

粘土系吸着剤を用いた熱利用システム



産業技術総合研究所
地圏資源環境研究部門
鈴木正哉

1. 太陽熱から氷を作る
2. 背景
3. 熱を運ぶシステム(モバイル型蓄熱システム)概要
4. 粘土系吸着材「ハスクレイ」について
5. モバイル型蓄熱システム開発
6. 施設園芸栽培における熱利用システムの開発

1. 太陽熱から氷を作る

ヒートポンプの試作装置

運転条件例

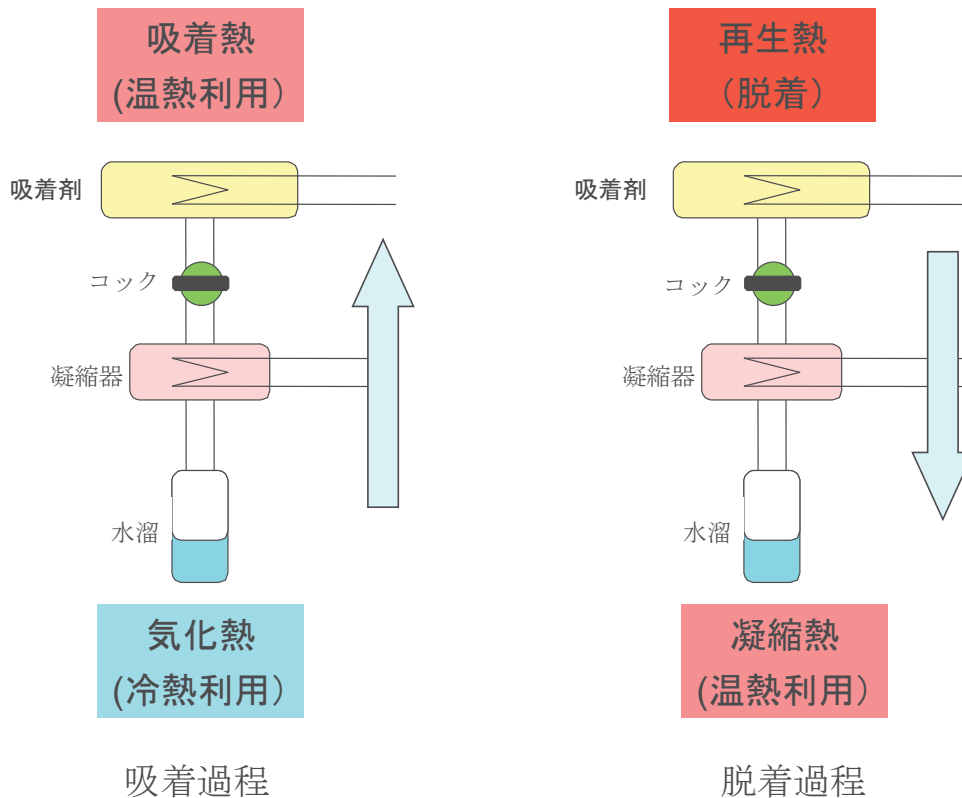
- ・ゼオライト10kg
- ・90℃温水を1.7リットル/分で通水
(使用後80℃)
- ・1ベッド装置でゼオライトを1日16
サイクル運転
加熱脱水(30分)→冷却(30分)→
吸水(30分)

冷却能力: 冷却出力1kW



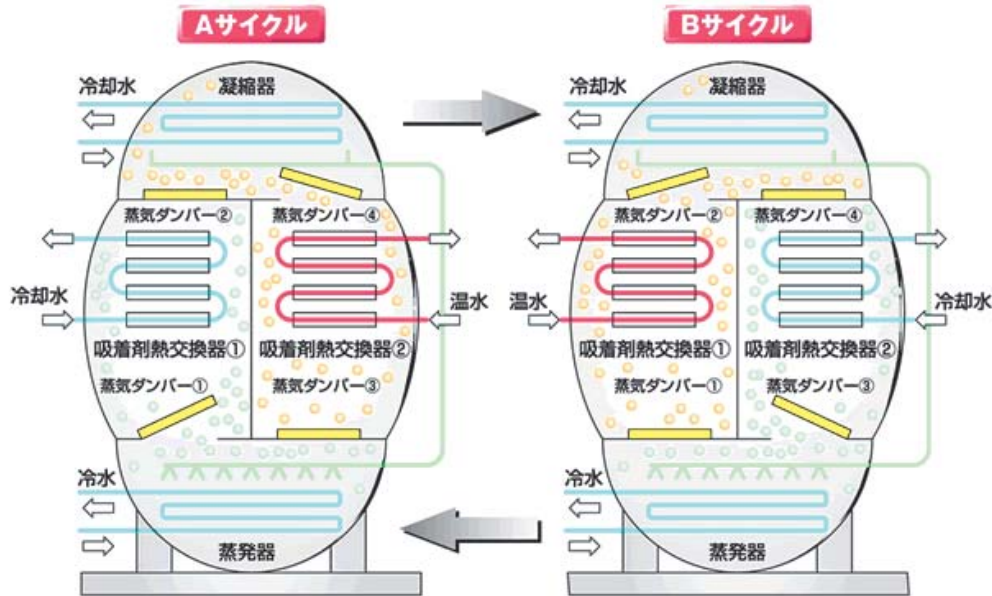
山口大学溝田先生の講演資料より

吸着式ヒートポンプの原理



多孔質材料－水系ヒートポンプの概念図

システム原理



AサイクルとBサイクルを約8分ごとに切り替えることにより、冷水を連続的に供給します。

1 蒸発 (1/100気圧 10.13hPa)
 真空状態に減圧された蒸発器の中に冷水の通るパイプがあり、パイプの上から水(冷媒)を降りかけると水は沸騰蒸発します。この時、冷媒の気化熱で管内の水は急速に熱を奪われ、約3℃まで冷やされます。

2 吸着 (吸着剤熱交換器)
 吸着剤熱交換器①は、冷却水(約30℃)の通るパイプの外側に「シリカゲル」を保持させた熱交換器であり、蒸発器内で発生した水蒸気の圧力で蒸発ダンパー①が開き、水蒸気(冷媒)が吸着剤の「シリカゲル」に吸着されることにより蒸発器から冷水を連続供給します。

ユニオン産業HPより

プレスリリース

太陽熱を利用したゼオライト系吸着剤使用の次世代型吸着式冷凍機 安定稼働に成功

2008年8月7日

株式会社前川製作所(以下マエカワ)と三菱樹脂株式会社(以下、三菱樹脂)は、世界で初めて、ゼオライト系吸着剤を使用した太陽熱利用の次世代型吸着式冷凍機を、安定して稼働させることに成功いたしました。

これは、マエカワが平成17年~19年度NEDOの委託事業で「太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業」の一環として実施していたものです。

今回安定稼働に成功した“太陽熱を利用した次世代型吸着式冷凍機”は、三菱樹脂のゼオライト系高性能吸着剤「AQSOA(アクソア)」を、マエカワが製造した吸着式冷凍機に搭載したものです。シリカゲルを使用した従来型吸着式冷凍機に比べ、太陽エネルギーによって作られた温水から体積当たり2~3倍の冷熱(冷水)をつくり出すことを可能にしました。

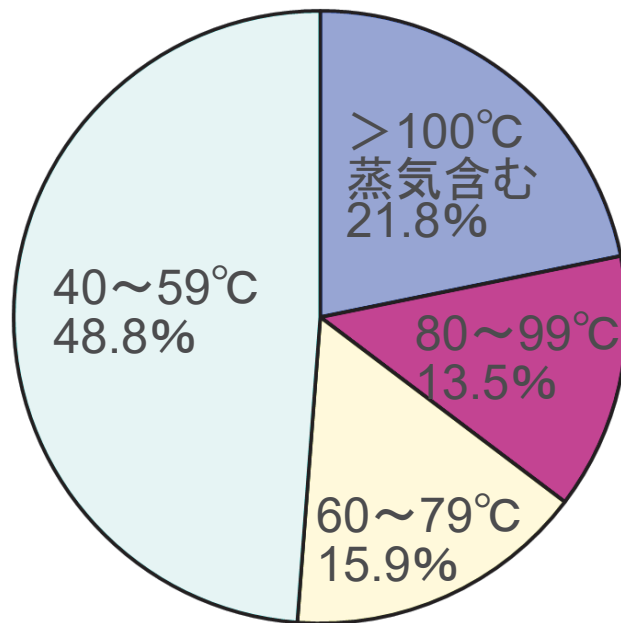


吸着剤の重量、容積ともに大幅に減少させるとともに、一般的な冷水製造用の「空冷チラー」と比較した場合は、CO2排出量を60%以上削減が可能です。

また、80℃以下の低温域の工場排熱等も利用することができるため、太陽熱を利用した冷房装置や、未利用だった工場排熱を用いた省エネ型のプロセス用冷水供給装置などが実現できます。

マエカワは地球環境にやさしい5つの自然冷媒「ナチュラルファイブ」のひとつ「水」を使用した技術の取り組みとして、「次世代型吸着式冷凍機」を、60~100℃の廃熱(温水)から3~25℃の冷熱(冷水)を求め、すべての市場のお客様にお届けいたします。

