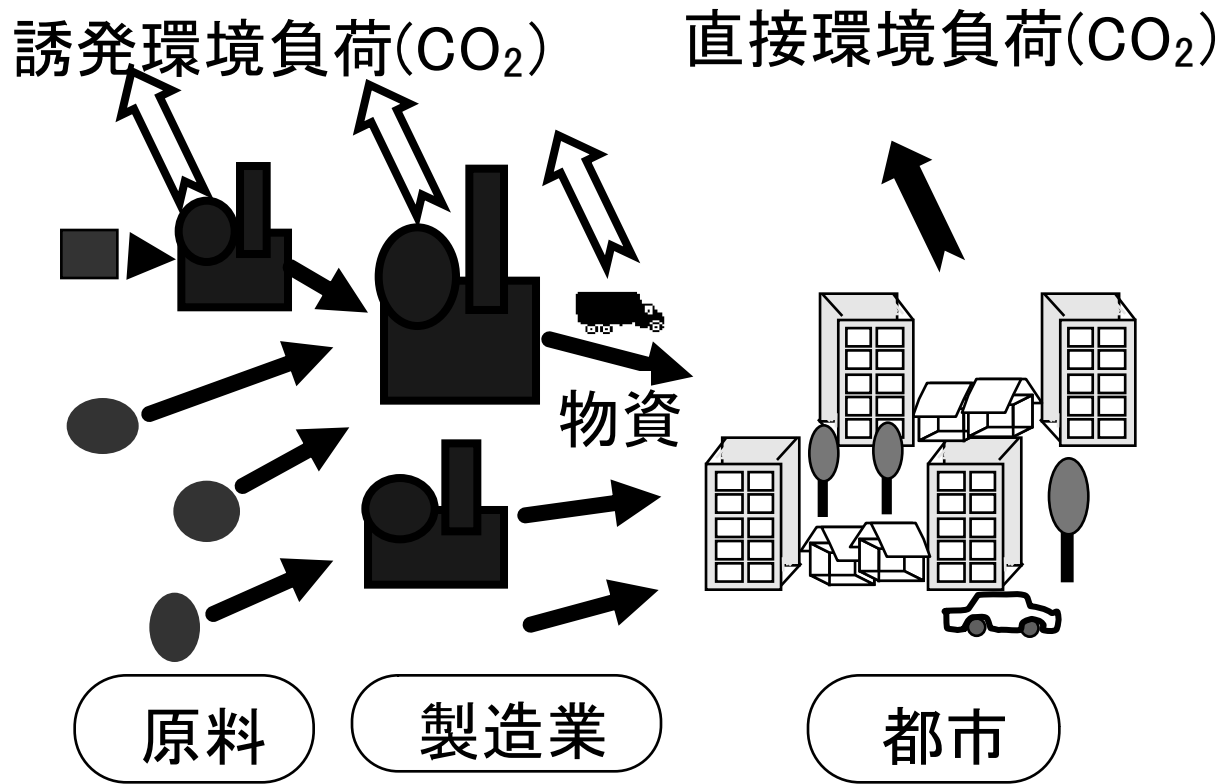


b) 都市を含む生態系

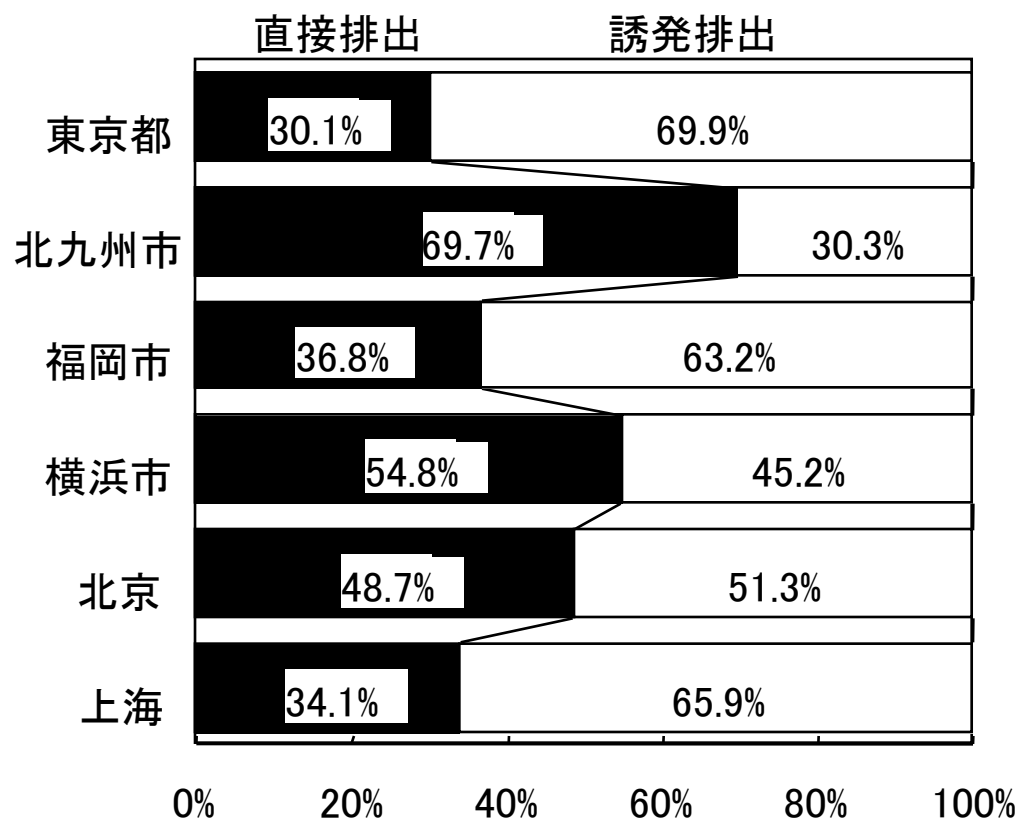
図 自然生態系と現代の都市を含む生態系







都市が与える直接・誘発環境負荷



直接排出と誘発排出CO2の比率

東京都は吉田ら、北九州、福岡、横浜は金川ら、北京、上海は IGES による

都市活動からの直接・誘発環境負荷の例

	直接環境負荷の例	誘発環境負荷の例
業務（オフィス）	冷暖房、照明、動力	紙の使用、OA機器の購入
家庭	冷暖房、照明、動力	食糧、家庭製品、耐久消費財
交通	ガソリン、軽油消費	自動車
製造業	燃料、電力	素材
建設		セメント、鉄

社会の発展段階 発展途上国 → 新興工業国 → 先進国 →

Quality of Life

衛生・安全・教育

物質的豊かさ・利便性

精神的豊かさ、
文化、歴史

地球環境への配慮

地球環境への
インパクト

Quality of Lifeの達成度と地球環境へのインパクト

都市バイオマスのマネジメント

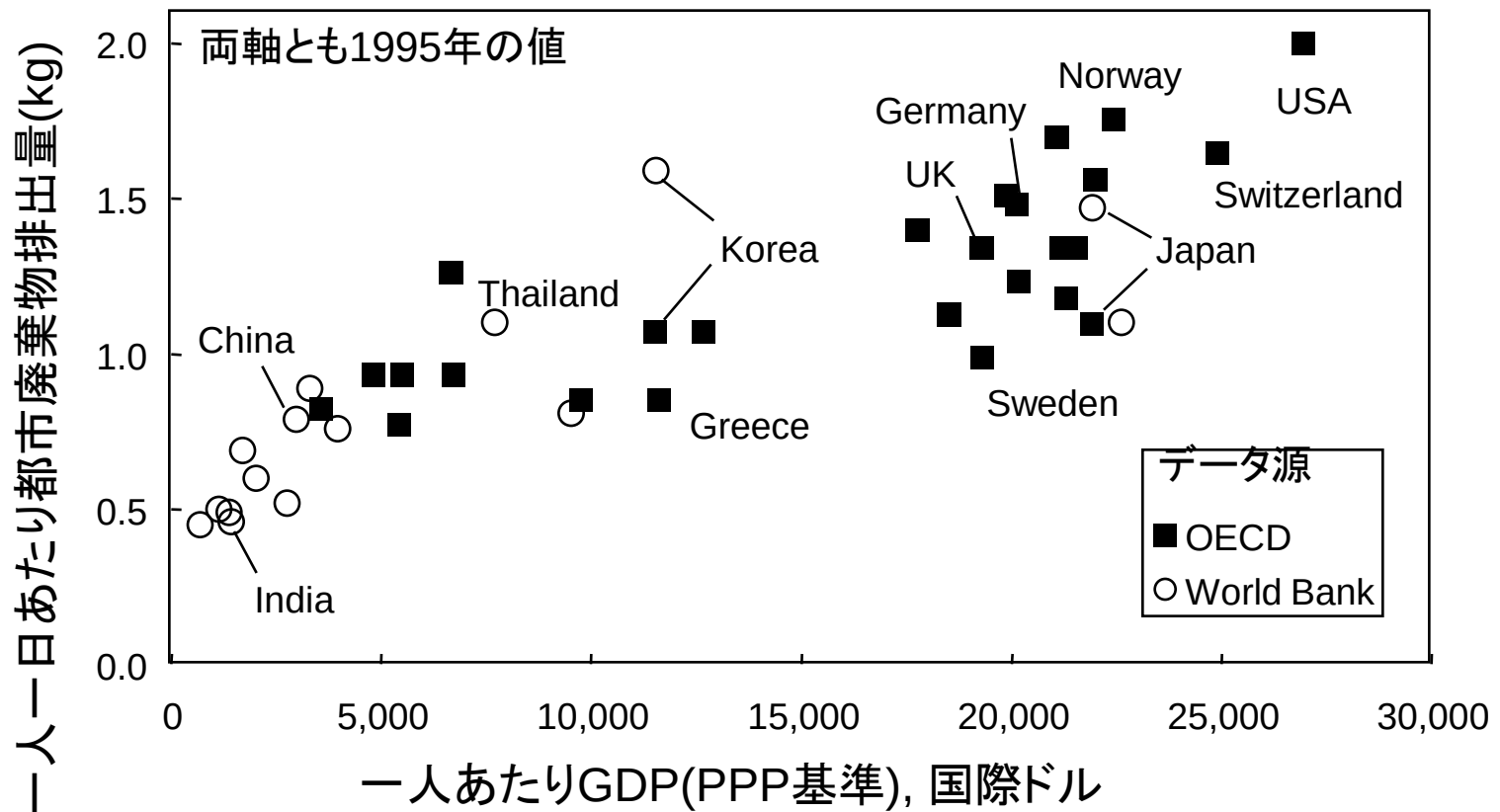
ー都市で利用可能なバイオマス

○ 廃棄物(ごみ)

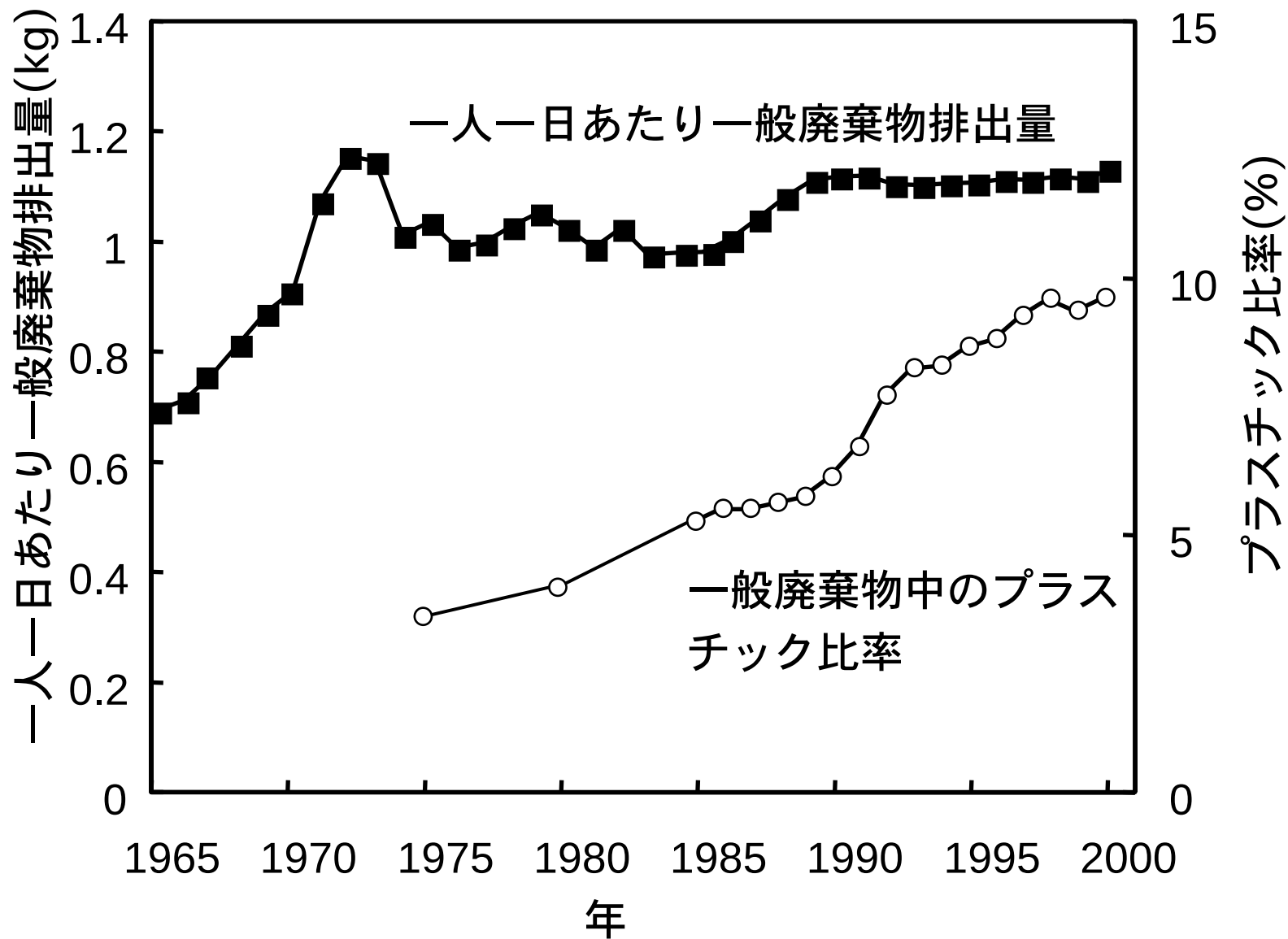
- 焼却→発電と熱利用
- メタン発酵→燃料としてのメタン
- コンポスト(堆肥)→化学肥料代替<資源循環>
- 埋立地からのメタン回収

