

環境省環境研究総合推進費(3-1709)

廃棄物の高度な地域熱利用のための 技術・社会システムに関する研究

研究代表者: 藤井 実

(国立環境研究所社会環境システム研究センター)

研究分担者:

花岡達也(国立環境研究所 社会環境システム研究センター)

稲葉陸太(国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター)

大西悟(東京理科大学 理工学部経営工学科)

鈴木正昭(東京理科大学 理工学部経営工学科)

伊藤真理(東京理科大学 理工学部経営工学科)

後藤尚弘(東洋大学情報連携学部)

研究協力者:

牧誠也(国立環境研究所 社会環境システム研究センター)

Sun, Lu(国立環境研究所 社会環境システム研究センター)

研究の目的

■ 背景・課題

パリ協定が締結され、廃棄物からのエネルギー回収の拡大による低炭素化が急務であるが、**廃棄物発電の発電効率は20%**をやや超える程度に留まる。

■ 解決策の提示

廃棄物分野で、**エネルギーの質的効率(エクセルギー効率)の高い、技術・経済の両面で競争力の高い熱利用システムを、**規模別に検討する(学術的新規性)。

具体的には

高温の蒸気は高温の熱需要に供するのが効率的

- ① 高温の蒸気(300℃～)を活かせる、**産業への熱供給を優先**
- ② 住宅、公共、商業施設等(民生)への熱供給は、蒸気ではメリットがない。発電と両立する50～60度の**低温熱供給**
(時間の都合により低温熱供給については本日は報告を割愛)

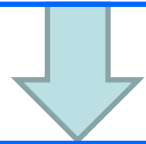
産業への蒸気供給の社会実装推進を念頭に研究を実施

研究の構成

1. 廃棄物からのエネルギー回収 を最大化する技術システムと評価

(国環研)

熱利用を推進する**技術**の提案と評価

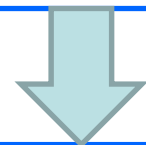


技術システム

2. 廃棄物の高度な地域熱利用を 推進するための社会インフラ・制度

(理科大)

熱利用を推進する**社会の仕組み**を検討



ビジネスモデル

3. 人口分布と産業分布を踏まえ た焼却施設等の最適立地

(東洋大)

熱利用が有効な**立地**の検討

社会実装推
進を支援す
る事例研究
や活動

- ・産廃事業者
- ・熱需要企業
- ・自治体
- ・環境省
- ・海外政府機関
等と連携

中間評価(2018年7月)で頂いたコメントと対応

- 政策的な見地からの有用性は評価期待が可能な「研究」である。学術的な意義をどこに見出せるのかは、**成果を社会に実装するための条件を明確に**示しうる成果に繋がるかどうかにかかるとはならないか。
⇒社会全体としてエクセルギー効率を高めるシステムとその評価方法を提案。小規模でも高効率なエネルギー利用が可能であることも示した。
- 実際に導入する段階では、**各主体間でのリスク分配と、分配を最適化する契約が重要**になるので検討してほしい。
⇒韓国・蔚山の先行事例を詳細に調査するとともに、事業化を念頭においた協議を行うプロセスで具体化した。
- サブテーマの内容は、十分に良い成果があがっているが、それらを**統合したend pointを明確に**してほしい。
⇒サブ1で提示する技術をサブ2で社会実装する体制や仕組みを整理し、サブ3で事業化可能な地域を絞り込むことで、提案する技術の社会での実現を大きく支援する研究成果となる。
- **施設設置に関わる合意形成についての検討が非常に重要**になると思うので、これを十分に考慮すべきである。具体的成果が見えにくい。
⇒工業団地は、住宅地よりも難易度が低いと思われるが、それでも焼却施設が立地できないケースがある。迷惑処理施設から安価で低炭素なエネルギー供給施設となり得ることで、突破口を見出したい。
- 行政が利用しやすいまとめ方が必要である。
⇒地域特性別に技術を提案し、費用対効果を含めて評価することで、行政が利用の可否を判断できる。関心を示す自治体が増加している。
- **多様性のあるシナリオを作成**することが必要であろう。
⇒従来エネルギー回収が困難であった小型の焼却施設でも、極めて効率的なシステム(高効率発電の2倍)を提示しており、対策の多様性を高めることに貢献。
- 目的・目標はいいが、焼却設備からの産業への熱供給は、既存では難しいのではないかと。特に、**市の助成の焼却設備は難易度が高い**。
⇒複数の市町村が産業への蒸気供給に強い関心を示しており、詳細な実現可能性調査を開始している例もある。
- 低温熱供給の将来性として、**一次産業との連携の利用も検討してほしい(中低品利用)**。かつての「ユーレックス計画」も参考にしてほしい。
⇒低温温熱は、ヒートポンプを利用して、太陽光発電の電力も併用しながら効率的かつ低炭素な形で供給可能なため、本試算結果でも投資回収年数が20年以上の長期になるなど、ビジネスとしては難しい面も示唆された。
- 比較的低温熱の利用というターゲットを明確にした研究であり、この分野での地域産業政策との連携を期待して、将来の需給マッチングと判断できるツールを開発してほしい。
⇒愛知県を対象に産業への蒸気供給の需給マッチングを空間的に表示する成果を得た。

サブテーマ1

廃棄物からのエネルギー回収を最大化する技術システムと評価

“熱利用を推進する**技術**の提案と評価”

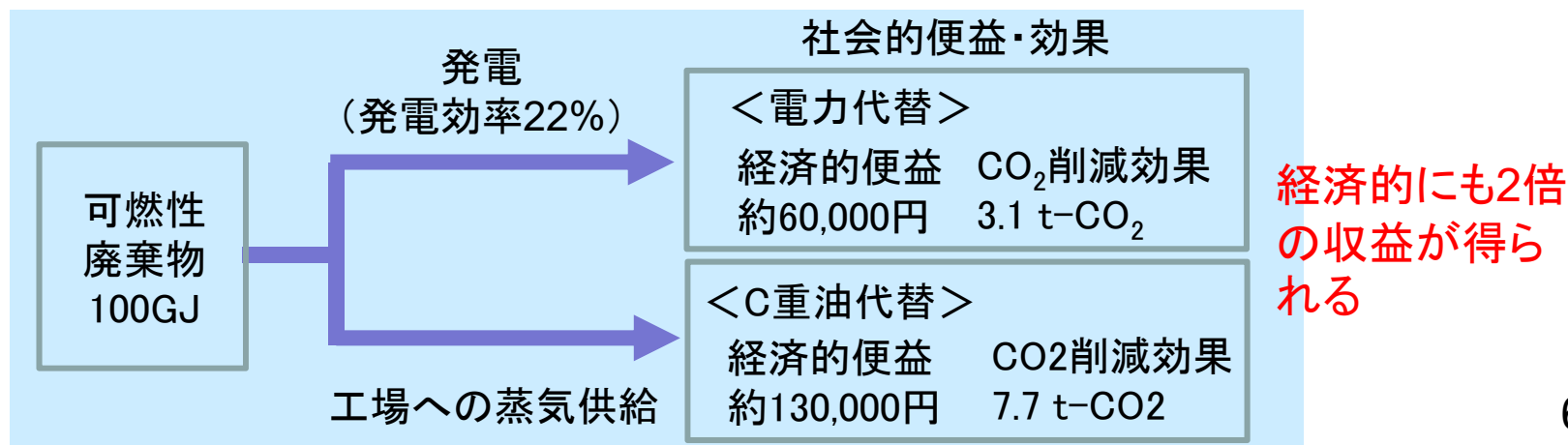
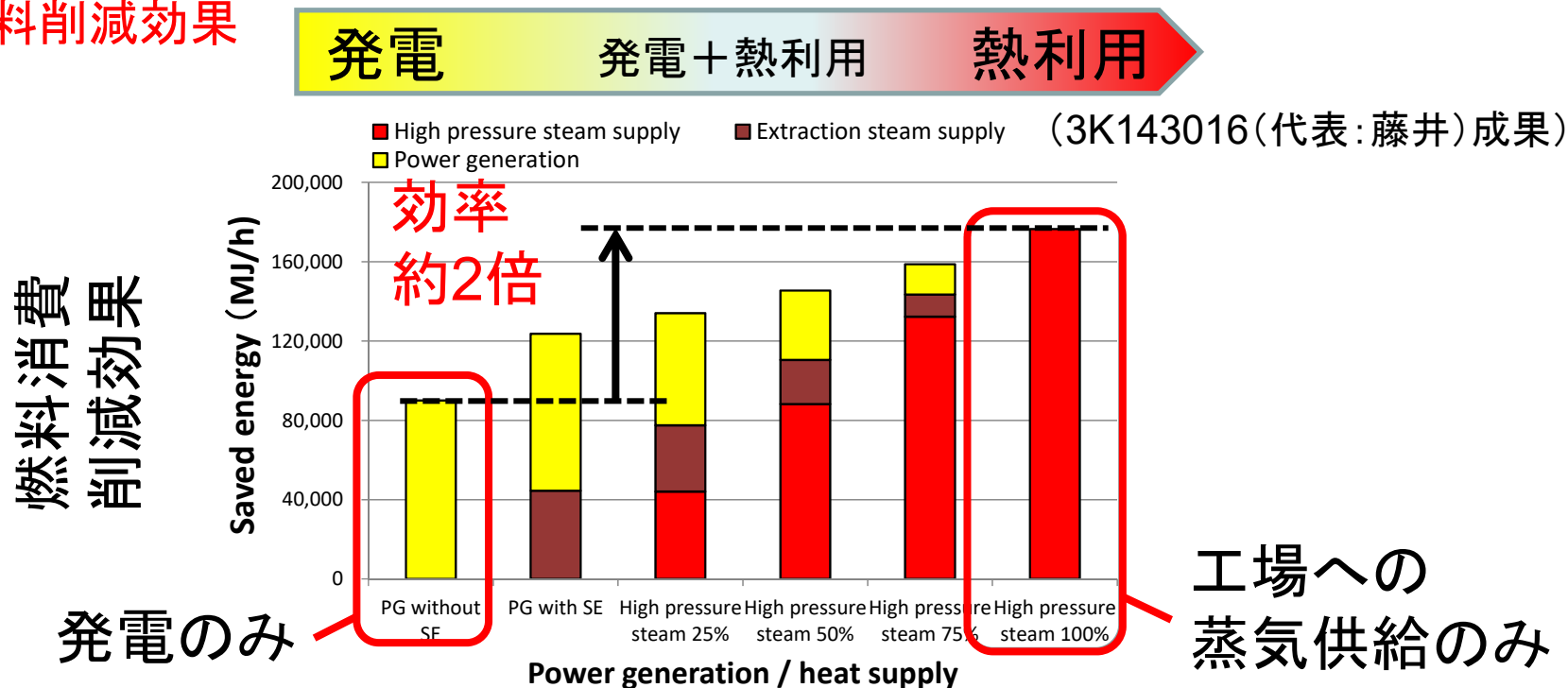
研究計画・進捗状況