2. 背景



総廃熱量: 約27万Tcal/y

ガス廃熱(100°C以上)

: 24.3万Tcal/y

温水廃熱: 2.2万Tcal/y

温水廃熱の内訳(2.2万Tcal/y)

2000年度(財)省エネルギーセンター調査結果より

低温廃熱利用の現状

COP21におけるパリ協定の採択

- COP21(11月30日~12月13日、於:フランス・パリ)において、「パリ協定」(Paris Agreement)を採択。
- ✓ 「京都議定書」に代わる、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組み。
- ✓ 歴史上はじめて、すべての国が参加する公平な合意。



- 安倍総理が首脳会合に出席。
- ✓ 2020年に現状の1.3倍の約1.3兆円の資金支援を発表。
- ✓ 2020年に1000億ドルという目標の達成に貢献し、合意に向けた交渉を後押し。

- パリ協定には、以下の要素が盛り込まれた。
- ✓ 世界共通の長期目標として2°C目標の設定。1.5°Cに抑える努力を追求することに言及。
- ✓ 主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新。
- ✓ 我が国提案の二国間クレジット制度(JCM)も含めた市場メカニズムの活用を位置付け。
- ✓ 適応の長期目標の設定、各国の適応計画プロセスや行動の実施、適応報告書の提出と定期的更新。
- ✓ 先進国が資金の提供を継続するだけでなく、途上国も自主的に資金を提供。
- ✓ すべての国が共通かつ柔軟な方法で実施状況を報告し、レビューを受けること。
- ✓ 5年ごとに世界全体の実施状況を確認する仕組み(グローバル・ストックテイク)。

各国の削減目標

国連気候変動枠組条約に提出された約束草案より抜粋

国名	削減目標	削減目標
中国	2030年までに GDP当たりのCO ₂ 排出を 60-65% 削減	2005年比
EU	2030年までに 40% 削減	1990年比
インド	2030年までに GDP当たりのCO ₂ 排出を 33-35% 削減	2005年比
日本	2030年までに 26% 削減 ※2005年比では25.4%削減	2013年比
ロシア	2030年までに 70-75% に抑制	1990年比
アメリカ	2025年までに 26-28% 削減	2005年比

平成27年10月1日現在

燃料燃焼による国別CO₂排出量(百万ト)

国	90年	05年	14年
中国(香港含む)	2,109	5,399	9,135
米国	4,802	5,702	5,176
E.U	4,024	3,920	3,160
インド	530	1,080	2,020
ロシア	2,163	1,482	1,468
日本	1,041	1,178	1,189

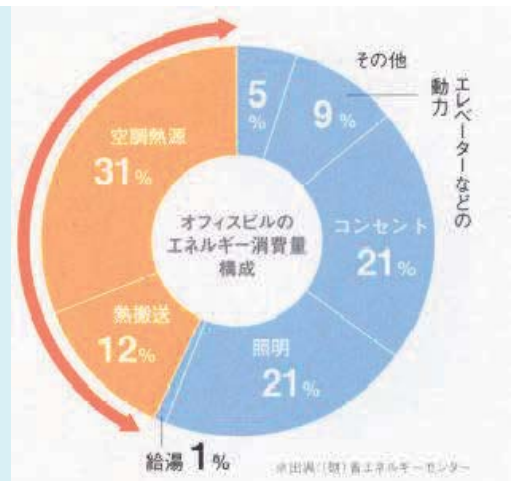
I E Aの資料を基に作成

全国地球温暖化防止活動推進センターHP より

日刊工業新聞 <https://newswitch.jp/p/11137> より

地球温暖化問題を解決する方向性

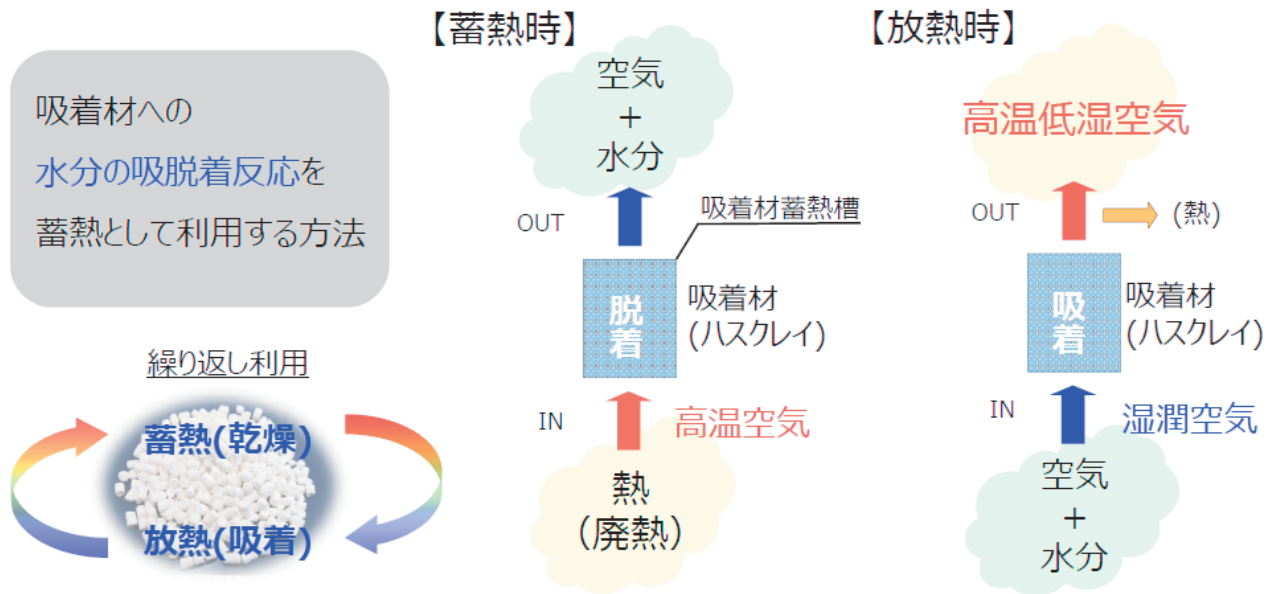
- ① 二酸化炭素の排出量を減らす
 - 省エネの促進
 - エコ意識の普及
- ② 排出された二酸化炭素を分離・回収する
 - CCS
 - 有効利用化



省エネに対応した吸着式エネルギーシステムや二酸化炭素回収のシステムは相当進んでいるが、システムを最大限に生かす吸着材の開発がなされていない。

それぞれのシステムにあった高性能吸着材の開発が必要

3. 熱を運ぶシステム概要



《特長》

- ①水の蒸発潜熱を利用 → 単位体積当たりの蓄熱密度大
(水の凝固潜熱を利用する従来の氷蓄熱方式などと比較して大きい)
- ②吸着反応による蓄熱 → 保管時の温度保持が不要
- ③比較的軽量 → 運搬利用が可能

蓄熱技術の比較

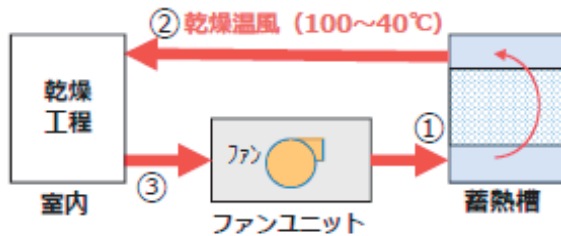
註: 顕熱蓄熱は除く

項目	PCM (従来システム)	吸着材蓄熱 (今回開発)	化学蓄熱 (研究段階)
蓄熱材 (蓄熱方式)	酢酸ソーダ [®] / エリスリトール等 (固液相変化)	ハスクレイ (水吸脱着)	水酸化マグネシウム等 (化学反応)
蓄熱密度	238kJ/L / 157kJ/L	588kJ/L	約1,000kJ/L
利用温度	58°C / 121°C ①空調 (暖房) ・ 給湯	80~120°C ①空調 (暖房) ・ 給湯 ②空調 (冷房・外調) ③除湿	200~250°C ①空調 (暖房) ・ 給湯 ②蒸気
放熱原理 (熱吐)	融解 (熱吐あり)	発熱 (熱吐なし)	発熱 (熱吐なし)
国内実績	フィールド [®] 実証	なし	なし
備考	熱媒油 (第4石油類) の 使用		

- ・100°C程度の低温廃熱が利用可能で、かつ蓄熱密度が高い
- ・乾燥(除湿)、冷暖房、給湯といった多様な熱利用が比較的簡易に可能
⇒ 吸着材蓄熱方式に着目し、高性能吸着材「ハスクレイ」を採用

