

# 脱炭素先行地域におけるスマートエネルギーへの取組み

大潟村もみ殻バイオマス地域熱供給

田島 誠 環境エネルギー政策研究所 (ISEP) 副所長／特任研究員  
株式会社オーリス (ORES)  
Plan Community Energy合同会社 (PCE)

# 内容

---

1. 概要
2. なぜ、もみ殻地域熱供給なのか？
3. 大潟村での挑戦
4. 実施上の課題

# 概要

大瀨村脱炭素先行地域事業

## 【2本柱】 系統連系ともみ殻の地域課題を解決する

- 太陽光発電施設に大型系統蓄電池を設置し、昼間に発電した電力を系統蓄電池に充電・夕方以降に放電することにより、**電力送電系統の空容量が少ない地域**において、新しい形の**系統連系を実現**
- もみ殻をバイオマス熱供給事業に有効活用することにより、国内有数の稲作地域である大潟村の**未利用もみ殻の処理経費負担や周囲への飛散等の課題を解決**しつつ地域の脱炭素化を加速



# 【バイオマス熱事業】 持続可能な大潟村 ～地域循環型農業と地産エネルギー～

## 地域循環型農業

育苗培土へ混合して  
苗箱を軽量化



水稻培土による  
ケイ酸の圃場還元



農村地域の持続可能な発展のために  
もみ殻による熱供給事業の実現



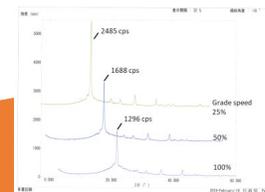
未利用バイオマス



余剰籾殻を  
バイオマス燃料に



安全なもみ殻燃焼の達成



## 地産エネルギーによる化石燃料の代替



熱の活用による  
新たな農業展開