○ 下水

- 下水汚泥のメタン発酵→燃料としてのメタン
- 下水熱利用
- 発電所の石炭代替(炭化)



注) 日本と韓国については、二つのデータ源の間で大きな差が見られる。



日本の廃棄物排出量の変化

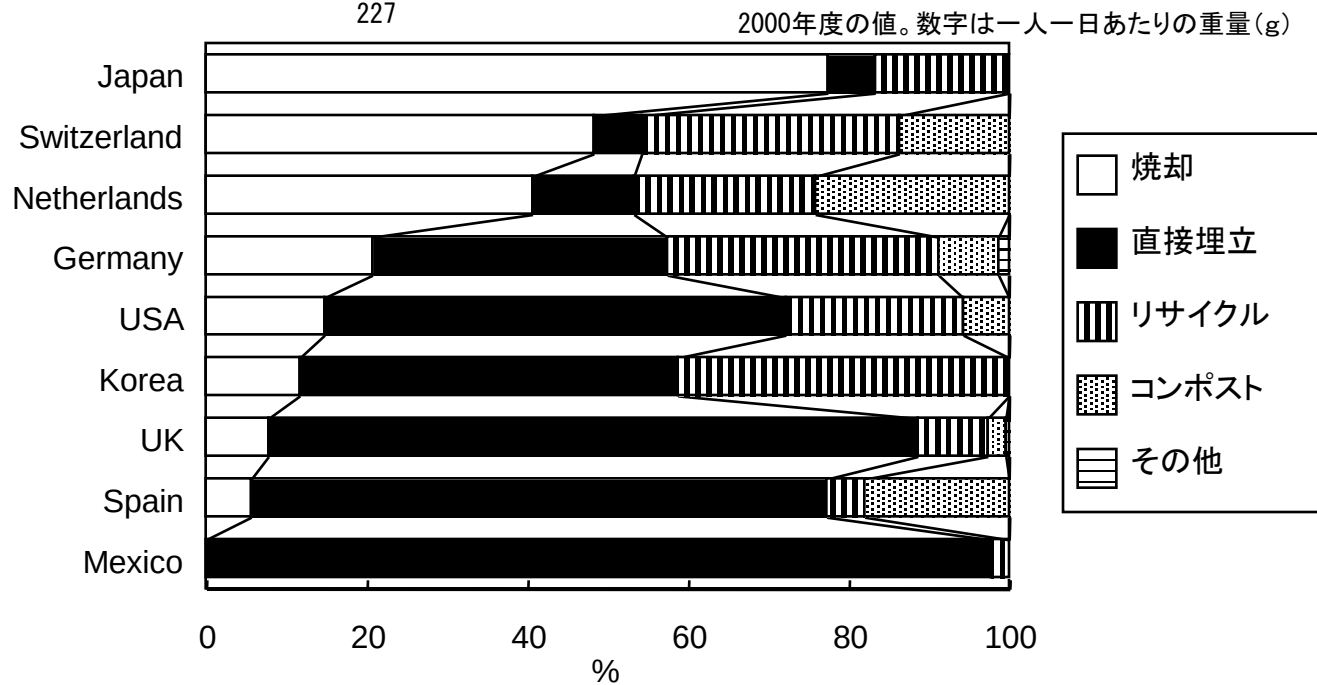
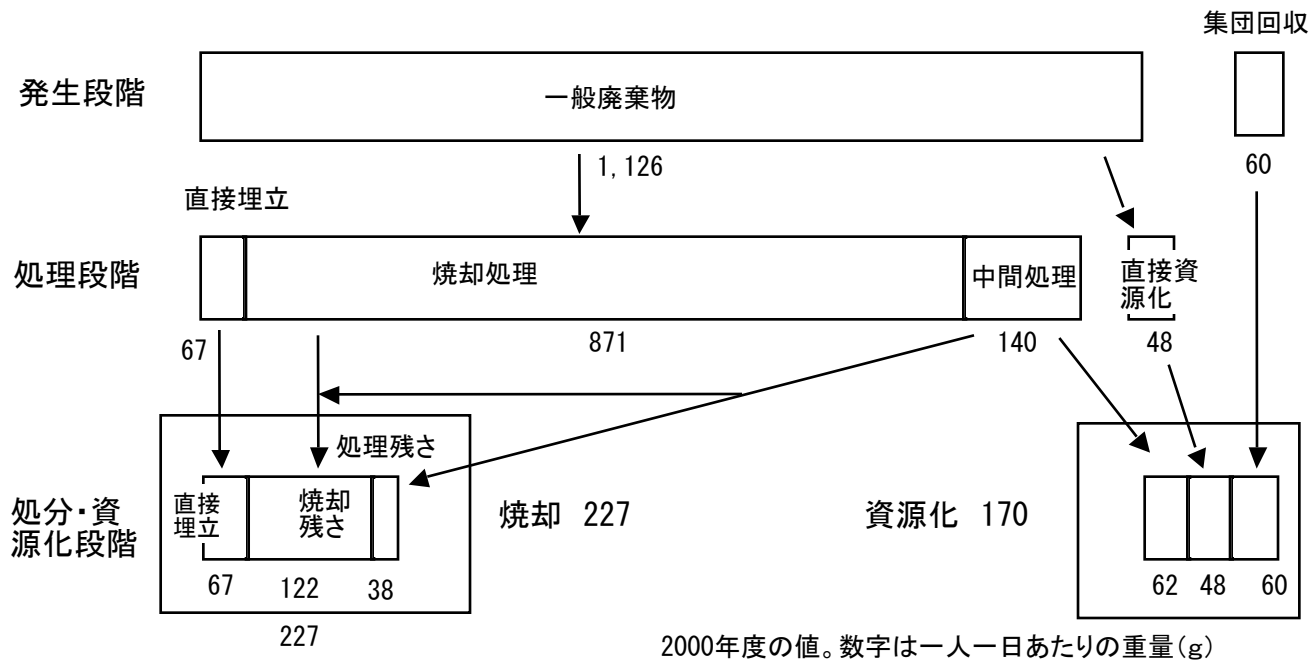
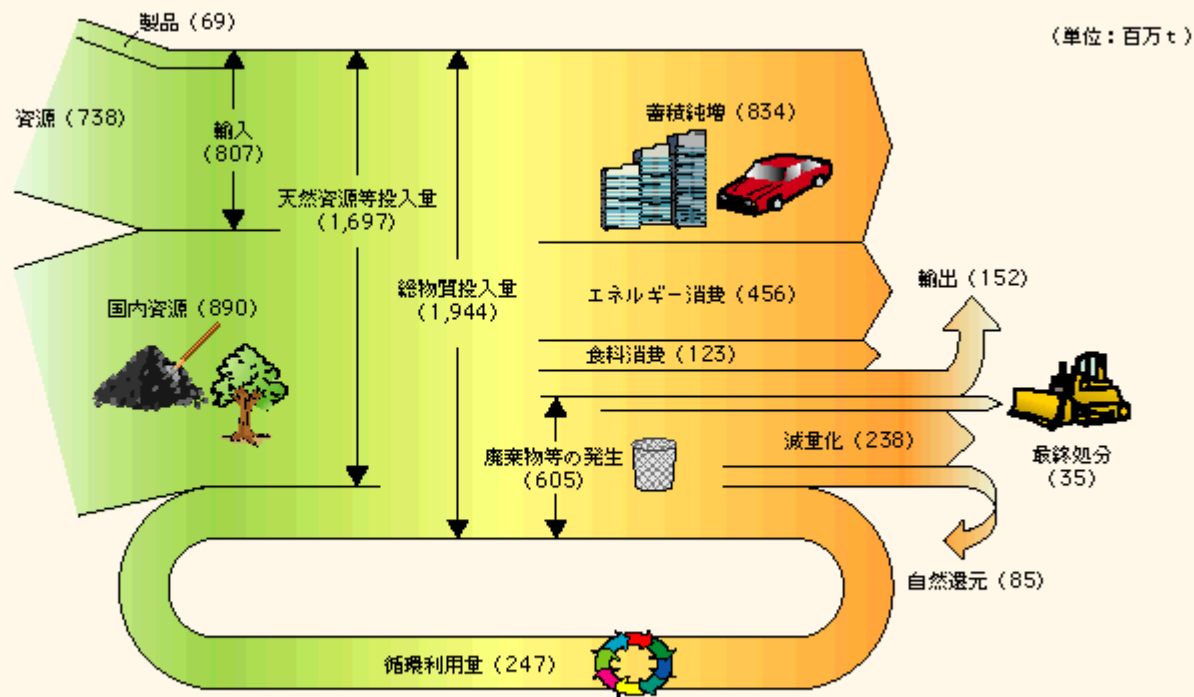


図4-2-1 我が国における物質フロ（平成16年度）



注：産出側の総量は、水分の取込み等があるため総物質投入量より大きくなる。

資料：環境省

環境・循環型社会白書（平成19年）

廃棄物の組成の例

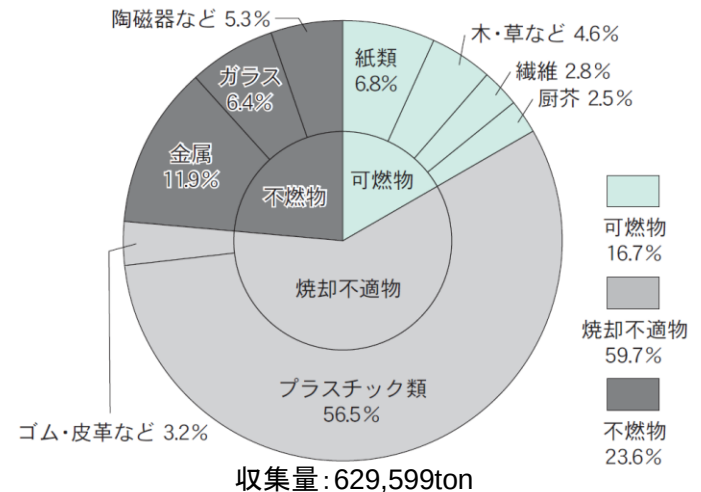
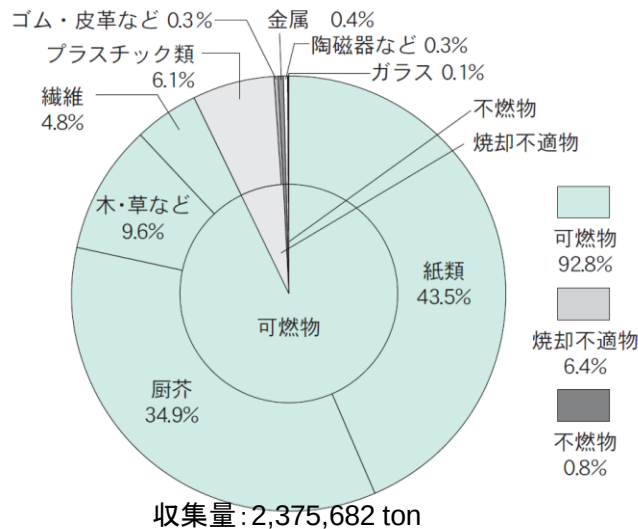
(1998年度実績, 組成: 湿ベース)

都市名	紙類	厨芥類	繊維類	木竹類	わら類	皮革類	ゴム類	プラスチック類	金属類	ガラス	陶磁器類	ガレキ・土砂・その他	備考
札幌市	25.8	46.3	4.3	4.0			14.7	1.5	1.7			1.7	一般収集ごみ (厨芥ごみ, 廃プラスチック, 布類, 紙類, 草木類)
東京都	52.5	26.6	4.0	9.0	0.2	6.9	0.4	0.2			0.2		可燃ごみ (厨芥ごみ, 布類, 紙類, 草木類等)
横浜市	40.1	25.0	2.8		6.0		17.5	1.6	3.0			4.0	一般収集ごみ (厨芥ごみ, 廃プラスチック, ガラス・陶磁器, 布類, 紙類, 草木類等)
大阪市	46.5	6.4	6.0	5.9		(雑物) 5.8	15.6	(鉄) 4.3	5.4	2.4		(非鉄) 1.7	一般収集ごみ (厨芥ごみ, 廃プラスチック, ガラス・陶磁器, 小家電類, 布類, 紙類, 草木類等)

全国都市清掃会議 (2000) 日本の廃棄物2000

平成16年度可燃ごみの組成 (区部) (単位: %)

平成16年度不燃ごみの組成 (区部) (単位: %)



東京都(2006)「東京リサイクルハンドブック2006」

分別ごみの実態 (東京都の例)
2008/10/27 環境の世紀14

廃棄物焼却からのエネルギー回収可能量

○ 低位発熱量

- H17年度全国平均 $2,162 \text{ kcal/kg} = 9.05 \text{ MJ/kg}$

○ 一人あたり廃棄物排出量

- 全国平均 $1.1 \text{ kg/人} \cdot \text{日}$

○ 年間熱量(ポテンシャル)

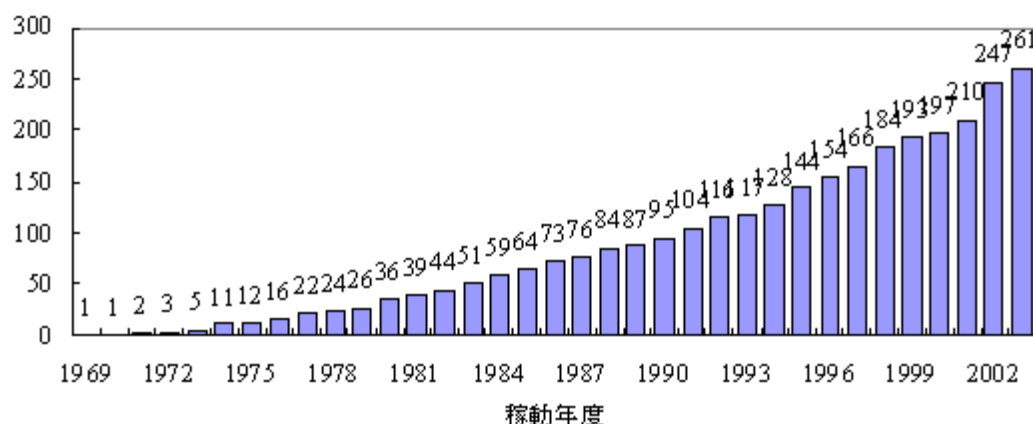
- $9.05 \times 1.1 \div 10 \text{ MJ/日} \div 3.6 \text{ GJ/人} \cdot \text{年}$

○ 比較:

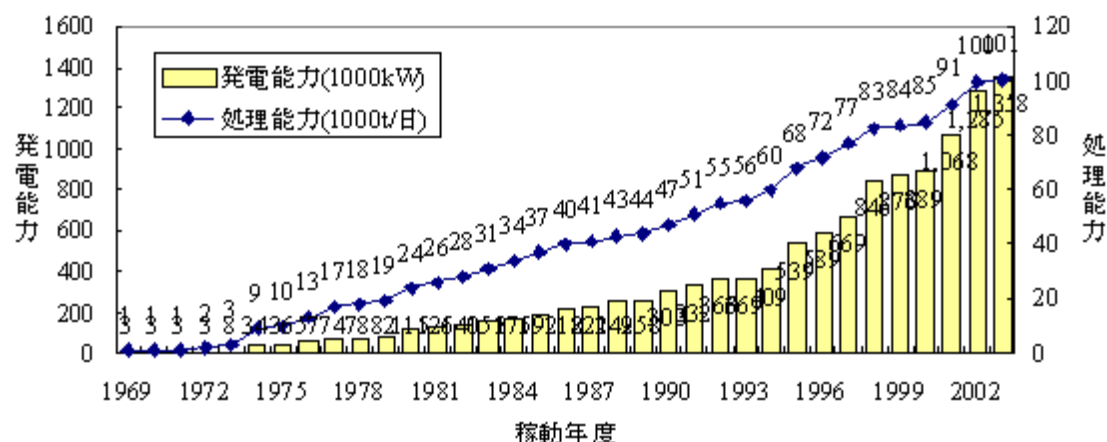
- 家庭＋業務部門エネルギー消費量(2005年)
 $51.8 \text{ GJ/人} \cdot \text{年}$

ごみ発電

ごみ発電施設の推移(稼働ベース)



ごみ発電施設処理能力の推移(稼働ベース)



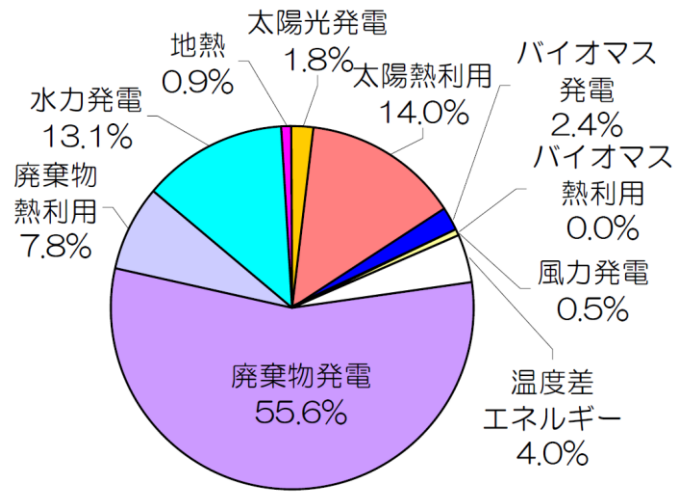
注: 1969年度～1997年度: 環境省公表値, 1998年度～2003年度: 各年公表値をもとに作成
 出典: (財) 日本環境衛生センター「FactBook廃棄物基本データ集2000」(1969～1997年度),
 環境省「一般廃棄物処理実態調査」(1998～2003年度)

NEDO 新エネルギー関連データ集 平成17年版
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/index.html>

ごみの発電効率

順位	都道府県名	施設名称	年間処理量 (t/年度)	発電能力 (kW)	総発電量 (MWh)	発電効 率	使用開 始年度
1	東京都	東京二十三区清掃一部事務組合新江東清掃	481,790	50,000	198,182	15.5	1998
2	愛知県	名古屋市南陽工場	354,854	27,000	125,155	11.7	1997
3	神奈川県	横浜市鶴見工場	280,426	22,000	115,498	15.7	1995
4	埼玉県	東埼玉資源環境組合第一工場ごみ処理施設	274,641	24,000	164,013	20	1995
5	神奈川県	横浜市都筑工場	270,257	12,000	91,194	10.9	1984
6	神奈川県	横浜市金沢工場	267,148	35,000	121,822	16.3	2001
7	大阪府	大阪市環境事業局平野工場	254,333	27,400	126,653	17.8	2003
8	北海道	札幌市白石清掃工場	244,440	30,000	133,108	18	2002
9	大阪府	大阪市環境事業局舞洲工場	237,580	32,000	139,190	21	2001
10	兵庫県	神戸市東クリーンセンター	236,822	20,000	89,794	13.3	2000
11	福岡県	福岡市臨海工場	227,297	25,000	108,444	17.4	2001
12	神奈川県	川崎市浮島処理センター	226,123	12,500	69,367	10.7	1995
13	福岡県	北九州市皇后崎工場	225,430	36,300	168,929	25	1998
14	福岡県	福岡市西部工場	219,506	10,000	71,903	9.2	1992
15	京都府	京都市東北部クリーンセンター	205,593	15,000	88,340	20.1	2001
16	東京都	東京二十三区清掃一部事務組合港清掃工場	200,210	22,000	82,154	15.3	1998
17	神奈川県	横浜市保土ヶ谷工場	199,249	4,200	26,632	5.2	1980
18	大阪府	大阪市環境事業局森之宮工場	198,335				1968
19	大阪府	大阪市環境事業局西淀工場	185,901	14,500	87,823	16.9	1995
20	北海道	札幌市発寒清掃工場	179,392	4,960	31,217	5	1992

余熱の利用→地域冷暖房

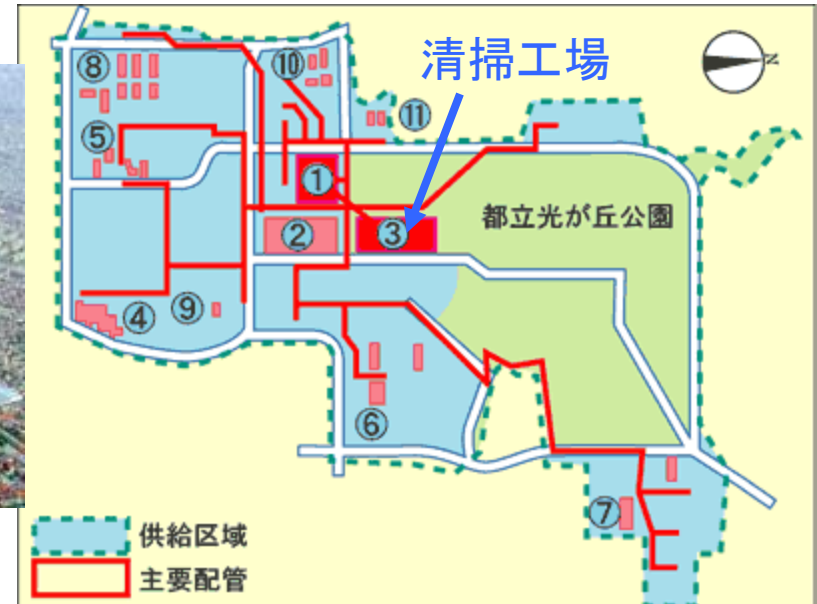


(合計 約 5,600TJ)



東京における再生可能エネルギー導入量

全エネルギー消費量の0.7%に相当。
系統電力による水力発電分を含めると2.7%になる(東京都再生可能エネルギー戦略(2006))



- 1.プラント 2.中心商業施設 3.光が丘清掃工場 4.光が丘第五小学校、光が丘第三中学校 5.光が丘第四小学校、光が丘第二中学校 6.光が丘第七小学校、光が丘第四中学校 7.光が丘第八小学校 8.光が丘第三小学校 9.光が丘第六小学校 10.光が丘第二小学校、光が丘第一中学校 11.光が丘第一小学校

(社)日本熱供給事業協会HPより<http://www.jdhc.or.jp/area/tokyo/25.html>

ごみ(厨芥成分)のメタン発酵(嫌気性消化)

- 微生物によるメタンの生成
 - 水分の多い廃棄物に適
 - 排水処理の必要性
- 厨芥の分別の現実性
 - 当面事業系(レストラン、食品産業)廃棄物
- 厨芥分別の意義
 - メタン発酵
 - ごみの水分減少→低位発熱量上昇

厨芥からのメタン回収可能量

○ 厨芥量

- ごみ中の厨芥比率を25%と仮定
- 厨芥の固形分：
 $1.1 \text{ kg/人} \cdot \text{日} \times 0.25$
 $\times 0.207 = 0.057 \text{ kg/人} \cdot \text{日}$
 $= 21 \text{ kg/人} \cdot \text{年}$

○ メタン発生量

- $21 \times 0.58 \times 0.6 = 7.3 \text{ Nm}^3$

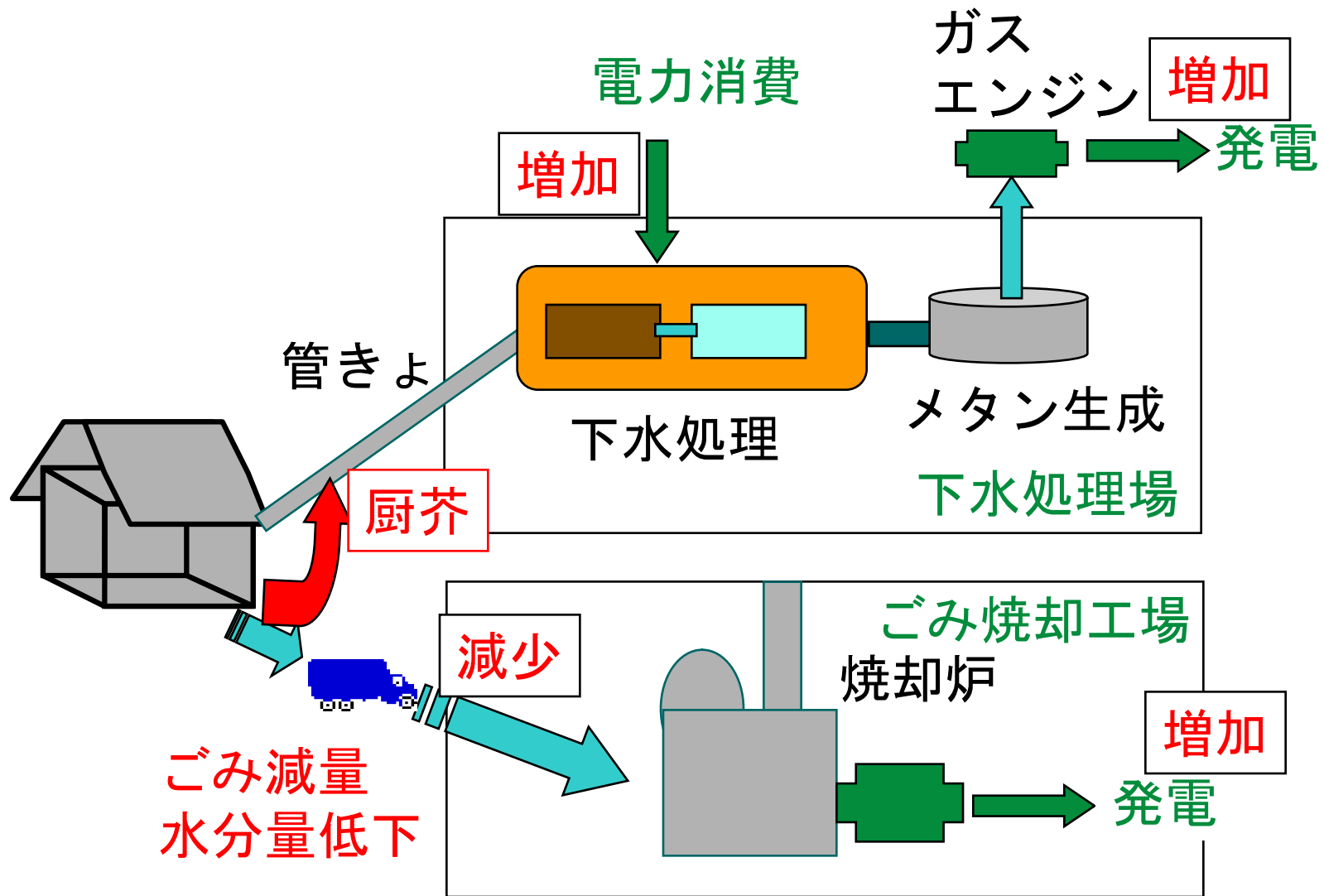
○ メタンとしての回収熱量

- $7.3 \times 37.2 = 271 \text{ MJ/人} \cdot \text{年}$
 $= 0.27 \text{ GJ/人} \cdot \text{年}$

計算の前提	
メタンガス含有率	60 %
バイオガス発生率	厨 芥 類 : 0.58 Nm^3/kg -固形分 (厨芥の固形分比率 20.7 %)
メタンガス低位発熱量	37.2 MJ/Nm^3