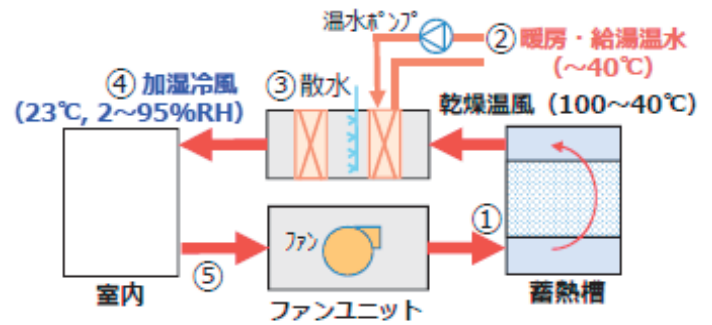
蓄熱システムの想定用途

1. 乾燥プロセス



- ① 高湿度空気を蓄熱槽に供給 ⇒ 発熱
- ② 高温乾燥空気を乾燥工程に供給
- ③ 室内排気 (高湿度空気) を回収

2. 給湯・空調プロセス



- ① 高湿度空気を蓄熱槽に供給 ⇒ 発熱
- ② 高温乾燥空気を水と熱交換、温水供給
- ③ 常温乾燥空気に散水 ⇒ 温度低下・加湿
- ④ 低温・加湿空気を空調利用
- ⑤ 室内排気を回収

- 定置型 (蓄熱/放熱が同サイト)、オフライン熱輸送型 (蓄熱/放熱が別サイト) とともにシステム構築可能
- 日野自動車工場間でオフライン熱輸送の実用化検証試験を実施

熱利用イメージ



オフライン熱輸送システムにおける熱利用イメージ (工場間)

2017年3月13日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 高砂熱学工業株式会社
 石原産業株式会社
 大塚セラミックス株式会社
 森松工業株式会社
 日野自動車株式会社
 国立研究開発法人産業技術総合研究所

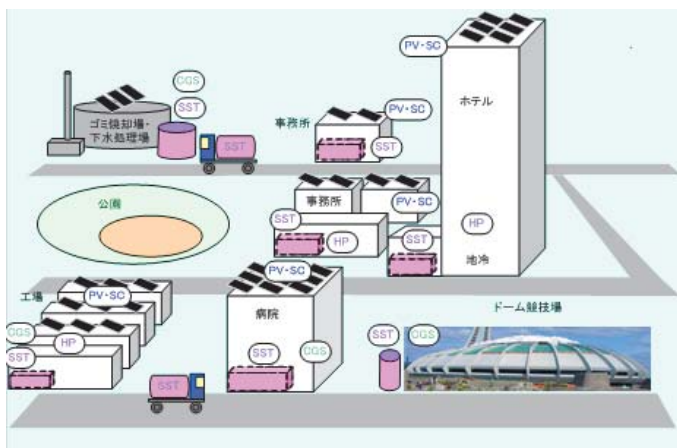
NEDOと高砂熱学工業(株)、石原産業(株)、大塚セラミックス(株)、森松工業(株)の4社は、産業技術総合研究所が開発した100℃以下の低温廃熱を利用可能な蓄熱材「ハスクレイ」をベースに、さらに高性能化した蓄熱材の量産製造技術を共同で確立するとともに、日野自動車(株)と同蓄熱材を組み込んだ、従来型より2倍以上の蓄熱を可能とする可搬コンパクト型蓄熱システムを共同で開発しました。

本日から、日野自動車(株)工場間におけるオフライン熱輸送の実用化検証試験を開始。今後4社は、この検証試験で得られた知見をもとに、冷房・除湿・暖房、給湯、乾燥工程等へ適用する熱利用システムとして市場展開を目指します。



定置型システムへの展開

- 今回開発した蓄熱システムはオフライン熱輸送システムとして、地方自治体の汚泥・ごみ焼却場廃熱、工場廃熱等の広域熱利用システムだけでなく、工場やコージェネレーション等で発生する低温未利用廃熱を、冷暖房・給湯・除湿・乾燥・温室・クリーンルーム外気処理などに幅広く活用する定置型システムとしても展開が期待できる。

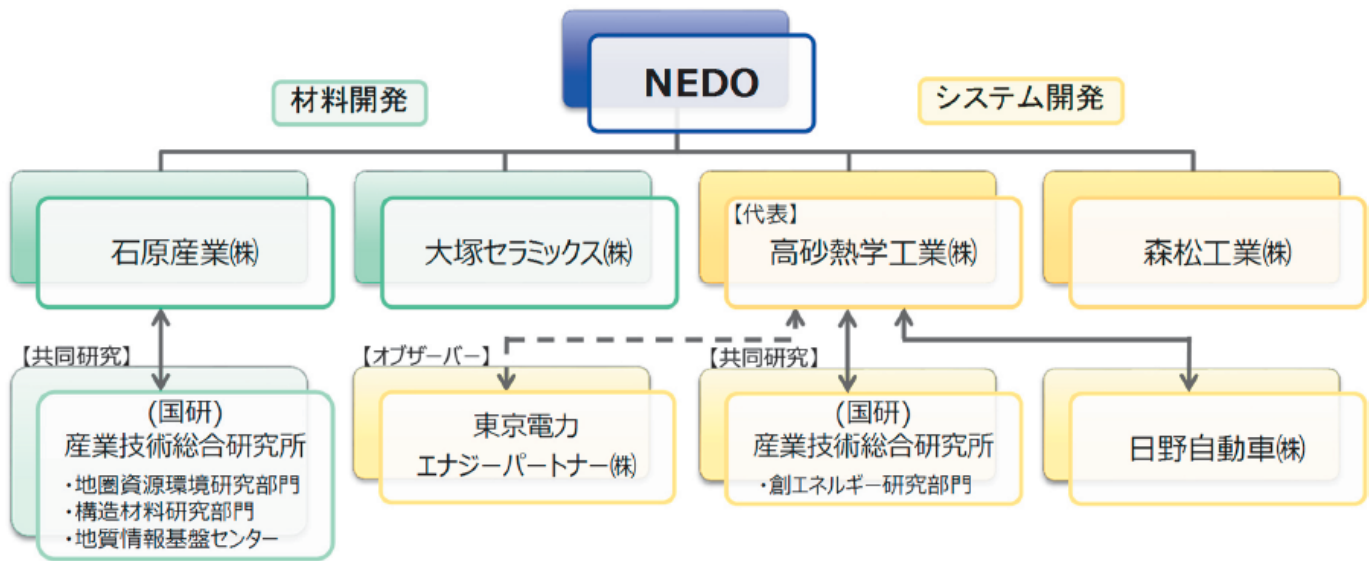


凡例 SST : 蓄熱材蓄熱 GGS : コージェネ HP : ヒートポンプ PV-SC : 太陽光発電(熱利用型)・集熱器

NEDO助成事業の研究体制と開発内容

戦略的省エネルギー技術革新プログラム / 実用化開発 (平成27年7月～平成30年3月)

『80℃以上の低温廃熱を用いる革新的蓄熱材及びシステムの開発』



開発内容①: 高性能吸着材ハスクレイの量産製造技術の確立

開発内容②: コンパクト型高性能蓄熱システムの開発

4. 粘土系吸着材「ハスクレイ」について

4.1 開発の経緯

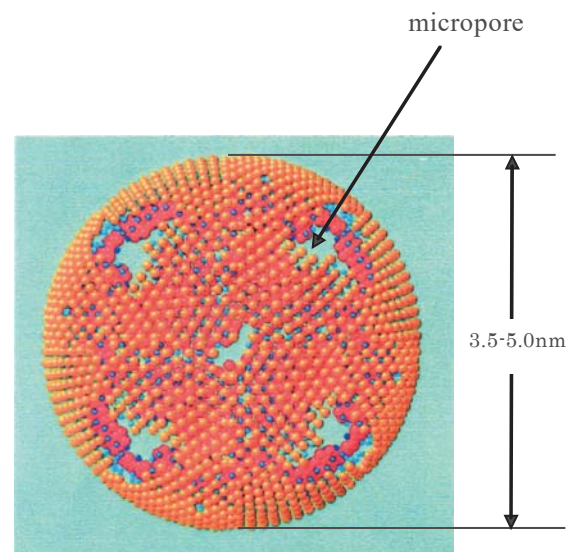
[アロフェン]

