資料7

鶴岡市における官民連携による消化ガス発電事業について

第22回　下水道における新たなPPP/PFI事業の促進に向けた検討会
令和2年8月4日

山形県鶴岡市上下水道部下水道課
浄化センター　佐藤　孝幸

鶴岡市の概要

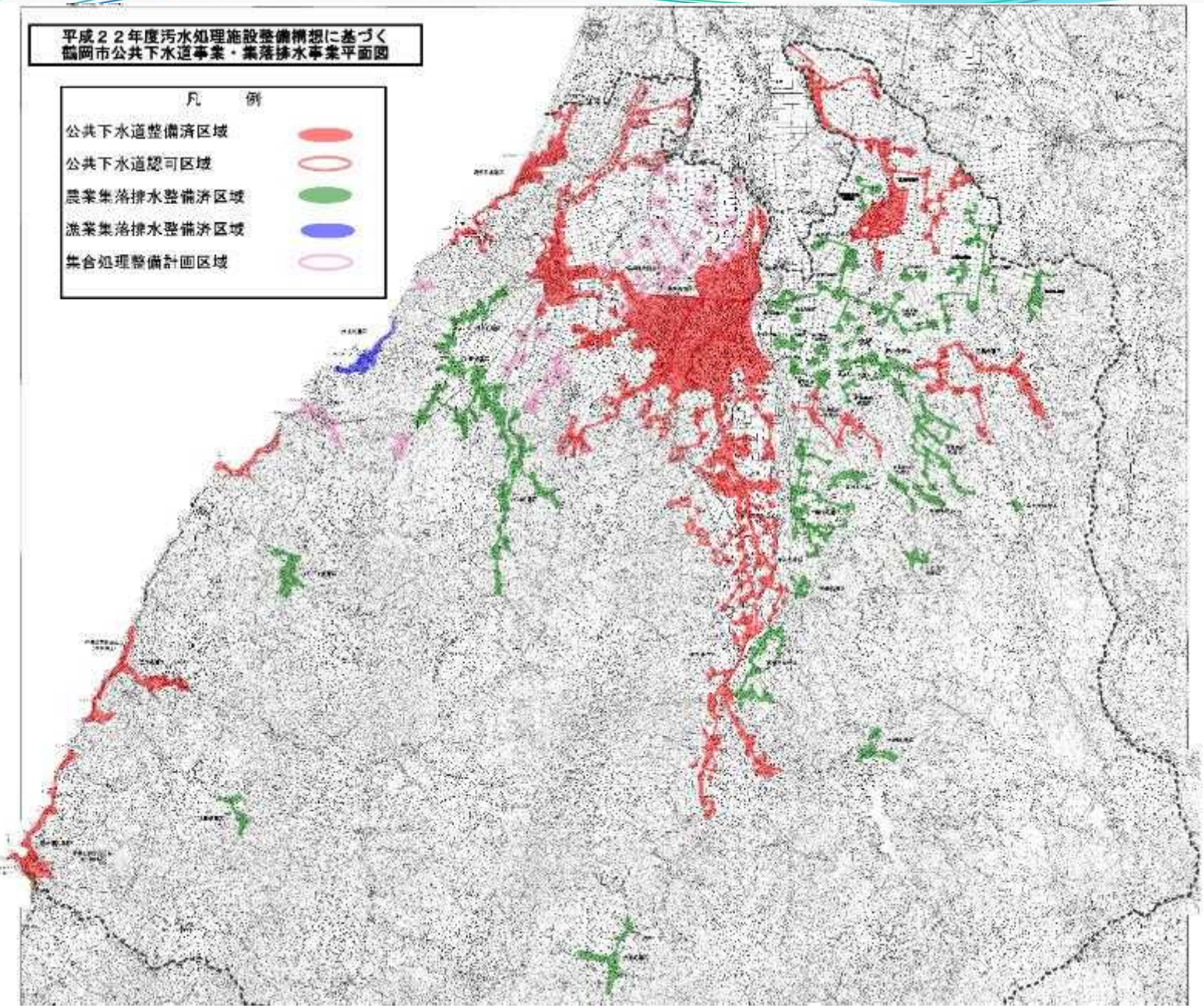
- 平成17年10月1日に1市4町1村が合併、面積1311.51k㎡
  東北で1番大きな市
- 令和2年6月末現在
  人口124,555人
- 土地の61%が山林、15%が農地 、農業が基幹産業
- 出羽三山・加茂水族館・藤沢周平記念館・湯野浜温泉・温海温泉などの観光資源

月山と大鳥居

湯野浜温泉

加茂水族館　クラネタリウム

汚水処理施設整備計画


平成２２年度汚水処理施設整備構想に基づく
臨岡市公共下水道事業・集落排水事業平面図
凡　例
公共下水道整備済区域
公共下水道認可区域
農業集落排水整備済区域
漁業集落排水整備済区域
集合処理整備計画区域

汚水処理施設整備状況

- 公共下水道　公共6処理区、特環4処理区

  処理施設8ヵ所、中継ポンプ場9ヵ所、（汚泥処理施設1ヵ所）

  マンホールポンプ244ヵ所　（流域公共2処理区）

- 集落排水　農集21処理区、漁集1処理区

  処理施設22ヵ所、中継ポンプ場4ヵ所、マンホールポンプ175ヵ所

  （合併時は処理施設36ヵ所）→平成28年7月羽黒中央統合による。

市設置浄化槽　496基

- 人口普及率　92.2%（接続率人口92.9%）

鶴岡浄化センターの概要

- 昭和55年5月供用開始

敷地面積　　69，282㎡
排除方式　　分流式
処理方法
　水処理　：　標準活性汚泥法
　汚泥処理　：　重力濃縮、機械濃縮、嫌気性消化処理、脱水

計画処理人口　79，760人
全体処理能力　49，600㎥/日　（現有：38，800㎥/日）

- 1日に約27，000㎥の汚水を処理

消化槽への投入汚泥量約130㎥/日に対して消化ガスは
日平均約3，040Nm³（年間約111万Nm³）発生している。

消化ガス発電開始までの経緯

鶴岡市地域エネルギービジョン

「～スモール・スマート・サスティナブル

エネルギーネットワークシティ鶴岡～」

を下水道で具現化する

鶴岡浄化センター

「下水汚泥の処理過程で発生する

メタンガスの活用」

固定価格買取制度の制定

- 平成24年7月　経済産業省　固定価格買取制度（FIT制度）

固定価格買取制度（FIT制度）とは
「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」は、再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束する制度です。(経済産業省HPより)
平成27年度の価格(調達価格1kWh当たり)
メタン発酵ガス　調達価格39円+税　調達期間　20年間