	H29年度	H30年度	H31年度
研究計画	高エクセルギー効率の技術システムの事例調査・要件整理（NEDO事業、熱供給低温化、北九州）	産業での安定的熱利用、熱供給低温化に係る技術モデルを作成し、燃料消費削減等評価	熱供給のための付帯設備を含む、技術システム全体をモデル化、実現性の高い高効率システムを提示
進捗状況	事例調査に加え、新たな技術提案、モデル化を一部前倒しで実施（ 達成 ）	企業や自治体と連携して、実現性の高い技術提案と実態に即したモデル化を実施	小規模でも安定・効率的に熱利用可能なシステムを提示し、経済性も検証した

サブ1

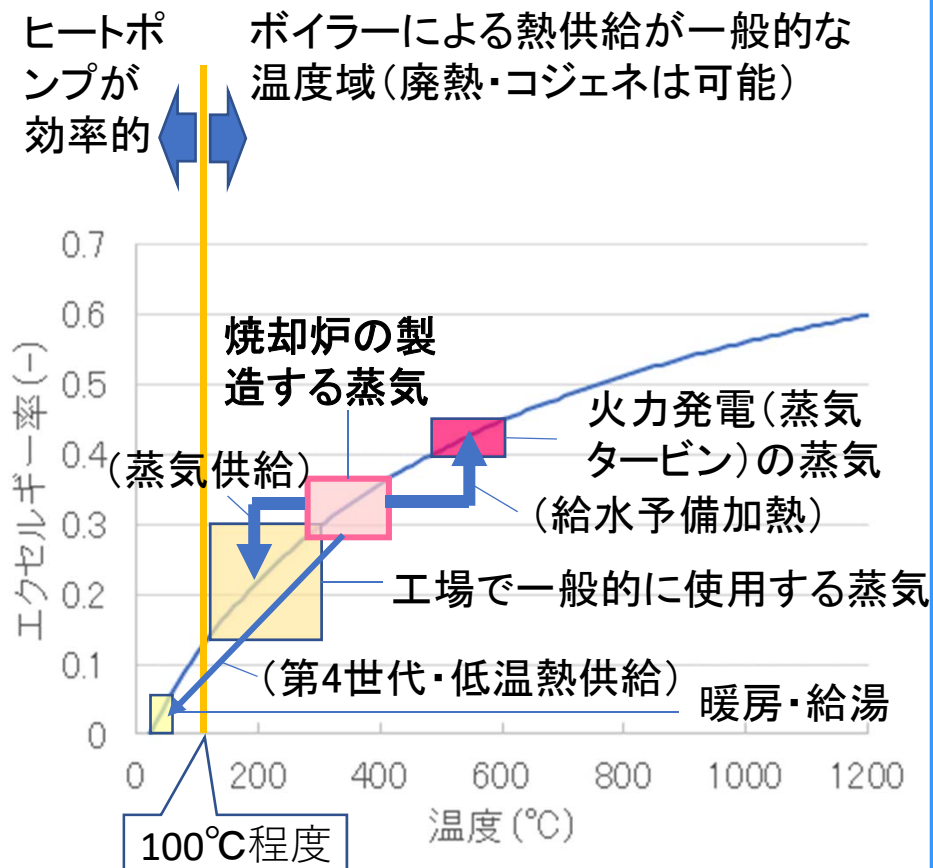
産業への蒸気供給の意義

焼却炉から工場への蒸気供給は、**発電**（発電効率23%）と比較して、**2倍程度**の燃料削減効果



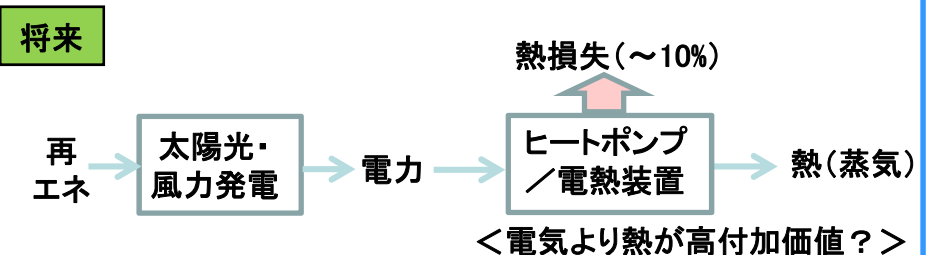
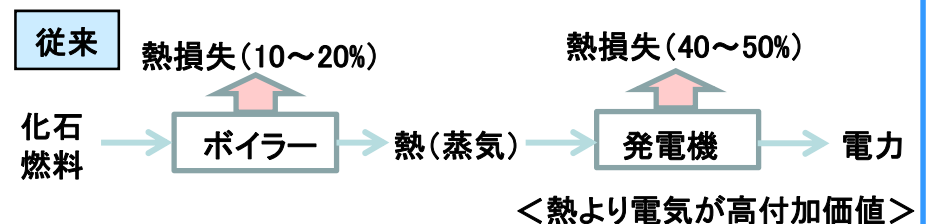
サブ1

焼却熱の産業利用の効率性の理論的整理



化石燃料の利用効率が低く、代替手段(HP)が使い辛い産業の熱需要を焼却熱で満たすことで、社会全体として化石燃料の消費のエクセルギー効率が向上する

再エネ電力の拡大により、特に日中の電力需要やその価値が低下する



熱を特に高温の熱のまま産業で利用することの価値が、将来において一層高まることが想定される

以下のような工場で、焼却施設から供給可能な温度・圧力の蒸気需要が存在

項目 業種	製造業側で必要温度	廃棄物処理施設からの熱供給形態	
		高圧蒸気	低圧蒸気
1 食料品(食材加工)	～150℃	—	0.8MPa * 170℃
2 食料品(調理品(中食))	～170℃	—	0.8MPa * 220℃
3 食料品(調味料)	～200℃	3.0MPa*300℃	—
4 食料品(パン・菓子)	～200℃	3.0MPa*300℃	—
5 飲料・たばこ・飼料(清涼飲料)	～180℃	—	0.8MPa * 220℃
6 飲料・たばこ・飼料(酒類)	～120℃	—	0.8MPa * 170℃
7 繊維工業	～170℃	—	0.8MPa * 220℃
8 パルプ・紙・紙加工品	～200℃	3.0MPa*300℃	—
9 無機化学	～150℃	—	0.8MPa * 170℃
10 有機化学	～180℃	—	0.8MPa * 220℃
11 医薬品	～140℃	—	0.8MPa * 170℃
12 石油製品・石炭製品	～200℃	3.0MPa*300℃	—
13 プラスチック製品	～200℃	3.0MPa*300℃	—
14 ゴム製品	～230℃	3.0MPa*300℃	—
15 窯業・土石製品	～150℃	—	0.8MPa * 170℃
16 鉄鋼業	～200℃	3.0MPa*300℃	—
17 非鉄金属製品	～150℃	—	0.8MPa * 170℃
18 一般機械器具	～150℃	—	0.8MPa * 170℃
19 電子部品・デバイス・電子回路	～150℃	—	0.8MPa * 170℃
20 輸送用機械器具(自動車)	～150℃	—	0.8MPa * 170℃

参考：富士経済，業務施設エネルギー消費実態調査

サブ1

地域特性(規模・蒸気需要の有無)別のシステム設定と評価

- ・**大規模・工場あり**: 焼却施設から製造工場への蒸気供給(抽気、全量)
- ・**大規模・工場なし**: 高効率発電のみ又は発電を犠牲にしない低温水の地域熱供給併用
- ・**小規模・工場あり**: 小型焼却施設の改良による製造工場への蒸気供給
- ・**小規模・工場なし**: 固形燃料化とメタン発酵の組み合わせ