● 形態

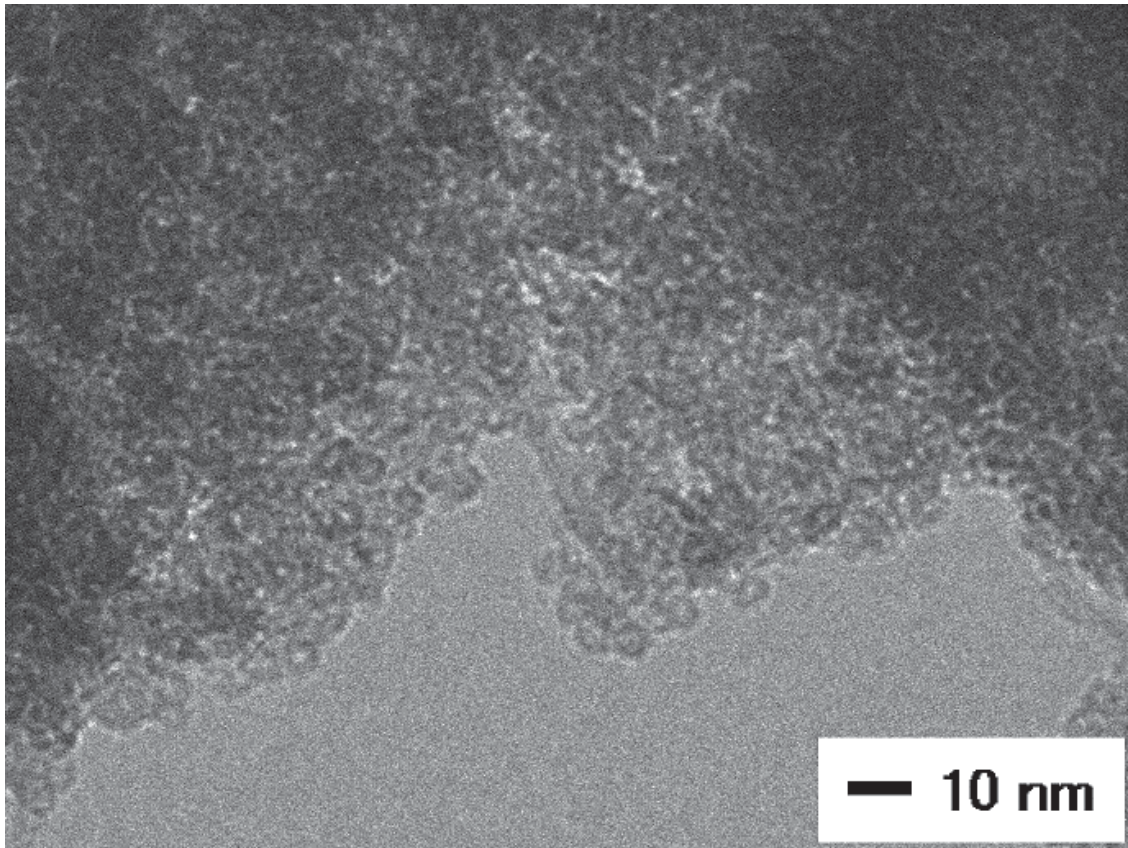
- ・ 中空球状のアルミニウムシリケート
- ・ 直径 3.5～5.0nm
- ・ 外壁の厚さ 0.7～0.8nm
- ・ 外壁には 0.3～0.4nm の孔を有する

● 化学組成

- ・ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比 1～2
(Si/Al 比 0.5～1.0)



アロフェンの構造モデル



アロフェンのTEM写真

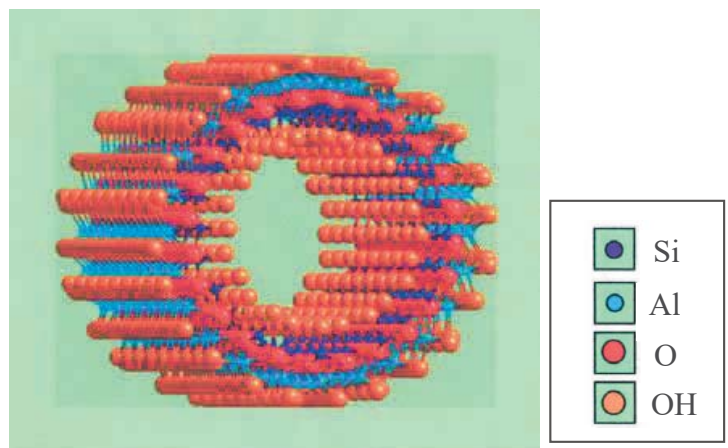
[イモゴライト]

●形態

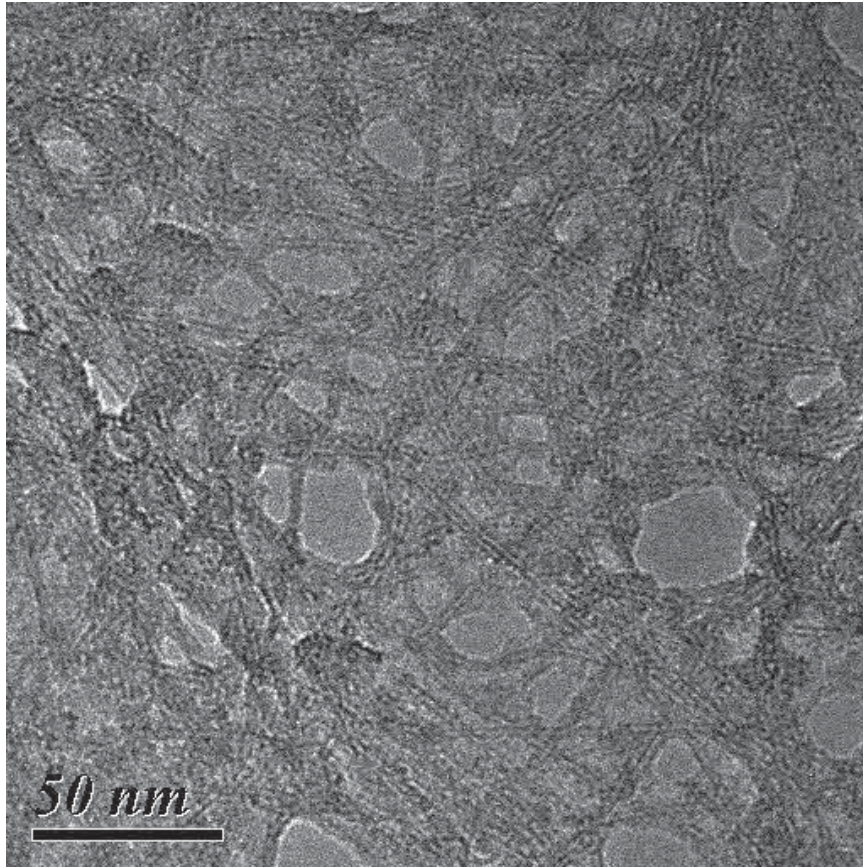
- ・ チューブ状のアルミニウムシリケート
- ・ 外径 2.5nm 内径 1.0nm
- ・ 長さ 数十 nm ~ 数 μ m

●化学組成

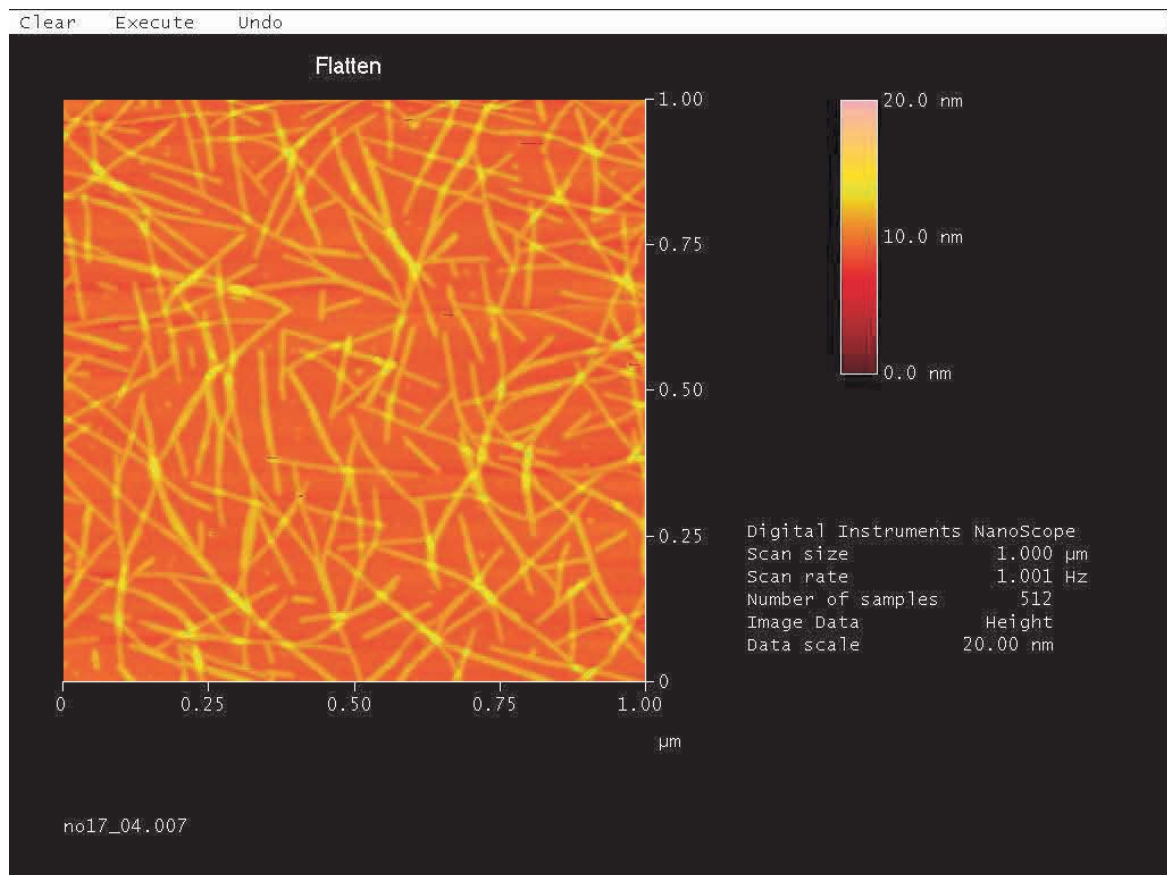
- ・ $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 $((\text{OH})_3\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiOH})$