消化ガスの発電有効利用にはコストがかかり、
設備投資回収することが困難だったが

FIT制度により取り巻く環境が一変

- **平成26年7月　国土交通省「新下水道ビジョン」**
  水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化を提示、他のバイオマスと連携した下水汚泥活用やエネルギーとしての利用割合の向上

消化ガス発電開始までの経緯

- 平成 8年 ～　　施設内部利用で発電を計画。
  先進施設視察および機種選定作業を進める。
- 平成12～13年度消化ガスマイクロガスタービン実証実験
- 平成24年 7月　FIT制度施行
  発電事業方式の比較検討（施設内部利用、FIT公設公営、FIT民設民営）
- 平成26年 1月　FIT制度を活用した民設民営（ガス売却）による発電事業を決定
- 平成26年 5月　事業募集の広告
- 平成26年 7月　優先交渉権者決定
- 平成26年 8月　基本協定の締結（㈱水ing）
- 平成26年12月　　設備認定通知（経済産業省）
- 平成27年 3月　電力系統連系承諾（東北電力）
- 平成27年 4月　土地賃貸借契約締結
- 平成27年 5月　建設工事着工
  発電所名「鶴岡バイオガスパワー」に決定
- 平成27年 9月　消化ガス売買契約締結
- 平成27年10月　　発電事業開始（平成47年までの20年間）

事業性評価検討の実施

- 消化ガス発電設備の施設内部利用（社会資本整備総合交付金等活用による自給率向上

施設内部利用

- 市が「FIT制度」による発電事業者

FIT公設公営

- 民設民営によるガス売却による発電事業

FIT民設民営

評価結果

FIT民設民営

- ①　長寿命化に位置づけた関連設備改築工事に影響を及ぼさない。
- ②　既設設備の共用及び最小限な改造により、既設加温設備の運転方法で管理できる。
- ③　民間事業者による運営により発電設備運転管理が不要となる。

評価結果

FIT民設民営

- ④　設備認定範囲は発電設備のみとなり、汚泥消化関連設備は含まれず、電気設備を分離する必要はない。

- ⑤　市の財政支出はなく、資産所有もなしでの事業運営となり、消化ガスを活用した発電を大きなリスクを伴わず実施できる。追加的な投資をせずに環境配慮型の持続可能な下水道事業を進めることができる。