家庭＋業務部門エネルギー消費量
(2005年) **51.8 GJ/人・年**

ディスポーザの導入によるCO₂の増減



Copyright 花木

下水熱の利用

未利用エネルギーの利用

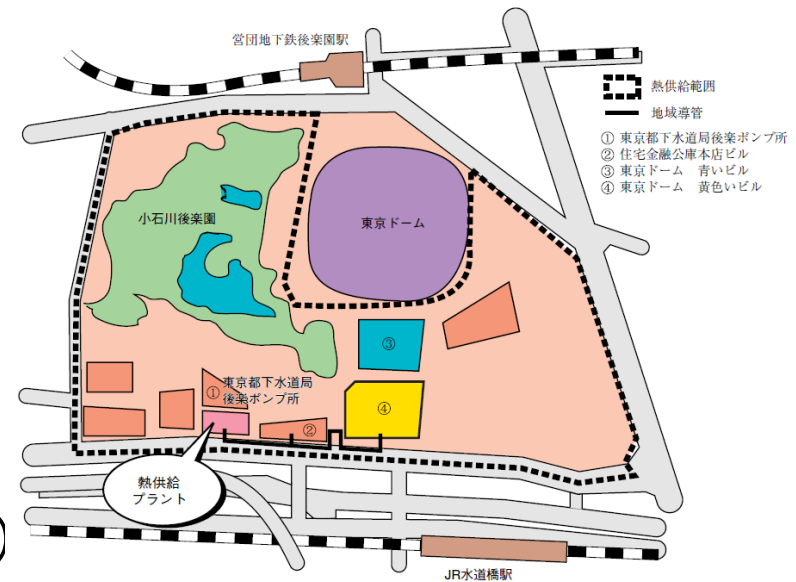
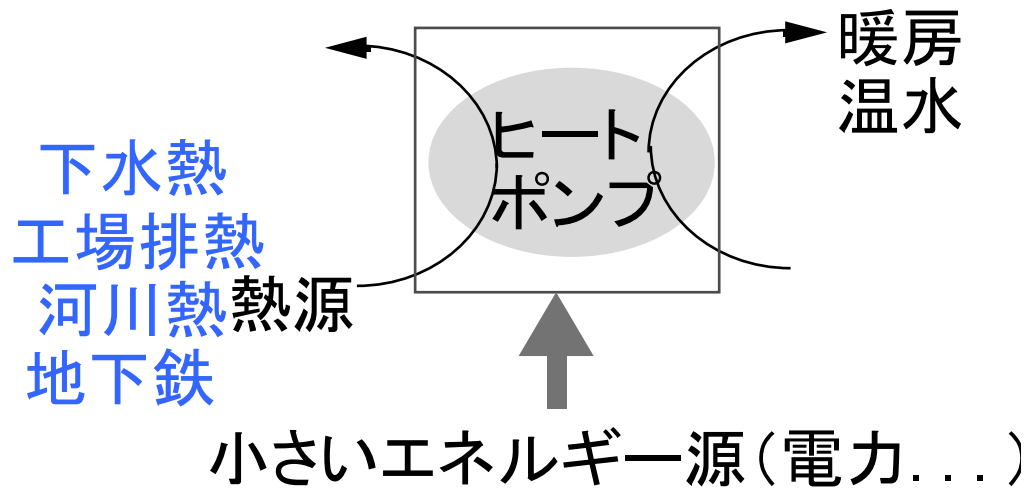
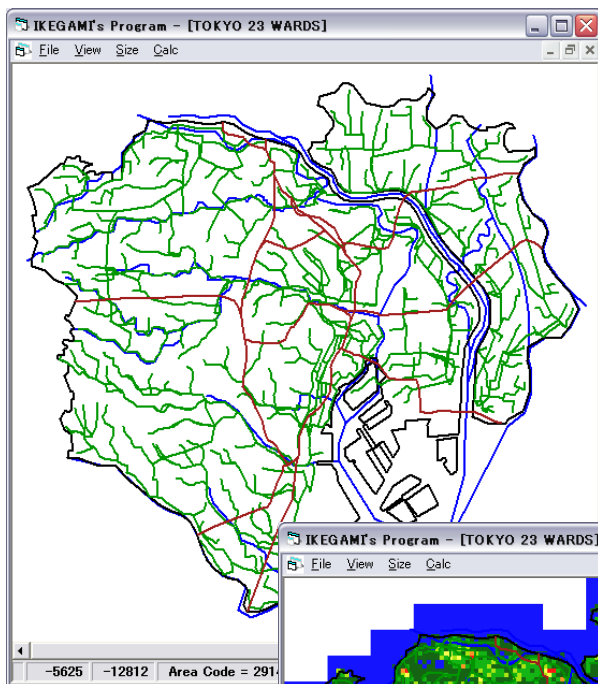
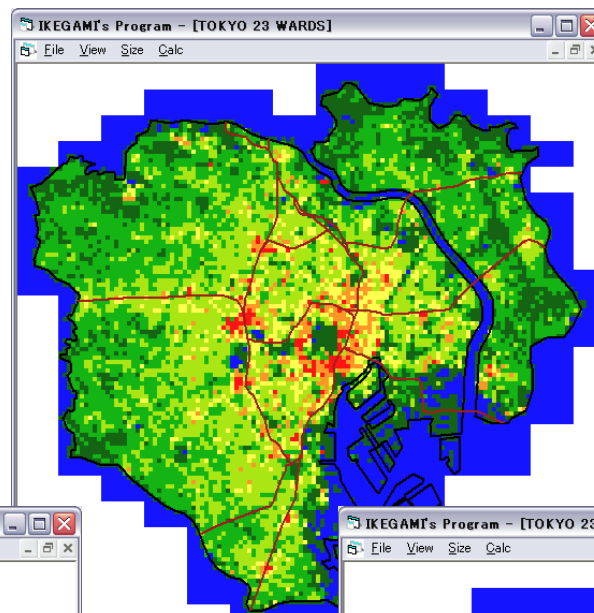


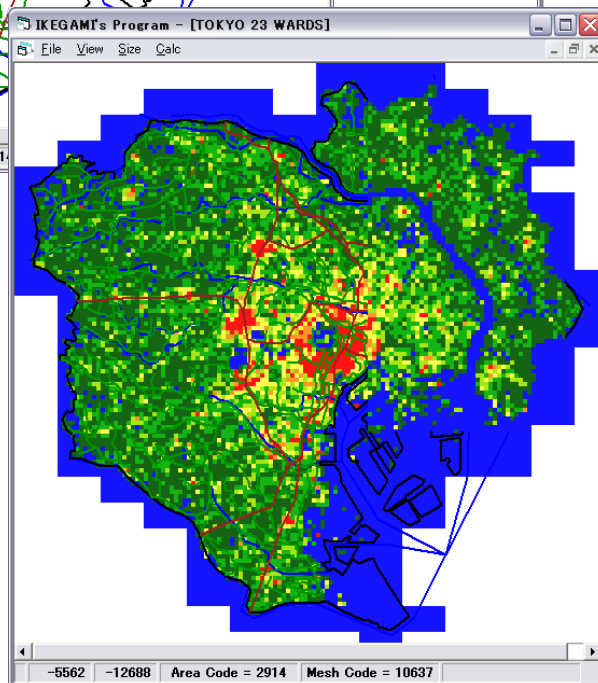
図 2-56 供給区域と地域導管図



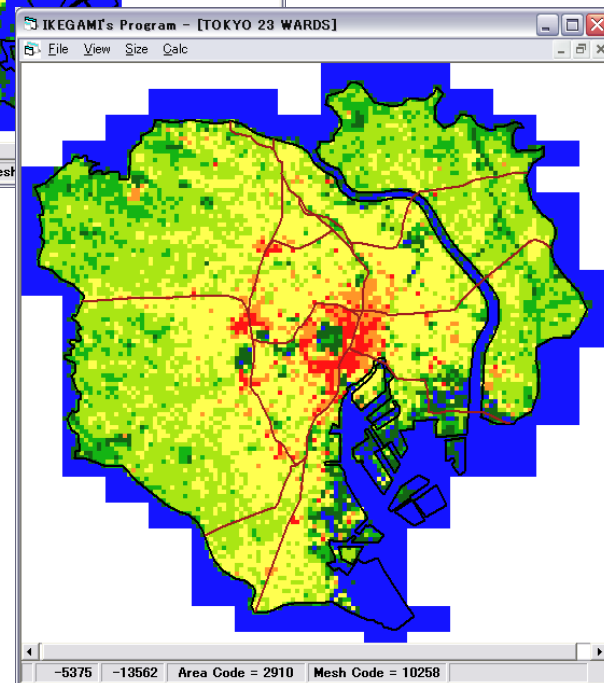
下水幹線
データ



下水発生量
データ



熱需要量データ



延べ床面積データ

農業と都市の循環

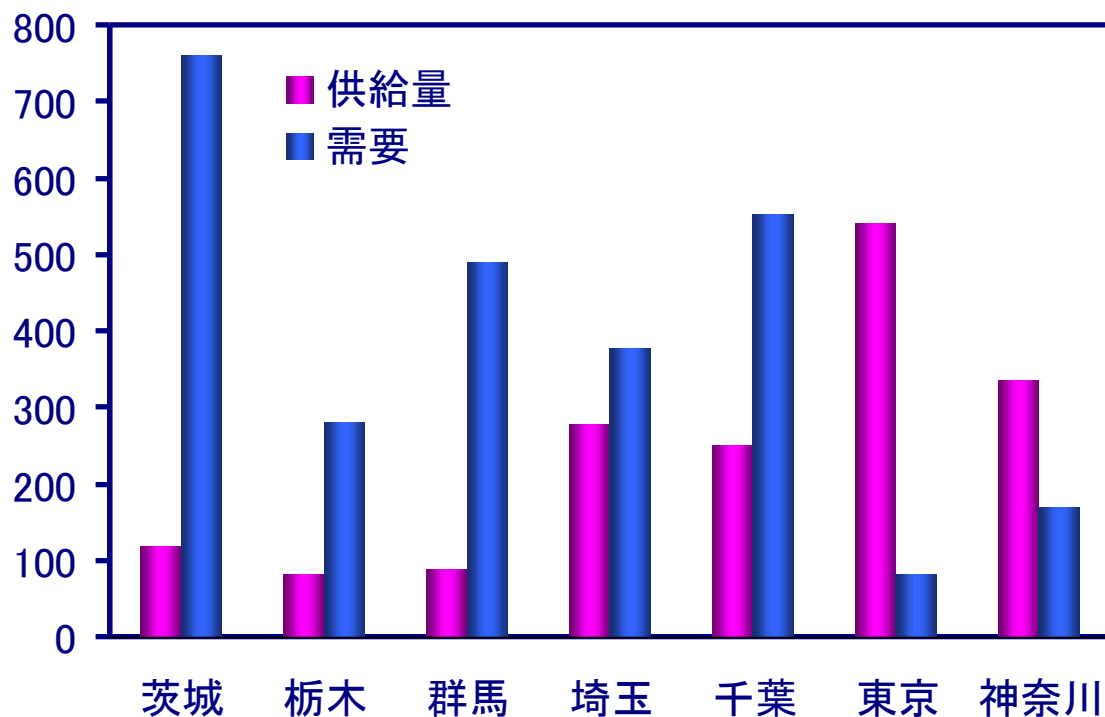
- 農村から都市へのフロー
 - 野菜（付加価値あり）
- 都市から農村へのフロー
 - 有機性廃棄物の飼料化、コンポスト化
 - 需要と供給の不一致
 - 輸送コスト制約（低付加価値）
 - かつては尿尿が貴重な肥料源

都市から農村への循環促進

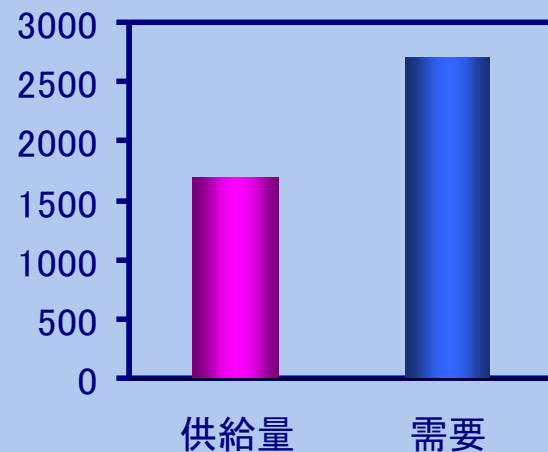
- 都市部と後背地のバランス
- 大都市ではエネルギー利用も選択肢

事業系＋生活系食品廃棄物の堆肥化の需給の例

[千トン/年]



[千トン/年]



関東圏全域での需給バランス

東京都再生可能エネルギー戦略

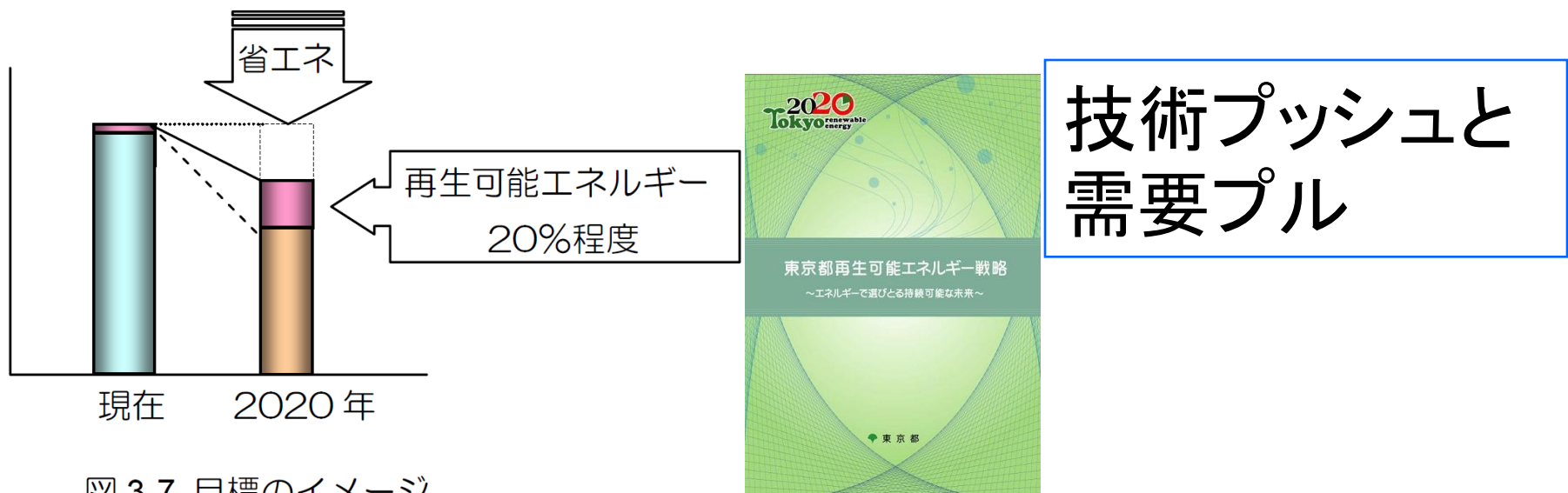


図 3-7 目標のイメージ

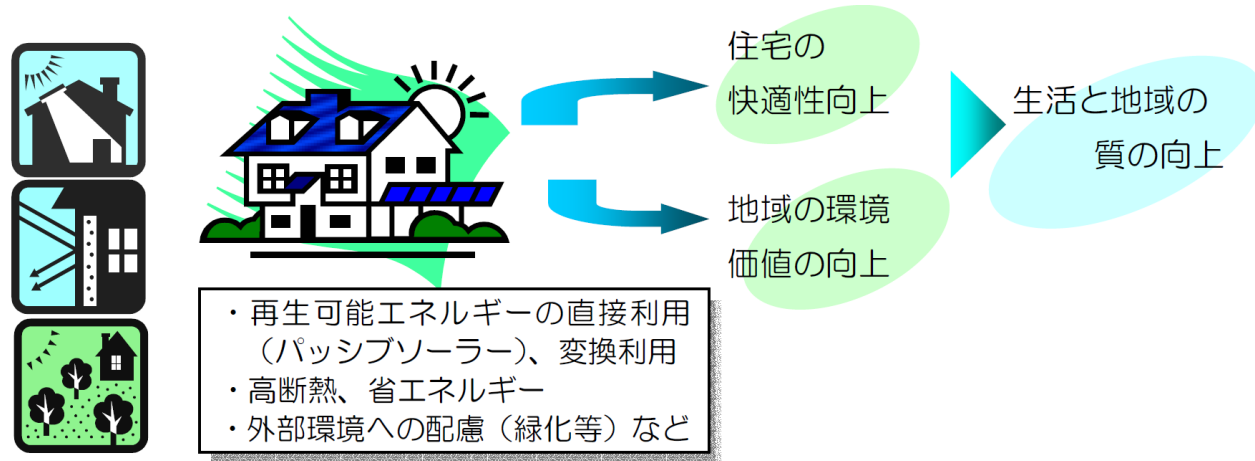


図 4-2 住宅における再生可能エネルギー等の利用のイメージ

ライフサイクルアセスメント(LCA)