イモゴライトの構造モデル

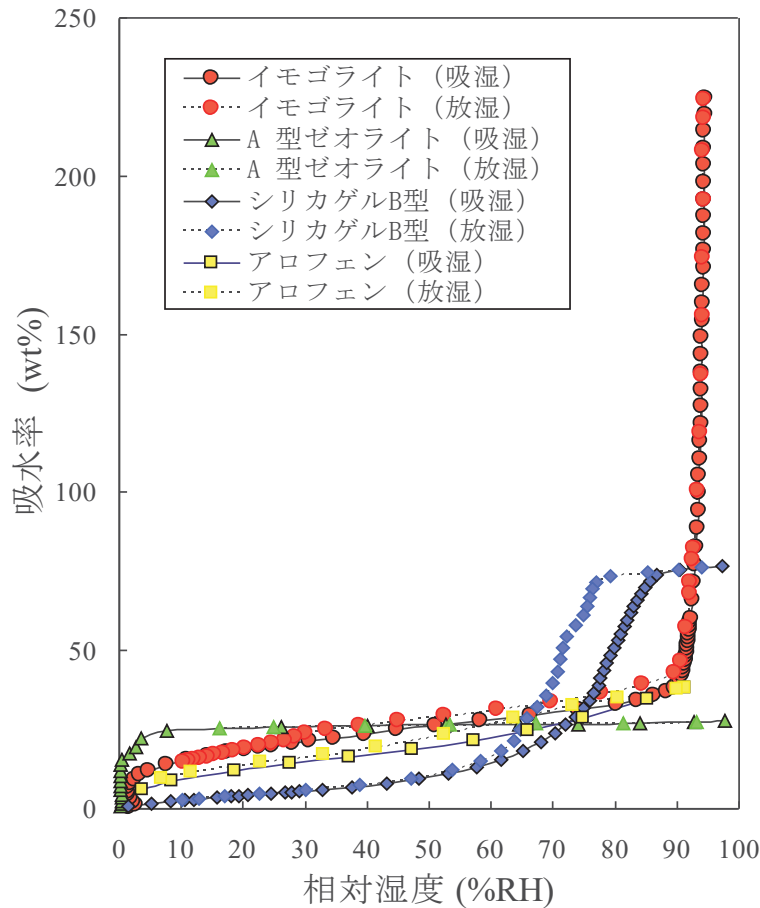


合成イモゴライトのTEM写真

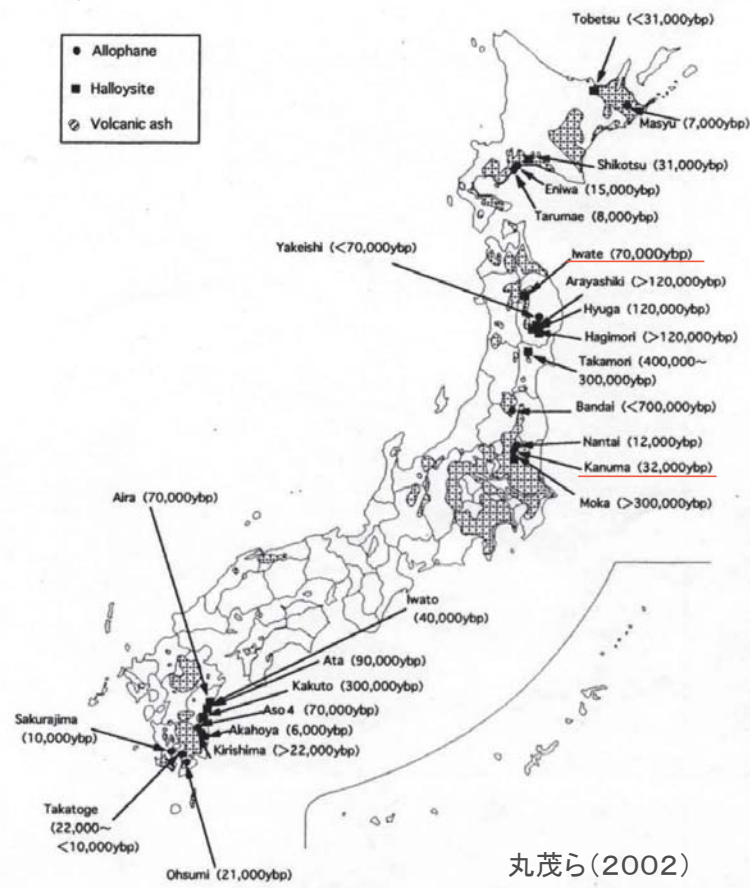


合成イモゴライトのAFM画像

結露防止剤としてのイモゴライト



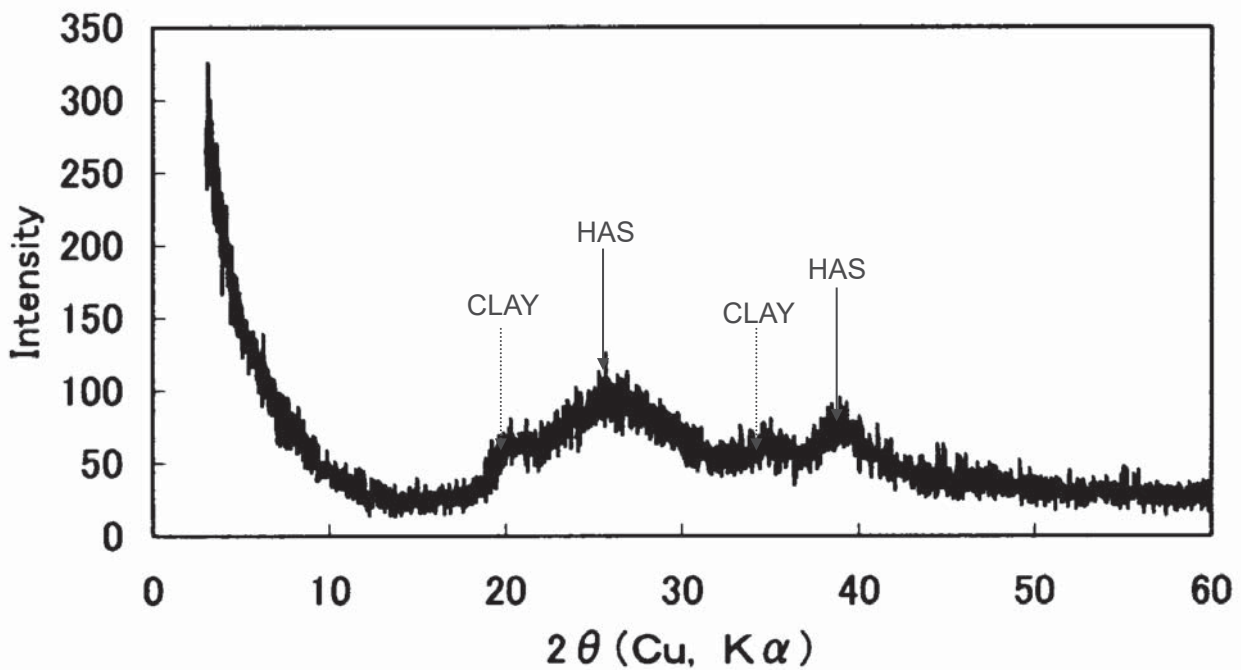
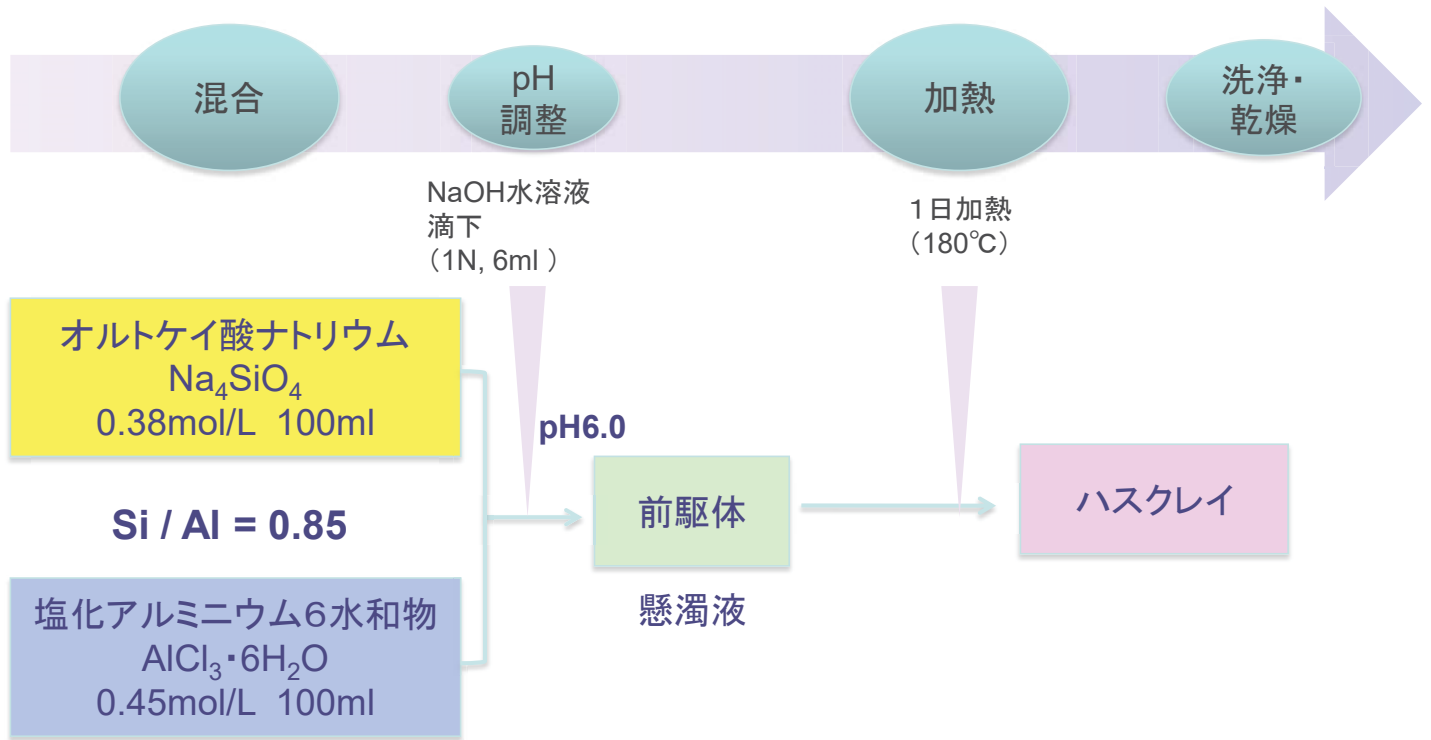
天然イモゴライトの産状