温泉・小アールマ  
公共施設・住宅等



もみ殻燻炭



熱供給



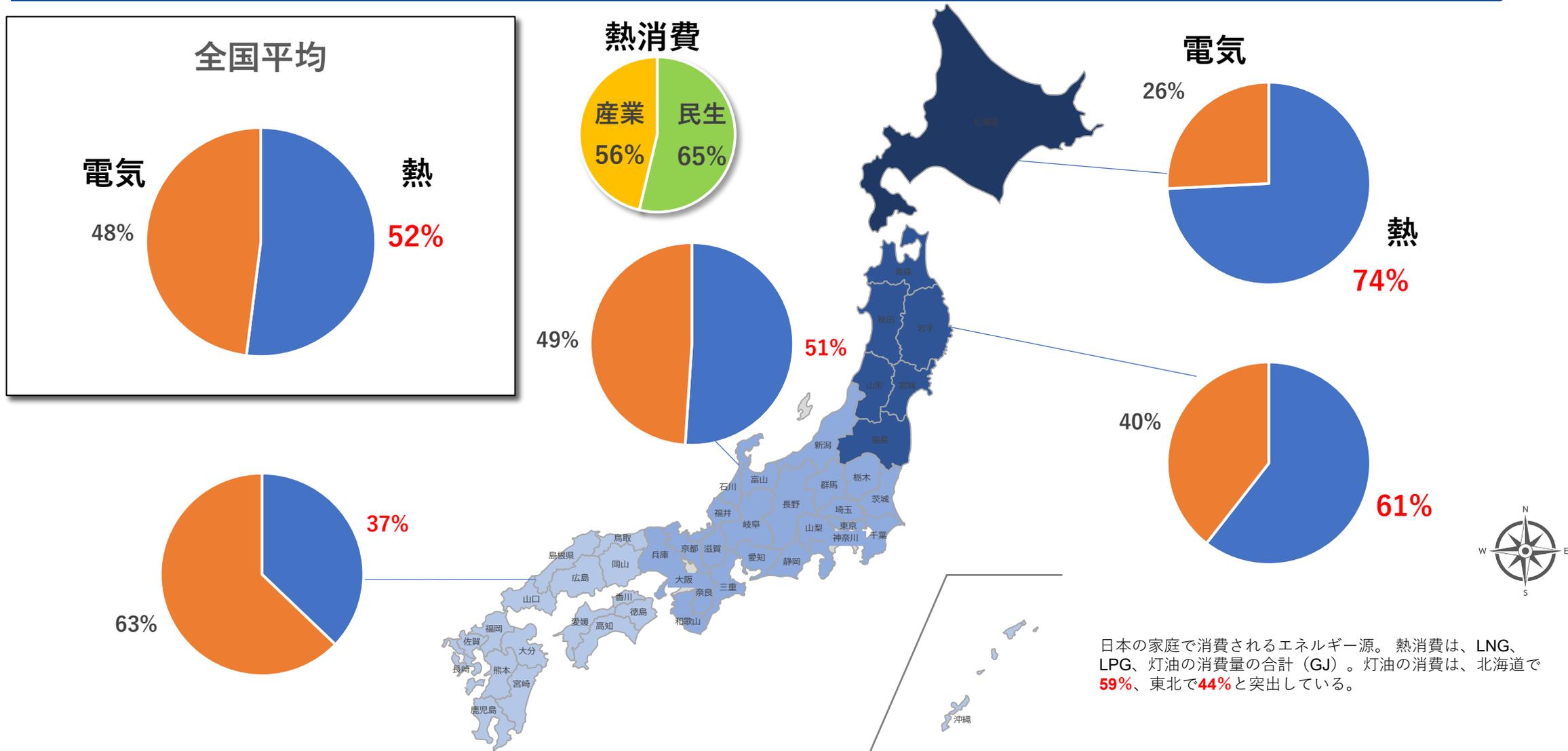
なぜ、もみ殻地域熱供給なのか？

ポテンシャル、利点、課題

## 【メリット1】

エネルギー消費量の半分以上を占める  
熱の脱炭素化に貢献

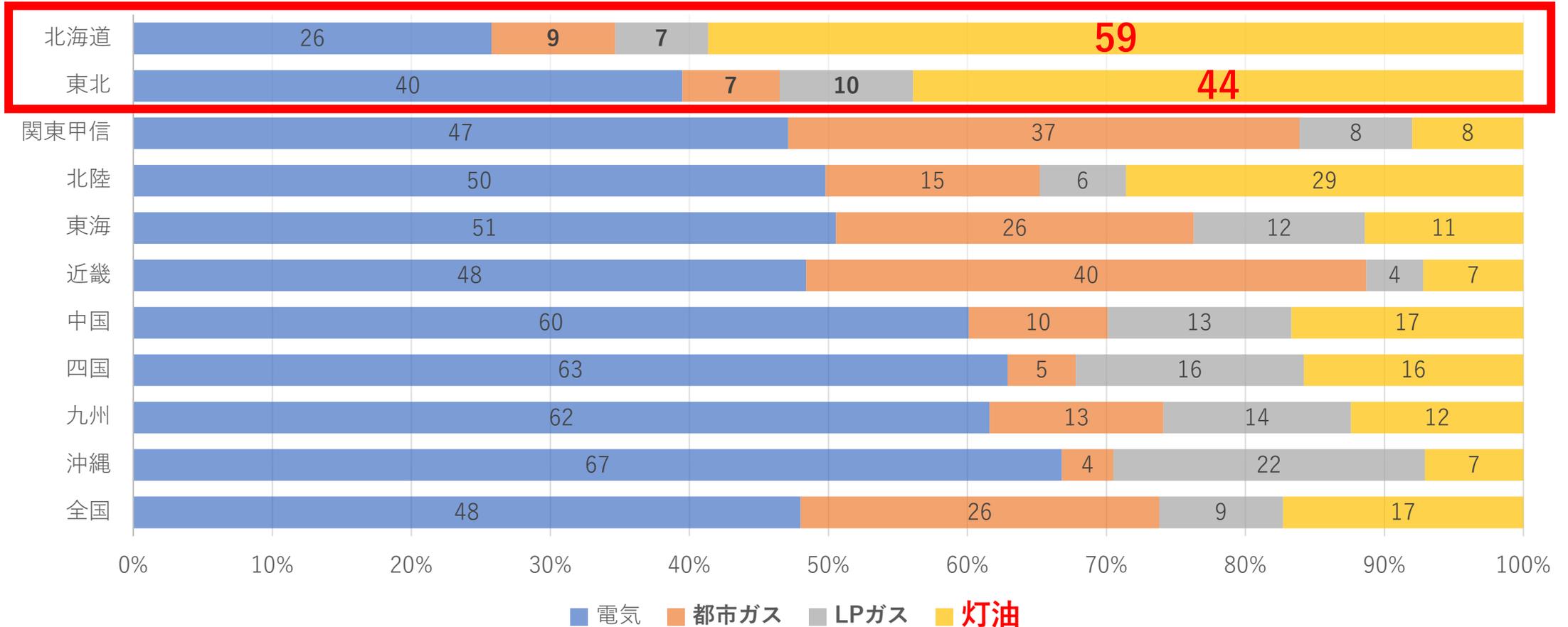
# エネルギー消費量の半分以上を占める熱の脱炭素化に貢献



# 灯油がエネルギー源の北海道と東北

暖房・給湯需要が高い

## 地方別世帯当たり年間エネルギー種別構成比

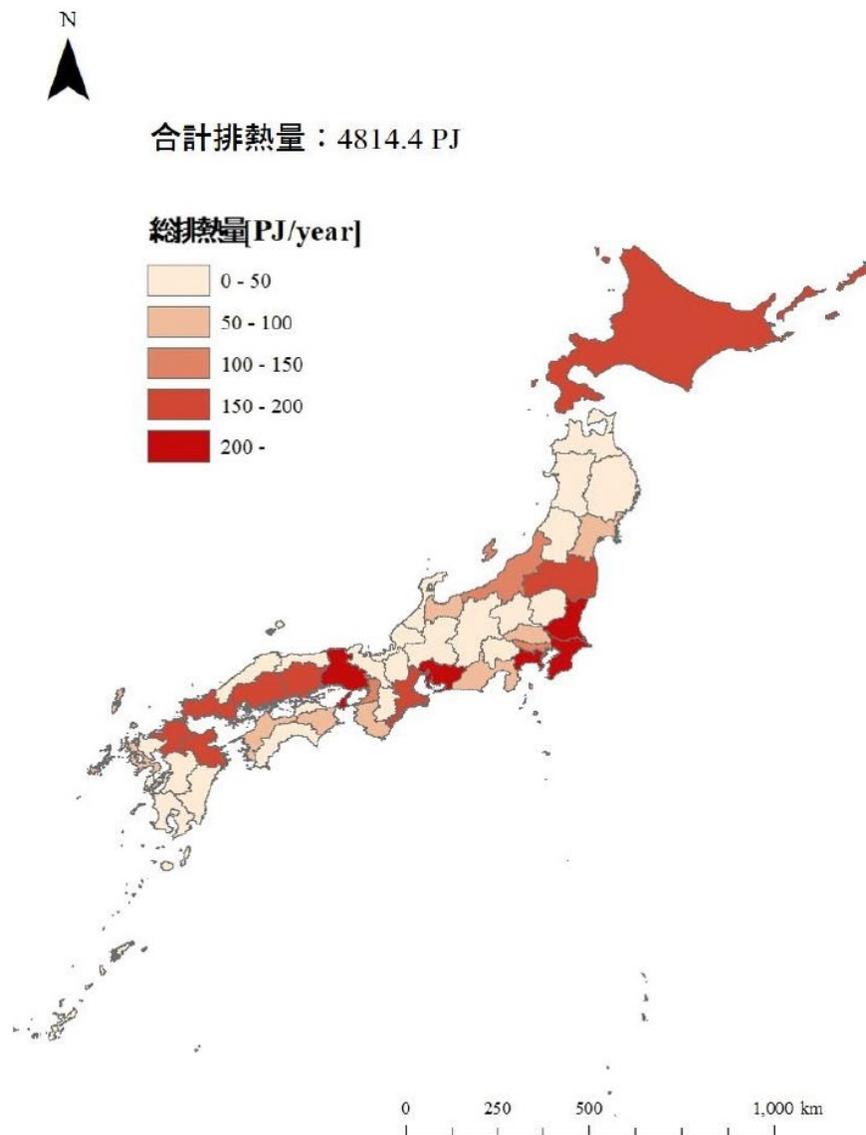


出典：環境省「平成31（令和元）年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査（確報値）」地方別世帯当たり年間エネルギー種別消費量・構成比  
<http://www.env.go.jp/earth/chosa1911-2.xlsx>

## 【メリット2】

未利用の廃熱・低品位の熱利用  
を可能にする

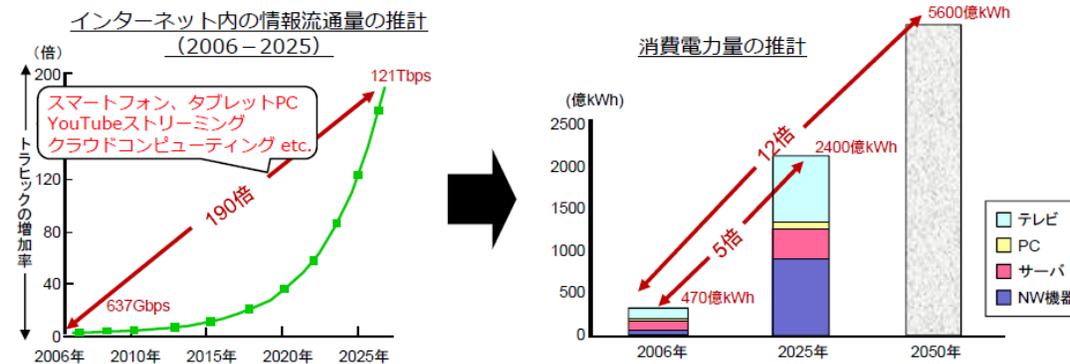
# すべてのエネルギーの最終形態は「排熱」



国	排熱 (PJ)
日本	4,814
デンマーク	139
ドイツ	2,707

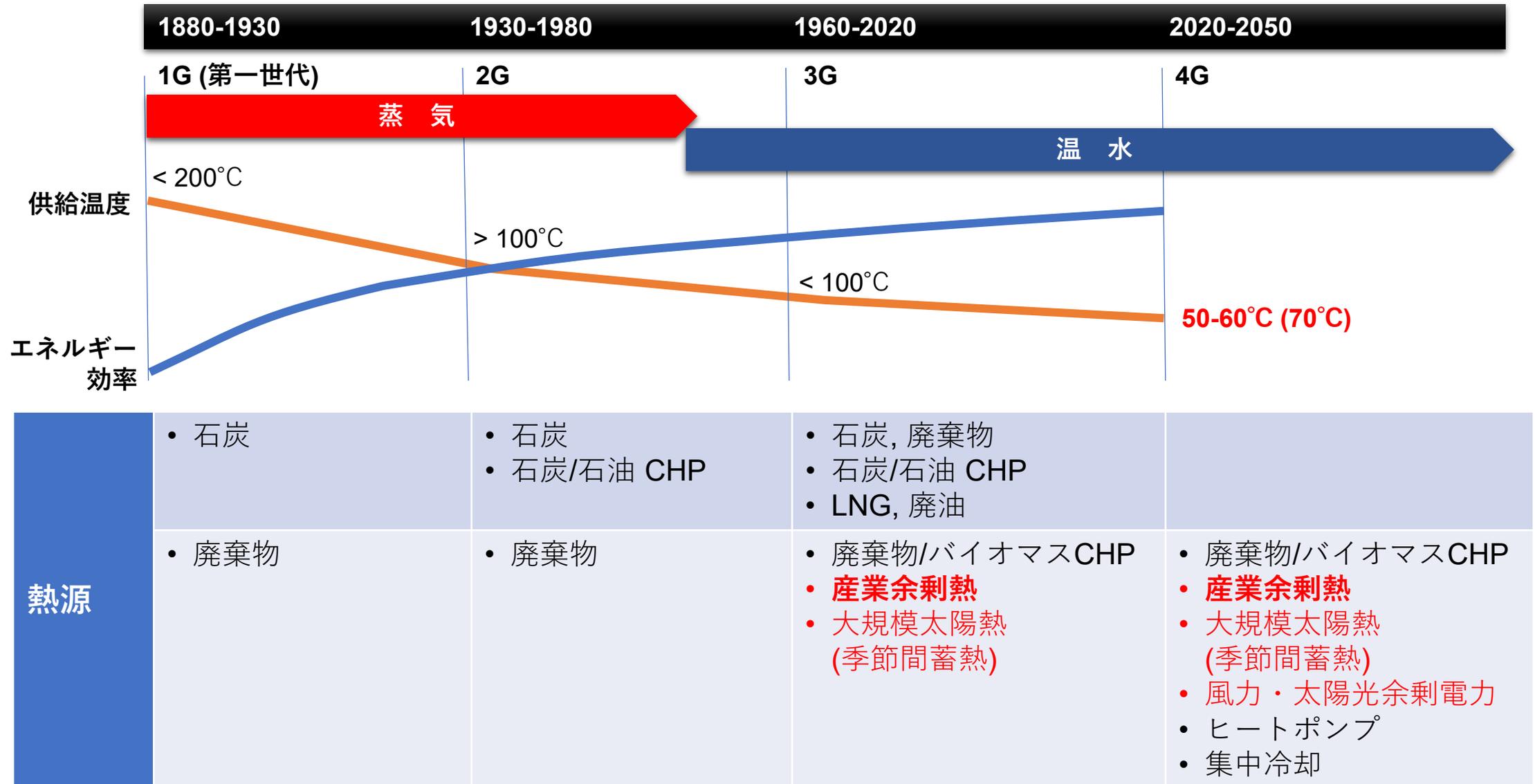
出典：2020年3月4DH国際会議in東京中田俊彦東北大学大学院教授プレゼン資料を編集

