

自然と共生するスマートエコアイランド種子島シンポジウム
～動き始めた大学等との連携による新たな可能性～

平成28年3月6日（日） 15:05-15:35
ホテルニュー種子島 コンベンションホール

排熱を有効活用する蓄熱輸送システム

～再生可能エネルギーを貯めて（ストレージ）賢く（スマート）使う種子島～

総合機械工学科 教授
修士1年

中垣隆雄
藤井祥万



早稲田大学 創造理工学部
School of Creative Science and Engineering, Waseda University

Copyright © Nakagaki Lab.

種子島のすばらしい恵み 「サトウキビ」

サトウキビバガスは極めて優良な再生可能エネルギー

◆ 収集システム

- △ 放置林地残材，間伐材など → 広範囲に散在，集荷の仕組みなし，収集に追加のエネルギー必要
- 工芸農産物，畜産廃棄物など → 比較的狭い範囲，加工工場への既存の集荷システムがある

◆ 発電の変動

- △ 太陽光発電・風力発電 → お天気任せ，風任せ，調整力として火力発電の焚き増し + 電力貯蔵（グリーンパラボックス）
- バイオマス発電 → 能動的に負荷・太陽光・風力の変動をカーボンニュートラルに調整可（電力市場の完全自由化）
さらに**排熱**も利用できる。（コージェネレーションシステム）



自然と共生 保存の知恵

一度に大量の恵み
貯蔵で平準化
食品の腐敗防止

**風土に合った保存法
= 先人の知恵、文化**

乾季を乗り切る

冬を越す

塩蔵(梅干し 7月)

乾燥(干し柿 12月)

燻製(鮭とば)

糖蔵(いちごジャム 6月)

発酵(鮎ずし)

燻す知恵 (囲炉裏)

現状のエネルギーフロー

サトウキビ

製糖工場 (冬~春)

精製糖工場
(大阪)