丸茂ら(2002)

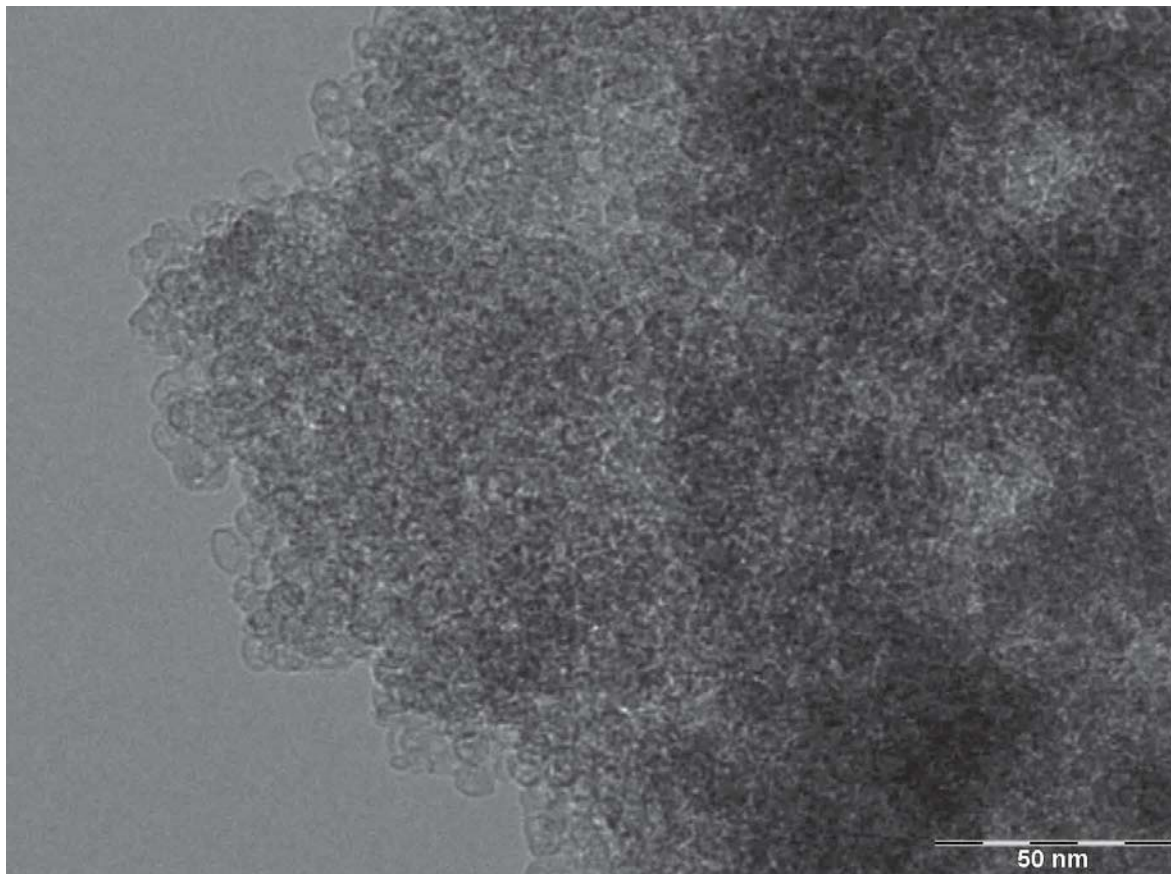
4. 粘土系吸着材「ハスクレイ」について

4.2 合成法と性能



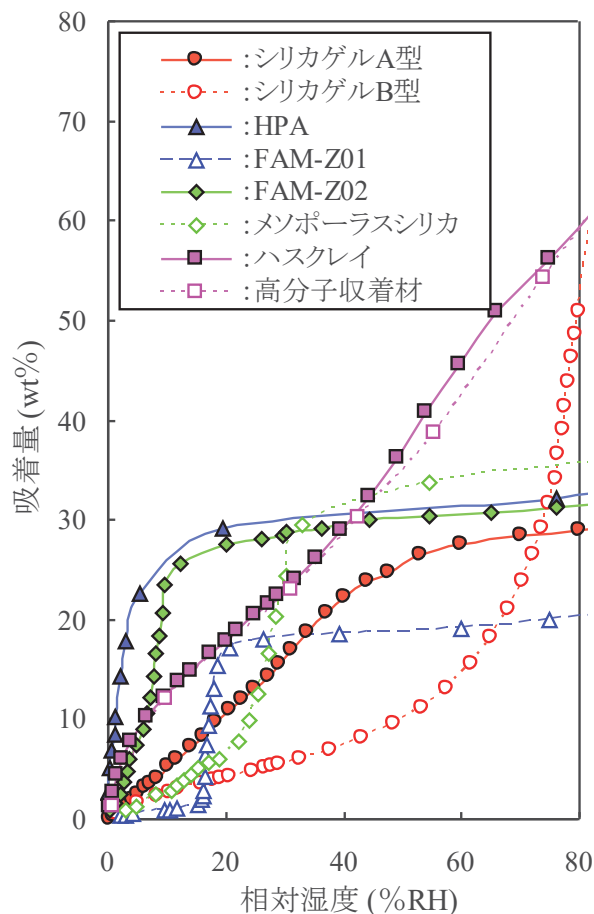
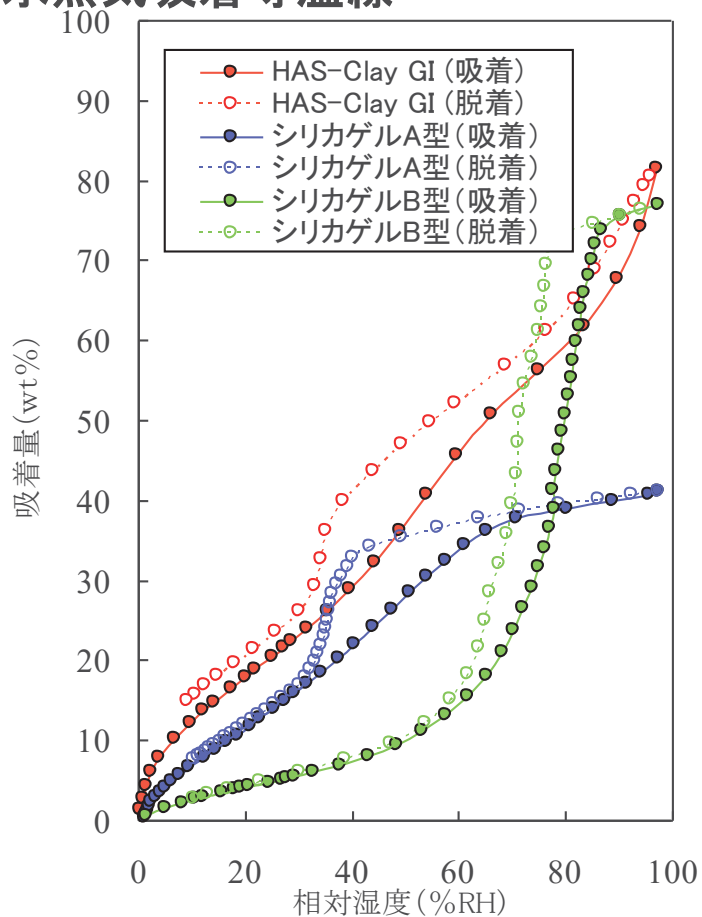
HAS:Hydroxyl Aluminum Silicate

生成物について(XRD)