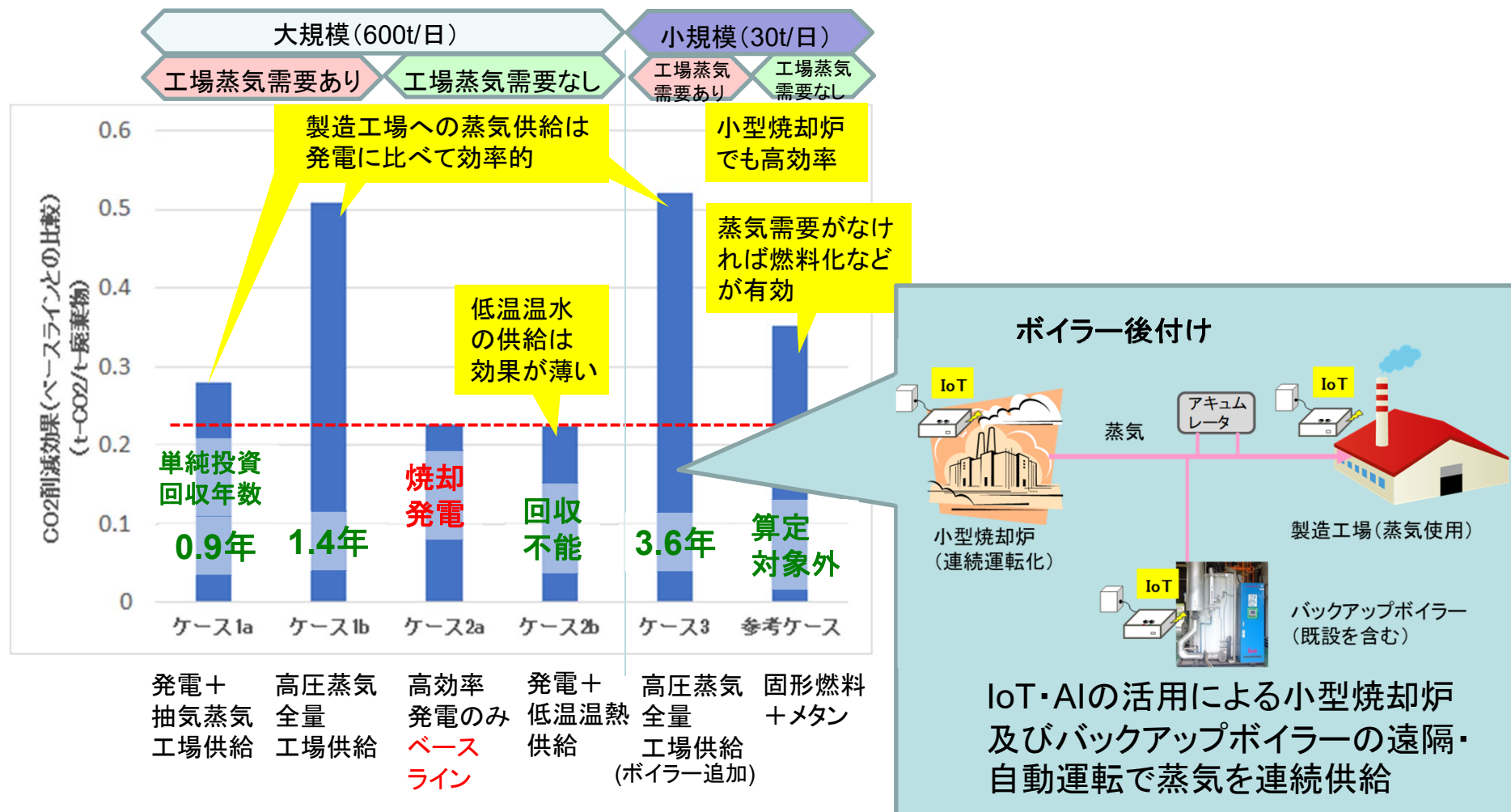


ケース	エネルギー利用の形態	蒸気・温水供給量 (熱利用先における熱量)		発電量 kWh/h	犠牲にした電力量 kWh/h	ヒートポンプ電力削減量 kWh/h
		kg/h, m³/h	MJ/h			
ケース1a (600t/日)	発電 + 低圧抽気蒸気 工場供給	17,850	44,460	9,670	1,740	0
ケース1b (600t/日)	高圧蒸気 全量工場供給	57,490	172,150	0	11,310	0
ケース2a (600t/日) ベースライン	発電のみ (熱供給なし)	0	0	11,400	0	0
ケース2b (600t/日)	発電 + 低温温水供給	温水665	温水25,830	11,650	240	1,793
ケース3 (30t/日)	高圧蒸気 全量工場供給 (ボイラー後付け)	2,880	7,750	0	0	0
参考ケース (30t/日)	RPF メタン発酵 (ガスは熱利用)	3,250	8,760	0	365	0

サブ1

地域特性別の熱供給によるCO₂削減効果と投資回収年数

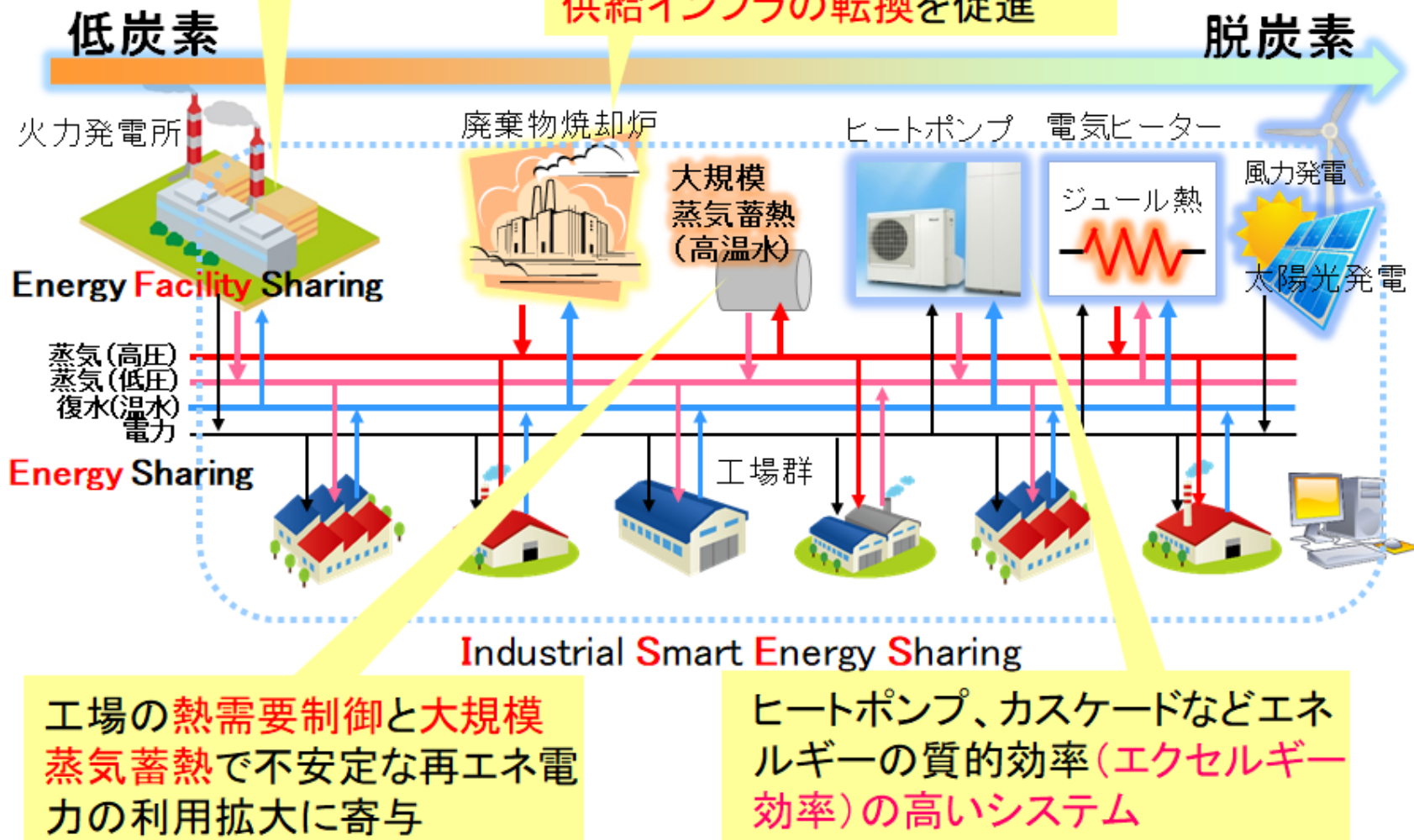
- 製造工場への全量蒸気供給は、**高効率発電の2倍程度のCO₂削減効果**
- 低温熱の供給にヒートポンプが一般化する状況下では、**低温熱利用は不利**
- **小型焼却炉**にボイラーを後付けしても投資回収年数は数年程度と**経済的**



工業団地の脱炭素化の契機としての焼却熱利用

将来は再エネ電力主流化
でコジェネも効率が低下

経済性の高い廃棄物焼却熱の
蒸気供給への利用で産業の熱
供給インフラの転換を促進



- 経済性にも優れる焼却熱の産業利用で、工業団地の脱炭素化に向けてインフラ転換を加速
- 北九州産業学術推進機構に産業スマートエネルギーシェアリング研究会を設立し産官学で活動中 11

参考

途上国の廃棄物問題の複合的解決策としての焼却熱利用

バンドン工科大学・インドネシア産業省とインドネシアで焼却熱の産業利用を検討

エネルギーとしての利用
価値向上によるプラス
チックの散逸防止

アジア途上国における
衛生的な廃棄物処理の
促進

工場の燃料消費削減に
よる経済効率性の高い
低炭素化の推進



現状（埋立）



対策（高品質材料リサイクルと高効率産業蒸気利用）



サブテーマ2

高度な地域熱利用を推進するための社会インフラ・制度

“熱利用を推進する**社会の仕組み**を検討”