原料糖

化石
燃料

バガス

電気

熱

CGS

未利用熱

火力
発電所

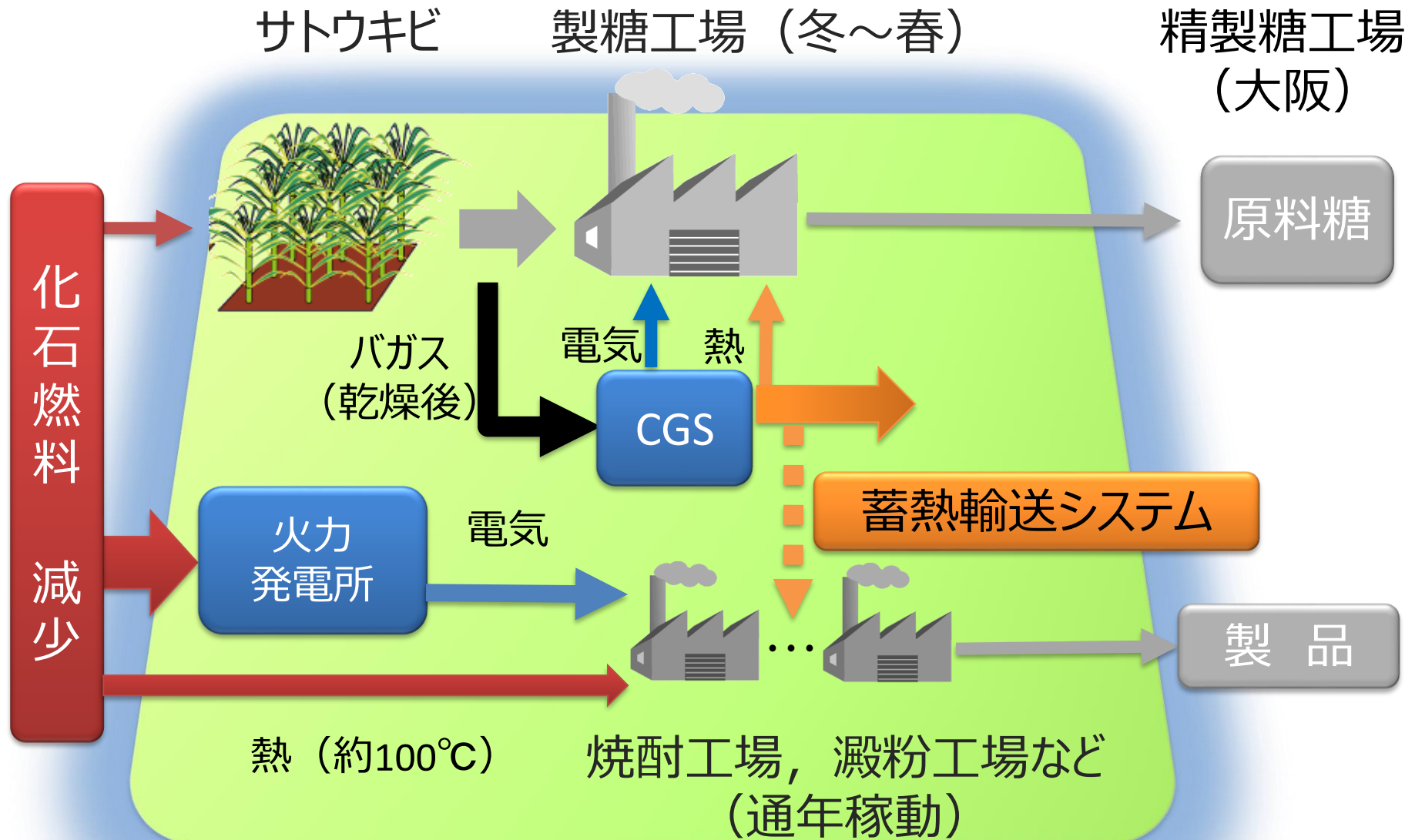
電気

熱 (約100°C)



焼酎工場, 澱粉工場など
(通年稼動)

製 品

未利用熱輸送システム



蓄熱技術 (Thermal Energy Storage)

| | 冬 | 春 | 夏 | 秋 |
|-------------------|--|---|---|-----------|
| 製糖工場 |  | | | 短期間に大量の排熱 |
| 熱需要地 (焼酎, 澱粉等) |  | | | |
| | 少ないが通年の熱需要 | | | |

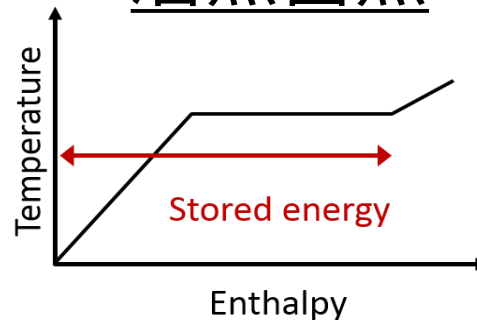
顕熱蓄熱[2]



水, レンガ

Daily

潜熱蓄熱



PCM

Weekly

Monthly

化学蓄熱



水酸化マグネシウム
ゼオライト

Seasonally

総蓄熱量

[2]<https://sustainable.stanford.edu/>

身近な蓄熱技術

湯たんぽ (顕熱)

エコキュート (顕熱)

蓄熱式暖房機 (顕熱)

目的は電力負荷平準化

エコアイス (潜熱)

保冷材 (潜熱)

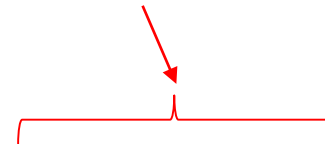
大規模な蓄熱技術

エリスリトールによる潜熱蓄熱輸送

ユングストローム式空気予熱器

直接接触潜熱蓄熱技術を用いた熱輸送システムの開発,
神戸製鋼技報56巻2号(2006)

高炉の熱風炉
(蓄熱レンガ, バッチ式)