## 5G→6Gによる膨大な排熱増加



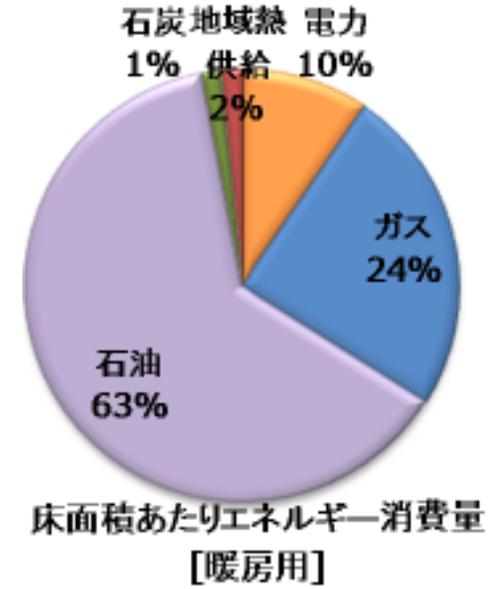
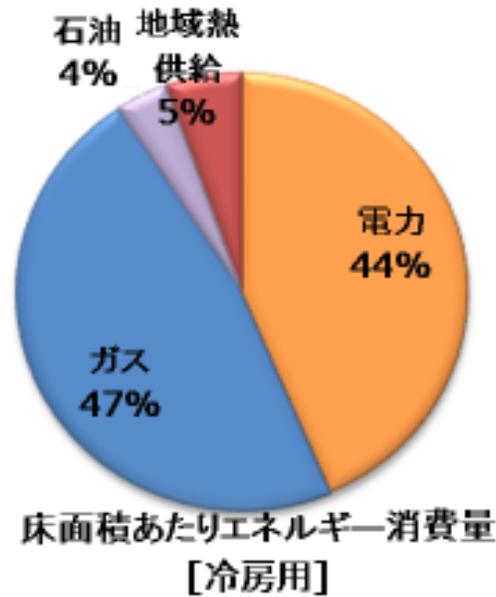
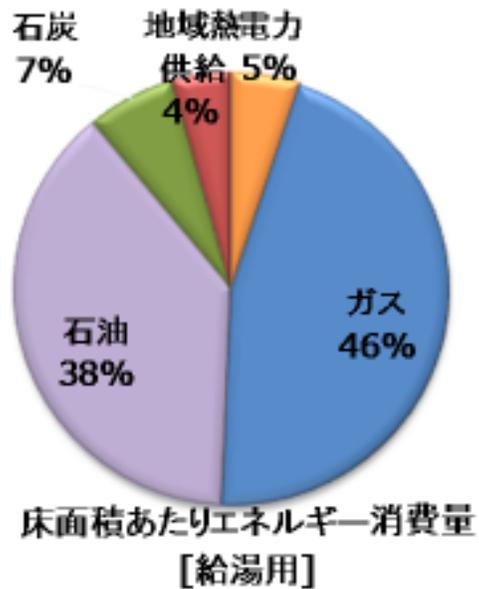
出典：経済産業省 グリーンITイニシアティブ 会議資料より

# 地域熱供給は、未利用の廃熱・低品位の熱利用を可能にする



## 高い「廃熱」、低い「地域熱供給普及率」

- 一次エネルギーの約60%が利用されず「未利用熱」として大量廃棄
- 地域熱供給の普及率 = 給湯4%、冷房5%、暖房2%



## 【メリット3】

未利用地域資源を地域循環できる

# もみ殻の賦存量と用途

収集が容易（CE、未利用）で大量の安定した供給

## もみ殻の賦存量

単位：万トン/年

	米生産量	もみ殻量
日本	776.4	<b>155</b>
世界	69,000	<b>14,000</b>

単位：万トン/年

	都道府県	米生産量	もみ殻量
1	新潟県	66.7	13.3
2	北海道	59.4	11.9
3	<b>秋田県</b>	<b>52.8</b>	<b>10.6</b>
4	山形県	40.2	8.0
5	宮城県	37.7	7.5
6	福島県	36.7	7.3
7	茨城県	36.0	7.2
8	栃木県	31.9	6.4
9	千葉県	29.8	6.0
10	青森県	28.4	5.7

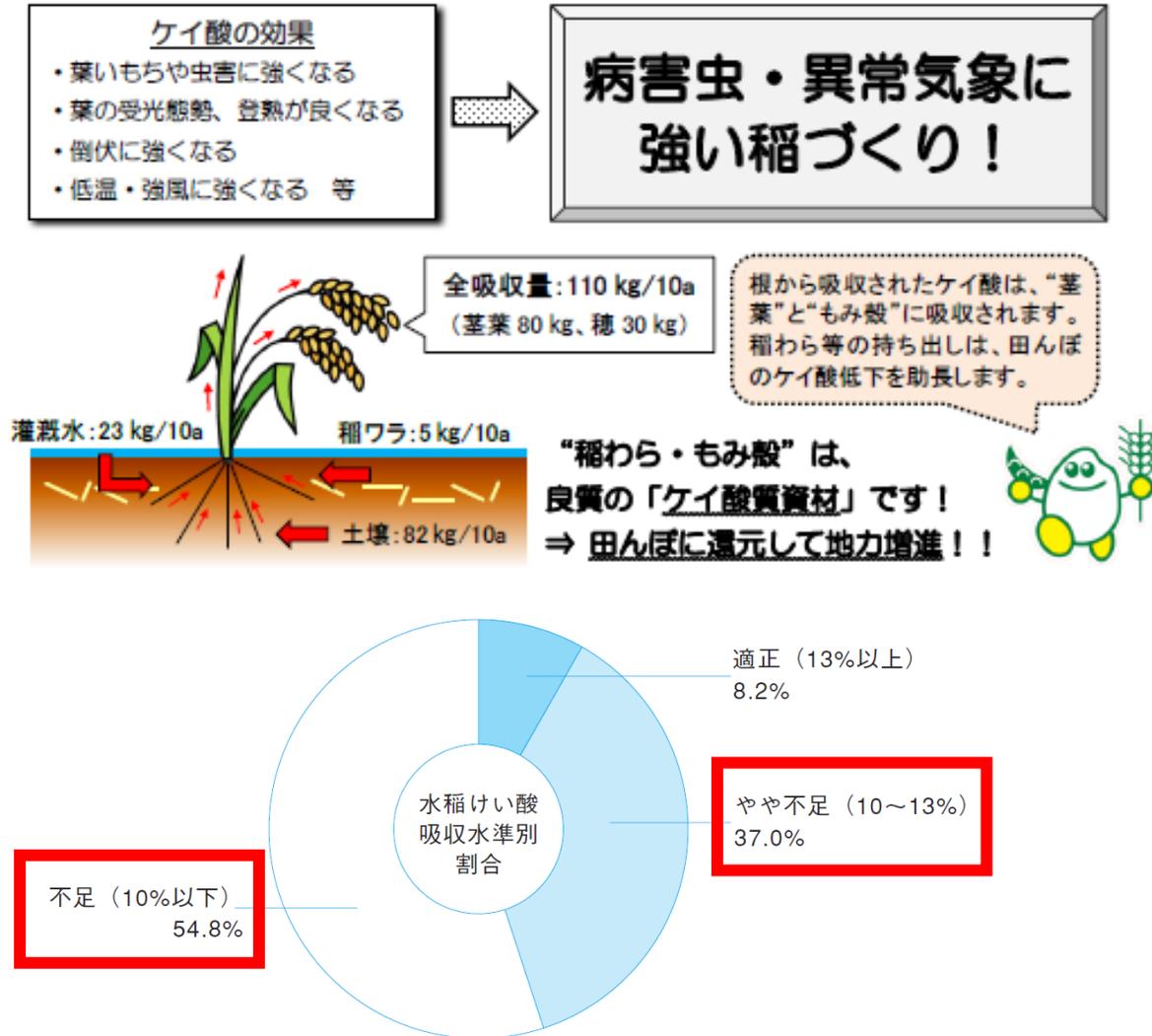
出典：農林水産省（令和2年）[1] 作物統計, [2] 生産量と消費量で見る世界の米事情, [3] 令和2年産水陸稲の収穫量

## もみ殻の産出量と用途

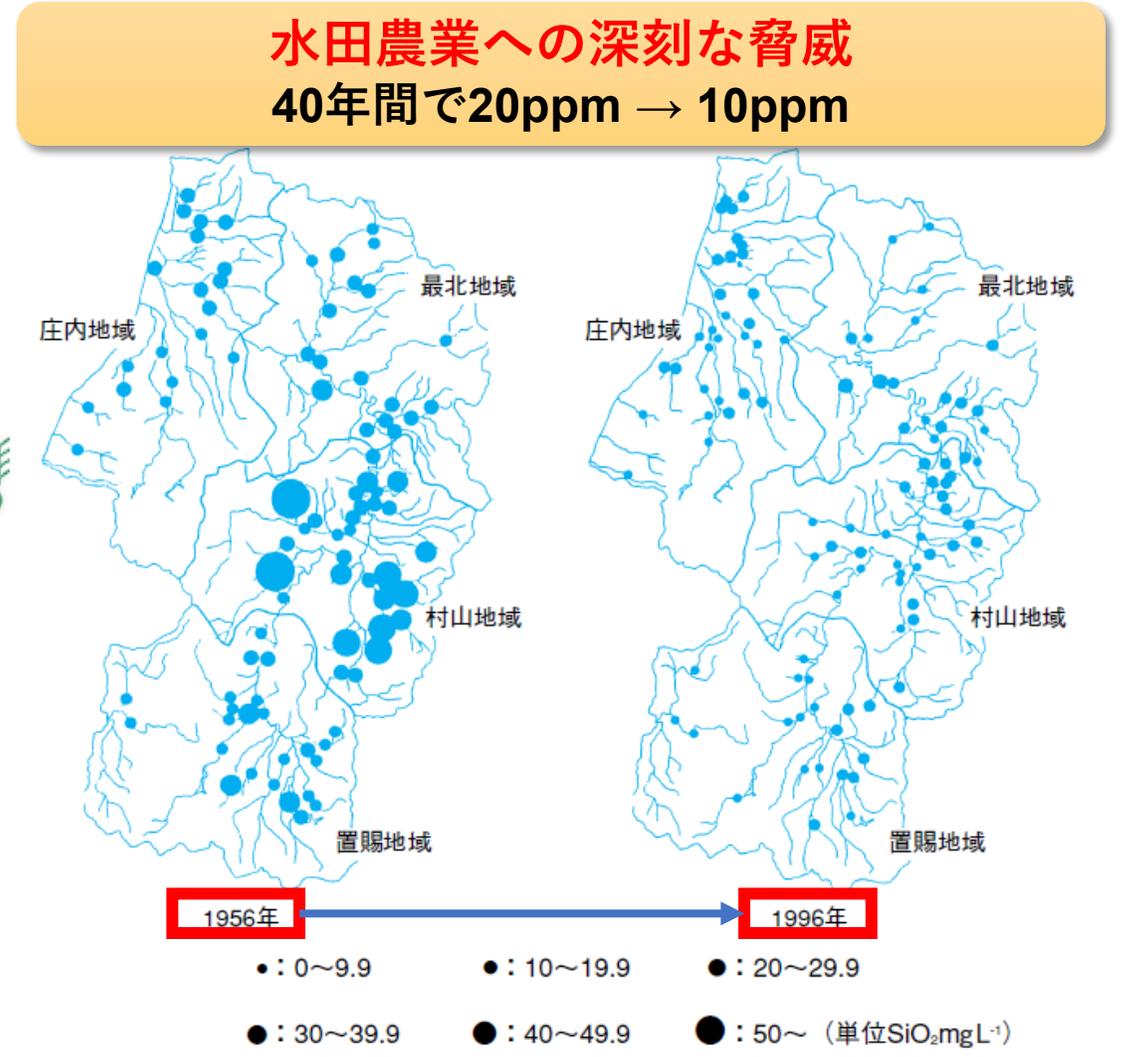
用途	全国		秋田県	
	利用量 (万トン)	利用率 (%)	利用量 (トン)	利用率 (%)
マルチ	11	5	1,248	1.0
床土代替	8	4	35	0.0
<b>暗きよ資材</b>	16	8	17,331	<b>14.0</b>
畜舎敷料	43	21	22,905	18.5
堆肥	45	22	28,061	22.6
くん炭	9	4	9,660	7.8
<b>燃料</b>	2	<b>1</b>		
<b>焼却</b>	29	<b>14</b>	2,533	<b>2.0</b>
<b>その他・不明</b>	45	<b>22</b>	42,164	<b>34.0</b>
合計	208	101	123,937	99.9