- ⑥　余剰ガス燃焼装置、加温用ボイラーの既設設備改築費用の削減が見込める。

鶴岡浄化センター消化ガス発電事業

民間の資金とノウハウを活用して実施

官民連携

PPP（民間収益施設併設型）

民設民営

BOO（建設･保有･運営）

市からのガス有償売却による発電スタイルを採用

選定経過

- 公募型プロポーザル方式

高度な知識・技術や創造性、構想力、ノウハウや応用力が要求される事業。
十分な現状分析をした上で設定した事業効果や要求水準の達成のため。

安定的な事業運営を求め、経営、施設計画、維持管理等13項目の提案様式を求める。

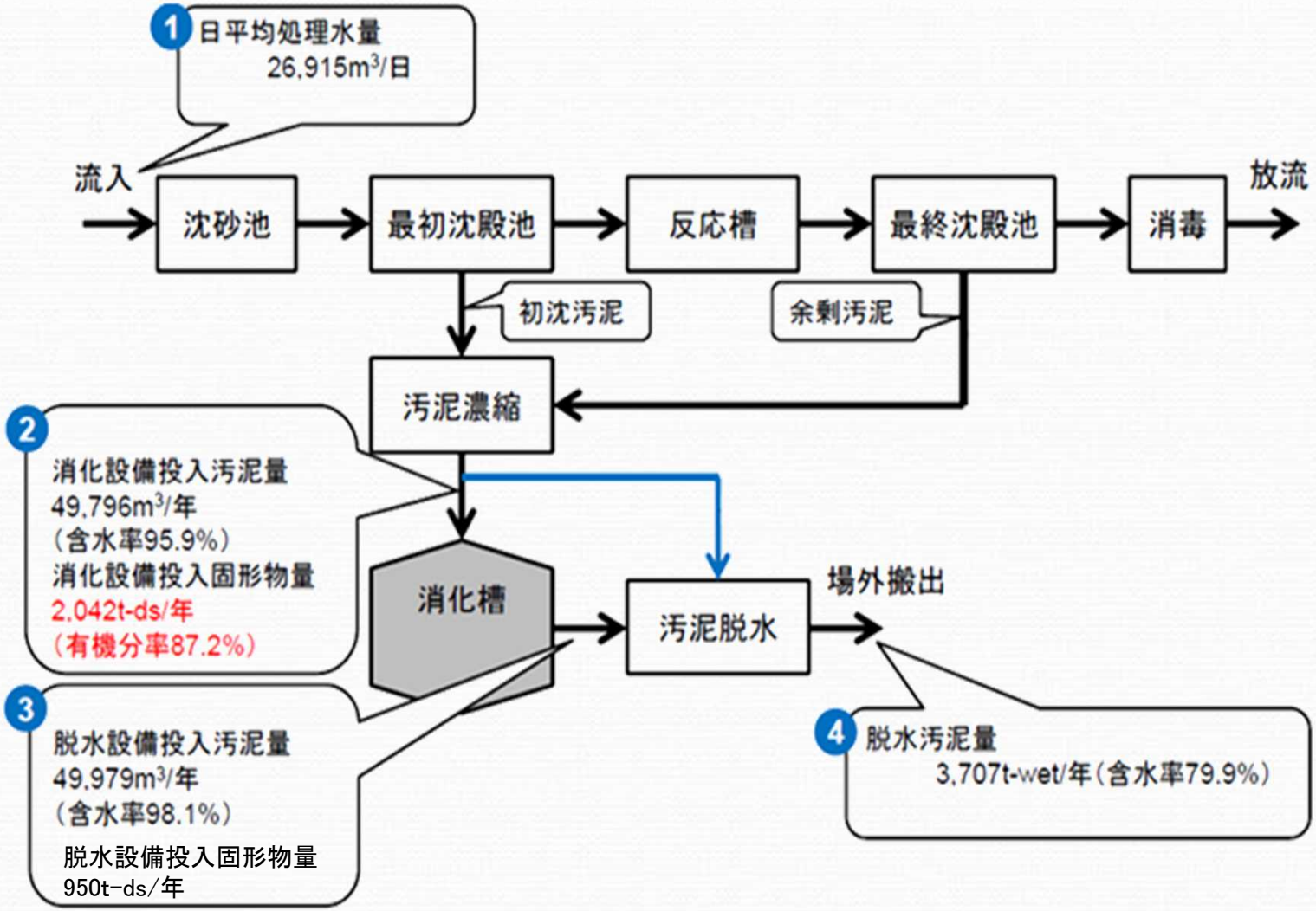
「鶴岡浄化センター消化ガス発電事業選定委員会」

意欲及び実績・能力、施設計画、維持管理、売却価格等各評価項目を総合的に評価を行い審査