商用例 トランスヒートコンテナ（三機工業）

コンテナ
10ton/
15.2m³

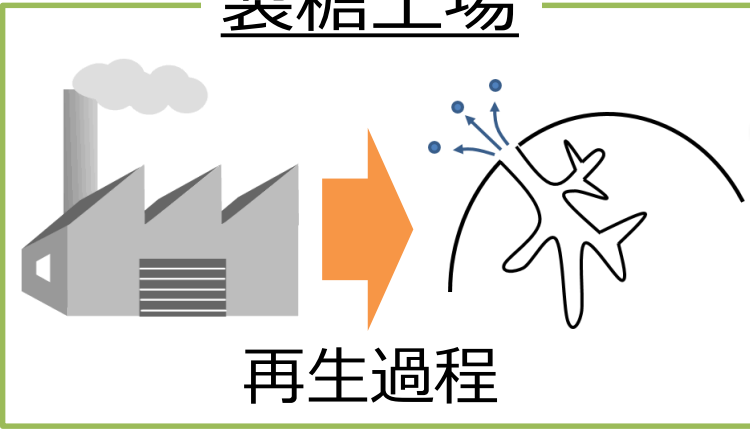
| | コンテナ 利用可 能熱量 | 世帯数 換算 | A重油 換算 |
|---------------------|--------------------|-----------|-----------|
| 種類 | GJ/台 | 世帯/台 | L/台 |
| エリスリ トール | 1.8 | 14 | 46 |
| 酢酸ナト リウム三 水和物 | 1.3 | 10 | 33 |
| ゼオライ ト* | 6.4 | 49 | 162 |

- ✓ **いずれ冷める**
- ✓ **安価な燃料
と競合**

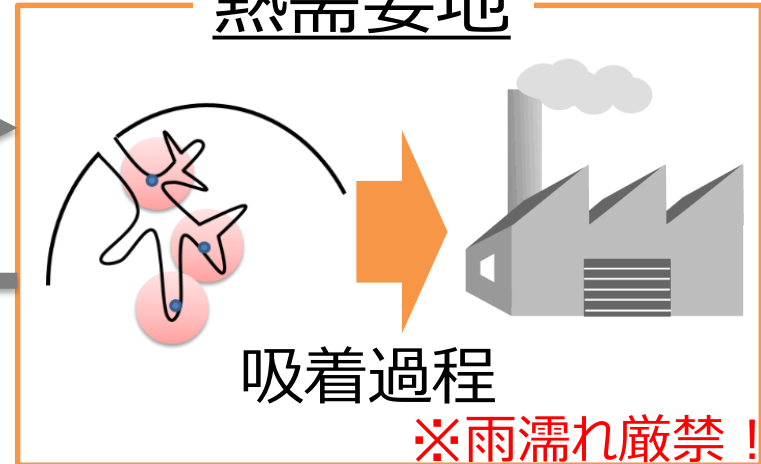
*密度 0.7ton/m³
蓄熱密度 0.8GJ/ton
熱損失 20%

ゼオライト吸着・再生サイクル

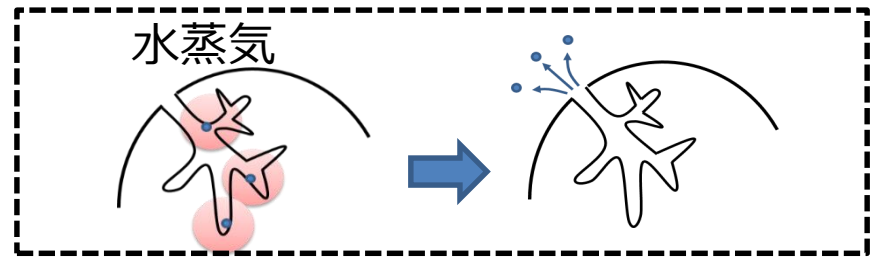
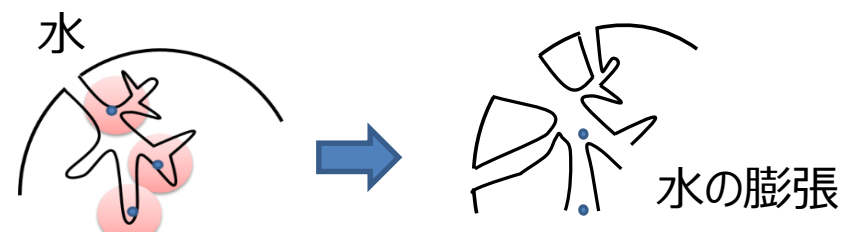
製糖工場