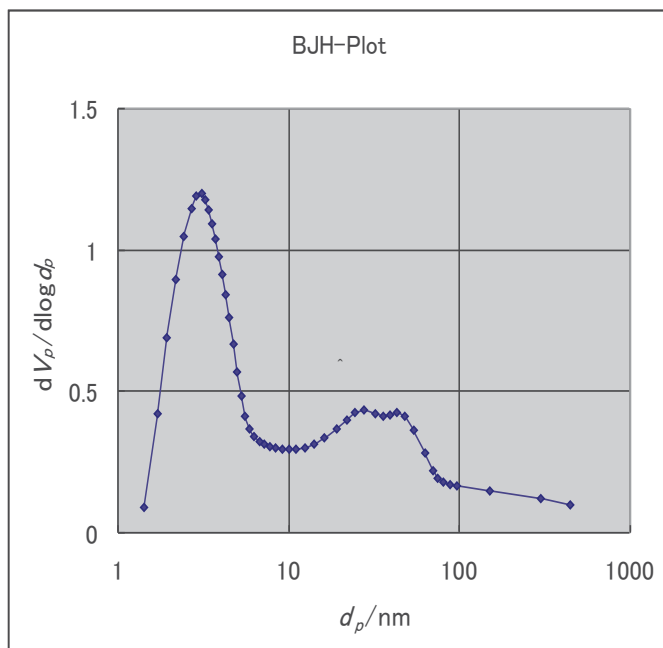
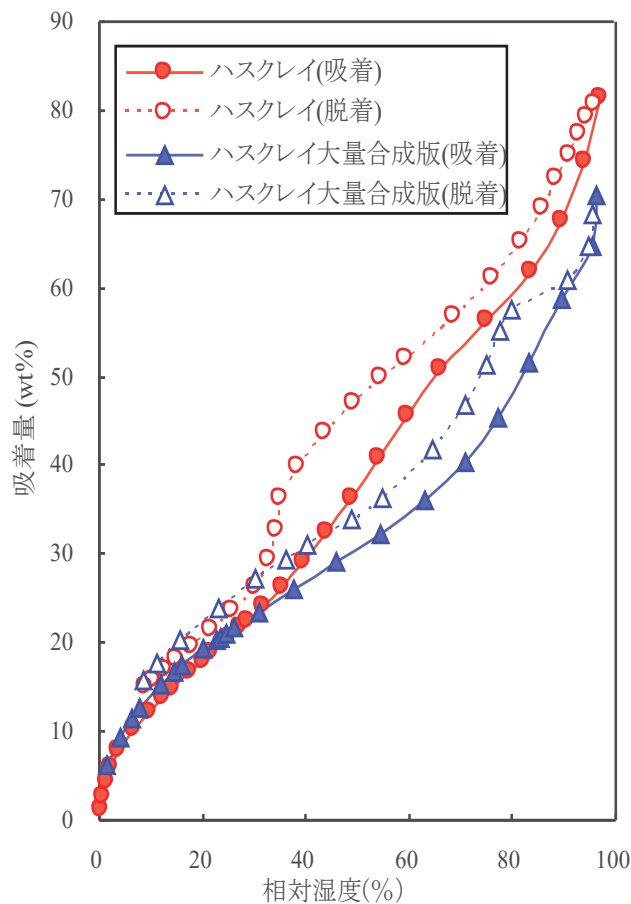
生成物について(TEM)

水蒸気吸着等温線

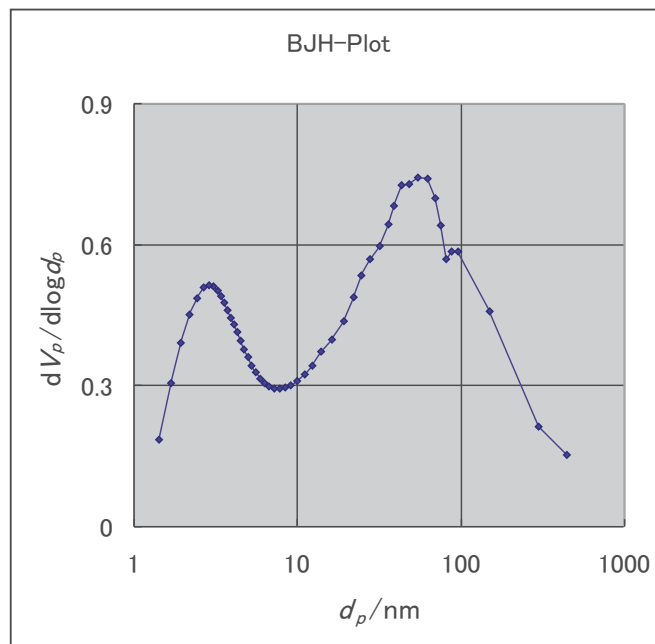


ハスクレイとハスクレイ大量合成版

	ハスクレイ	ハスクレイ大量合成版
合成温度	200°C・4h	98°C・16h
吸着量(60%RH)	45wt%	32wt%
比表面積(m ² /g)	802	520
合成工程 (加熱前洗浄)	有	無
合成コスト	高	低



ハスクレイ
(比表面積: 802m²/g)



ハスクレイ大量合成版
(比表面積: 520m²/g)

窒素吸着による細孔分布測定

5. モバイル型蓄熱システム開発

5.1 吸着剤の開発

- 安価で500kJ/L以上の高い蓄熱密度の蓄熱材(改良型ハスクレイ造粒品)を開発
- 製造技術のスケールアップを図り、1,000ton/年レベルの生産を可能とする量産製造技術を確立
- 今後は、開発した蓄熱材の市場投入に向けて①信頼性の確認、②1,000円/kgを実現するための量産工程・製造システムの検討

改良型ハスクレイ造粒品の外観



量産製造装置の外観



低コスト化検討	
これまで	合成時に180°C以上の高温条件が必要
今回開発	合成プロセスを見直し100°C以下で合成が可能
更なる蓄熱密度の向上	
これまで	524kJ/L@100°C再生
今回開発	材料組成の改良や造粒条件の最適化により、588kJ/L@100°C再生

5.2 蓄熱システム開発

- 蓄熱材10kg~2ton級の試験装置で蓄放熱性能を評価
→蓄熱材充填槽の仕様(圧力損失1kPa以下、蓄熱密度500kJ/L)を確定
- 蓄放熱性能の試験データに基づき、設計/提案ツールを開発
→システム仕様設計だけでなく、システム導入検討のための費用対効果の導出にも利用可能

10kg級蓄熱材充填槽の試験装置



100kg級蓄熱材充填槽の試験装置



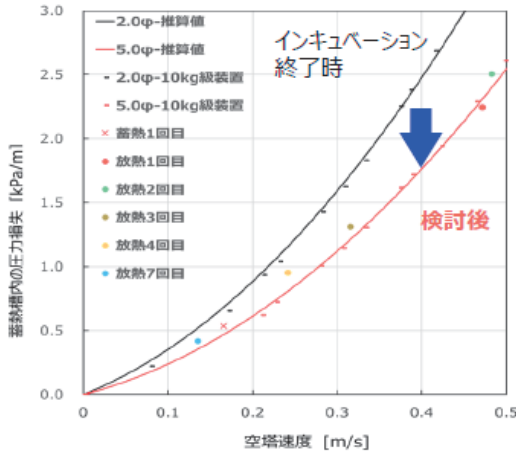
トラック搭載時の蓄熱システム
(2ton級蓄熱材充填槽)



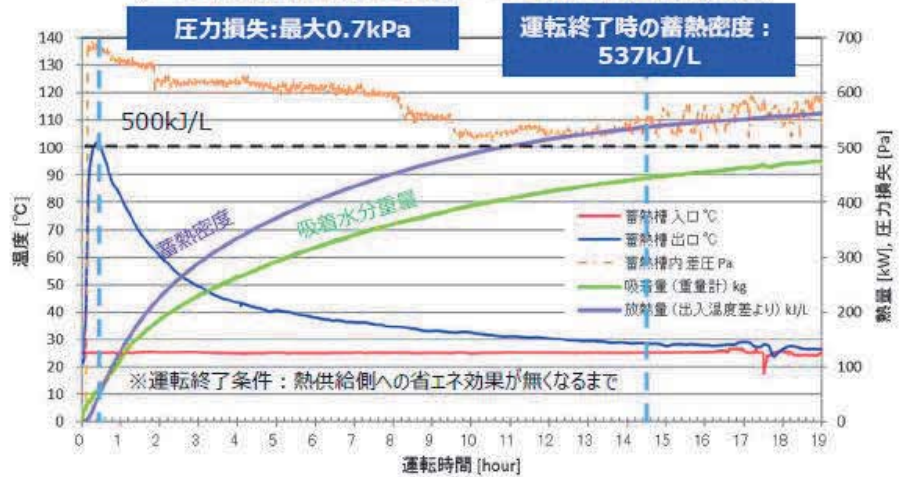
蓄熱材充填槽の仕様(圧力損失1kPa以下、蓄熱密度500kJ/L)を確守

- ① 2ton級蓄熱材充填槽での検証試験において圧力損失0.7kPa(1kPa以下)、蓄熱密度537kJ/L(蓄熱密度500kJ/L以上)を確認
- ② 充填槽の圧力損失計測と性能試験から、低圧損と蓄熱材性能の確保が可能な造粒体粒径を抽出
- ③ 安定的な蓄放熱性能を維持し軽量/コンパクトな2ton級蓄熱材充填槽の仕様・構造を確定