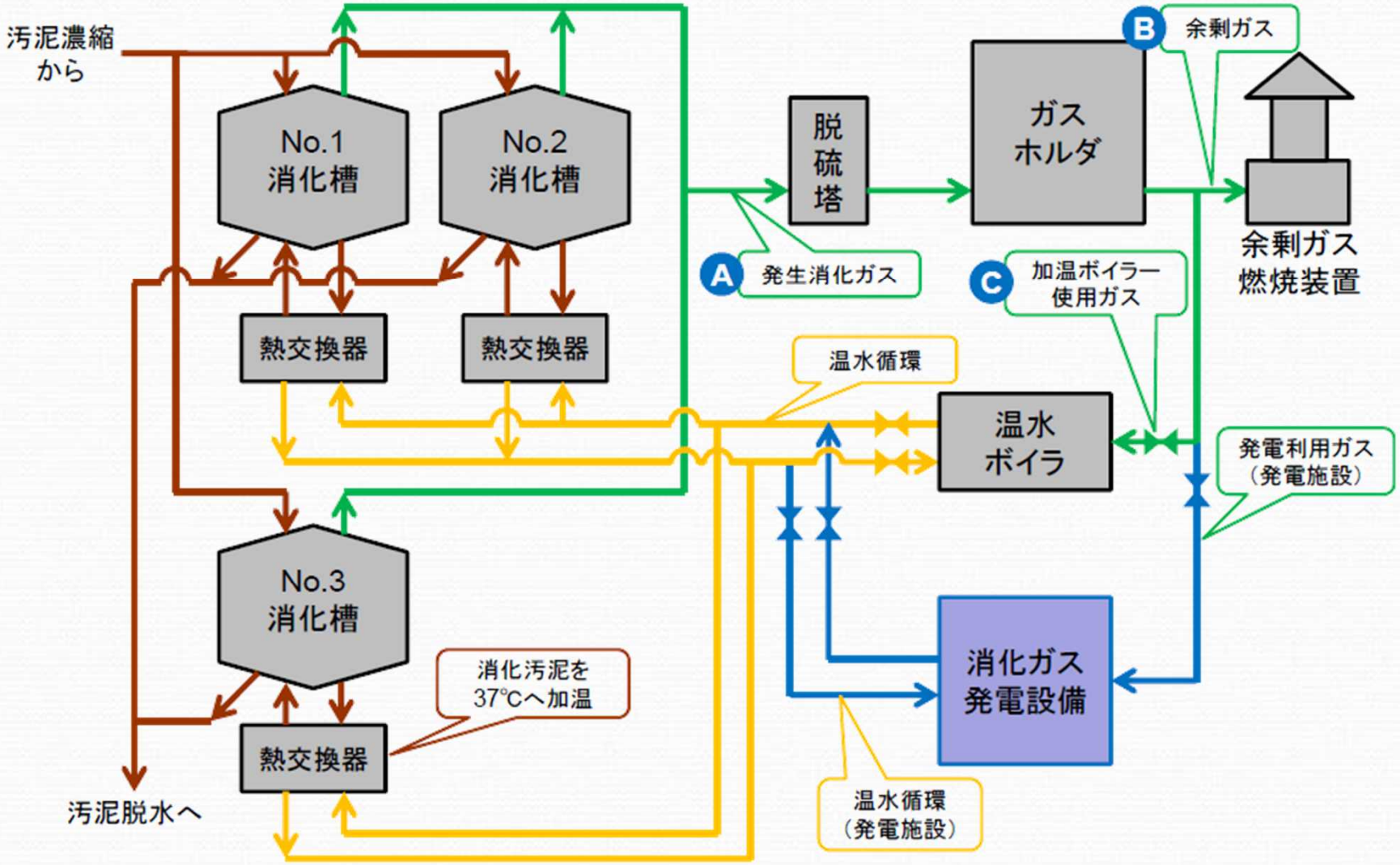
事業概要

事業期間　平成27年10月1日から令和17年9月30日

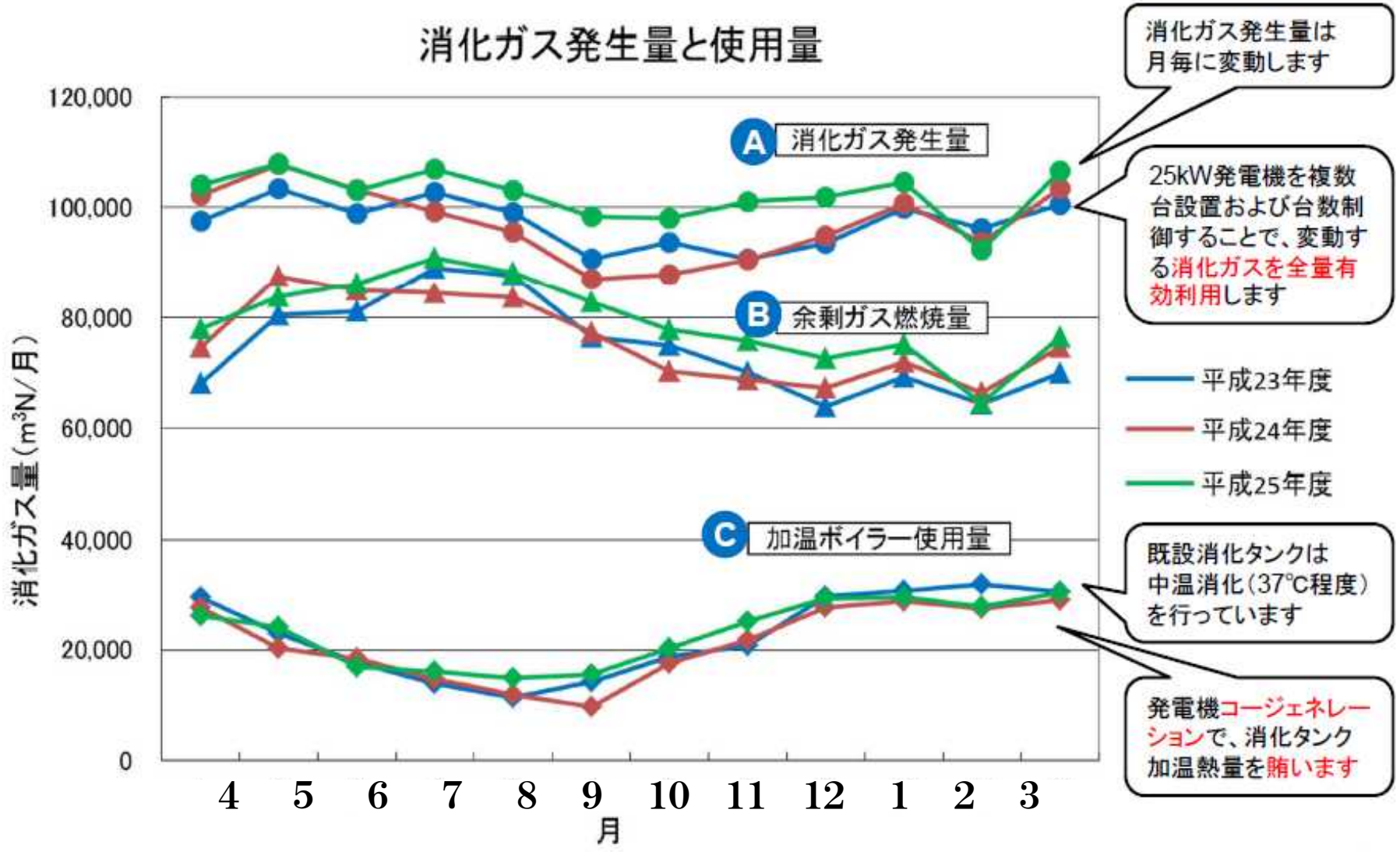
鶴岡浄化センターの処理工程



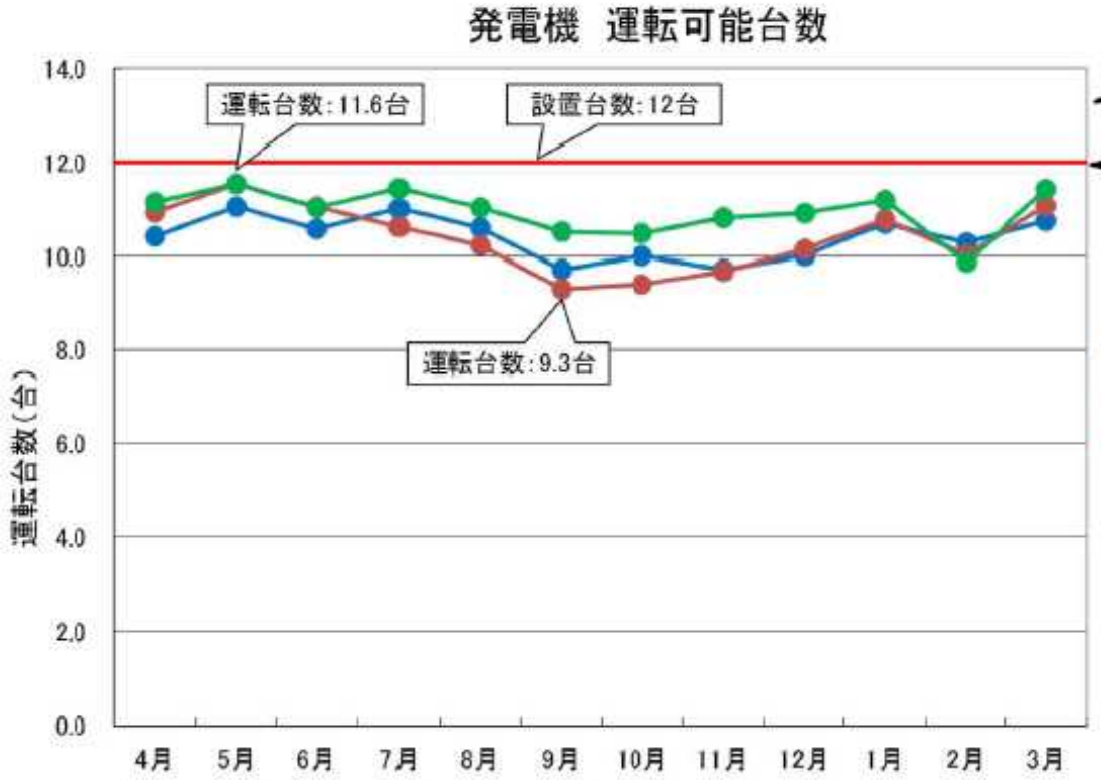
汚泥消化設備の概要


汚泥濃縮
から
No.1
消化槽
No.2
消化槽
No.3
消化槽
熱交換器
熱交換器
熱交換器
脱
硫
塔
ガス
ホルダ
B
余剰ガス
余剰ガス
燃焼装置
A
発生消化ガス
C
加温ボイラー
使用ガス
温水循環
温水
ボイラ
発電利用ガス
（発電施設）
消化ガス
発電設備
消化汚泥を
37℃へ加温
温水循環
（発電施設）
汚泥脱水へ