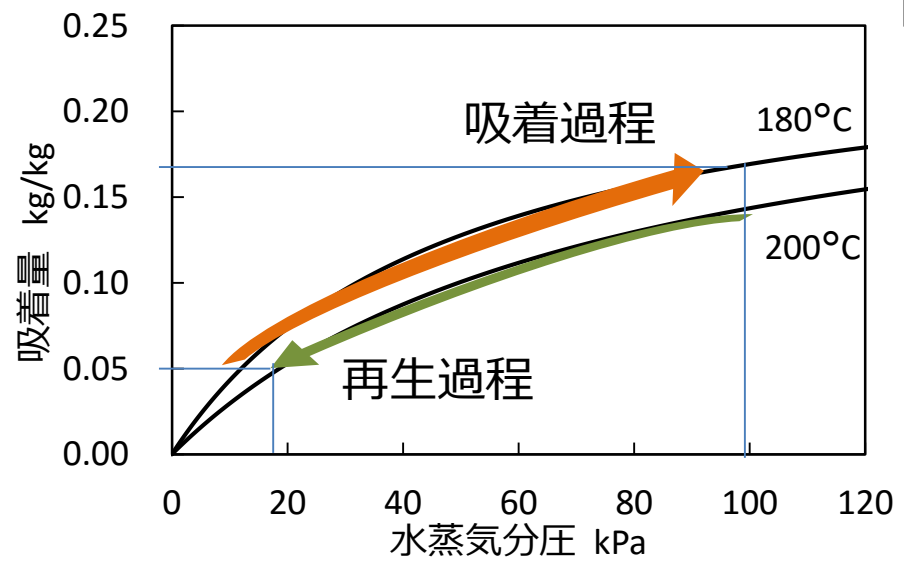
熱需要地



吸着質の選択



ゼオライトの破損防止 → 水蒸気



吸着等温線

バガスの含水率と発熱量

・バガスの発熱量 高位発熱量 (HHV) 推定式 (化学工学会)

$$\text{HHV} = 45.71 \cdot C - 2.70 \quad [\text{MJ/kg-dry}] \quad c: \text{乾燥状態での炭素分率}$$

・CHN元素分析

| CHN元素分析 | |
|---------|--------|
| C | 46.12 |
| H | 5.687 |
| N | 0.1691 |
| O | 48.02 |



CHN元素分析装置

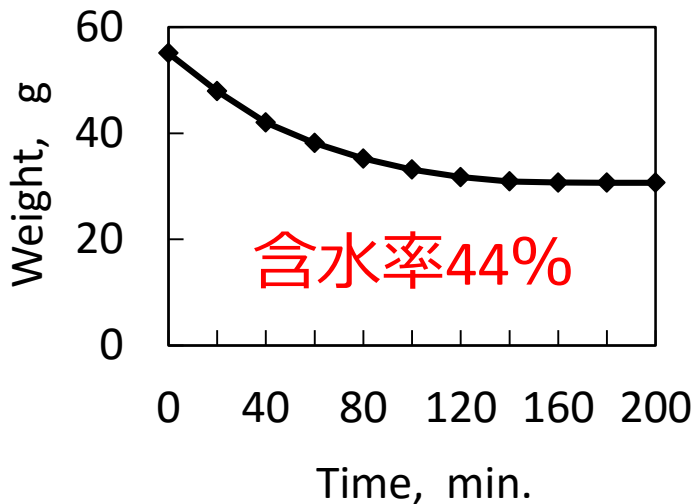
乾燥状態 :