インベントリー分析→インパクト分析

	環 境 負 荷									
	CO2	CH4	..	NOx	..	BOD	..	Cr	..	..
原材料	xxx kg	xxx	...	yy g	...	...	...	...	...	...
原料A	xxx kg	xxx	...	...	...	...	...	...	...	...
原料B	xxx	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
加工段階	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
プロセスP	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
プロセスQ	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
輸送段階	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

LIMEによるインパクト分析

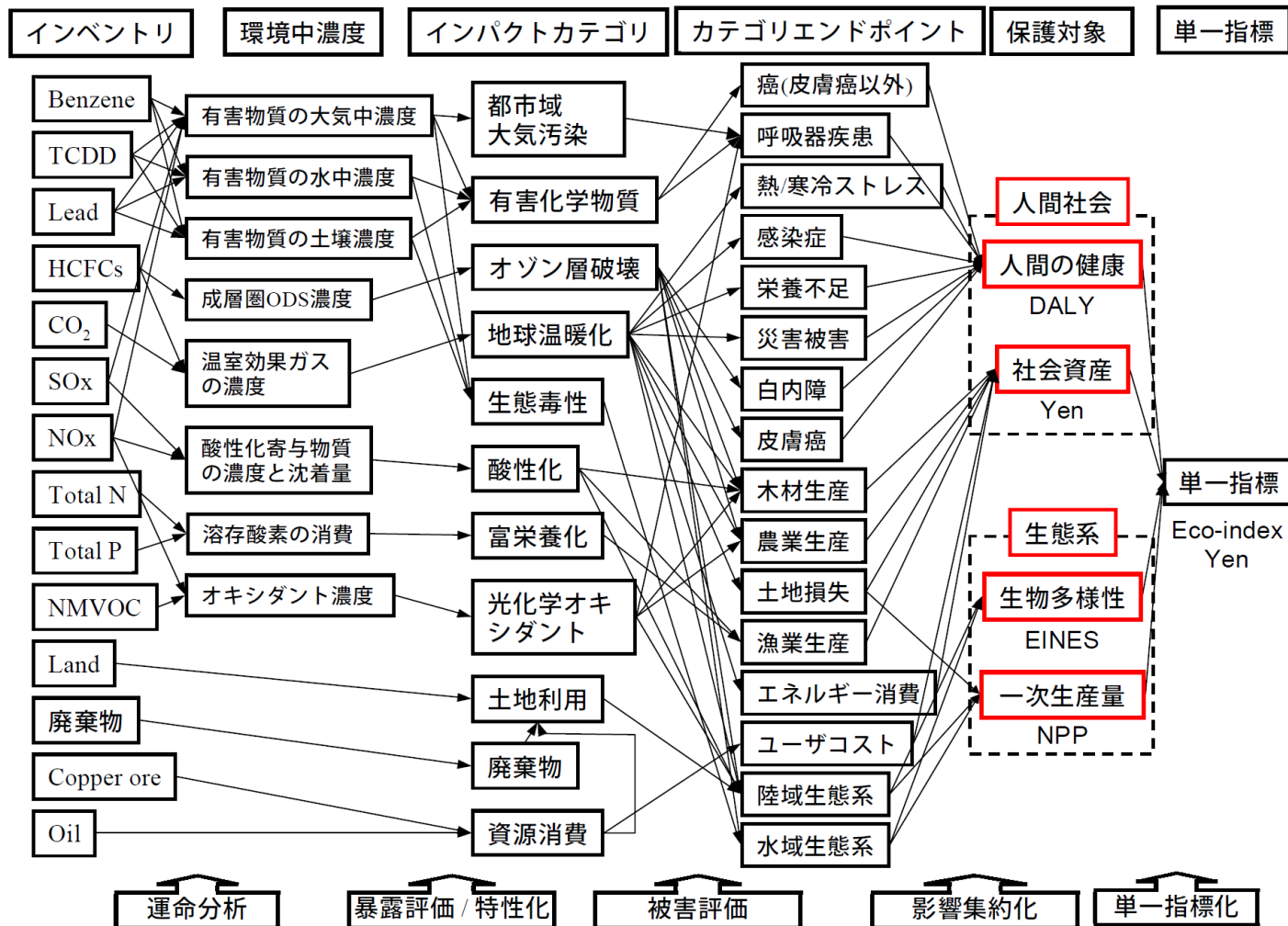


図 1.1-2: 日本版被害算定型影響評価手法の概念図; 運命分析、暴露評価/特性化、被害評価、影響集約化、単一指標化の五種類のステップで構成される。本手法を利用することで、11 項目の特性化の結果、4 項目の被害評価結果、単一指標を得ることができる。

社団法人 産業環境管理協会: 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書 (平成15 年3 月)

2008/10/27 環境の世紀14

単純なLCAの例

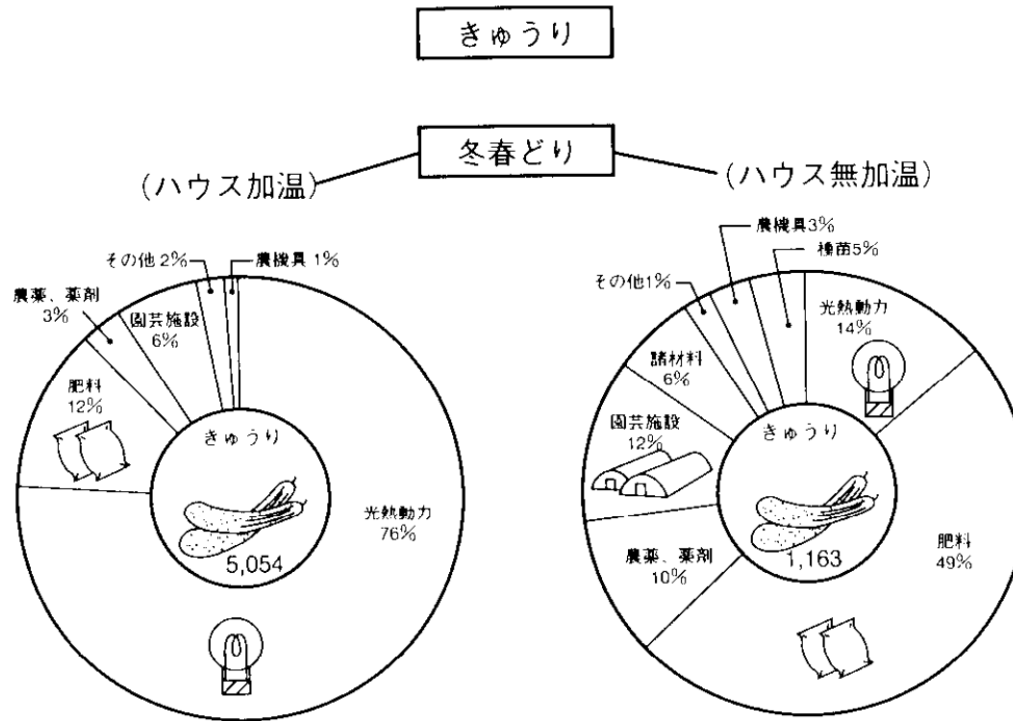
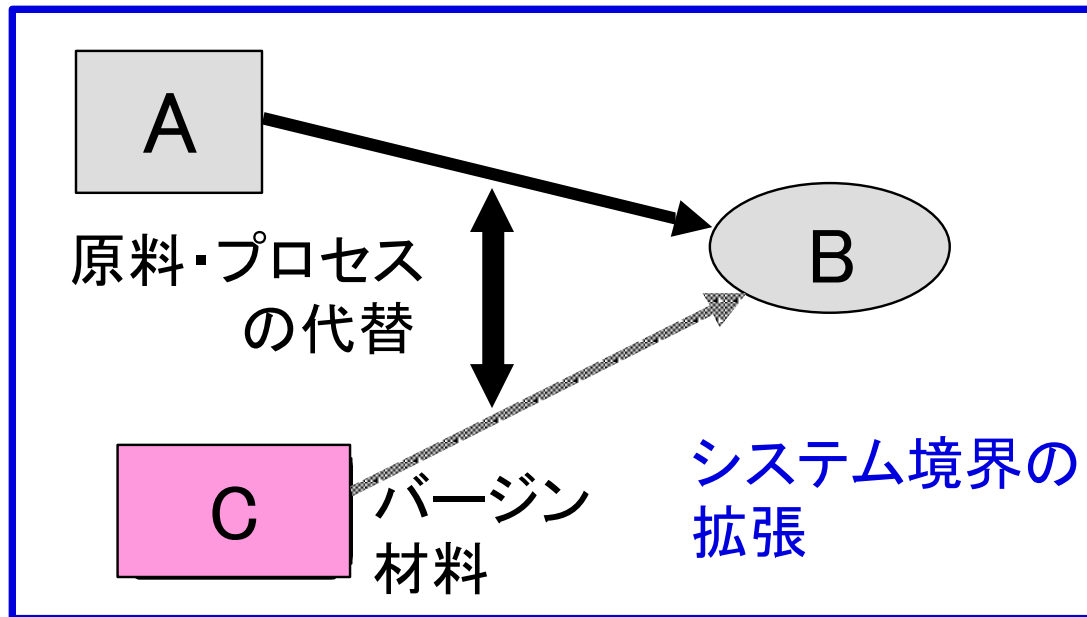
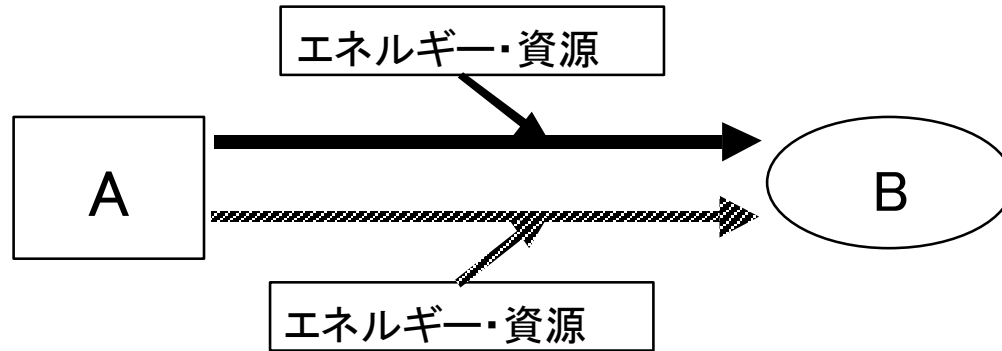


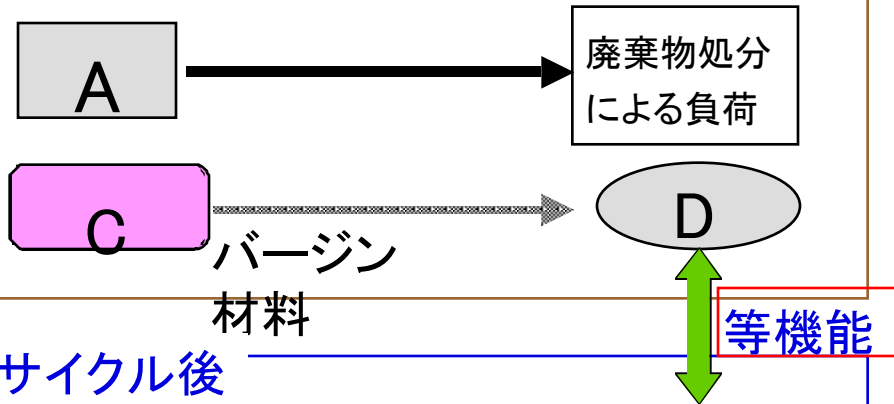
図 4 - 1 (2) 農産物の生産投入エネルギー量と構成比率 (きゅうり)
家庭生活のライフサイクルエネルギー