消化ガス発生量と使用量



消化ガス発電機の概要



発電設備容量は300kW
（25kW×12台）

25kW発電機×12台を並列設置して台数制御し
月毎の消化ガス発生量に合わせて
最適台数で運転します

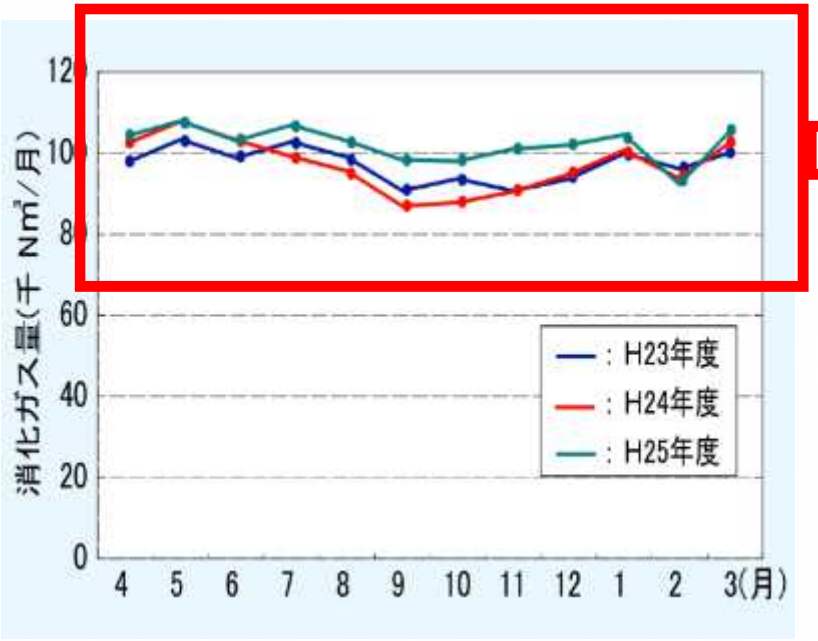
再生可能エネルギー
有効利用のため
発生消化ガスを
全量発電利用します

国内下水処理場で170台の稼働実績
（2015年7月現在）

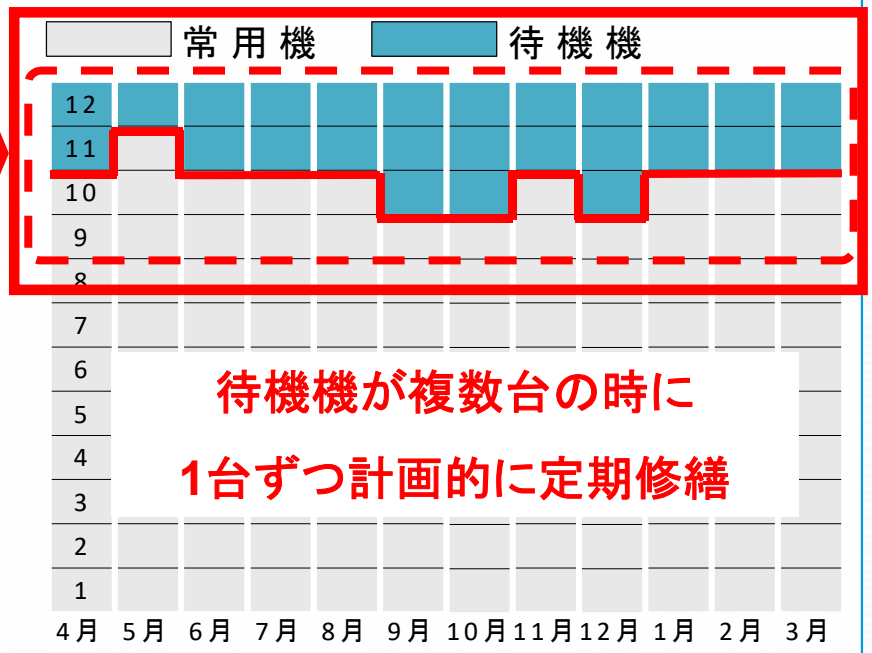
項目	仕様	備考
形式	立形直立水冷4サイクル	ヤンマー製
出力	25kW	（今回）12台設置
発電効率	32%	（今回）総合300kW
熱回収効率	52%	
メタンガス使用範囲	55%～75%	