$$\text{HHV} = 18.4 \quad [\text{MJ/kg}]$$

cf: 石炭 29

A重油 45.6

・含水率測定



電気炉

※乾燥させればバガス自体貯蔵可
×焼却灰などの新たな問題

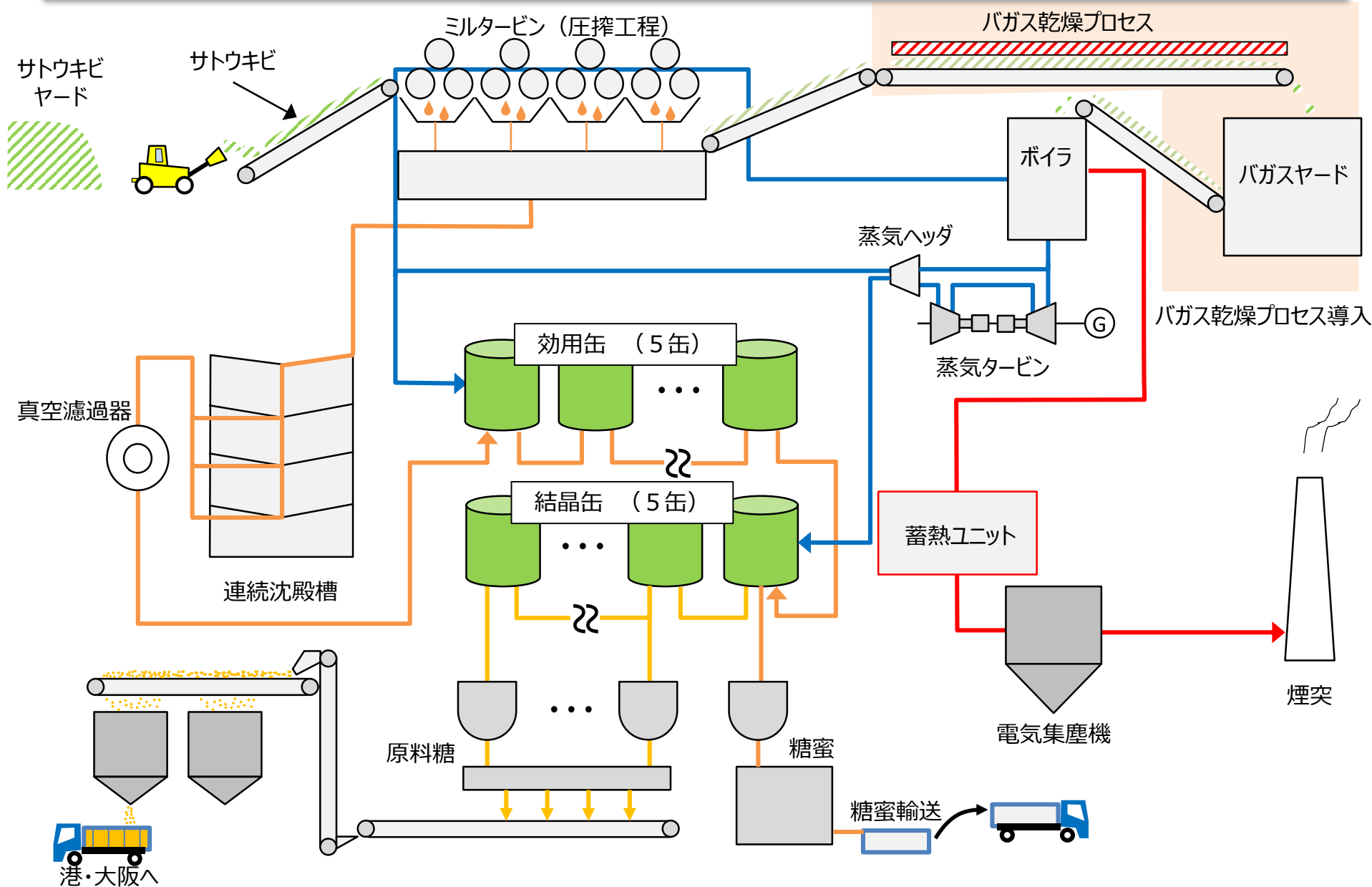
投入発熱量(Wet)