出典：[1]NEDO 籾殻賦存量・利用可能量の算出方法（2008）  
<http://app1.infoc.nedo.go.jp/kinds/no2.pdf>, [2] 秋田県農林水産部 稲作指導指針（2017）

# 日本の水田からのケイ酸の流亡



図一 現地調査からみた水稲成熟期茎葉けい酸含有量の適正域・不足域別割合 (上川農試, 宮森)



図二 山形県内における農業用水のけい酸濃度 (熊谷・今野・黒田・上野)

# 燃やさなければシリカを補給できない

秋田県公害防止条例  
では、稲わら・もみ  
殻の焼却を原則禁止



もみ殻は燃やさな  
ければ稲はシリカを効  
率的に吸収できない

美しい空をあなたの手で

# STOP!

## 稲わら焼き

周囲の空気を汚さない環境に優しい米作りをしましょう!

稲わら焼きは県条例で原則禁止されています。  
特に、周辺に影響が出やすい10月1日から11月10日までの間  
全面的に禁止されています。

秋田県

## 稲わら・もみ殻の 焼却をやめましょう

- 一般道をはじめ、特に高速道では稲わら焼き等の煙による視界不良が、重大な事故を引き起こす原因となります。
- 稲わら焼き等の煙は目やノドを痛め、特に体の弱い方や病気の方に被害が及ぶこととなります。
- 焼却を行った場合、県では**氏名公表も含めた嚴重な措置**をとることがあります。
- 稲わら・もみ殻の処分は、県・市町村農林部局やJAから助言を得ながら、焼却せずに有効活用に努めましょう。
- 稲わら・もみ殻の焼却に関してお困りのことがありましたら、最寄りの県地域振興局福祉環境部又は市町村までご相談ください。

秋田県 生活環境部 環境管理課 大気・水質班

〒010-8570 秋田市山王四丁目1-1

電話:018-860-1603 Email:kankan@pref.akita.lg.jp



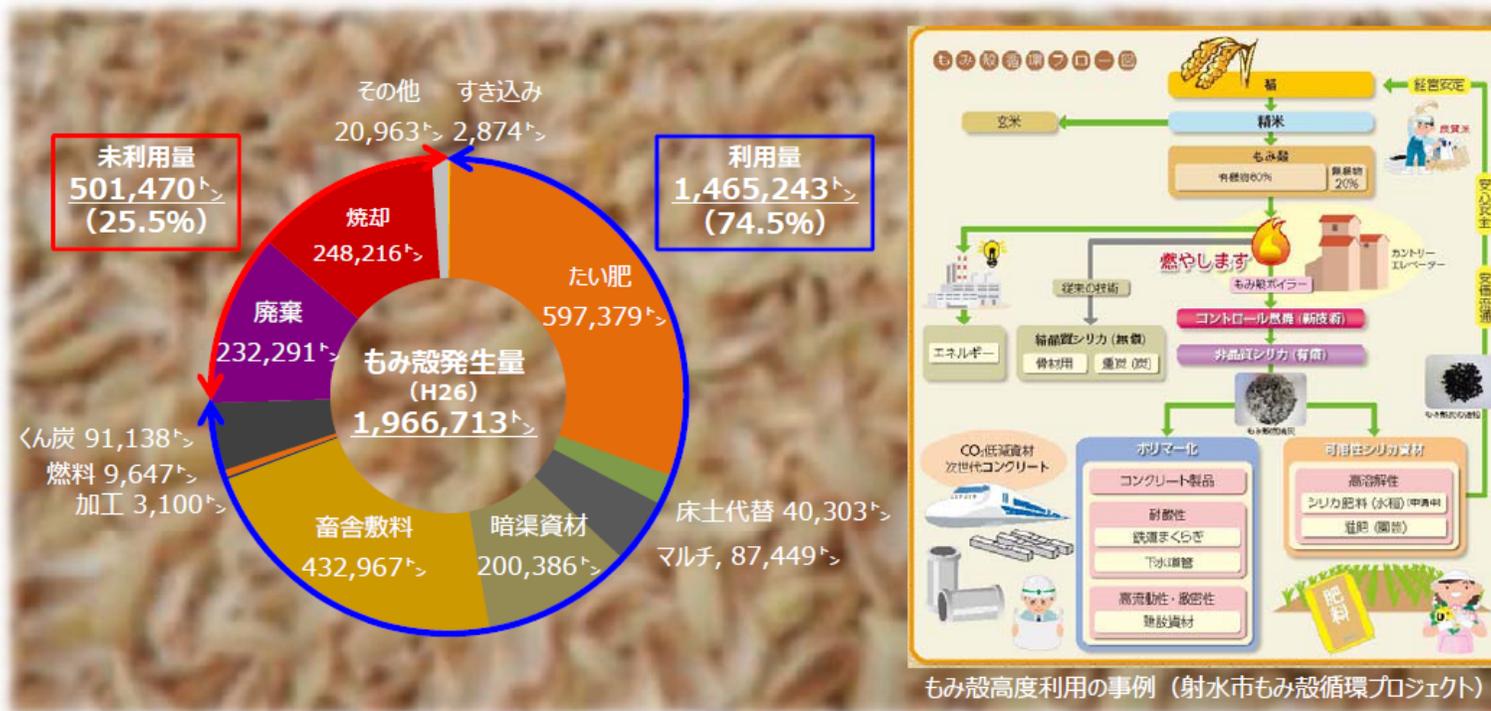
この印刷物は10,000枚作成し、印刷経費は1枚あたり2.75円です。

# 国ももみ殻の地域熱供給への利用を推奨

## (参考3) 農作物非食用部 (もみ殻) の発生量・利用量等について

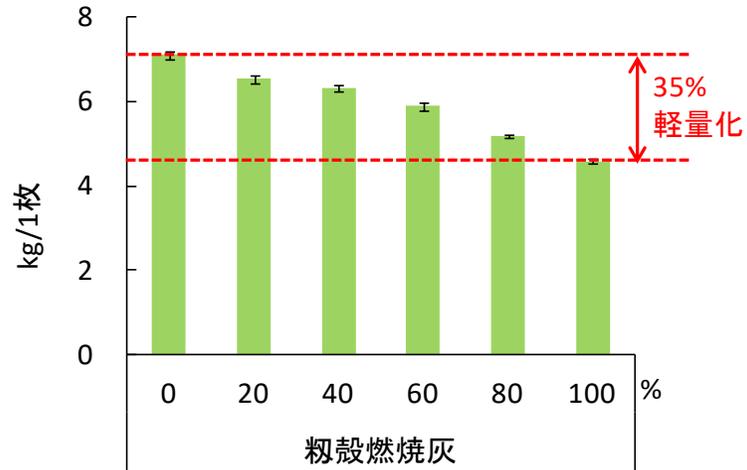
農林水産省  
食料産業局

- 我が国におけるもみ殻の発生量は年間約197万トン、利用率は約74.5%(H26)となっており、稲わらや麦わらを含めた農作物非食用部全体の利用率32%(すき込み除く)に対し高い利用率となっているが、従来からの利用方法であるたい肥、畜舎敷料、暗渠資材などが大宗を占めている状況。
- もみ殻は、従来の利用に配慮しつつ、未利用となっている約50万トンを含め、ライスセンター等に集約される利点を活かした燃料化等によるエネルギー利用(地域熱供給等)や有用物質抽出等によるマテリアル利用(非晶質シリカの資材利用等)など、利用方法の高度化及び利用量の増加が図られることが期待されている。