季節変動する消化ガスを全量発電利用するために、12台の発電機を台数制御します

季節変動に柔軟に対応

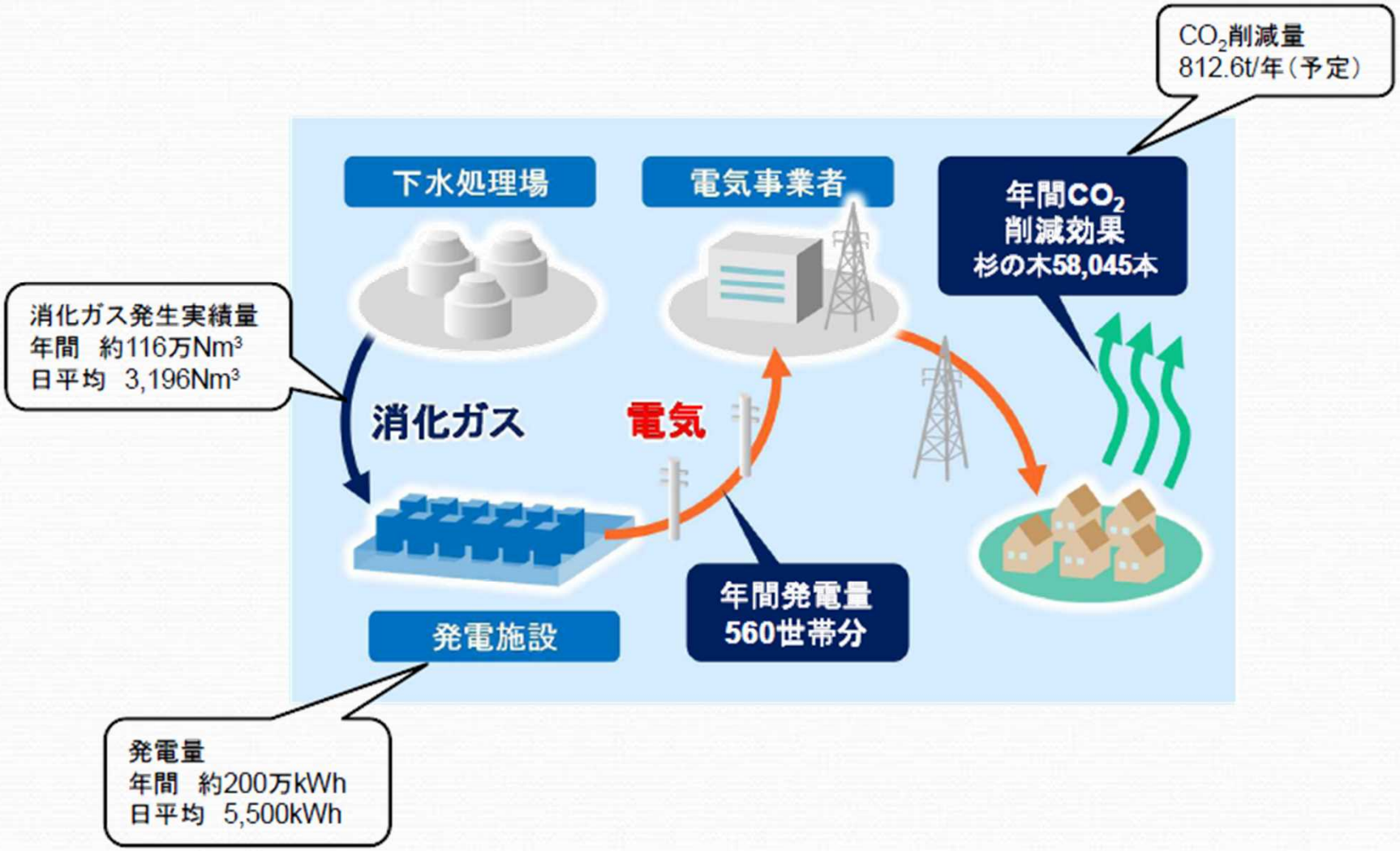


消化ガス発生量



発電機運転台数

発電量及びCO2削減量（予定）



完成した消化ガス発電施設

消化ガス発電施設外観

発電量・CO2削減量の表示

事業効果

平成29年4月1日～平成30年3月31日

（1）事業収入

①消化ガス売却料

単価		円　Nm³
	売却料　円	売却料(税込)円
4月	2,280,519	2,462,960
5月	2,370,863	2,560,532
6月	2,269,594	2,451,161
7月	2,196,339	2,372,046
8月	2,088,032	2,255,074
9月	1,959,048	2,115,771
10月	1,994,307	2,153,851
11月	2,069,609	2,235,177
12月	2,298,965	2,482,882
1月	2,393,840	2,585,347
2月	2,093,046	2,260,489
3月	2,316,836	2,502,182
計	26,330,998	28,437,472

②土地賃借料
平成29年4月1日から平成30年3月31日
90,150　円

28,527,622

（2）経費削減効果

①電気使用量の削減
余剰ガス燃焼装置
消化槽加温温水ボイラー
温水循環ポンプの使用停止による。
年間削減電力量　41,280　kWh
年間電気料削減　563,472　円

②ボイラー煤煙等測定業務
2基→1基へ（2回/年）
削減経費　125,280　円

688,752

（3）増加経費

①消化ガス濃度成分分析
年2回から月1回へ
25,920×10＝259,200円

②硫化水素濃度測定
月1回から週1回へ
検知管　12,960円

272,160

事業効果額　（1）＋（2）－（3）＝　28,944,214　円（税込）

20年間の消化ガス安定供給に向けて

修繕・改築工事との連携

- 水処理設備工事による、短期的な初沈、余剰汚泥引抜量の変動
- 汚泥濃縮設備工事による、中期的な消化設備投入汚泥量、濃度の変動
- 汚泥消化設備工事による、長期的な消化日数の短縮
- 汚泥脱水設備工事による、中期的な消化汚泥引抜量の変動など

これらの影響を最小限にする調整が必要

社会情勢の変化等に対応

持続可能な「水・資源循環」の推進を図る

他事業・施設との連携の可能性評価を行い、安定供給の追及

ハイクオリティー、ローコストな下水道事業展開を進めるため今後も積極的に情報の収集および共有を図っていきたいと考える。

余剰熱の有効利用について

消化ガス発電を行う際に熱が発生する。

83万～114万MJ/月　発生しており、冬季は約半分を消化槽の加温に利用していたが、残りの半分は余剰熱として排出していた。

この余剰熱に着目し、地域に還元できないか検討し、農業利用への可能性を調査することとした。

農作物を栽培するノウハウや、実験方法に関するノウハウが不足していたため、民間企業、山形大学と協定を結び、**官民学連携**による共同実験を行うこととした。

ビニールハウスによる栽培実験

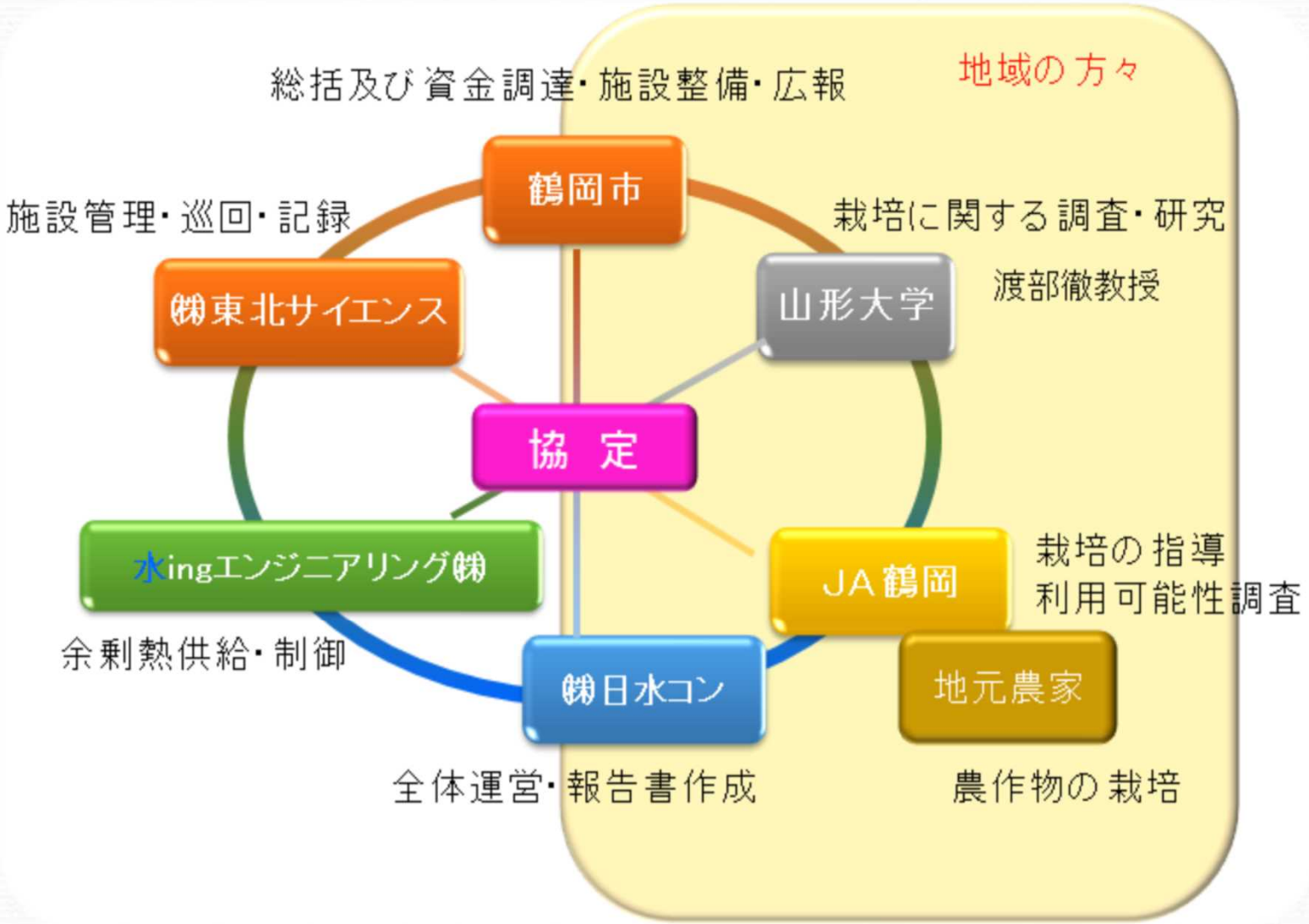
- 敷地内に259㎡のビニールハウスを建設
- 余剰熱で水を温め、温水循環ポンプにより温水を移送
- ファンコンベクターにより、温風としてハウス内に供給