研究計画・進捗状況

	H29年度	H30年度	H31年度
研究計画	焼却熱の高度利用に関する事例調査(コスト、法制度、ビジネスモデル)と地域特性D/B構築プロセスの設計	特定地域(北九州市等)で費用便益分析を実施、ステークホルダーの利害調整と地域特性D/Bの構築	テーマ1の技術データに、地域特性を加えてシミュレーションを実施し、操作変数の影響分析を行う
進捗状況	事例調査で阻害要因と突破口を明示し、インターフェースの開発など地域特性D/Bの基盤を構築	フェーズに応じた分析を実施。インターフェースを通じたデータ収集等、地域特性D/Bを構築	影響分析を実施するためのモデル群を整理でき、シミュレーション実施

✓ 高度な熱利用システムの**社会実装、水平展開**を実現するため、意思決定の観点から**ステークホルダーの実態調査**を実施。

①清掃工場の意思決定

✓ **清掃工場の選好・現状把握**のためのウェブアンケートサイトの開発

(系統電力)



(地域電力利用)

(余熱の場内・近接地域利用)

②産業部門への熱供給

100～数100度の高温熱を需要する、**産業への熱供給**



③民生部門への熱供給

民生への熱供給は、発電を犠牲にしない**50～60度の低温熱供給**

社会実装可能性分析

✓ 国内・ステークホルダーヒアリング調査

ベストプラクティス調査

✓ 韓国・蔚山市の事例分析(社会インフラ(ソフト))

ビジネス性大

阻害要因と突破口

現状分析

✓ 国内・地域熱供給事業ビジネスモデル分析

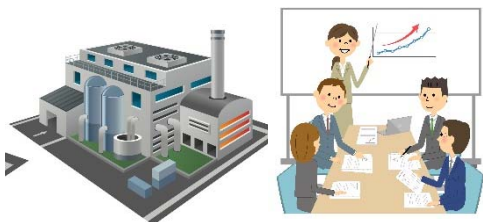
ベストプラクティス調査

✓ デンマークの地域熱供給の事例分析(制度)

公共性大

自治体向けインターフェースの開発/利用

全国の自治体・一部事務組合(772)に対し、自身および清掃工場(1,011)についてのウェブアンケート調査を実施



実施日時:

2018年5月末～7月

有効回答:

自治体・一部事務組合:

$372/772=48.2\%$

清掃工場:

$447/1011=43.7\%$

更新・改良の方式の選好

優先事項(低コスト化、循環型社会形成推進交付金の獲得、都道府県の広域化計画の意向等)

情報源(近隣都市の動向、市民団体の情報、国内の先進事例等)

他の計画との関連

地域特性(熱需要との近接性)

現状のエネルギー回収の方式と経済情報

エネルギー回収方法の選好

①自治体または一部事務組合
アンケート

②焼却熱産業利用の先進事例
紹介(蔚山)



③清掃工場ごとのアンケート

④焼却熱産業利用の費用対
効果提示



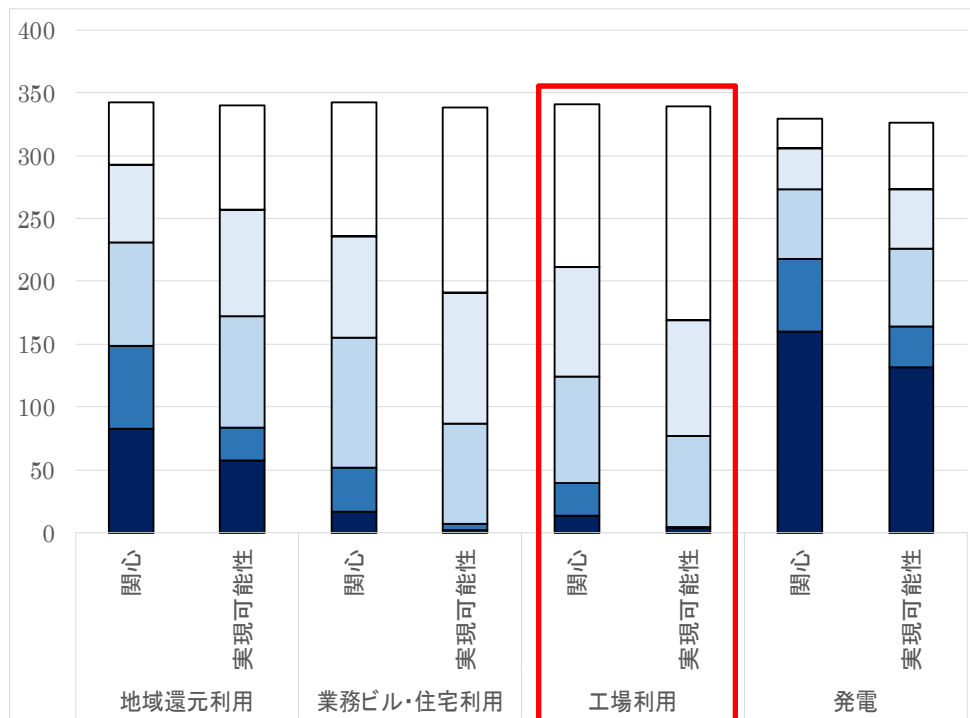
⑤焼却熱の産業利用に関する打ち合わせ希望を調査

自治体または一部事務組合のエネルギー回収の選好

- ✓ 焼却熱の産業（製造工場）利用には、53か所が「関心」を示すものの「実現可能性」ありと認識しているのは8か所のみ。
- ✓ 回答した自治体の地域特性・焼却炉の情報をもとに要因分析を実施予定。

エネルギー回収への関心と実現可能性

サンプル数=772



□ 全くない □ あまりない ■ どちらともいえない ■ ややある ■ とてもある

産業での熱利用について、打ち合わせを希望する7自治体、うち1か所と現地にて意見交換、簡易試算



サブ2

産業部門への熱供給の推進に向けた課題

②産業部門への熱供給

サブ1 技術システムとしての評価

- エクセルギー的にも優位＋地理的特性によって経済性もある。

サブ2 実態調査＋ベストプラクティス調査

- 自治体では、**焼却熱の工場利用**に関する理解はほとんどなかったものの、**潜在的な実装可能性**（関心及び地理的近接性）は充分にありうる
- ただし、自治体の関心は、あくまで**周辺住民の理解**と**交付金の獲得**が主であり、現状の枠組みでは、積極的に選択することは期待できない
- **熱配管のコスト高の認識**や**蒸気価格の設定**など**制度的に補完**する必要がある
- 韓国では、すでに先行しており、社会実装の知見を発信しつつあるが、
- 以上を克服するためには、国内での**実装事例**を増やすことが重要。
- 加えて、サブ①で経済性を確認できていることから、**地域特性別**に技術オプションの**純費用便益シミュレーション**を実施することで政策影響を分析する意義が大きい。

1. 具体的な研究内容：北九州市での社会実装に向けた研究
2. 愛知県をケースに純費用便益シミュレーションの実施

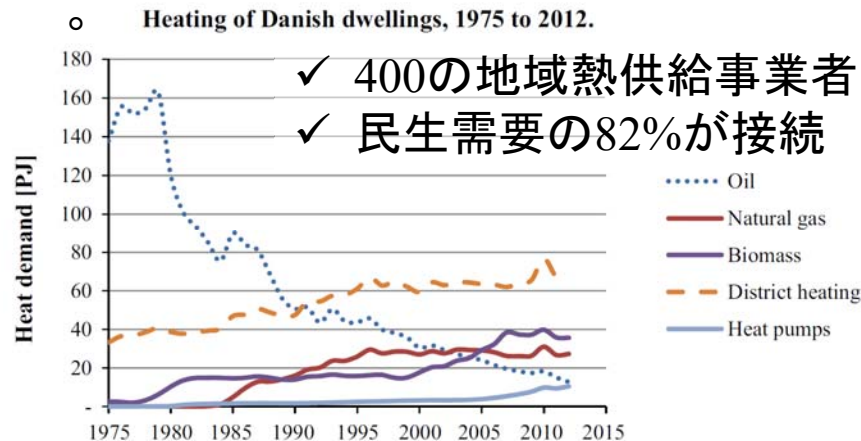
✓ デンマークでは、熱供給事業への階層的・体系的な制度が充実。

トップダウンでの促進政策

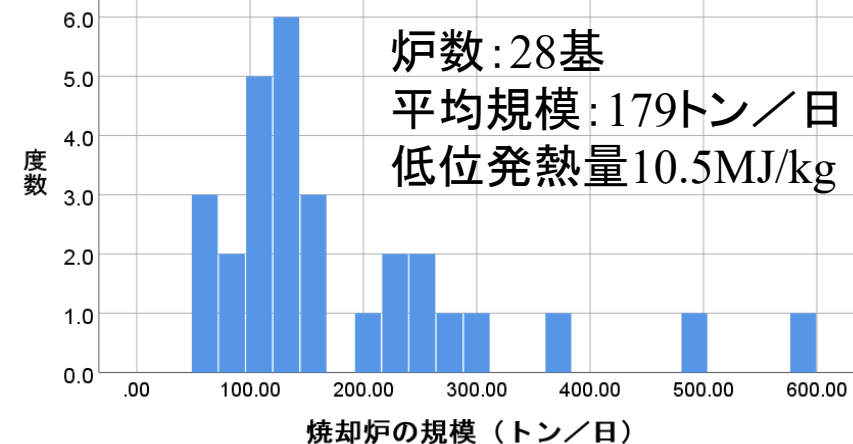
- ✓ オイルショックを契機に地域熱供給を促進する**政治的コンセンサス**が醸成。
- ✓ **電気供給法**でのCHP推進。**熱供給法**での地方自治体による**地域計画策定**。
- ✓ 独立組織(DERA):電力・ガス・熱の**価格承認・公表**。透明性を確保。
- ✓ 政府(DEA):**費用対効果算定枠組み**の提供