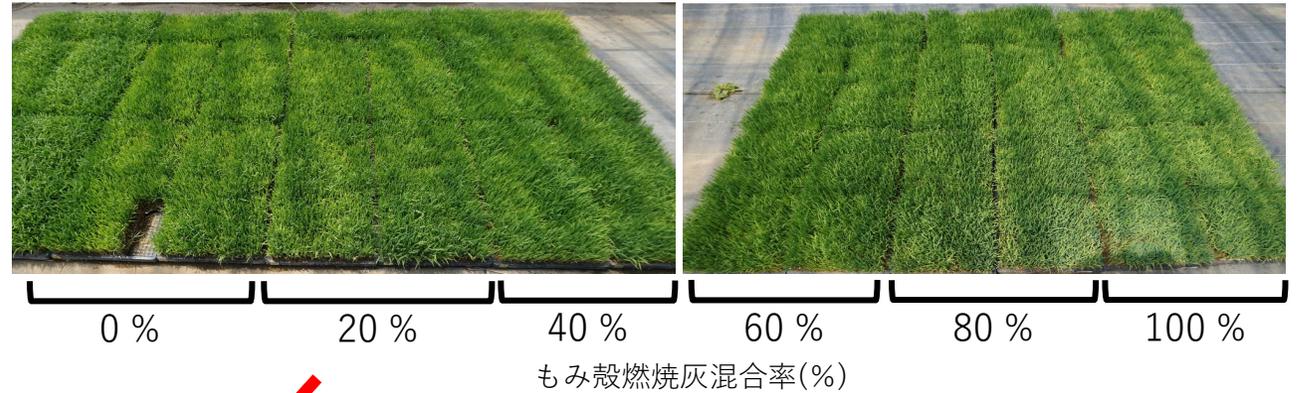


# もみ殻焼灰を混ぜた育苗培土

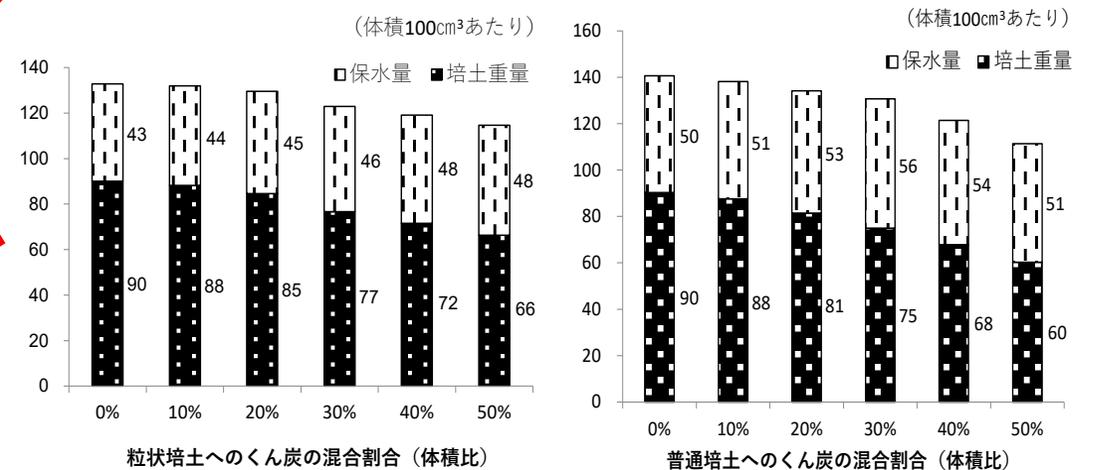
灌水覆土後の育苗箱の重量 (kg)



定植直前の苗の生育状況



もみ殻焼灰の混合率と保水力



軽量化で作業が楽になる

問題なく育つ

保水力も低下しない

## 【メリット4】

需要家に様々なメリットを提供する

安全・安価・安定した合理性の高い供給

# 公共インフラとしてのもみ殻地域熱供給システムの効用

安全性	個別住宅・施設の火災や健康リスク↓
経済的	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ほぼタダ同然の未利用資源を利用（下表）</li> <li>• 化石燃料で外部に流出する富↓</li> <li>• 設備更新は集中型施設を付け替えるだけ</li> </ul>
安定供給	恒常的に排出される未利用地域資源を利用
未来の先取り	少子高齢化社会にマッチしたコンパクトシティ対応

	灯油	木材	もみ殻
費用対効果 (kcal/円)注)	100	280~315	<b>1,500~1,650</b>

注) 以下を元に試算。灯油：1 L = 100円 = 10,000Kcal；木材 = 14,250円/ t , 4,000~4,500Kcal/kg；もみ殻 = 0~2,000円/ t , 3,000~3,300Kcal/kg

出典：大潟村脱炭素推進フォーラム「自然エネルギー100%の村づくりへの挑戦！」秋田県立大学 頼泰樹教授のプレゼンテーションを改変

# 大湊村での挑戦

大湊村「脱炭素先行地域」 ～ もみ殻バイオマス地域熱供給 ～

## 大潟村熱供給事業に関するISEPおよびデンマークの関わり

年月	活動
2014	在京デンマーク王国大使館と「 <b>デンマーク＝日本グリーン技術協力協定</b> 」を締結
2015	7月 デンマーク <b>PlanEnergi社</b> と技術協力協定を締結 大潟村「平成27年度大潟村分散型エネルギーインフラプロジェクト・ <b>マスタープラン</b> 策定事業に係る調査及び報告書作成支援業務」
2016	2月 デンマークの小規模ボイラーメーカーのロングリスト(22社)を作成 <b>PlanEnergi社</b> の助言に基づきそこからショートリスト(6社)を選定
	4月 一般社団法人全国ご当地エネルギー協会所属の7社を中心に簡易ボイラーワーキンググループを組成
	5月 <b>WG</b> 所属の4社および在京デンマーク王国大使館とともに日本への簡易ボイラー導入のため、ショートリスト6社に対する現地調査を実施 大潟村「もみ殻バイオマス熱供給事業 <b>実現可能性調査</b> 業務」
2017~2021	<b>結晶性シリカ</b> を発生させない高効率もみ殻ボイラー開発のための <b>もみ殻燃焼試験</b> (計8回、うち6回はデンマーク現地で試験実施)
2020	3月 <b>PlanEnergi社</b> とISEPで <b>Plan Community Energy</b> 合同会社を設立
2022	大潟村「環境省 <b>脱炭素</b> 先行事業」

# 【先行事例】 山形県最上町マイクロ地域熱供給

平成30年度

～ 若者定住環境モデルタウン 木質バイオマスエネルギー地域熱供給システム ～

## 若者定住環境モデルタウンの概要

開発区域面積 10,830.34㎡  
(1.08ha)

- 若者定住促進と地方創生の展開
- 雪との共生と快適なモデルタウンの形成
- 人と環境にやさしいモデルタウンへスマートコミュニティタウンへ
- モデルタウン内のコミュニティ形成

### モデル住宅(6棟) 2タイプ

若者がこの町に家族をもち、安心して子育てを行える住宅環境の提供。人と環境にやさしいモデル住宅として、シンプルで、若者が無理なく取得できるモデル性、再生可能エネルギーを活用した地域熱供給による先進性、次の世代にわたり住宅の構造躯体が使用できる耐久性と耐震性、内装や設備について、統一したプランによる維持管理・更新の容易性、断熱性能などの省エネルギー性が確保された省エネルギー性(省エネ対策等級4相当)、良好な景観の形成や建物単体だけでなく6棟の関連によるモデル的居住環境性を兼ね備えた住宅を建築。  
延べ床面積 95.22㎡  
敷地面積約 249㎡(約75坪)  
1階 LDK26.5㎡(約16畳)  
2階 主寝室 9.52㎡(約6畳)  
子供部屋×2 各9.93㎡(約6畳)



### 分譲地(7区画)

地域熱供給を基本とし、若者定住モデル住宅を参考としながら、モデルタウンの街並みや景観に考慮した住宅を基本とした良質な景観の形成を促進。  
全7区画 敷地面積 255㎡～260㎡

### オープンスペース・タウン農園

タウン居住者が共有財産として愛着をもち、協働による維持管理をしながらコミュニティの強化や環境の維持・向上を図る

分譲地(2区画)

タウン農園

分譲地(5区画)

若者定住促進住宅  
10世帯分

地下熱利用  
道路融雪設備

地域熱供給施設

モデル住宅 6棟

オープンスペース(広場)

地下水熱利用融雪設備

地下100mから地下水をくみ上げ、放熱管を通して地下70mの注入井から地下水を還元する地下水熱還元方式無散水消雪システム。融雪面積 1,931㎡  
(L=273.1m W=9.0 6.0m)

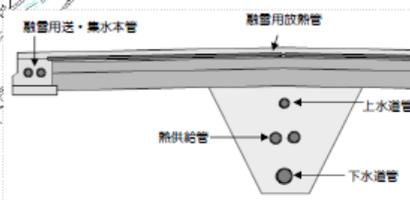
最上町若者定住促進住宅 2棟(10戸)  
(地域優良賃貸住宅)



集合住宅の規模は2LDK(3～4人を想定)。持ち家住宅取得(定住)までの準備期間として若い子育て中の世帯や新婚世帯を中心に活用していただく。

### 地域熱供給施設

乾燥チップ焚きボイラ 90kW  
ペレット焚きボイラ 90kW  
薪ボイラ 60kW  
太陽光発電 15.5kW  
バッファタンク 17㎡  
制御システム、熱供給管



所在地	山形県最上町
事業名	若者定住環境モデルタウン地域熱供給
世帯数	23世帯 (一般住宅+アパート2棟)
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木質バイオマスボイラー(木質チップ、ペレット、薪)</li> <li>・熱導管総延長距離 1km</li> <li>・実稼働 5年</li> </ul>
効率	熱供給効率 92% システム全体の効率 68%
稼働	24時間稼働。需要家が外出する時も止めない。1週間とか留守にするときは管理者の方で18℃などに設定(通常は22℃前後の設定)
効果	新規移住3世帯 (過去20年間ゼロ)