ビニールハウス外観

冬季も安定して農作物を栽培できるか調査する

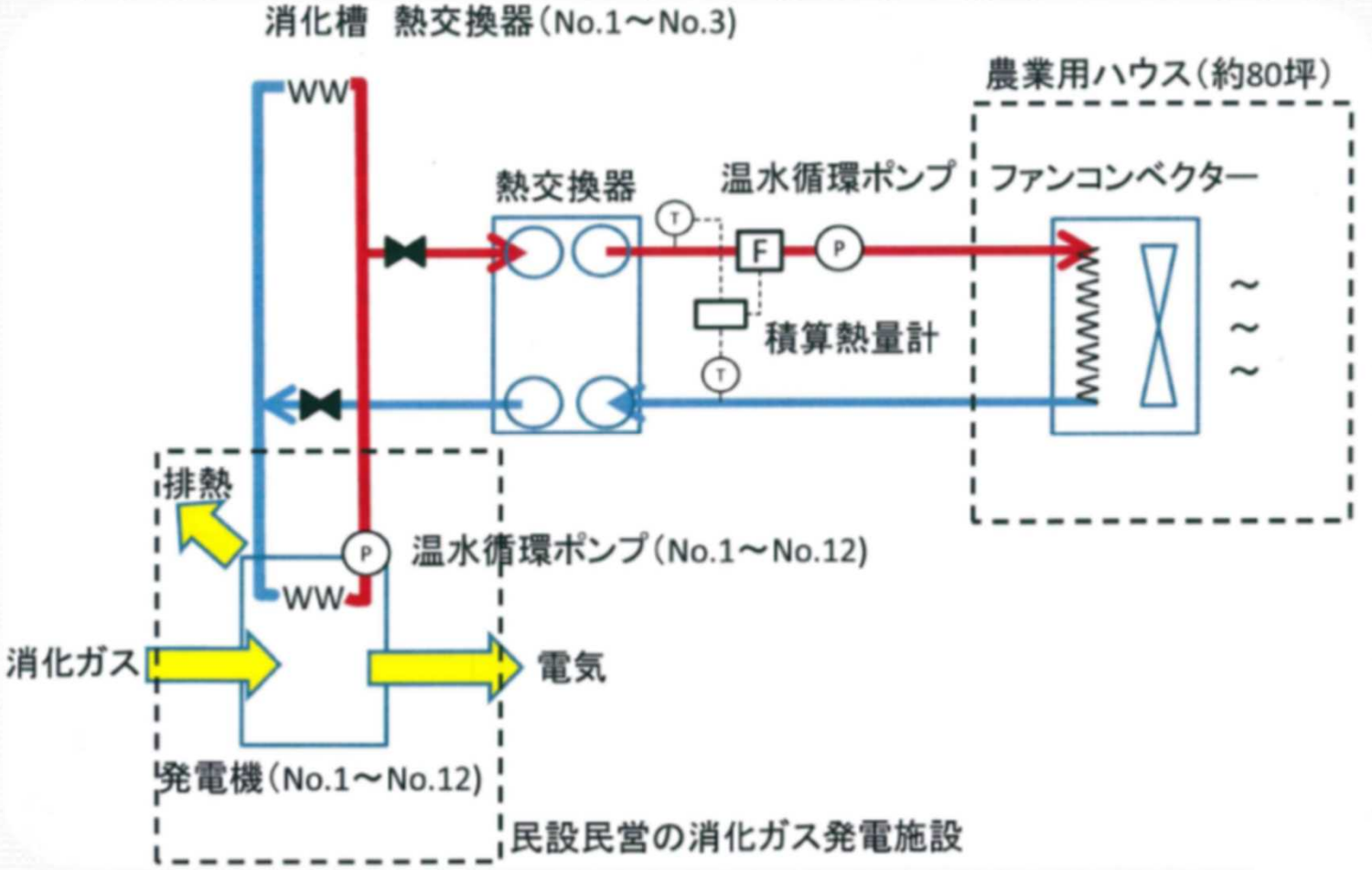
余剰熱の利用率の増加割合について調査する

研究体制



BISTRO下水道共同研究体制

実験方法



ハウスの熱供給イメージ

栽培結果

2018年2月から青こごみの栽培を行い、約350kg収穫した。
2019年1月からほうれん草の栽培を開始した。

青こごみ発育状況

ほうれん草発育状況

じゅんかん育ちを学校へ

- 学校給食に栽培したほうれん草10kgを提供することが出来た
- 取組みをPRするため、2019年ミス日本「水の天使」谷桃子氏を招き、イベントを実施した

学校給食提供イベント写真

実験結果

- 2016年、2017年と比較した場合、栽培実験を行った2018年、2019年は有効利用割合が向上した
- 有効利用割合は50％程度から60％程度まで上昇したものの、まだ40％ほどの熱を捨てている状況である