焼却炉での熱電併給(CHP)の概要

- ✓ 地方自治体が**全ての**廃棄物管理に責任。
- ✓ 熱供給施設は、**非営利企業**が保有。
- ✓ デンマークの地域熱供給の中で一番**安い**。
- ✓ 政策的支援;廃棄物・化石燃料・電気への**課税**と廃棄物発電への**補助金**。
- ✓ **蒸気価格**は、**コストベース**で算定。
- ✓ CHPは、1.47million MWh発電(国の3%)し、6.36million MWhの熱供給(国の18%)



デンマークの暖房技術のトレンド
[A.Chittum and Ostergaard, 2014]



CHP接続している焼却炉の規模
[RenoSam,RAMBOLL,2006より作成]

サブ2

民生部門への低温熱供給の推進に向けた課題

③民生部門への熱供給

民生への熱供給は、発電を犠牲にしない50～60度の低温熱供給

サブ1 技術システムとしての評価

- エクセルギー的には優位性は高くない＋経済性を確保することが困難である。

サブ2 実態調査＋ベストプラクティス調査

- 自治体では、民生への熱供給は、やや関心のあるところがあり、地域還元に関しては実装可能性（関心及び地理的近接性）は充分にありうる
- 自治体の関心は、周辺住民の理解にある。
- 焼却熱の地域熱供給は、エクセルギー的にそれほど効果はない。つまり、現状では、焼却炉が地域熱供給をするインセンティブは少ない。
- 焼却炉の更新・新設は、地域熱供給を実施する契機となるが、公共的な価値の向上が鍵となる。
- セクターカップリングを含む制度的支援に加えて、地域拠点の公共デザインとの組み合わせが現実的な方策。

1. 地域エネルギー計画支援モデル・ツールの開発
2. 公共性を高めるための協議支援方策の検討

サブテーマ3

人口分布と産業分布を踏まえた焼却施設等の最適立地

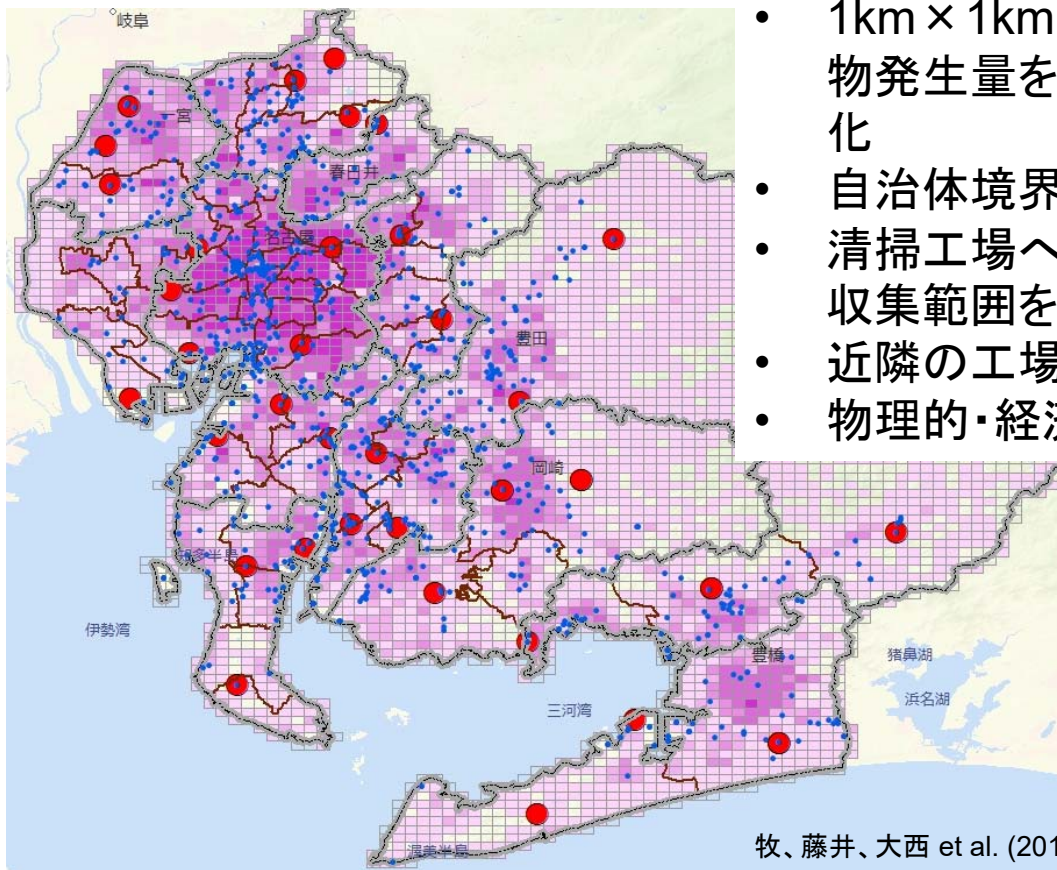
“熱利用が有効な立地の検討”

研究計画・進捗状況

	H29年度	H30年度	H31年度
研究計画	地域熱利用の導入可能性のある地域を選定し、熱の供給量、潜在需要量等を調査	テーマ1, 2で抽出される熱利用の技術・事業モデルの、望ましい立地について検討	テーマ1, 2と連携し、具体的な地域における、地域熱供給に関する将来の事業計画を立案
進捗状況	熱供給量を推計するために、既存の廃棄物輸送モデルを改良 焼却施設立地にする 住民意識調査	地域の産業熱需要賦存量を推計する手法を開発 GISを用いて全国から立地候補を抽出方法を開発	熱需給を考慮した施設立地モデルを開発し、それに基づき評価を実施

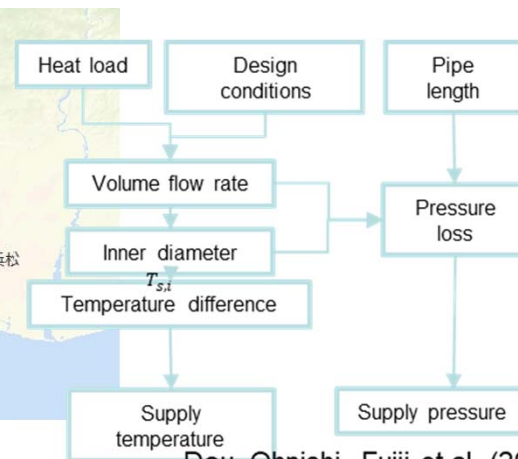
地域特性に関するデータ整備

他セクターとの地理的近接性・広域化ブロックをGISで整備。
熱供給可能な焼却炉・工場の組み合わせを抽出し、熱交換ポテンシャルを推計



- 1km × 1kmメッシュの人口分布をもとに廃棄物発生量を定義・分別収集オプションを定式化
- 自治体境界、広域化ブロック境界の定義
- 清掃工場への収集・運搬コストを最小化する収集範囲を定義
- 近隣の工場立地の熱需要を定義
- 物理的・経済的に実現可能な熱導管の抽出

牧、藤井、大西 et al. (2018)



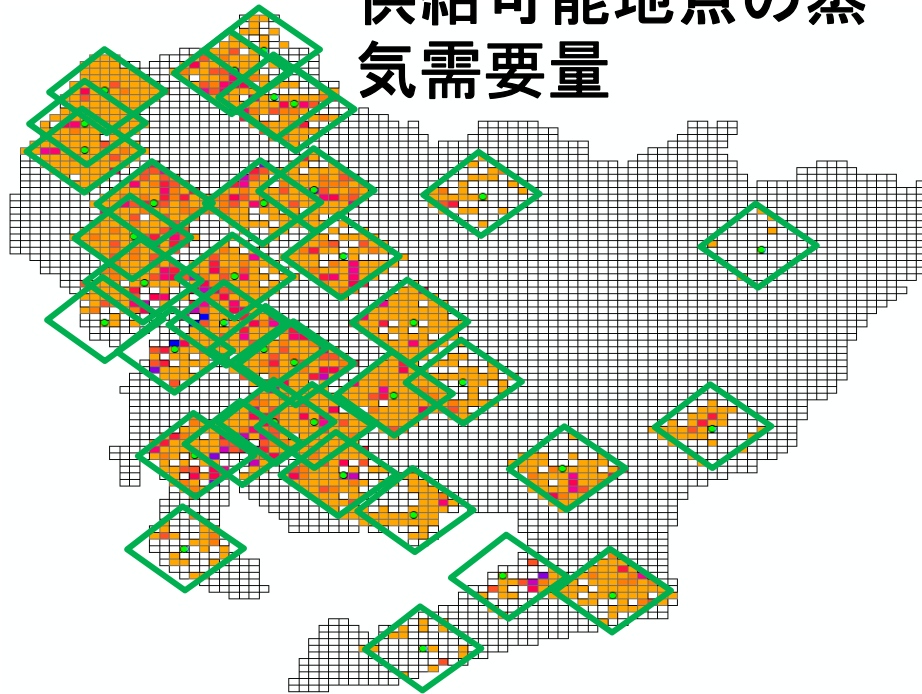
Dou, Ohnishi, Fujii et al. (2018)