リサイクルのLCA



機能代替効果の比較の方法

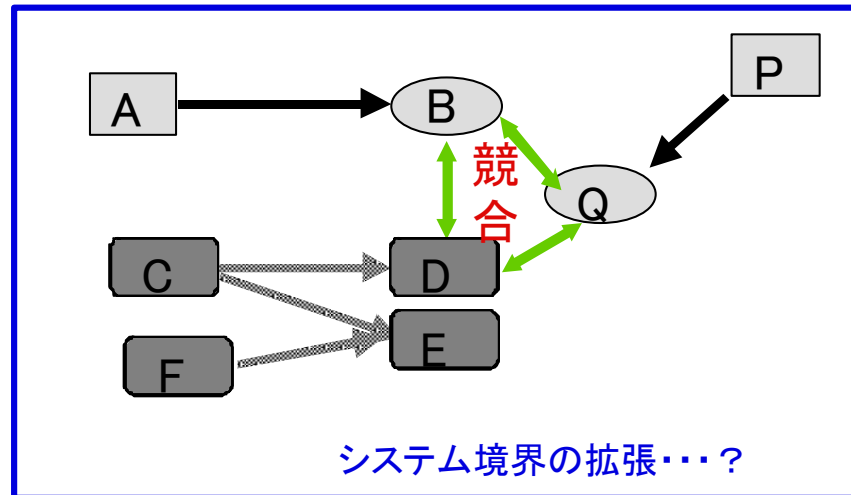
現状



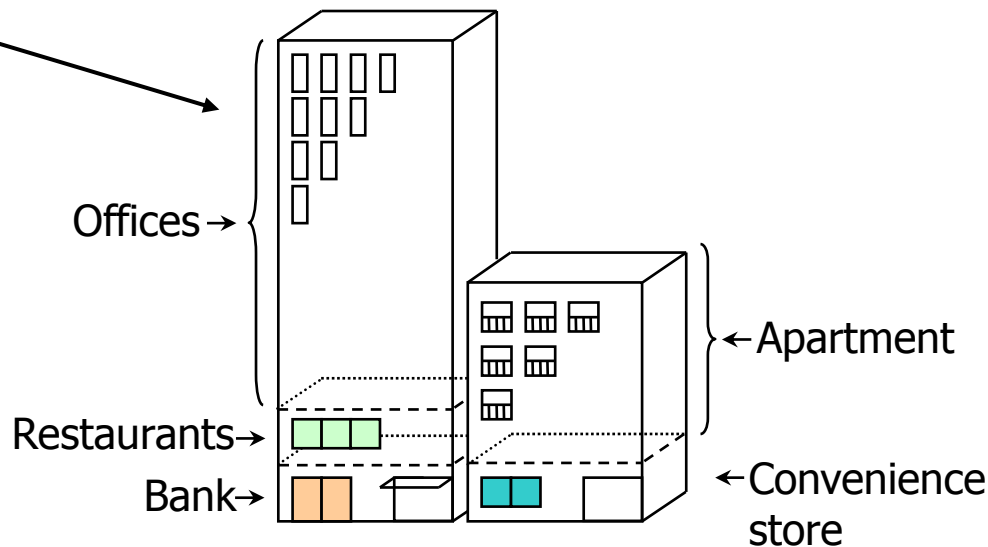
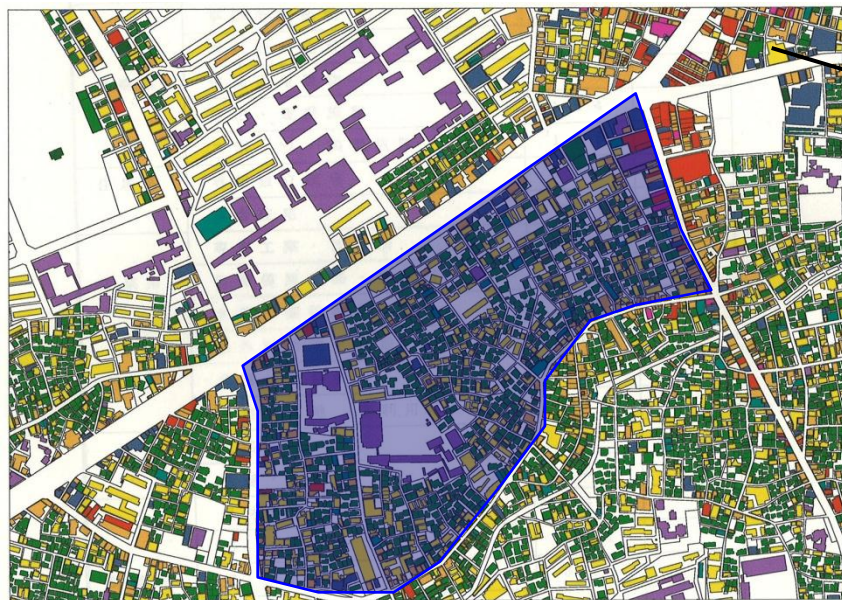
リサイクル後



代替される物質間の関係



横浜市: 食品廃棄物と熱需要の面的分布



829,355 buildings

- Detached house
- Office building
- Shops
- School
- Apartment
- ⋮

22categories

Aggregated stats.

Enterprise census (City = 5630 area)

Population census (City = 1703 area)

National statistics



Food waste generation

Building energy
estimation model



Energy demand
(heat, electricity)

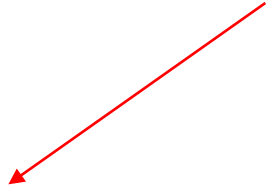
食品廃棄物の面的分布



食品廃棄物収集シナリオ

Scenario 1: 食品小売

食品リサイクル法の対象



Scenario 2: 食品小売＋レストラン

Scenario 3: 食品小売＋レストラン＋ホテル＋学校＋病院

Scenario 4: Scenario 3 + 家庭厨芥5%

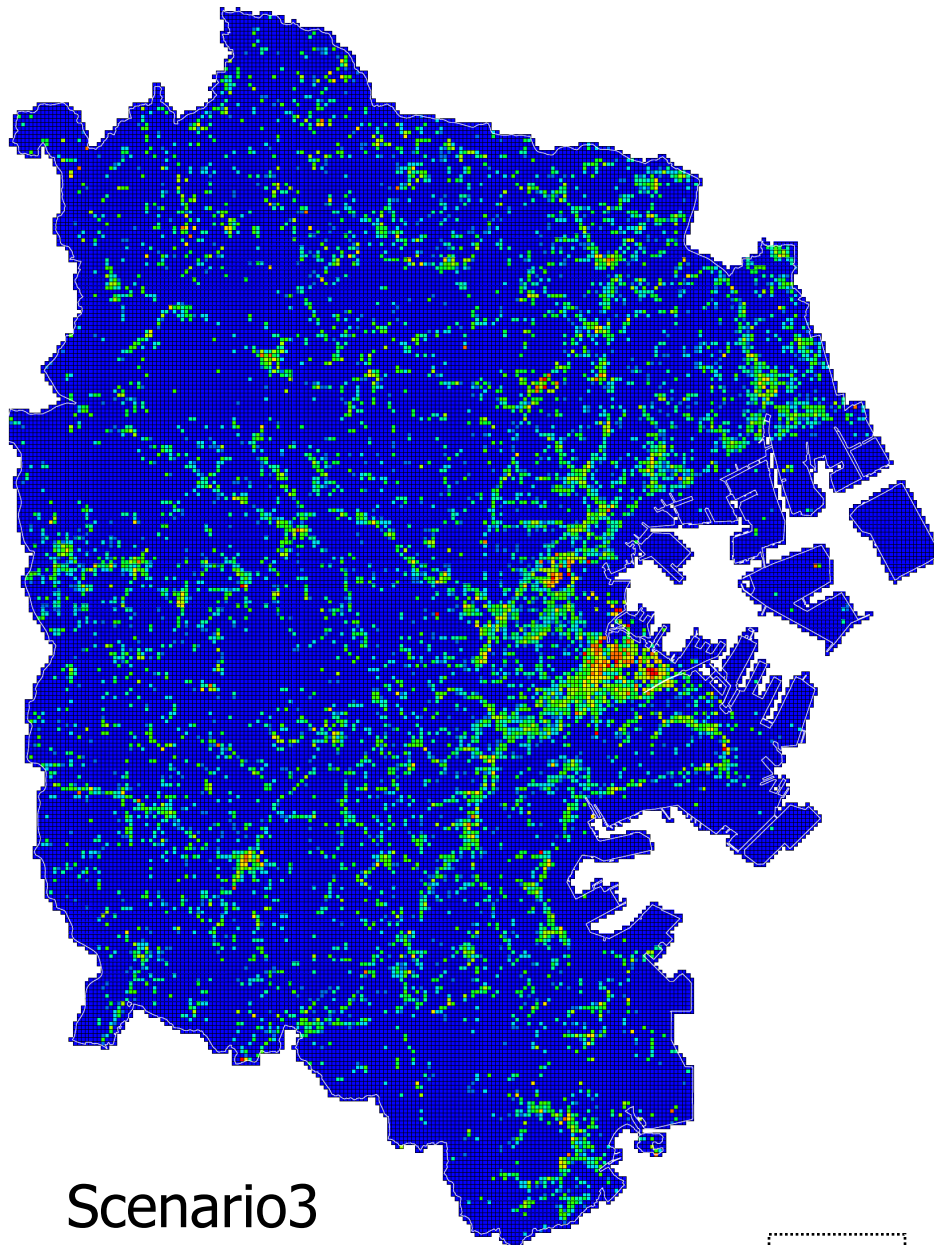
Scenario 5: Scenario 3 + 家庭厨芥10%

Scenario 6: Scenario 3 + 家庭厨芥25%

Scenario 7: Scenario 3 + 家庭厨芥50%

Scenario 8: Scenario 3 + 家庭厨芥100%

100m × 100m mesh
食品小売＋レストラン＋
ホテル＋学校＋病院

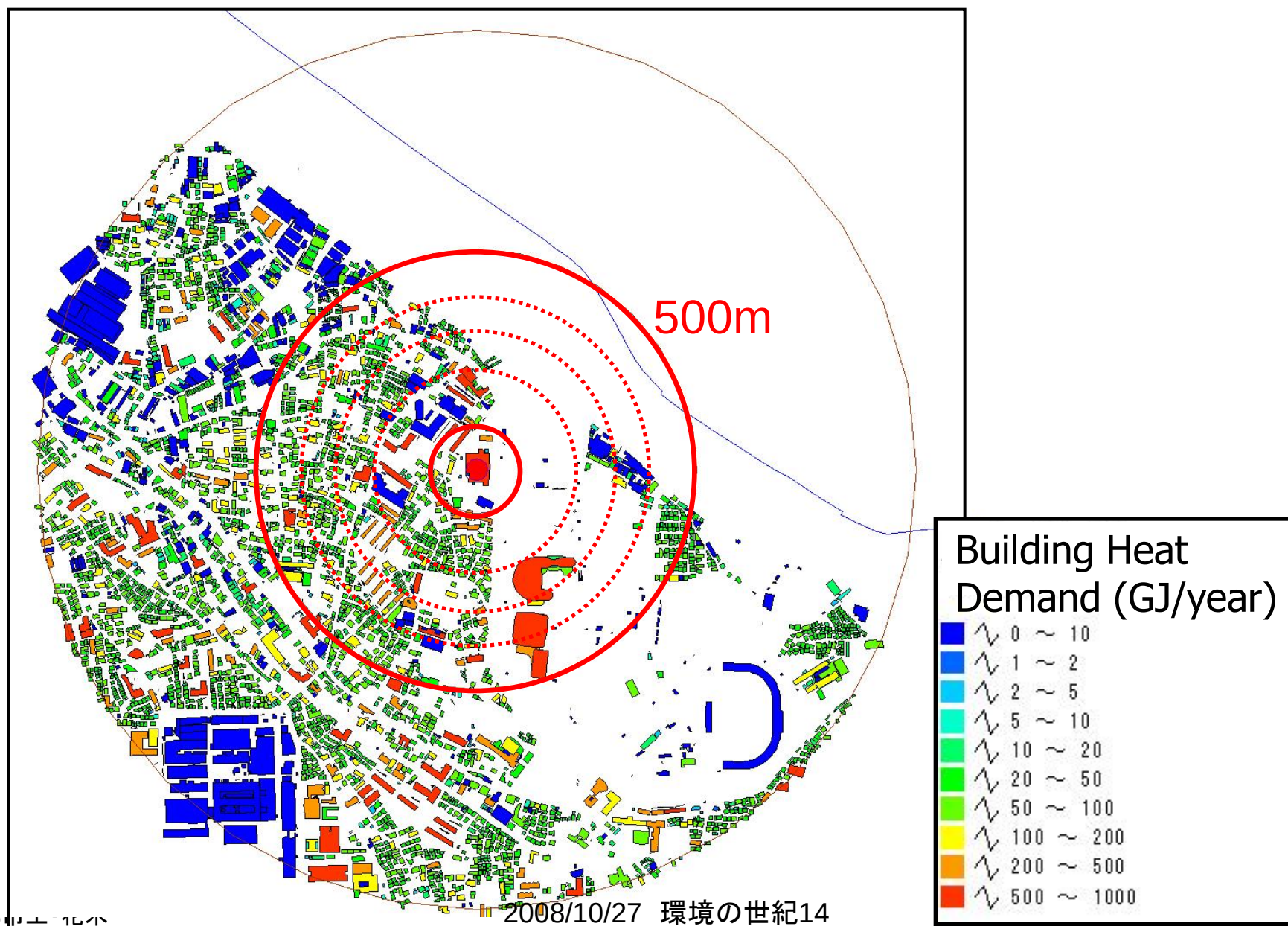


Amount of Organic
Food Waste (kg/day)