  →令和元年度にハウスをもう1棟増設した

余剰熱の有効利用割合

			12月	1月	2月
			31	31	28
2016年	回収可能熱量	MJ/月	1,049,689	1,080,223	1,016,701
	有効利用熱量	MJ/月	456,662	545,359	500,277
	余剰熱量	MJ/月	593,027	534,864	516,424
	有効利用割合	%	43.50%	50.49%	49.21%
	余剰割合	%	56.50%	49.51%	50.79%
2017年	回収可能熱量	MJ/月	1,050,642	1,067,722	976,263
	有効利用熱量	MJ/月	514,502	607,739	491,737
	余剰熱量	MJ/月	536,140	459,983	484,526
	有効利用割合	%	48.97%	56.92%	50.37%
	余剰割合	%	51.03%	43.08%	49.63%
2018年	回収可能熱量	MJ/月	1,095,090	1,140,283	997,007
	有効利用熱量	MJ/月	575,794	648,972	652,513
	余剰熱量	MJ/月	519,296	491,311	344,494
	有効利用割合	%	52.58%	56.91%	65.45%
	余剰割合	%	47.42%	43.09%	34.55%
2019年	回収可能熱量	MJ/月	1,102,649	1,157,176	1,024,403
	有効利用熱量	MJ/月	607,630	723,824	648,612
	余剰熱量	MJ/月	495,019	433,352	375,791
	有効利用割合	%	55.11%	62.55%	63.32%
	余剰割合	%	44.89%	37.45%	36.68%

今後の展望

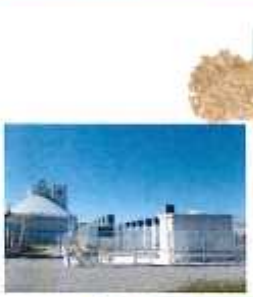
下水道が有する資源の有効活用「創エネ・省エネ」の推進

消化ガスの品質と発生量の継続的確保、施設設備維持管理が重要

下水道事業の経営改善・地域への貢献・地球温暖化対策への貢献ができ、地産地消型・地域密着型の事業

下水道がもつエネルギー活用の一歩として歩んでゆきたい。

鶴岡浄化センター　資源・エネルギーの供給拠点化計画（仮称）　（イメージ素案）



市民生活

エネルギー
- 消化ガス → 発電 → 電気
- 汚泥 → 汚泥燃料 → 燃料・助燃剤

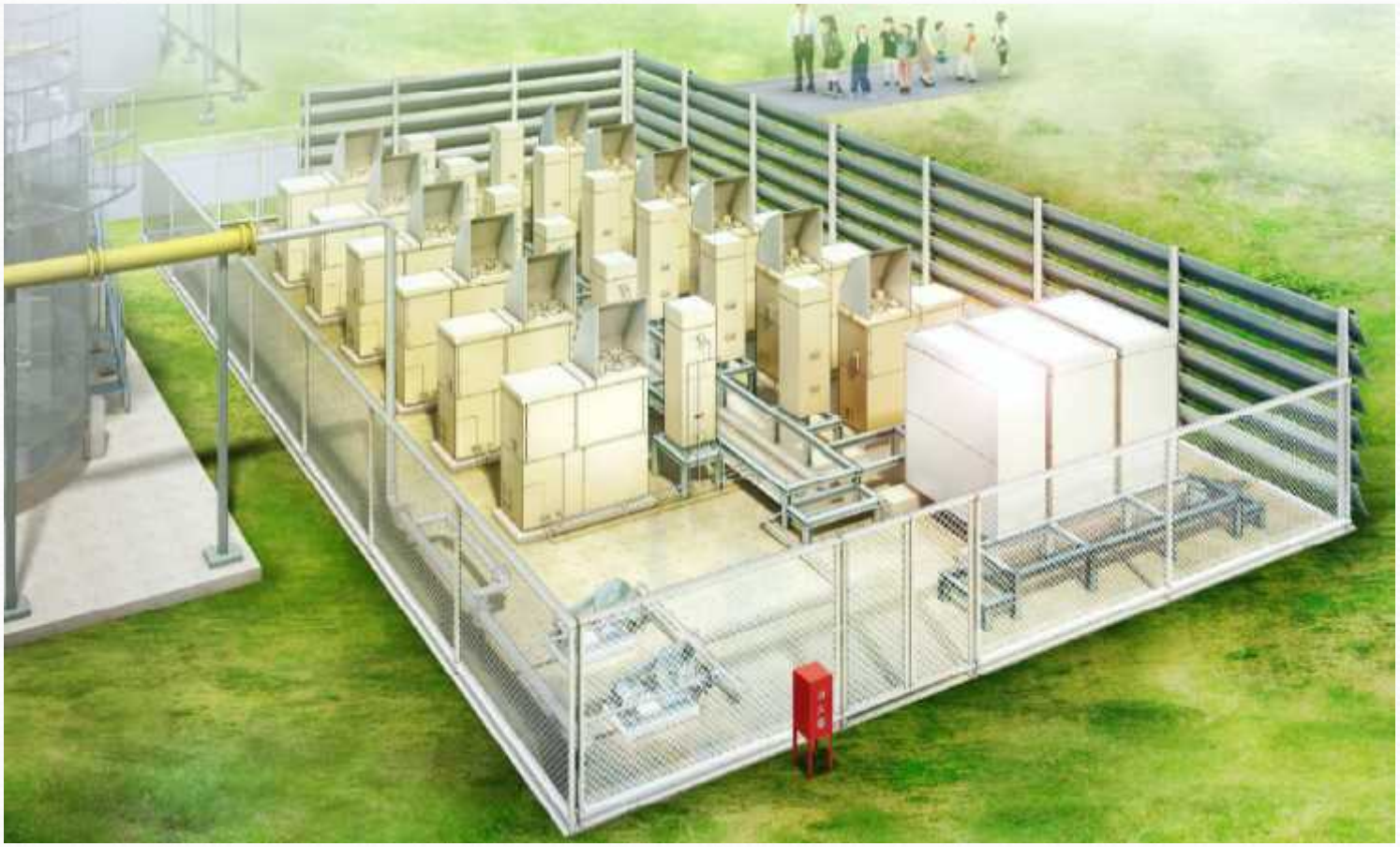
畜産物
- 処理水 → 飼料米 → 飼料 → 牛・豚等

農産物
- 汚泥 → 肥料（コンポスト）
- 消化ガス → 発電 → 発電余剰熱 →温室熱源
- 汚泥 → 肥料原料（ＭＡＰ） →肥料

地域のバイオマス資源
- 生活排水処理汚泥
  →下水道、し尿、農業集落排水 等
- 生ゴミ等（ディスポーザー含む）
- 刈草、剪定枝等(事業系一般廃棄物)
- 給食センター等食品残渣（産業廃棄物）

浄化センター

ご清聴ありがとうございました



鶴岡バイオガスパワー