## 【大潟村】 高い環境意識

2011~14	公共施設15カ所にPVを計155kW（環境省・文科省補助）導入
2013	大潟村自然エネルギーの導入及び省エネルギーの促進に関する実施計画
2015	大潟村分散型エネルギーインフラプロジェクトマスタープラン
2015	大潟共生自然エネルギー太陽光発電所（2MW）
2019	大潟村脱炭素型地域づくりモデル形成事業検討報告書
2020	「ゼロカーボンシティ」表明及び「バイオマス産業都市」採択



大潟共生自然エネルギー発電所



無代かき栽培の圃場（左）と代かきした圃場（右）



ソーラーカーレース

# 【大潟村】 未来を先取りした集住化 → 熱密度 ↑



# 【障害】結晶性シリカ（クリストバライト）の発がんリスク

高温燃焼で結晶性シリカ発生

- 自然界には鉱物を除いて殆ど存在しない
- EUでは鉱物由来のみで植物由来は問題視（=規制）されていない
- ただし、**高温で熱せられると非結晶が結晶化する**
- 国際がん研究機関（IARC）は珪肺症（silicosis）を煩っている人に肺がんが発症するリスクがあるとしている（労働環境衛生上、結晶性シリカ粉塵  $< 0.1 \text{ mg/m}^3$  →労働環境でコントロール）
- 日本では「労働安全衛生法」およびその施行令で「**表示義務**」規定

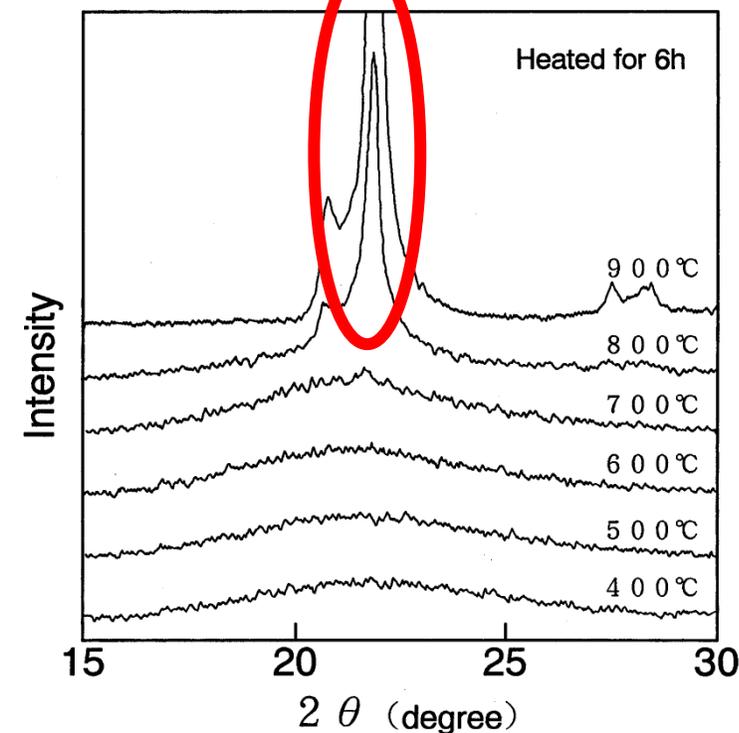


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of rice husk ash heated at various temperatures.

出典：The European Network on Silica, Good practice guide on workers health protection through the good handling and use of crystalline silica and products containing it, 2020, pp. 56.

出典：井上耕三, 原尚道, もみがら灰の加熱条件とその性状, 無機マテリアル, 3 (1996) 312-318.

# 【課題】安全で高性能ボイラーおよびもみ殻燃焼灰の利活用方法の開発

---

## 1. 課題と可能性

- 日本でも研究開発がされているが、バイオマスボイラーがそれほど普及していないため、価格や性能・効率性に課題がある
- デンマークは同方面で長年の経験と広い普及ベースがあるので信頼の置けるボイラーが存在する
- デンマークではシリカや灰分含有量が多い麦わらボイラーが普及しているので応用が容易

## 2. 研究開発

2017年から①結晶性シリカ灰をコントロールするもみ殻燃焼ボイラーシステムと、②燃焼灰の利活用方法を共同開発

【日本側】環境エネルギー政策研究所 (ISEP)、大潟村、秋田県立大学

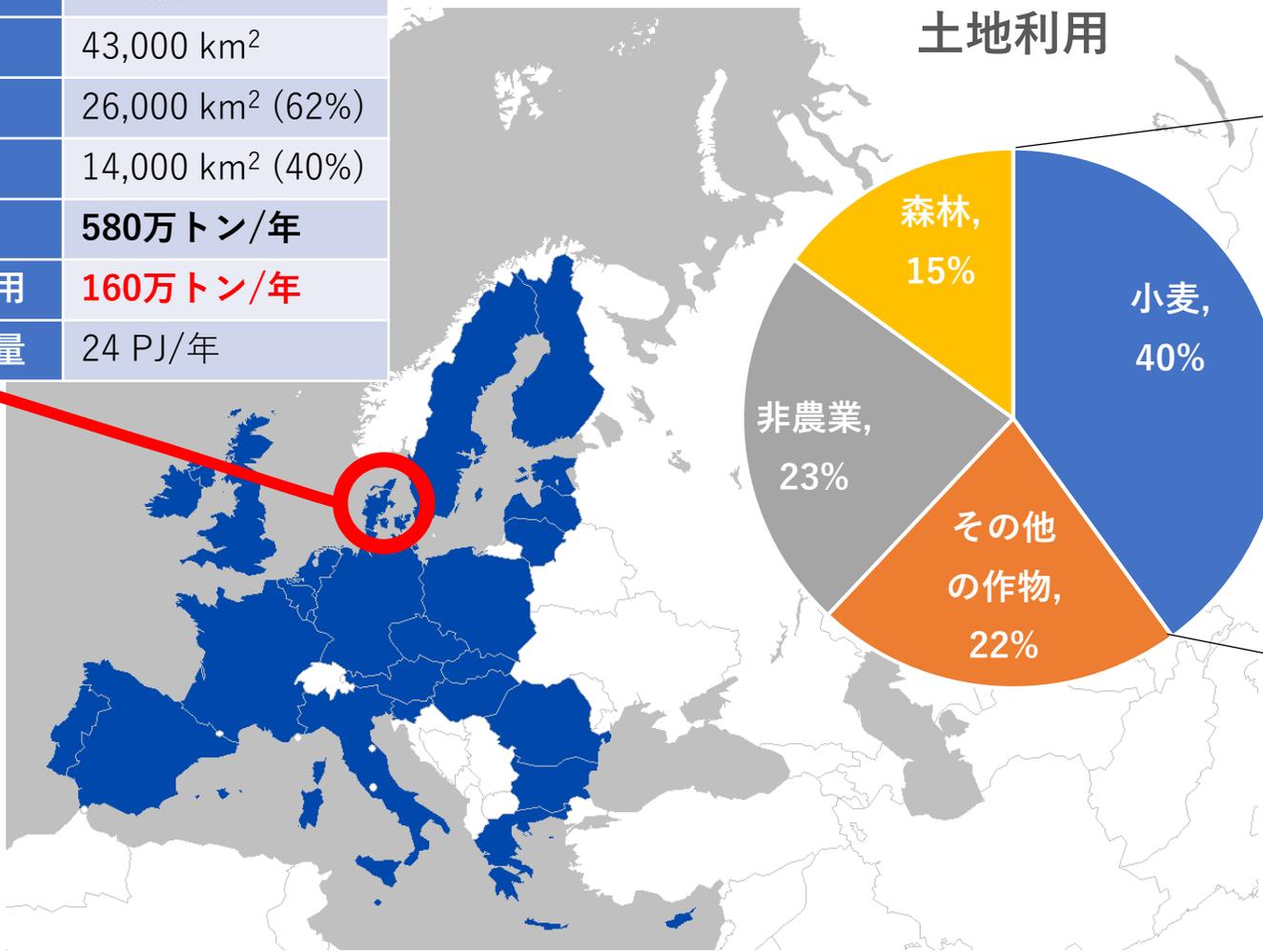
【デンマーク側】Linka社、PlanEnergi社（Plan Community Energy合同会社）

## 国内外のボイラーでもみ殻燃焼試験を実施して候補を決定

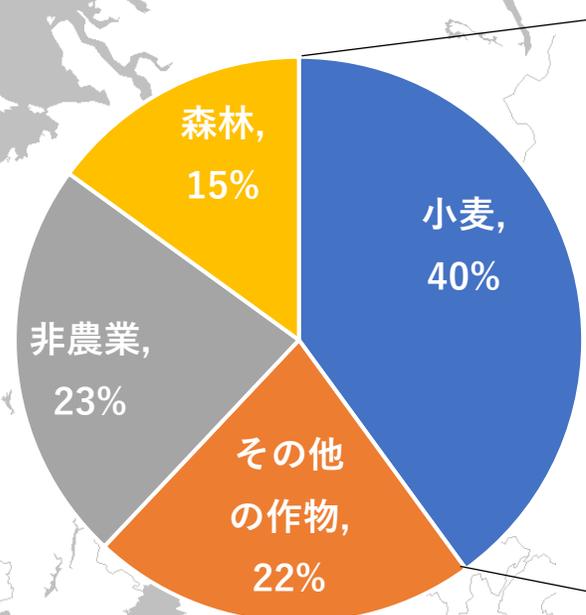
国	メーカー	燃料・用途	結果
日本	A市	もみ殻焼却炉（一部熱利用）	結晶化 ↓、熱出力 ↓
	B社	焼却炉	結晶化 ↑、熱出力 ↑
	C社	もみ殻燻炭製造炉（一部熱利用）	結晶化 ↓、熱出力 ↓
	D社	もみ殻燻炭・培土製造施設	結晶化 ↑
	E社	もみ殻ボイラー	結晶化 ↓、熱出力 ↑、コスト ↑
	F社		結晶化 ↑
デンマーク	REIKA	木質チップボイラー	結晶化 ↑
	Twin Heat	木質チップ・ペレットボイラー	結晶化 ↑
	<b>Linka</b>	<b>木質チップ/麦わらボイラー</b>	<b>結晶化 ↓ + 麦わらの燃焼制御</b>