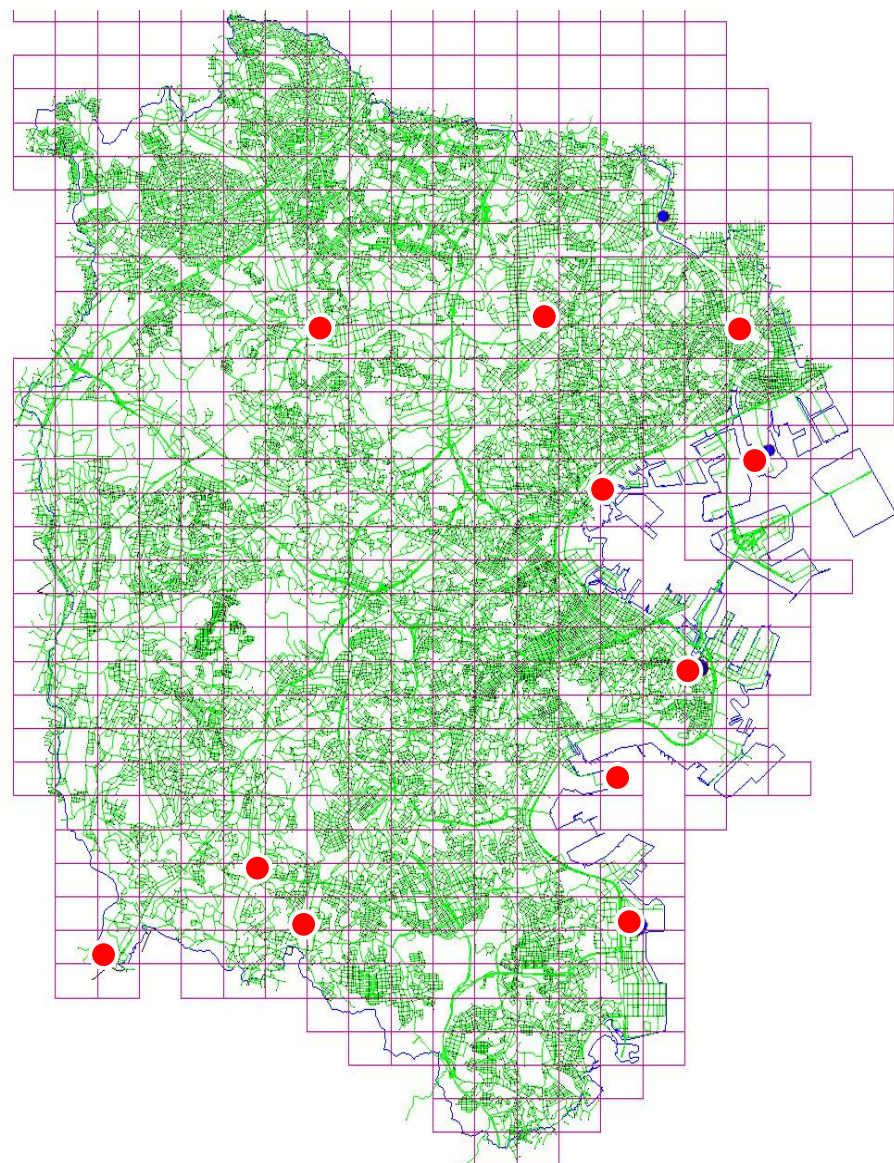
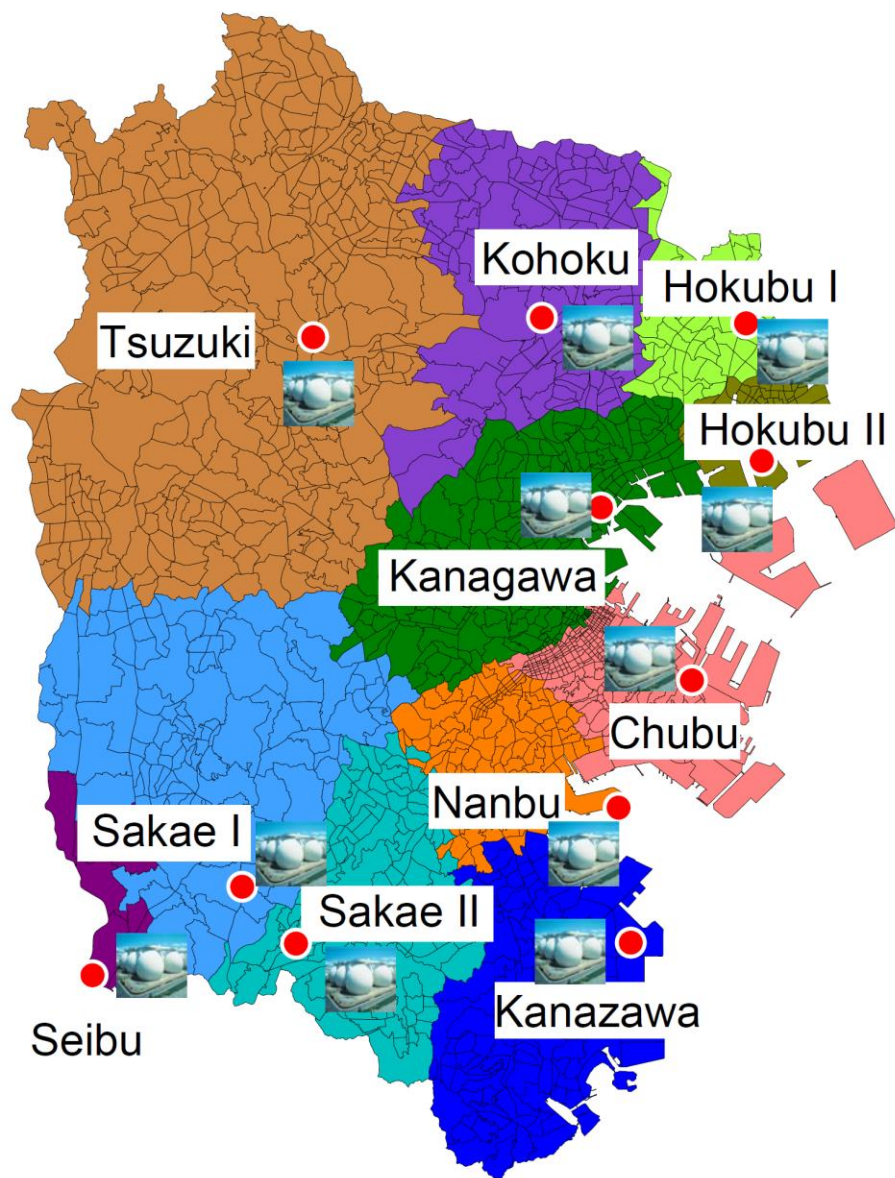


9km²

下水処理場周辺の熱需要

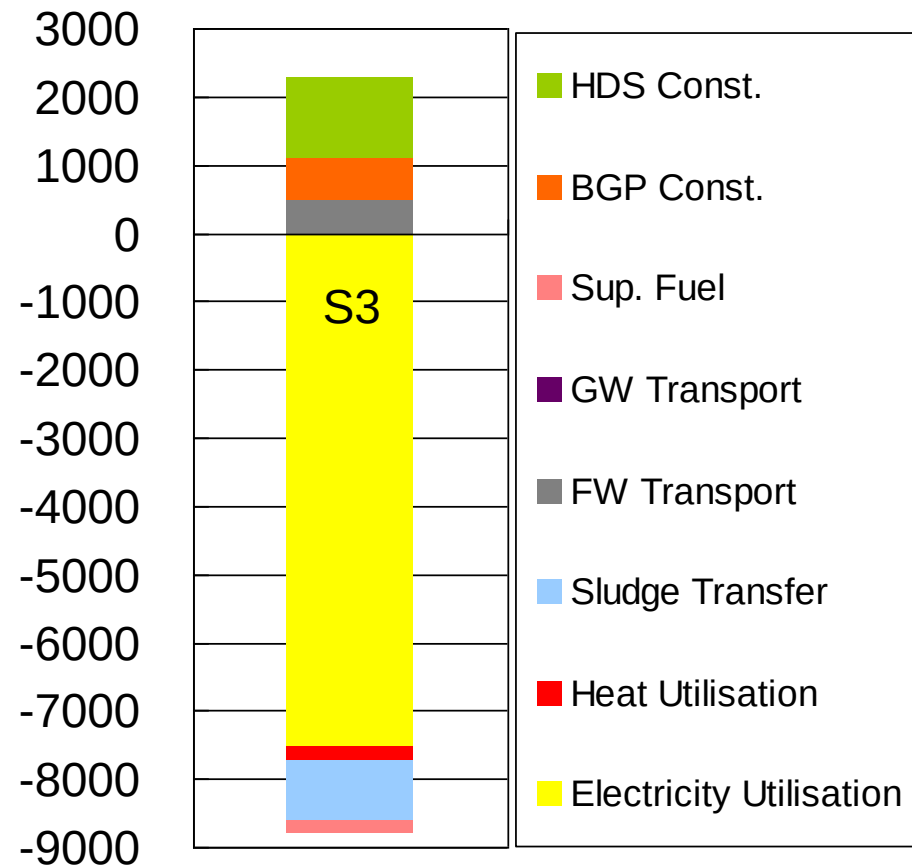
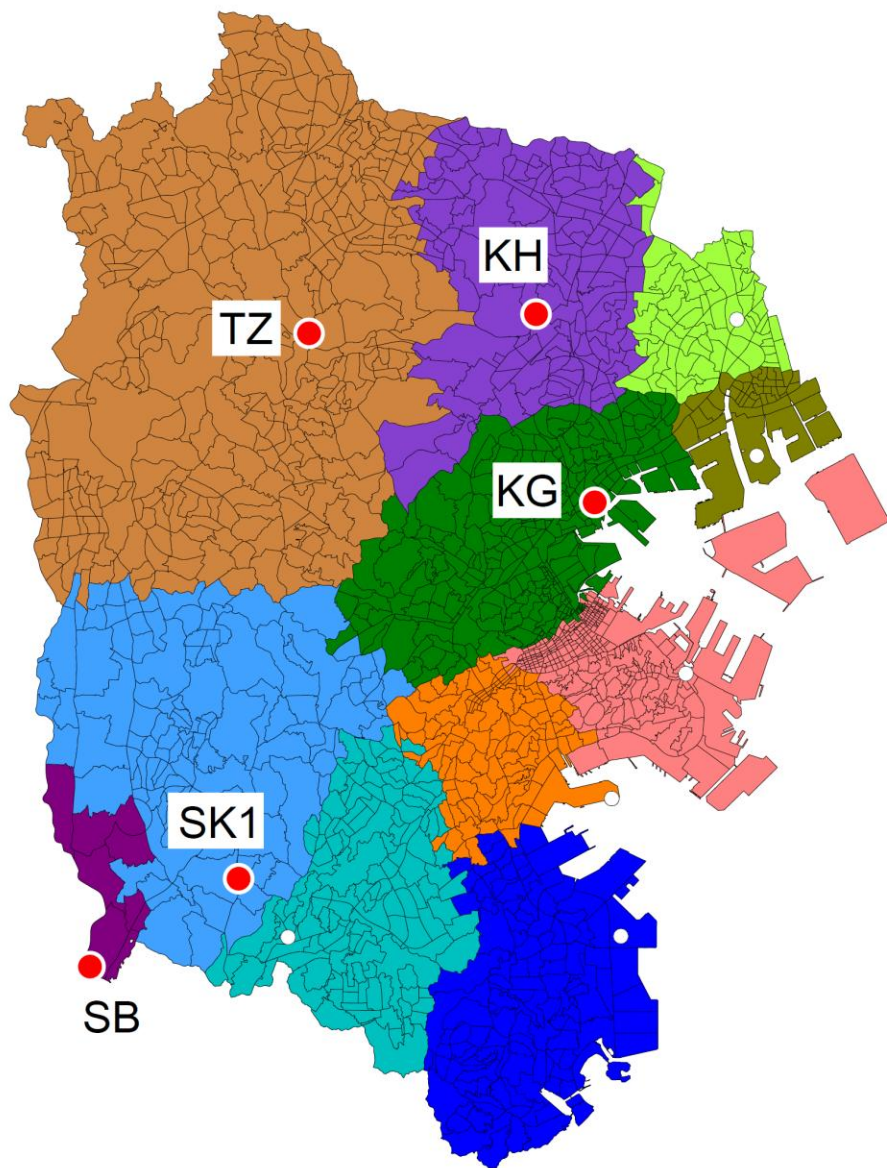


下水処理場と廃棄物収集区域



- Considering 1km mesh road density
(km/km²)

結果 (S3: S2+学校、病院、ホテル)