座標系: 地理座標系 (日本測地系2000)

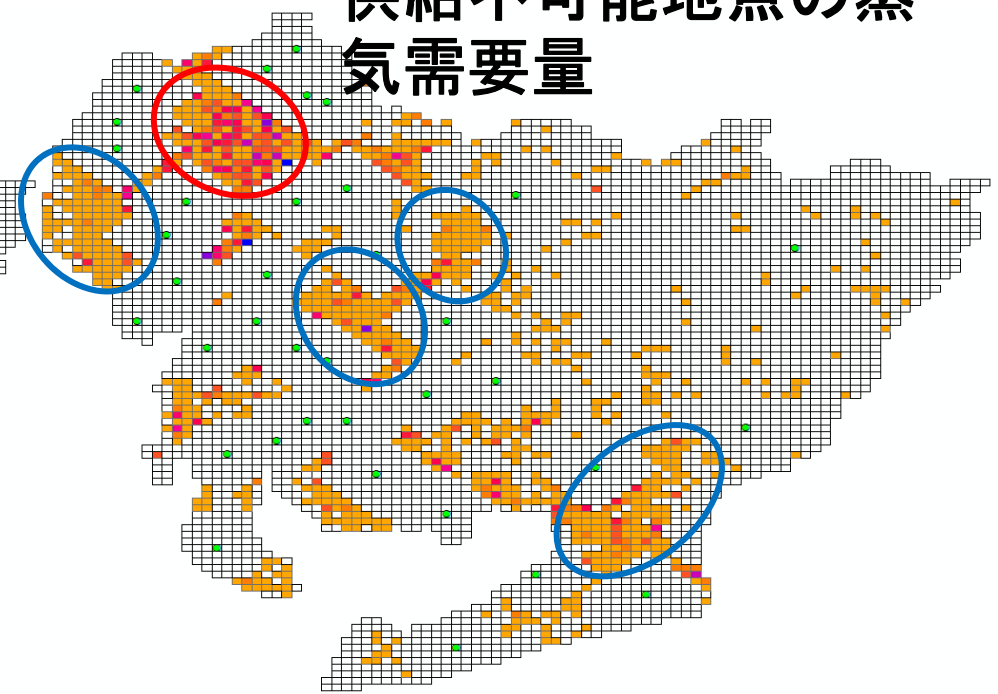
サブ3

産業の蒸気需要量と焼却施設からの輸送可能範囲の比較(愛知県)

供給可能地点の蒸気需要量



供給不可能地点の蒸気需要量

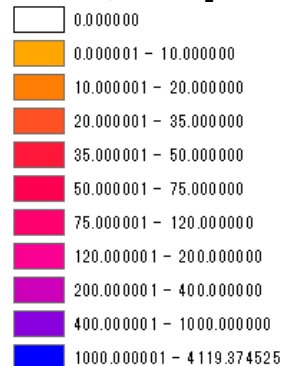


施設立地

● 焼却施設

◇ 輸送範囲

熱需要賦存量[TJ/km2/year]

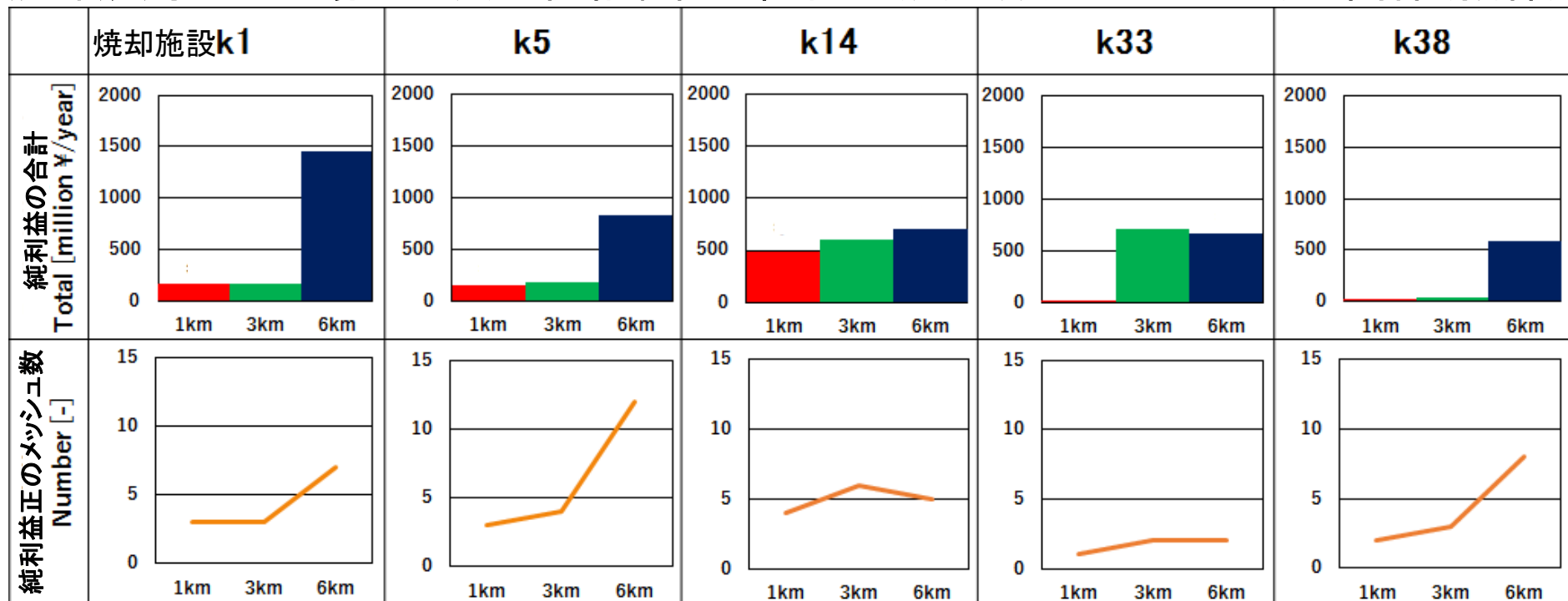


- 産業の蒸気需要の多くは焼却施設から輸送可能な範囲(実例や理論計算から6kmと想定)に含まれており、焼却熱を製造工場で利用するポテンシャルは大きい。
- 蒸気需要の大きな名古屋周辺には複数の焼却施設があり、製造工場に蒸気を供給できるポテンシャルが大きい。
- 蒸気需要があっても焼却施設が立地しない地域も多い。特に赤丸の名古屋北部はマッチングしない蒸気需要が大きい。

サブ3

焼却炉から製造工場への蒸気供給による純利益（愛知県）

焼却炉周辺の工場への蒸気供給範囲と純利益（蒸気販売益－コスト）の関係（抜粋）



上図： 純利益が正のメッシュのみに供給した場合の蒸気供給による純利益合計

下図： 純利益が正のメッシュの数

- 現状の焼却施設の立地でも、理論的には事業化が可能な地域は存在。
- 更新時に焼却施設の配置を最適化すれば更に事業性が高まる可能性がある（今後継続的に検討予定）。
- 施設当たり、年間数億円～十数億円のポテンシャルがあるため、立地の最適化を進めることが望ましい。

サブ3

既存焼却施設周辺の需要から立地適地を抽出(一般廃棄物)

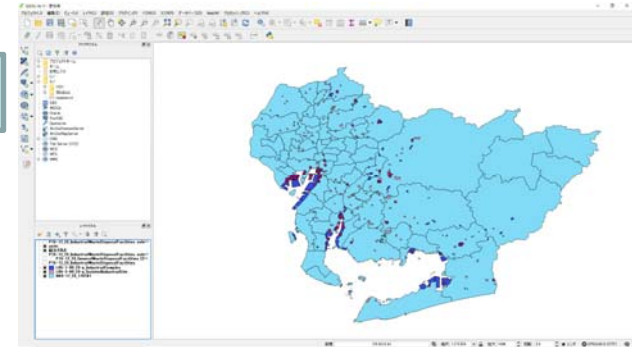
GISに工業団地・工業用地データ、一般廃棄物焼却処理データ、産業廃棄物中間処理施設データ(共に国土数値情報データ)、文化施設(スポーツ施設等)を読み込ませる



GISによって空間検索を行い、一致したデータを抽出



新規焼却施設設置の候補地抽出



一般廃棄物焼却処理施設 1257件中
工業団地・工業用地内件数 175件

一般廃棄物焼却処理施設 1257件中
文化施設1km圏内 712件

工業団地 2018地点数中 87地点
単独工場用地 1358地点数中 84地点
に一般廃棄物焼却処理施設が立地

参考:環境省データより

温水場外利用施設	210件
蒸気場外利用施設	76件
温水・蒸気両方場外利用施設	27件
合計	313件

- * 工業団地・・・敷地面積10ha以上の工業用地
- * 単独工場用地・・・単独立地による敷地面積10ha以上の工業用地
- * 文化施設・・・美術館、博物館、動植物園、スポーツ施設