圧力損失の測定試験結果



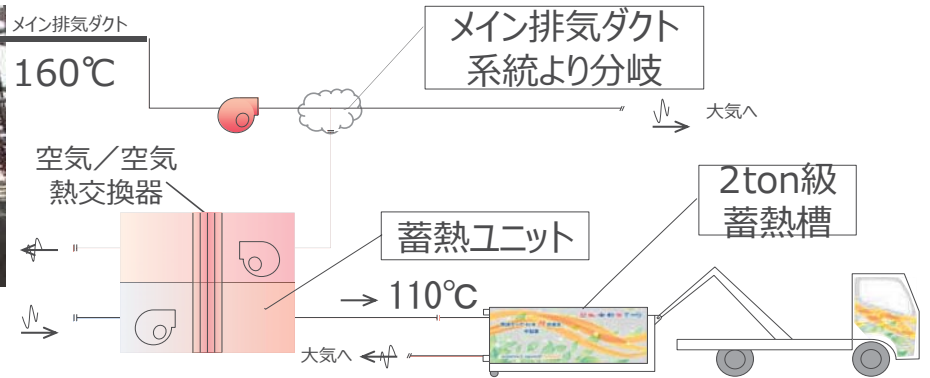
2ton級蓄熱材充填槽による検証試験結果



蓄熱システム実証試験(日野自動車での検証試験)

羽村工場: 塗装工程の排気脱臭装置No.2 RTOより廃熱回収

蓄熱

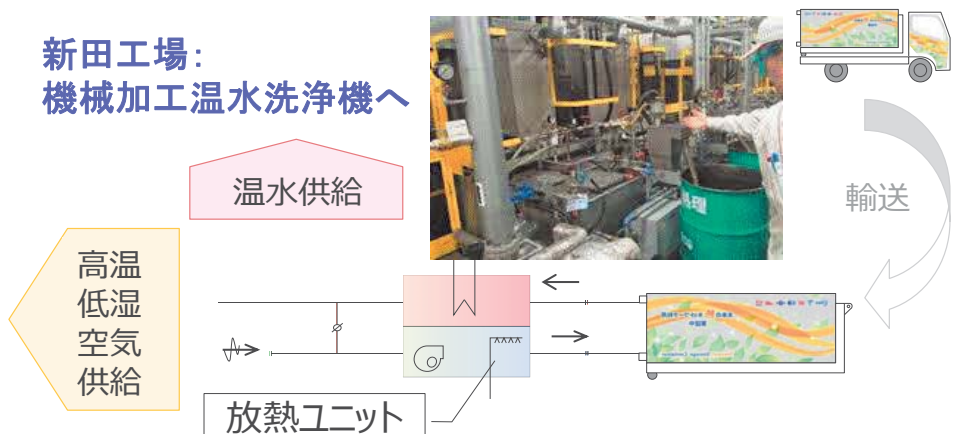


放熱



日野工場(厚木技研): ペレット乾燥機へ

新田工場: 機械加工温水洗浄機へ

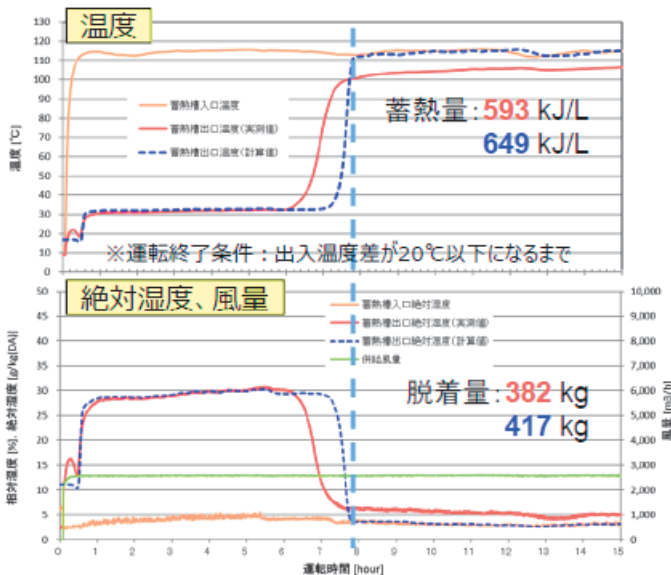


日野自動車工場間での2トン級蓄熱システム検証試験

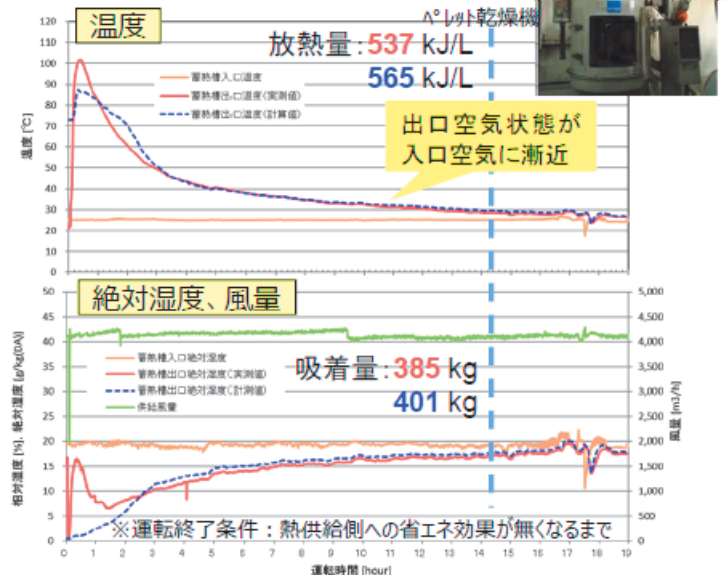


蓄熱システム実証試験 (日野自動車での検証試験)

- 2ton級蓄熱材充填槽の蓄熱システム試験装置において工場の乾燥工程を模擬した蓄放熱試験を実施し、システムシミュレーションモデルとの比較も含めて放熱速度などの設計蓄放熱性能を確認



検証試験結果例: 蓄熱 (2/13)



検証試験結果例: 放熱 (2/21)

省エネルギー効果

2022年時点：1.57万kL/年

(CGS廃熱利用1.42万kL/年,工場廃熱利用0.15万kL/年)

2030年時点：7.88万kL/年

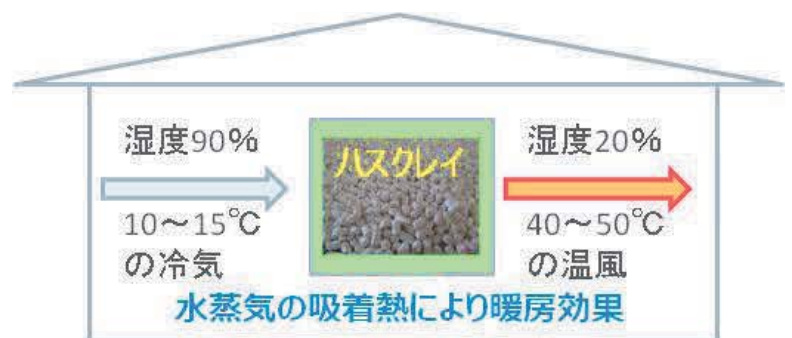
(CGS廃熱利用7.19万kL/年,工場廃熱利用0.69万kL/年)

用途	比較対象	項目	2022年	2030年	比較対象	項目	2022年	2030年
産業用	ボイラー	指標A(効果量)	0.080 kL/年・kW	0.080 kL/年・kW	ボイラー	指標A(効果量)	0.019 kL/GJ	0.019 kL/GJ
		指標B(導入量)	7.7 万kW	39.1万kW		指標B(導入量)	44.0 TJ/年	205.5 TJ/年
		省エネルギー効果量	0.62万kL/年	3.12万kL/年		省エネルギー効果量	0.08 万kL/年	0.40万kL/年
	電気ヒーター	指標A(効果量)	0.230 kL/年・kW	0.230 kL/年・kW	電気ヒーター	指標A(効果量)	0.056 kL/GJ	0.056 kL/GJ
		指標B(導入量)	1.9 万kW	9.8万kW		指標B(導入量)	11.0 TJ/年	51.4 TJ/年
		省エネルギー効果量	0.45万kL/年	2.26 万kL/年		省エネルギー効果量	0.06 万kL/年	0.29 万kL/年
民生用	指標A(効果量)	0.140 kL/年・kW	0.140 kL/年・kW	工場の廃熱利用での省エネルギー効果量		0.15 万kL/年	0.69 万kL/年	
	指標B(導入量)	2.6 万kW	13.0万kW					
	省エネルギー効果量	0.36万kL	1.82 万kL					
CGSの廃熱利用での省エネルギー効果量			<u>1.42 万kL/年</u>	<u>7.19 万kL/年</u>	※ 省エネルギー効果量=指標A×指標B			

6. 施設園芸栽培における熱利用システムの開発 風を流すだけで温風を供給し、夜間暖房費を削減！



熱供給システムの外観



熱供給システム概要図

- ハスクレイの吸脱着機能を利用した熱供給システム
- 太陽熱を利用し再生時の電力使用量を削減
- 夜間の除湿にも対応可能

ご清聴ありがとうございました。