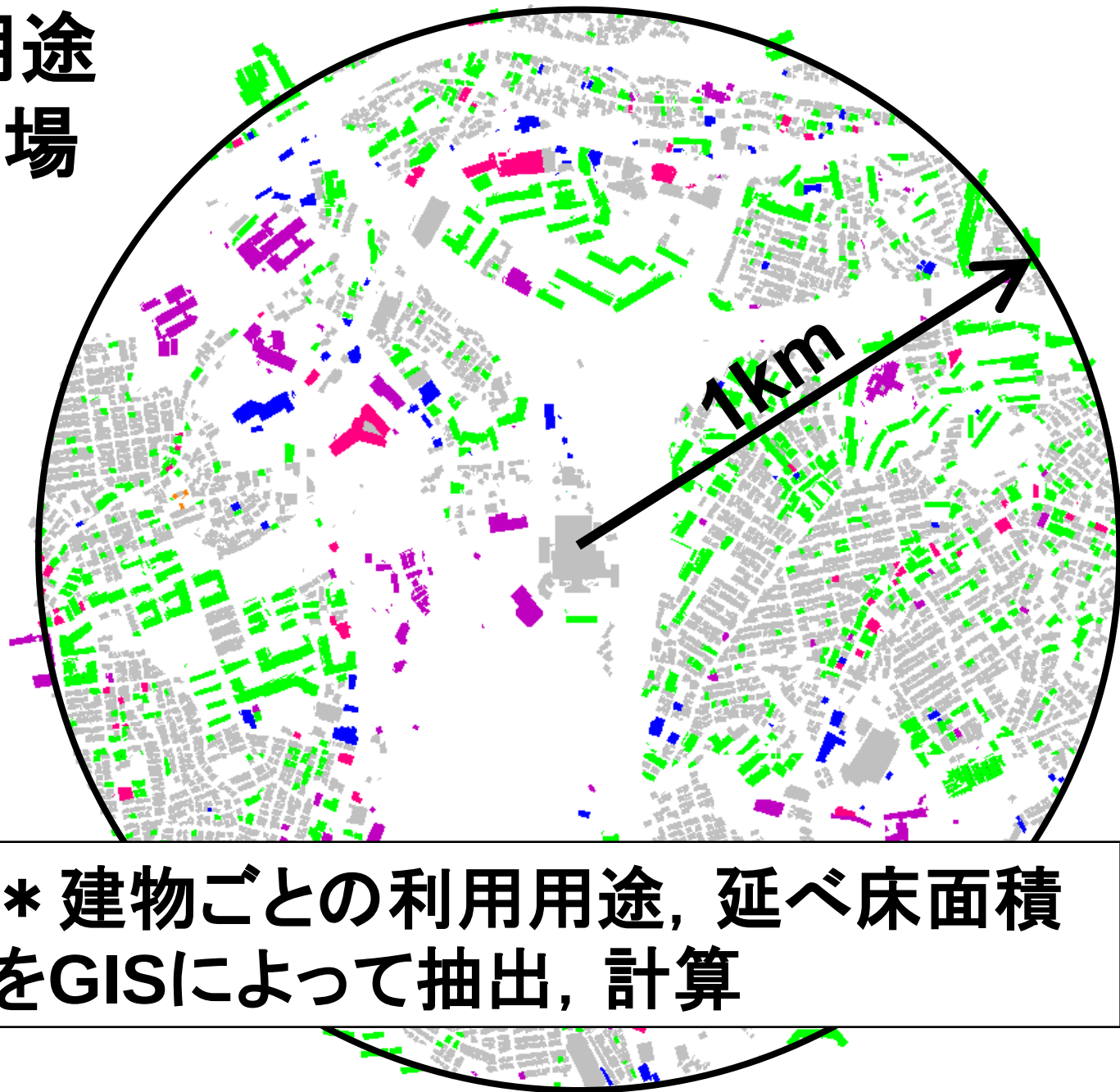


Total CO₂ reduction
6,506 t-CO₂/year

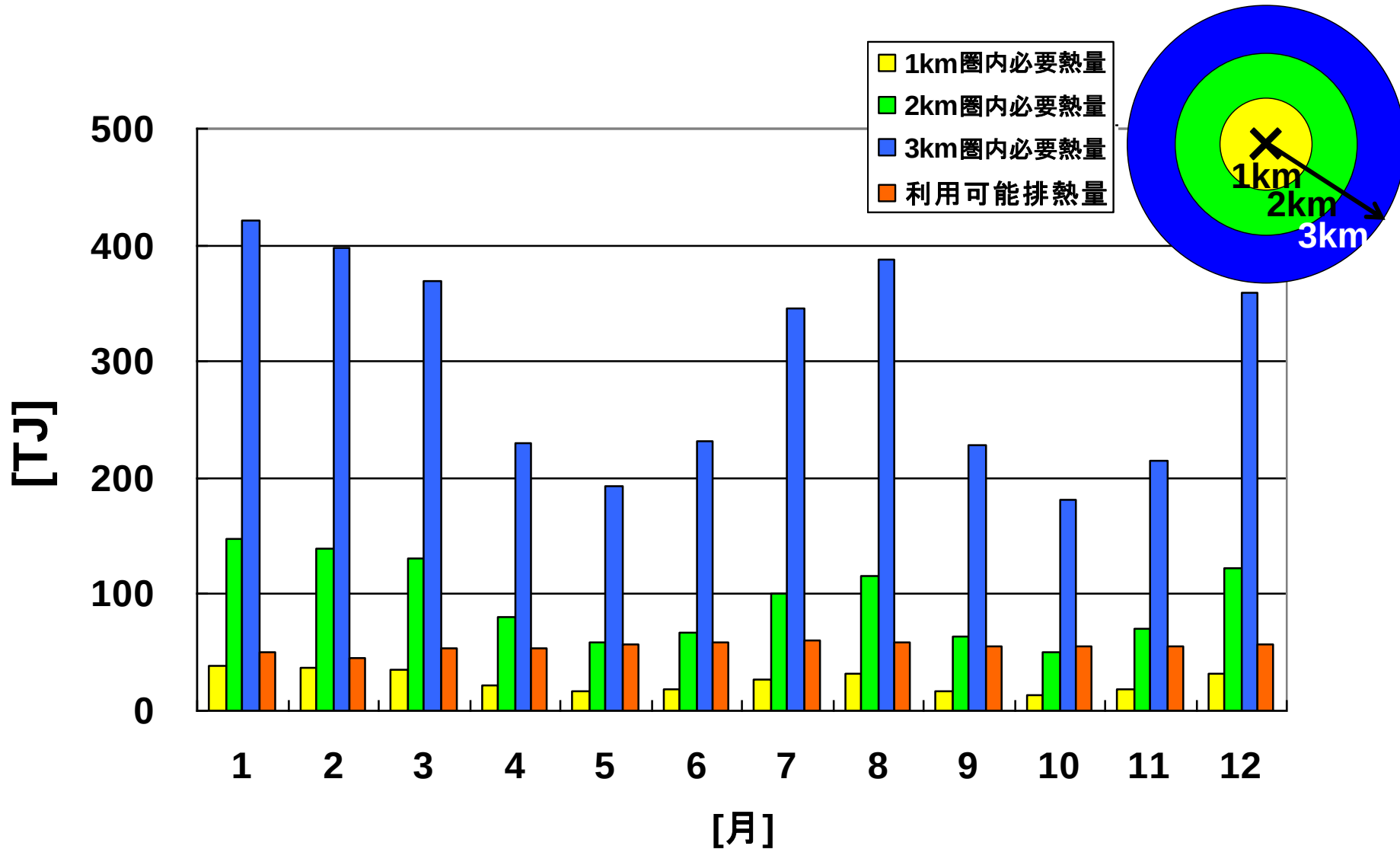
建物利用用途 保土ヶ谷工場 1km圏内



＊ 建物ごとの利用用途，延べ床面積
をGISによって抽出，計算

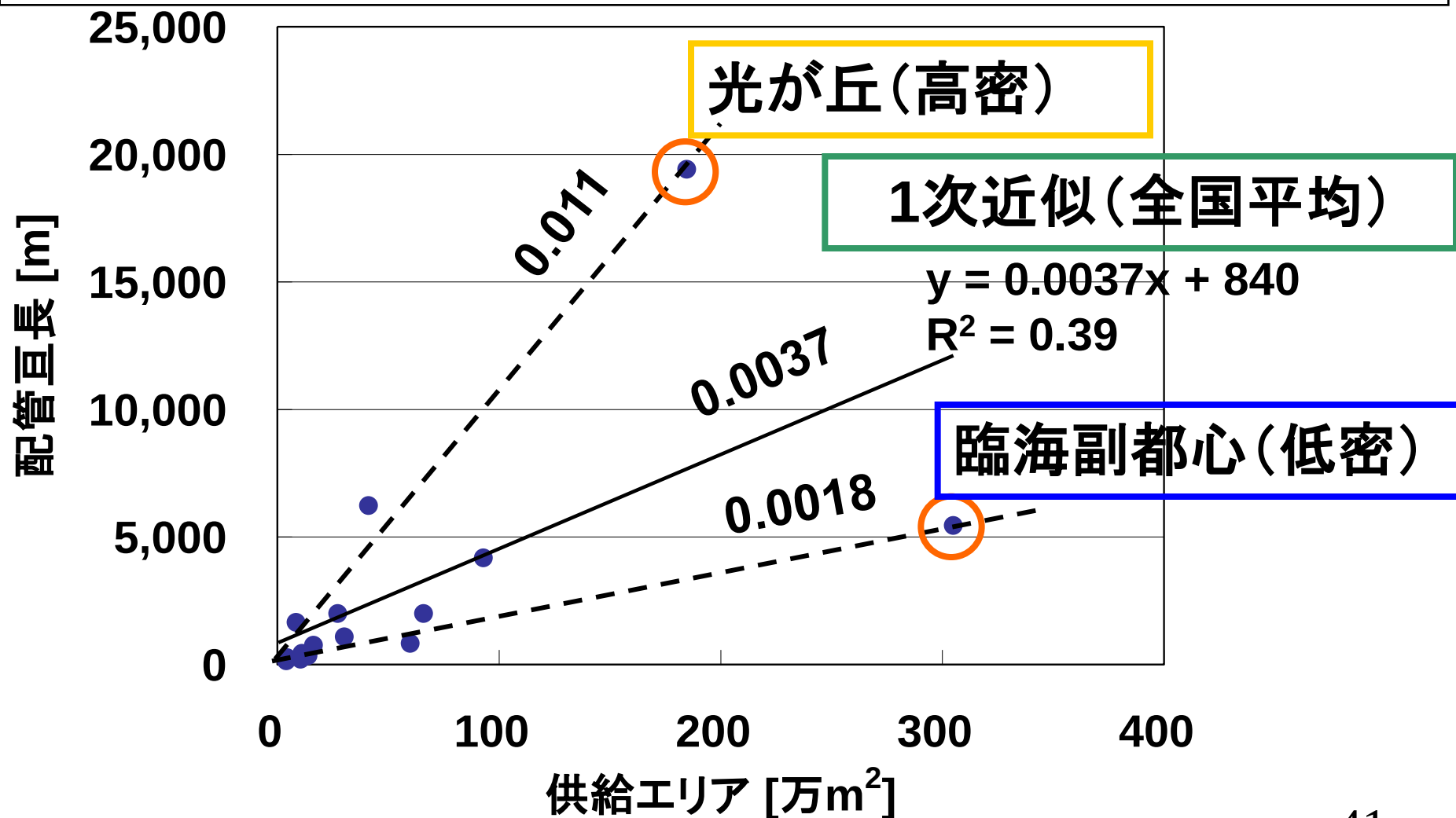


熱需要と熱供給の過不足比較（保土ヶ谷工場）



LCCO₂の考慮：配管長原単位 [m/m²]

* 光が丘は個別住宅への供給が多く、
臨海副都心は大口利用建物への供給が多い＝地域冷暖房事業の両極端



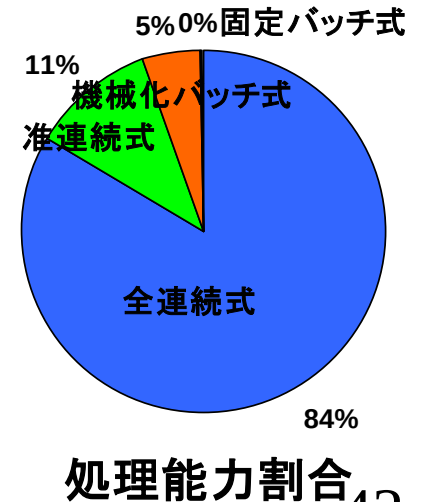
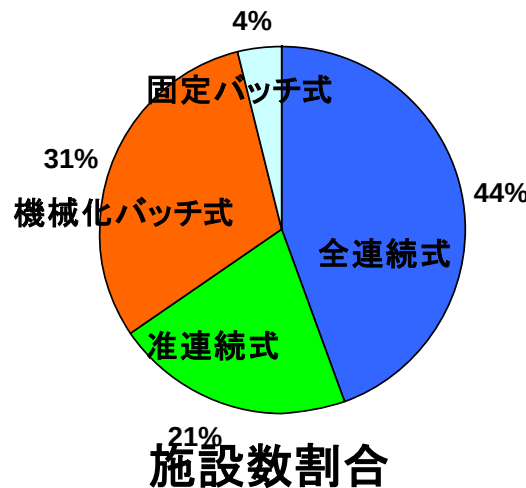
東大・都市工学科
* 配管の耐用年数30年, CO₂排出原単位3,936[kg-CO₂/m]⁴¹

全国の清掃工場（全連続式のみ）

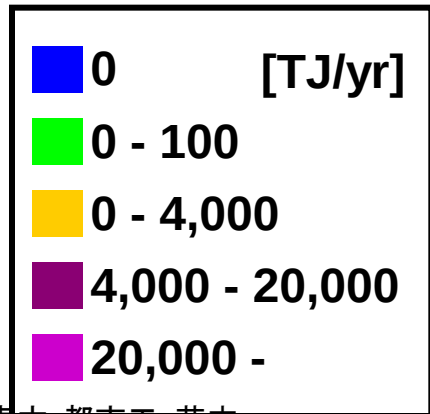
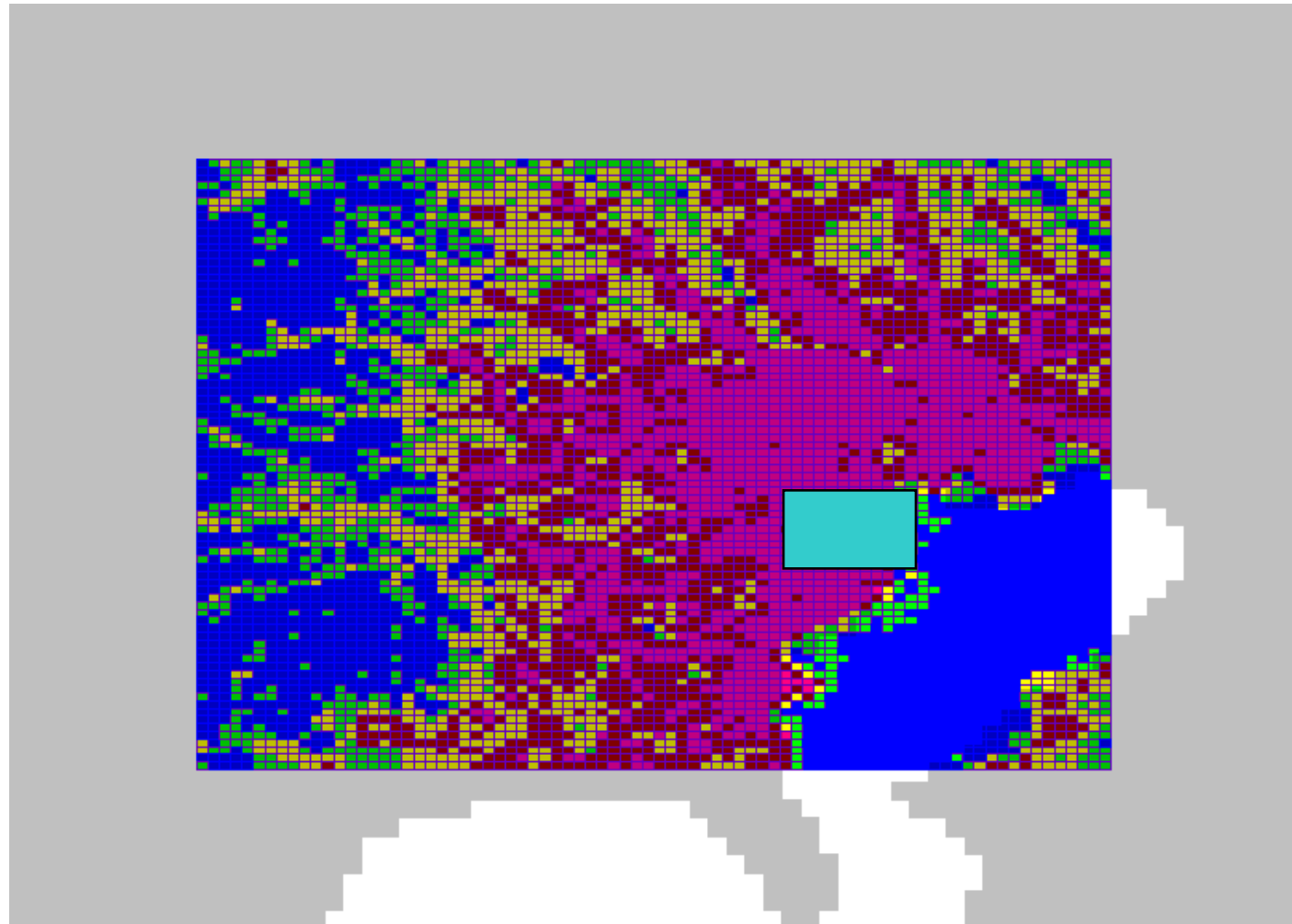
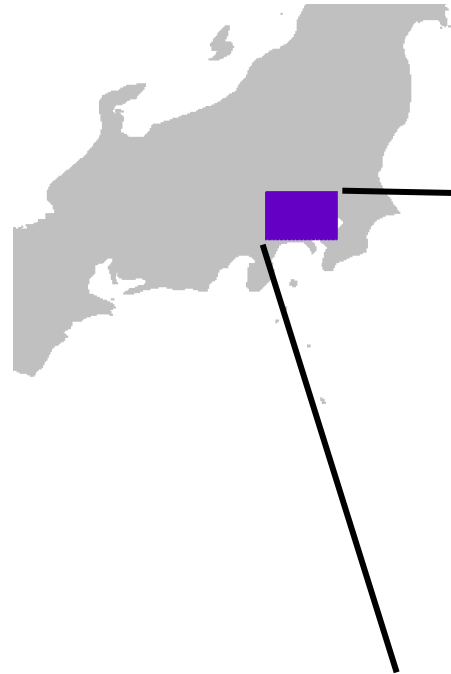
■ 全国615ヶ所の全連続式炉（平成17年度）

出典：
環境省廃棄物処理技術情報 施設整備状況
平成17年度 調査結果

全連続式炉数は全国の4割だが
処理能力は全体の8割を超える



メッシュにおける年間熱需要(東京周辺)



結果 - 日本全体での最大CO₂削減量-

全国536清掃工場中導入可能数