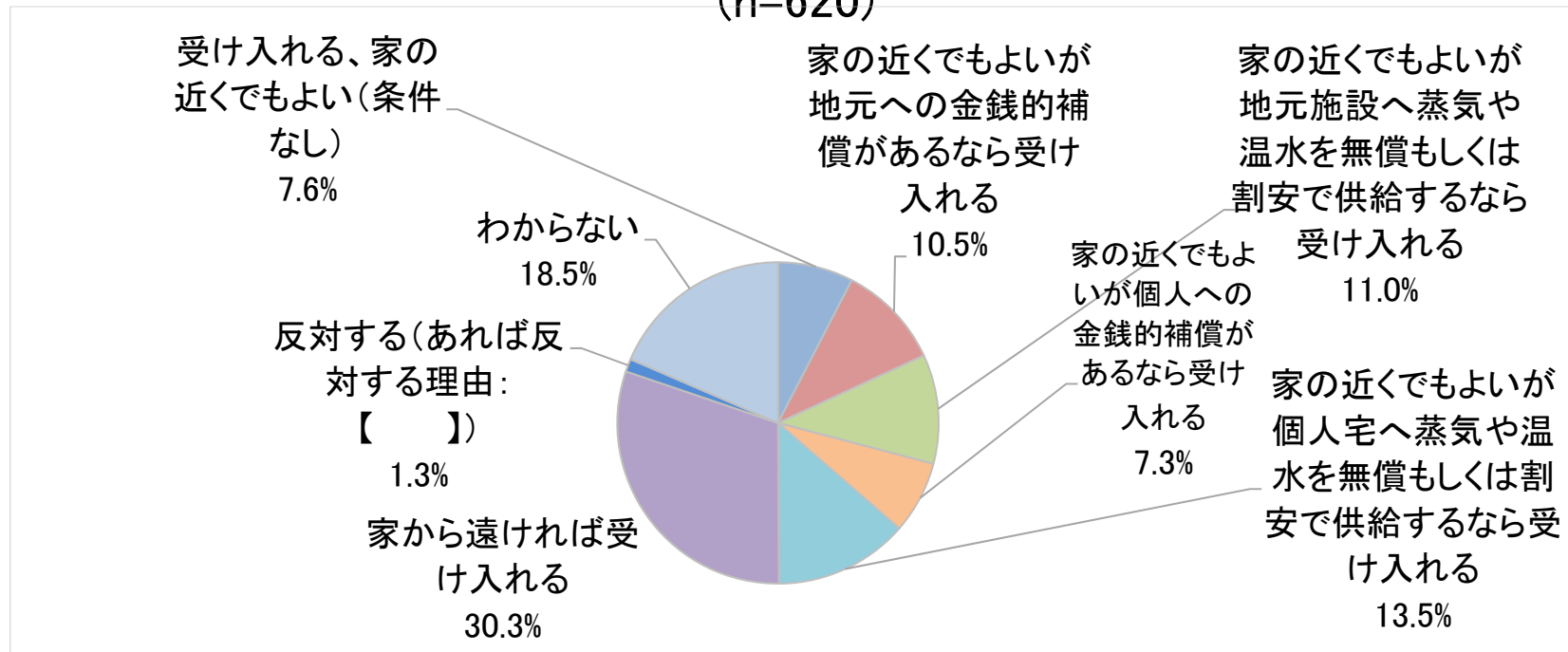
産業廃棄物焼却施設2983件中(環境省データより)、67件であった。このうち候補が多い県は、千葉 6件、岡山7件、広島10件、福岡12件

サブ3

熱回収施設付きの焼却施設建設(一般廃棄物)に対する住民の意識

[Q]蒸気や温水を作るごみ焼却施設が新たに建設され、その蒸気や温水を受け取る工場が隣接地に建設されるとしてお尋ねします。最もあてはまるものを一つお選びください。

(n=620)



“無条件で受け入れる”・・・約8%
 “地域への蒸気や温水の提供条件で受け入れる”・・・約11%
 “個人への蒸気や温水の提供条件で受け入れる”・・・約13%



地域や自身がエネルギー供給を安価で受けられるなどの
メリットがあれば、家の近くへの焼却炉建設への抵抗感は低くなっている。

- 1 処理施設整備計画
- 2 立地選定
3. 1 住民説明→住民合意
3. 2 業者選定委員会→業者決定
3. 3 処理施設周辺整備計画・まちづくり計画
- 4 着工

現立地域と良好な関係を築いている場合はこの限りではない

産業廃棄物
行政が企業と地域住民を仲介することはないので、企業と地域住民の信頼関係がすべてである

という手順は変えることはできないが、

市民参加、特に地元住民の参加を最初の段階(処理施設整備計画)で実施することが望ましい。
ただし、立地の選定ができていない段階では、既存立地地域の地元住民の参加のみとなるであろう。

立地の選定は公募と委員会選定を組み合わせたハイブリット型が望ましい
ここで新たに候補となった地区の住民は立地選定に参加すること望まれる

* 都市域では土地が少ないので公募はなじまない

立地候補が決まったら地元住民と徹底的議論することが望まれる

例 武蔵野クリーンセンター(2017年度稼働)
新施設建設へ向けた「施設まちづくり検討委員会」(2008-2009 16回)
施設基本計画策定委員会(2009-2010 13回)
施設周辺整備協議会(2009- 2019 40回)
合同意見交換会(2009-10 3回、視察1回)

武蔵野市は10年以上の歳月とのべ70回以上の委員会をかけて新施設を建設した。

社会実装に向けて関係者と精力的に活動を実施

カテゴリー	内容
産廃焼却施設から製造工場への蒸気供給の計画支援	- クレハ環境(株)がいわき市で実施した、焼却炉から化学工場等への蒸気供給に関するFSに貢献した。 - 焼却施設を運転中あるいは計画中の複数の産廃事業者と意見交換。焼却施設周辺の熱需要の調査へ繋がる。
自治体焼却施設から製造工場への蒸気供給の計画支援	- ある自治体の焼却施設から、近隣の大手製造工場への蒸気供給について、双方の担当者を交えて具体的な検討を開始。 - 産業都市の自治体と協力して、工業団地の熱需要を調査し、事業化に向けた検討に着手。 焼却施設の更新計画を持つ自治体と意見交換。周辺工場の熱需要の調査を検討中。
産業スマートエネルギーシェアリング研究会への貢献	北九州産業学術推進機構において、産業スマートエネルギーシェアリング研究会設。産業の熱利用を低、脱炭素化することを目的に、事業化の案件抽出や、事業を面展開するために必要なマネジメント機能等について検討。
環境行政への貢献	- 環境省・中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る検討調査検討会に委員として参画。焼却熱の製造工場での利用は、ガイダンスでも採り上げられた。 - 環境省・棄物処理システムにおける低炭素・省CO2対策普及促進方策検討調査検討会に委員として参画。同委員会では製造工場の熱需要の調査などが行われた。 - 環境省・廃棄物焼却施設からの余熱等を利用した地域低炭素化モデル事業に貢献。 - 大熊町での平成31年度脱炭素・資源循環「まち・暮らし創生」FS委託業務ヒアリング会議に委員として参画し、第4世代地域熱供給を含む検討において助言。 - 環境省・廃棄物資源循環学会の主催によるシンポジウムで、焼却熱の製造工場での利用をテーマに基調講演を実施。 - 環境省による説明会で、焼却熱の産業利用の有効性に関する講演を実施。
海外展開	インドネシア工業省、バンドン工科大学、国立環境研究所の3者で、焼却熱の製造工場での利用に関する研究協力の覚書を締結。日本からは大学や研究機関に加えて現地で都市開発を行う商社や海外展開に意欲のある産廃事業者、現地では複数の自治体などとの協力体制を構築して準備を進めている。 - 中国清華大学や上海交通大学、公的研究機関、韓国蔚山大学、韓国National Cleaner Production Center、香港城市大学などと、焼却熱の産業利用を含む、スマート産業団地に関する共同研究を実施。

研究成果

1. 廃棄物からのエネルギー回収を最大化する技術システムと評価

学術: 廃棄物エネルギー回収の質的向上（高エクセルギー化）

政策: 小規模でも極めて高効率なエネルギー回収の選択肢提示

2. 廃棄物の高度な地域熱利用を推進するための社会インフラ・制度

学術: 先進事例・実態調査に基づく社会実装支援の仕組みを開発

政策: 政策影響分析の枠組み構築と社会実装の協働方策の特定

3. 人口分布と産業分布を踏まえた焼却施設等の最適立地

学術: 社会調査に基づいた焼却施設立地モデルの開発

政策: 自治体の立地策定に資するデータベースや理論の提供



3つのサブテーマで協力して、ブレークスルーをもたらす技術的な解決策の提示と、事業化可能な候補地を選定し、自治体・企業との協働による高度な焼却熱利用の社会実装に繋がる成果を得た。