# デンマークでの麦わらエネルギー利用

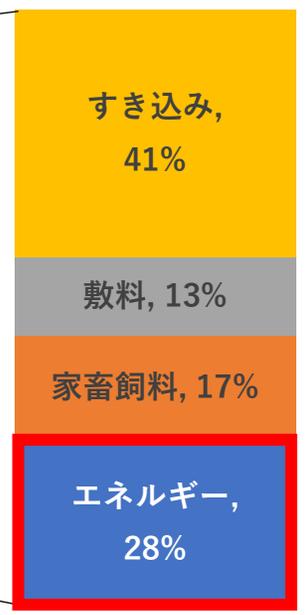
人口	580万人
国土面積	43,000 km <sup>2</sup>
農地面積	26,000 km <sup>2</sup> (62%)
小麦生産面積	14,000 km <sup>2</sup> (40%)
麦わら生産量	<b>580万トン/年</b>
麦わらのエネルギー利用	<b>160万トン/年</b>
麦わら由来エネルギー量	24 PJ/年



## 土地利用



## 麦わらの活用方法



出典：Experience with straw firing in Danish combined heat and power plants, Orsted, 2018

# デンマークでの麦わらボイラーの課題解決

## 問題



高温燃焼時の灰分, KClによるクリンカの集積



Clによる空気予熱器や煙道ガス冷却管の腐蝕



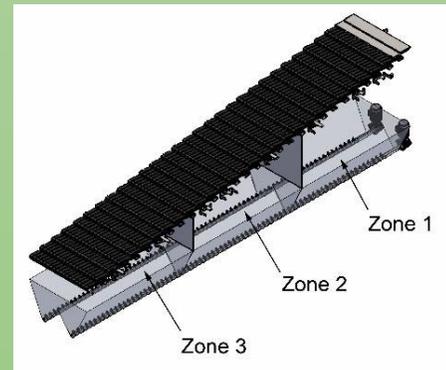
## 解決

### ■ 燃焼（温度）のコントロール

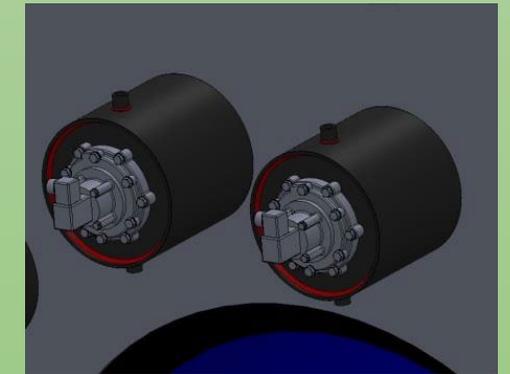
- 排ガス循環による空冷
- 冷却水による水冷
- ラムダセンサーによる燃焼空気調節
- 1次、2次燃焼空気による完全燃焼

### ■ 機械的な防止策

- 階段式火格子による燃料移動
- すす落としブラスター機構(Chokblaster)によるすす・クリンカ除去
- クロム12~18%の合金 (Cr, Ni, Fe)



階段式火格子



Chokblaster

## シリカを除けば、麦わらよりもみ殻の方が燃焼上問題が少ない

もみ殻は**灰分とシリカが多い**がそれ以外は麦わらの方が厄介

もみ殻灰は**シリカが多く**、それ以外の**クリンカ生成物質は麦わら灰の方が多い**

成分	麦わら	もみ殻
<b>バイオマス</b>		
灰分 (湿重量%)	6.44	<b>18.03</b>
Cl (mg/kg)	3,965.1	960.1
Ca (mg/kg)	4,170.0	1,256.0
K (mg/kg)	8,670.5	2,794.0
Si (mg/kg)	28,507.7	<b>81,180.0</b>
IDT (初期変形温度, °C)	896	1,365
SOT (軟化温度, °C)	968	1,370
FT(流体温度, °C)	1,255	1,650

成分	麦わら	もみ殻
<b>燃焼灰 (湿重量%)</b>		
Cl	1.90	0.73
SiO <sub>2</sub>	53.07	<b>89.39</b>
K <sub>2</sub> O	18.79	5.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.62	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92	0.22
CaO	7.60	1.30
MgO	2.09	0.57
Na <sub>2</sub> O	1.30	0.35
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.02

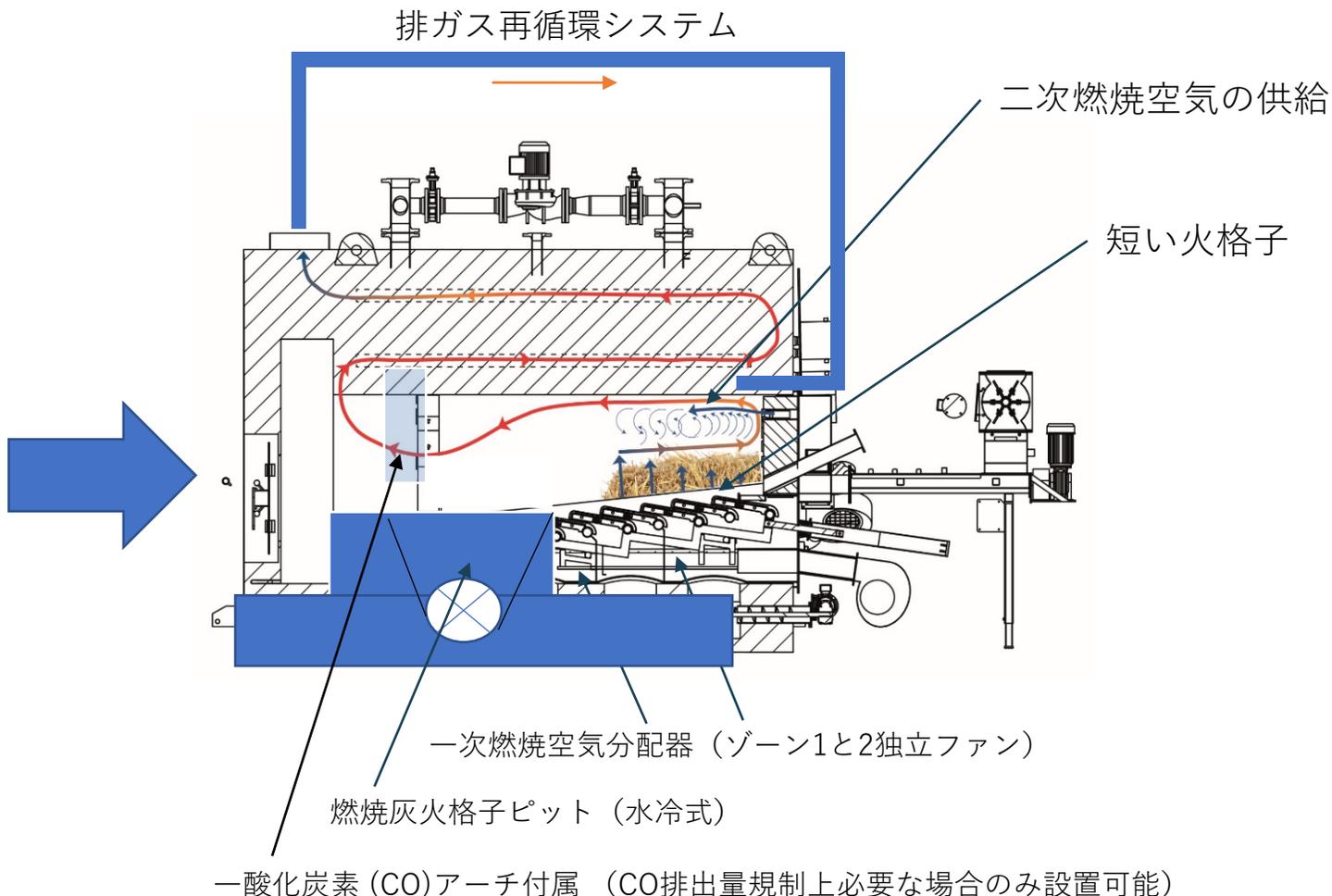
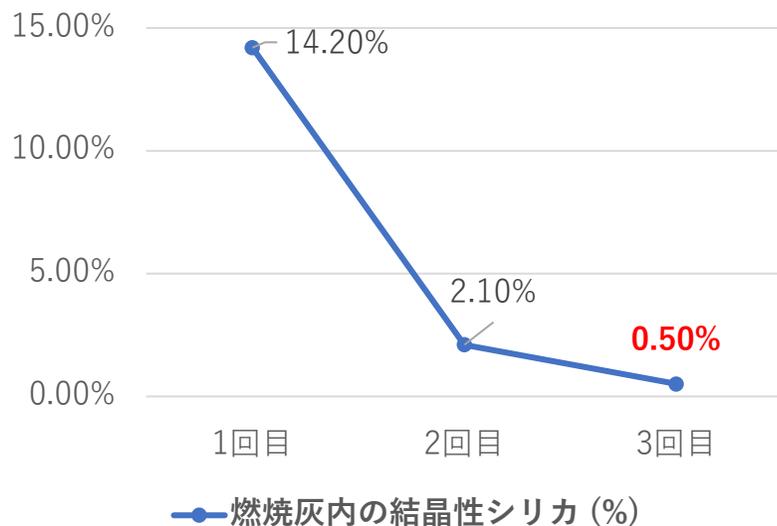