$$= 8.6 \quad [\text{MJ/kg}]$$

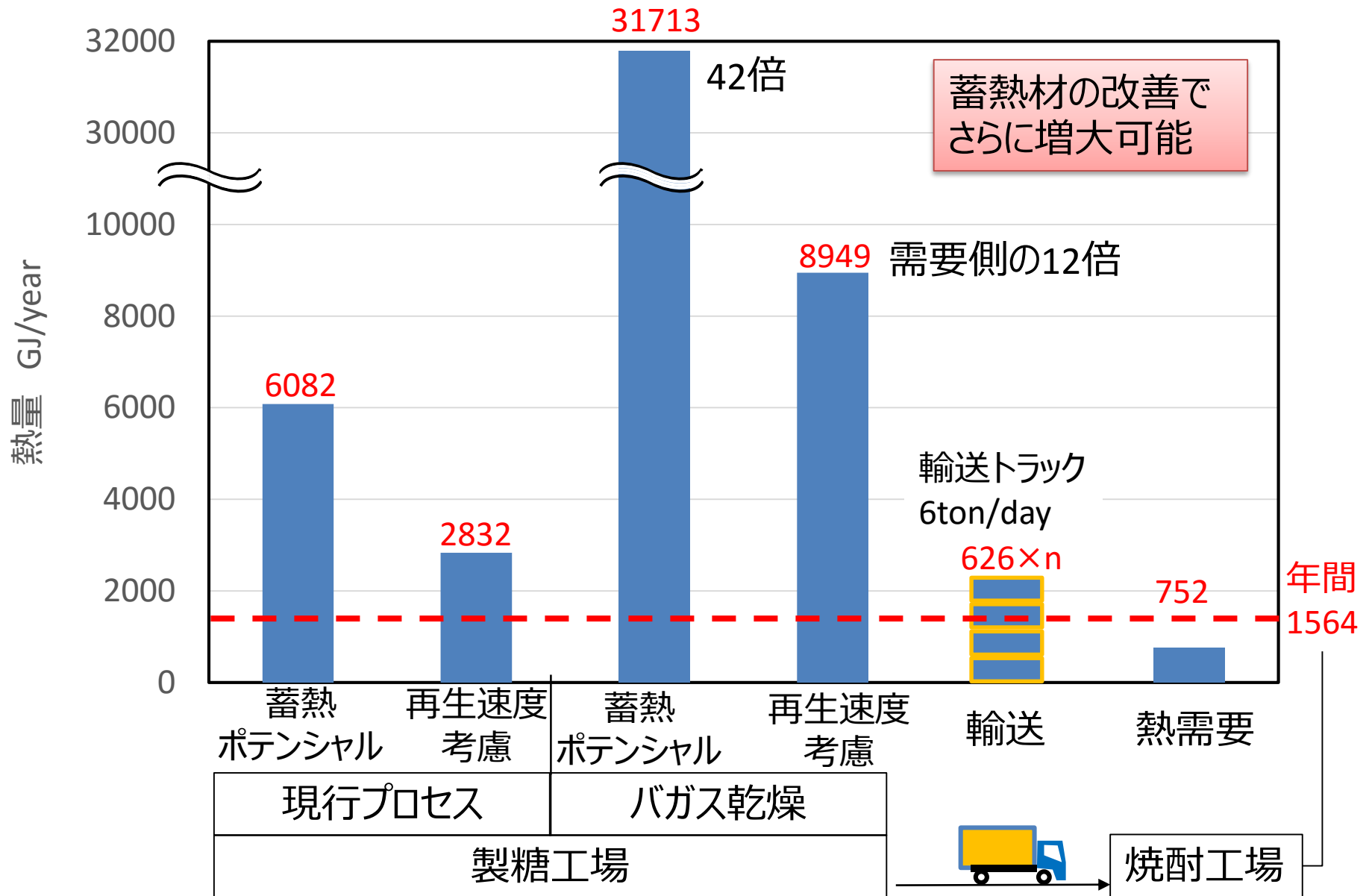
※差分は水蒸気の潜熱
で大気へ放散

→乾燥工程で増熱

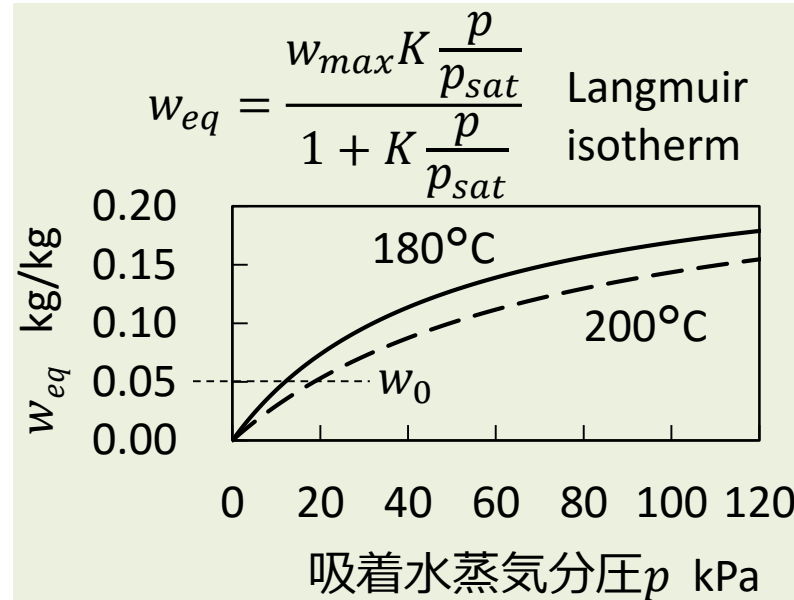
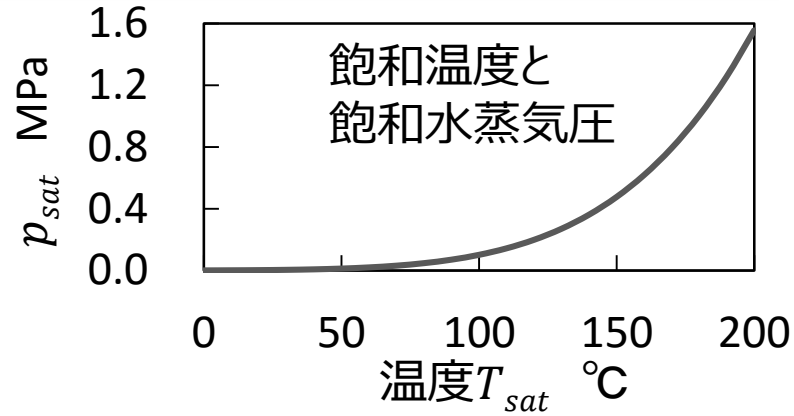
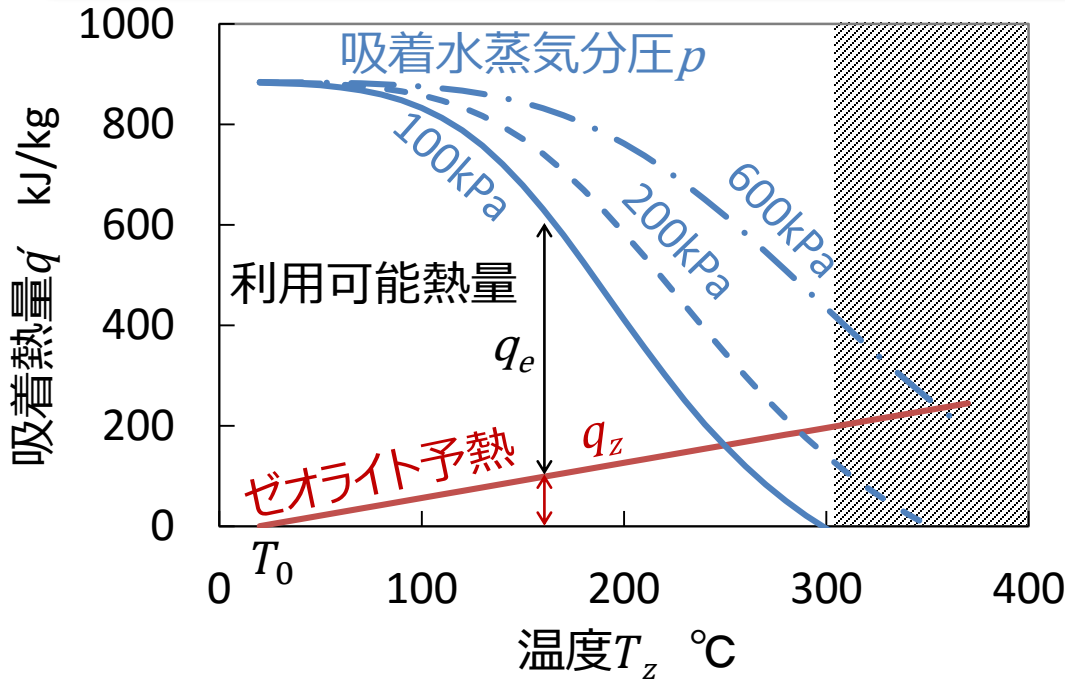
バガス乾燥と蓄熱ユニット



蓄熱ポテンシャル



ゼオライトの吸着特性と発熱



$$q_e = \dot{q} - q_z = \Delta H_{ads}(w_{eq} - w_0) - \int_{T_0}^{T_z} c_z dT$$

$$\Delta H_{ads} = RT\{C - \ln(p)\} \text{ 吸着エンタルピー (4.4 MJ/kg)}$$

c_z : ゼオライト比熱 (0.7 kJ/kgK)

熱需要温度 \nearrow 吸着水蒸気分圧 $p \searrow$



利用可能熱量 $q_e \searrow$

熱需要温度 $\nearrow =$ ゼオライト温度 $T_z \nearrow$



平衡吸着量 $w_{eq} \searrow =$ 利用可能熱量 $q_e \searrow$