成果の発表状況

論文(査読あり) 8報

1. Dou Y., Fujii M., Fujita T., Gomi K., Maki S., Tanikawa H., Potential of waste heat exchange considering industrial location changes: A case of Shintchi-Soma region in Fukushima, Japan, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research), vol73(6), p. II _353-II _363 (2017)
2. Dou Y., Ohnishi S., Fujii M., Togawa T., Fujita T., Tanikawa H., Dong L., Feasibility of developing heat exchange network between incineration facilities and industries in cities: Case of Tokyo Metropolitan Area, Journal of Cleaner Production 170, 548-558, (2018),
3. Sun L., Fujii M., Tasaki T., Dong H., Ohnishi S.: Resources, Improving waste to energy rate by promoting an integrated municipal solid-waste management system, Conservation & Recycling, 139, 289-296 (2018)
4. Dou Y., Okuoka K., Fujii M., Tanikawa H., Fujita T., Togawa T., Liang Dong, Proliferation of District Heating Using Local Energy Resources Through Strategic Building-Stock Management: A Case Study in Fukushima, Japan, Frontiers in Energy, 12 (3), 411-425 (2018)
5. Sun, L., Li Z., Fujii M., Hijioka Y., Fujita T., Carbon footprint assessment for the waste management sector: A comparative analysis of China and Japan, Frontiers in Energy, 12(3):400-410, (2018)
6. Fujii M., Dou Y., Sun L., Ohnishi S., Maki S., Dong H., Dong L., Chandran R., Contribution to a low-carbon society from improving exergy of waste-to-energy system by upgrading utilization of waste, Resources, Conservation & Recycling, 149, 586-594, (2019)
7. 牧誠也, 大西悟, 藤井実, 後藤尚弘, 五味馨, 地域特性を考慮した収集運搬による費用・CO₂排出量推計のための修正グリッドシティモデルの開発ー愛知県を対象としたケーススタディー, 廃棄物学会論文集, 印刷中
8. Sun, L., Fujii, M., Li, Z., Dong, H., Geng, Y., Liu, Z., Fujita, T., Yu, X., Zhang, Y., Energy-saving and carbon emission reduction effect of urban-industrial symbiosis implementation with feasibility analysis in the city, Technological Forecasting & Social Change, 印刷中

廃棄物資源循環学会誌で「廃棄物の熱エネルギー利用の高度化に向けた展望」と題する特集号を発行

廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No. 4, pp. 233-238, 2019

233

【特集】廃棄物の熱エネルギー利用の高度化に向けて

廃棄物のエネルギー利用の効率化に向けた展望

藤井 実*

【要旨】気候変動の緩和に向けて、化石燃料を代替する廃棄物を効率的に利用することが一層重要になっている。国内では、廃棄物からのエネルギー回収の手段としては、焼却発電が主流である。しかし、特に一般廃棄物の焼却炉においては、燃焼ガスが酸性に富むなどの理由により、その発電効率は20%程度に留まっている。技術的な効率向上には、熱利用を行うことが望ましい。しかし、熱は温度差によってその価値が大きく異なる。暖房や給湯レベルの温度の差は、ヒートポンプによって効率的に供給することが可能であり、さらにヒートポンプの電源を太陽光発電等の再生可能エネルギーに求めることもできるなど、社会技術の進歩も考慮する必要がある。本稿では、エネルギーの質を考慮することの必要性について解説し、エネルギー効率の低い、高温の熱需要のある工場への蒸気供給と、廃熱を活用した暖房の熱供給とについて、その有効性を解説する。

キーワード：エネルギー回収、焼却炉、熱利用、工場、蒸気

廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No. 4, pp. 245-252, 2019

245

【特集】廃棄物の熱エネルギー利用の高度化に向けて

諸外国の熱供給にかかわる制度とその日本への示唆

深栖 大毅*・三上 恒生*

【要旨】本稿では、廃棄物の焼却処理が比較的普及しており、その熱を地域熱供給に活用している諸外国の制度を整理し、日本への示唆を論ずる。諸外国の熱供給にかかわる制度を整理すると、料金規制、各種経済的インセンティブを活用する手法と、原則市場に任せる手法の2つに分けることができる。前者は熱供給が電力等の代替エネルギーに対して相対的に競争力が強い場合に採用されることが多く、このような状況が当てはまる日本にとっても相応しい制度体系であるといえる。また、民生需要を対象とした地域熱供給は北欧等、比較的温暖な気候の地域で普及しているのが一般的で、日本の場合は一部地域を除いてその普及は難しいと考えられる。一方で、工場等の産業向けの熱供給のポテンシャルは十分にあると考えられる。その上で、廃棄物焼却施設からの熱供給を普及させるためには、焼却施設を産業集積地区に隣接して立地することなどを促す制度作りが望まれる。

キーワード：地域熱供給、廃棄物熱回収、EPC指令、熱供給事業法、焼却炉の産業利用

韓国・地域 EIP センターが促す焼却熱の工場利用の実態

大西 悟*

【要旨】韓国で普及をみせている、清潔工場内で廃棄物から製造した蒸気を近隣の工場に供給する事業を報告し、その成立要因と日本での普及に向けた示唆を論じる。韓国では、2005年より国家エコ・インダストリアル・パーク（EIP）計画を通じて、EIP事業の推進体制が整備されてきた。一般廃棄物の焼却炉と化学工場での熱交換事業を具体例として、その実態を明らかにする。特に注目すべき点は、地域 EIP センターの役割であり、日本での普及に向けて参考になる点が多い。地域 EIP センターは、施設間 Awareness Raising（意識啓発）活動、利害関係者への説明、低コスト化を実現するビジネスモデルの創出・ノウハウの伝達を担い、次なる発展を見据えている。今後、国内で、廃棄物からの高度なエネルギー回収を低コストで推進するための示唆として、韓国の地域 EIP センターの機能を有する中間組織を創設し、戦略的に EIP 事業を進めることで組織的に知識蓄積を図る社会インフラを構築の必要性を提議している。

キーワード：焼却熱の工場利用、エネルギー回収、地域エコインダストリアル・パーク（EIP）センター、蔚山（ウルサン）市、ビジネスモデル

再生可能エネルギー 100% に向けた第4世代地域熱供給の動向と国内への展望

松原 弘直*

【要旨】1970年代の石油ショック以降、欧州各国（特に暖房需要の大きい北欧）では化石燃料を有源にエネルギー利用するために地域熱供給（District Heating）が積極的に導入されてきた。デンマークでは2050年までに化石燃料を削減し再生可能エネルギー100%とすることを目標としており、全人口の約6割に地域熱供給が普及する中で、スマートエネルギーシステムの重要な要素として第4世代地域熱供給への移行に向けた研究や実証が進められている。パリ協定（COP21）を受けた欧州の気候変動・エネルギー政策の中で、再生可能エネルギー分野での脱炭素化に向けた再生可能エネルギー100%への取り組みと、デンマークを中心とした第4世代地域熱供給の動向について整理し、日本国内での地域熱供給の展望についてまとめた。再生可能エネルギー熱利用の分野では、欧州の豊富なノウハウと日本国内の再生可能エネルギーとしてバイオマス資源等のポテンシャルを活用したさまざまな取り組みが進むことを期待されている。

キーワード：再生可能エネルギー、地域熱供給、バイオマス、スマートエネルギー

欧州の循環経済と廃棄物エネルギー利用

——オーストリアの事例——

稲葉 陸太*

【要旨】欧州連合（EU）では、リユース、リサイクルだけでなく修理、シェアリング、長寿命化、ストックの活用等さまざまな手段で資源の利用効率の最大化を目指す循環経済の取り組みが2015年から進んでいる。循環経済の行動計画でも言及されている廃棄物エネルギー利用は依然としてエネルギー利用が有効となる可能性がある。この中でも、オーストリアはごみのマテリアル利用とエネルギー利用が非常に高い水準を示している。それに関して、同国の都市ごみ管理フローの分析によると、選別プロセスの進捗が貢献している可能性が示されている。また、同国では都市公社による運営や、都市部での地域熱供給の存在等も有効な廃棄物エネルギー利用を実現する要素と考えられる。これらの要素は、日本を含む他の地域においても持続的な資源循環を促進させるための参考情報となる。

キーワード：循環経済、廃棄物エネルギー、オーストリア、選別、都市公社

廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No. 4, pp. 239-244, 2019

239

【特集】廃棄物の熱エネルギー利用の高度化に向けて

環境省の政策

——ごみ焼却施設の廃棄物エネルギー活用による低炭素化——

大沼 康宏*

【要旨】2018年に閣議決定された第五次環境基本計画、第四次循環型社会形成推進基本計画および廃棄物処理施設整備計画の方向性を紹介するとともに、ごみ焼却施設の廃棄物処理施設を中心とした廃棄物分野における低炭素化に向けた政策の内容について、廃棄物処理施設整備計画を中心に解説した。また、廃棄物分野における低炭素化を進めるための施策として、廃棄物エネルギーを活用するための設備導入補助や燃料の策定など技術的援助を進めていることを紹介した。さらに、焼却炉エネルギーを活用する取り組みを推進していくことで廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏の構築につなげたいとする考えを紹介した。

キーワード：廃棄物エネルギー、廃棄物処理施設整備計画、低炭素化、地域循環共生圏

廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No. 4, pp. 257-264, 2019

257

【特集】廃棄物の熱エネルギー利用の高度化に向けて

廃棄物処理施設からの余熱等を利用した地域低炭素化モデル事業の成果の紹介

宮田 治男*・箱崎 忍*・大橋 輝*

森 三和子**・村上 友章**

【要旨】廃棄物から安定してエネルギーを回収し、地域の施設で熱や電気として利用することができれば、低炭素化効果と事業性を両立させる新たな廃棄物の処理・エネルギー回収事業への展開が考えられる。本稿では、大宮市の熱需要がある施設の隣接地に廃棄物処理施設（未活用エネルギー熱回収施設）を設置し、エネルギー活用されていない廃プラスチックを中心とした可燃性未活用廃棄物の回収・取扱いと、回収量と質の調整を図るシステムを導入して熱と電力を安定供給する地域低炭素化モデル事業を構築し、低炭素化と事業性を評価した。その結果、地域にエネルギーと経済の好循環をもたらす事業となる可能性が示唆されたので紹介する。特に、化学工場等においては、24時間365日いずれかの生産工程が稼働していることから、廃棄物焼却施設から供給する熱・電力とのベストマッチが期待できる。

キーワード：エネルギー回収、熱供給施設、余熱利用、循環システム、低炭素化モデル