# Linka社 改良型もみ殻ボイラー

## 結晶性シリカを出さないボイラーの設計

- ・ もみ殻を高温で燃焼させると短時間で結晶性シリカが生成
- ・ 熱出力、燃焼温度、時間のバランスが重要

## もみ殻燃焼試験の結果



注) 実験室内試験、予備試験を含めて、2017年10月から2021年1月までに、計8回のもみ殻燃焼試験を実施した。試験はLinka社 (デンマーク)、X線結晶解析は秋田県立大学で実施した。そのうち有効なもののみ掲載。

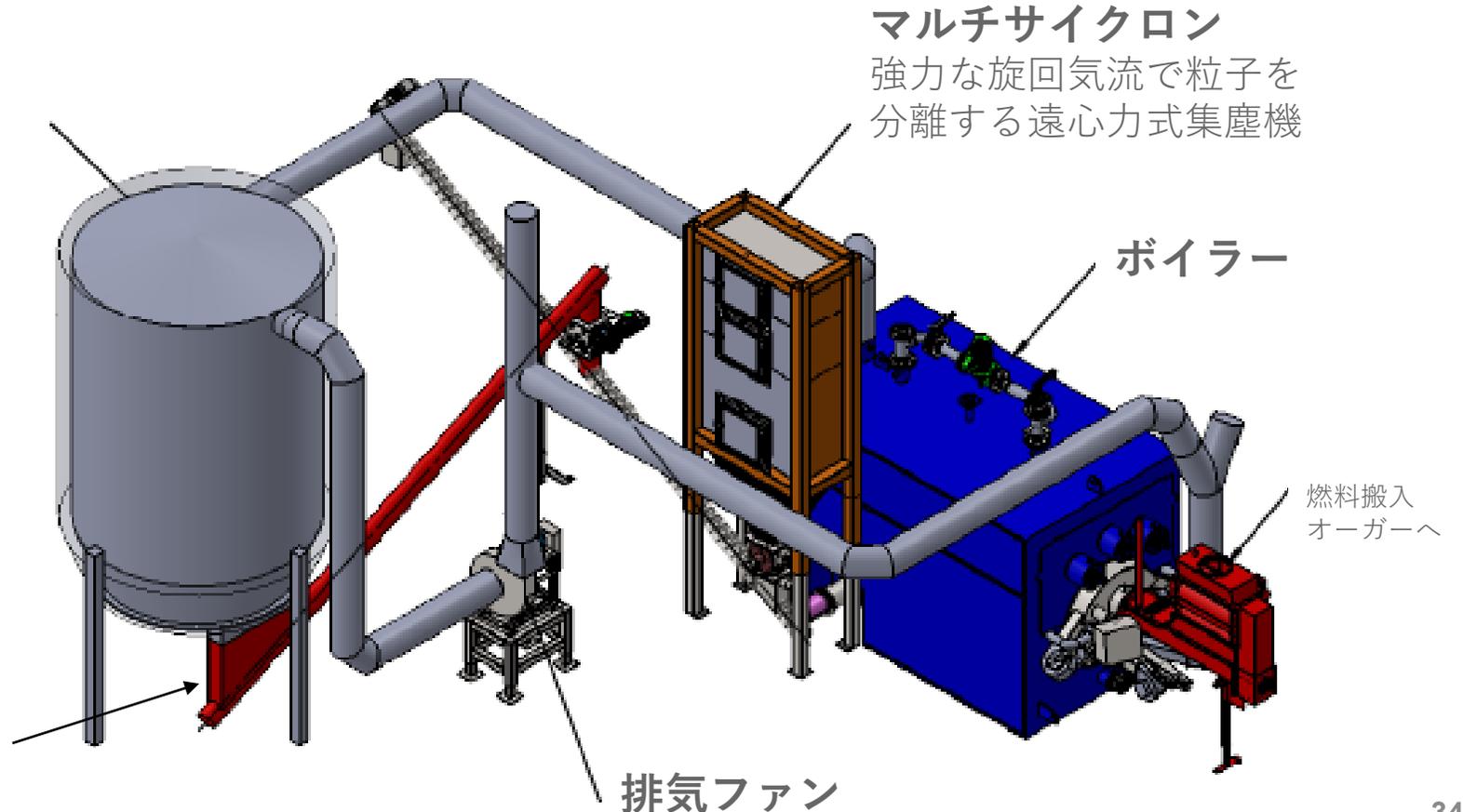
© 2022 Linka Energy. All rights reserved.

1. 密閉サイクルによる飛散防止（燃烧灰、飛灰）
2. バグフィルター、マルチサイクロンなどによる粉塵除去（飛灰）
3. 製品販売時は培土やペレット化を想定

バグフィルター  
排ガス中のダストを集塵  
するろ過式集塵機



オーガー式密閉灰自動搬送機構  
スクリーンで燃烧灰を自動で押し出す



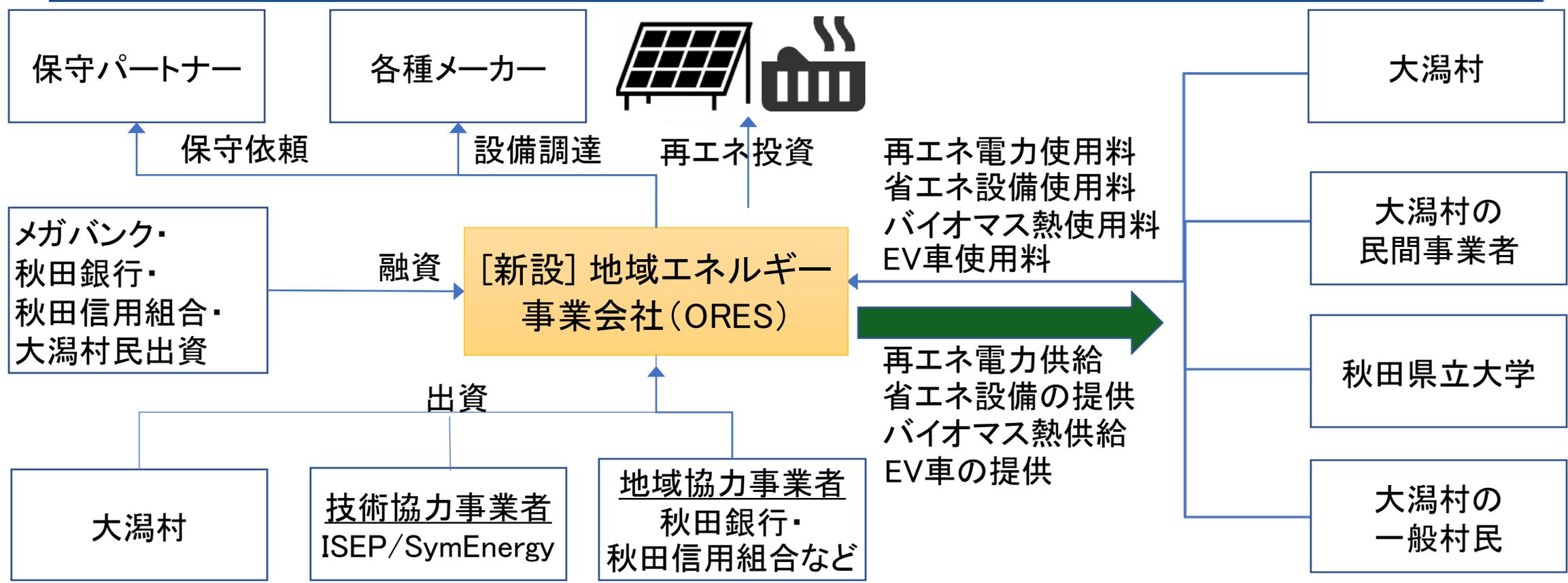
# 大潟村の地域熱供給ネットワーク（計画）



集住地域の公共施設・大学・住宅にもみ殻ボイラーから熱供給



# 熱と電気の「地域エネルギー会社」=日本版シュタットベルケ



- 大潟村の関係者を中心にエネルギー事業会社を設立し、再エネ電源・バイオマスを活用したエネルギー事業を立ち上げ。事業収益は将来の再エネ電源に再投資することで地域循環を実現
- 新設するエネルギー事業会社が関連設備を保有することで、大潟村の需要家に対しては、初期費用を抑えた形で再エネ電力・バイオマス熱を供給し、地域の脱炭素化を促進

# 実施上の課題

現在までの学び・対応と対策

## 現在までの学び・対応と対策

現状	課題	本事業での対応
初期費用の15～40%を占める 建屋が交付金でカバーされない	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業性の確保がより難しくなる</li> <li>必要不可欠な施設を除外する不合理性</li> </ul>	他の補助金等との併用
機材・装置のほとんどが輸入	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期を要する</li> <li>外国語（英語など）での調整</li> <li>慣れたメーカー、施工業者等の不在</li> </ul>	日本法人の設立と内製化



求められる挑戦やイノベーション

【民間】 国内産業の育成・産業基盤の強化

→ コスト低減

【政府】 公共施設としての国の方針と施策

→ 廃熱利用に必要な地域熱供給網の整備  
合理的な補助金施策