

## 吸着材蓄熱技術を活用したILCの排熱利用の提案

### A PROPOSAL ON USING EXHAUST HEAT OF THE ILC WITH ADSORPTION THERMAL STORAGE TECHNOLOGY

小久保孝<sup>#, A)</sup>, 吉岡正和<sup>B)</sup>

Takashi Kokubo<sup>#, A)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.

<sup>B)</sup> Tohoku University / Iwate University

#### Abstract

The ILC is a large-scaled accelerator facility using electricity annually at  $10^9$  kWh class and with peak electricity at 164MW. This electric power finally becomes thermal energy and it is taken out with cooling water. In conventional accelerator facilities, it has been radiated in the cooling tower by the atmosphere. However, given the recent social situation requiring efforts for low carbon emission, the ILC design must be carried out by considering energy sustainability in accordance with the following policies: (1) accelerator parameters should be determined to obtain the maximum performance with as little power as possible, (2) improvement in electrical efficiency for all accelerator components, and (3) it is necessary to consider the utilization of exhaust heat. Given that the ILC is constructed in a long straight line, the heat transportation through a pipeline is unsuitable due to the long distance to the heat consumption place, and an alternative method for heat transportation is required. Therefore, in this paper, we propose an off-line heat transportation via trucking container that stores the exhaust heat by applying “Adsorption Thermal Storage Technology”, by adsorption and desorption of the moisture with newly developed materials. This off-line heat transportation has applications outside of the ILC including local primary industries such as agriculture, forestry, and fishery, and has the potential of becoming part of the so called “sixth sector industrialization”. It is our hope to contribute towards new business developments for traditional sectors such as agriculture, forestry, and fishery, as well pioneering new innovations for the future of the Tohoku district.

#### 1. はじめに

ILC は、ピーク電力 164MW、年間使用電力量 10 億 kWh 級の大規模加速器施設である。この大きな電力負荷は、最終的には熱エネルギーになり冷却水で取り出され、従来の加速器施設では、冷却塔で大気に放散されてきた。

しかし、研究用の大型電力施設であっても、低炭素化努力が要求される近年の状況では、加速器性能向上や全機器の電力効率向上によって低電力化を図るとともに、排熱の有効利用を考える必要がある。

直線距離が長い上、熱の消費場所への距離も長くなる ILC においては、パイプラインによる熱搬送は不向きで、それに替わる方法が求められる。

そこで、水分の吸着と脱着により蓄放熱を行う「吸着材蓄熱技術」により、排熱をコンテナに収納してトラック輸送することを提案する。この技術は、ILCに限らず未利用のまま放置されている多くの排熱を、地元の一次産業（農業・林業・水産業）に有効利用し、六次産業化することに応用できる。東北地方の新しい農林水産事業展開に貢献していきたい。

#### 2. ILCの排熱利用の課題

ILC における排熱の回収場所は、アクセストンネルの抗口付近に計画される冷却塔ヤード付近になると思われる、約 50km に7箇所が点在することになる。加えて、中

央変電所付近に計画されるコジェネレーションシステムの排熱は、その温度から利用価値は高いが、全長の中央部に位置する。

熱の消費（利用）場所を、回収場所に近接して計画できることは考えづらく、パイプラインに替わる方法により、パイプラインと併用して排熱利用を計画することが課題である。

市場展開している「熱のトラック輸送」の従来技術としては、液相－固相の潜熱蓄熱を利用したシステムがあるが、その蓄熱量や輸送コスト等の課題から、十分に普及しているとは言いがたい。

高砂熱学工業では、「吸着材を用いた蓄熱技術」に着目し、従来技術の課題を解決して、蓄熱システム改善やオフライン熱輸送の確立を目指し、研究や実証事業を展開している。ILC の排熱利用の課題解決と、高砂熱学工業の研究や実証事業がマッチすると言うことで、東北大学－高砂熱学工業の共同研究に結びつき、本稿となった。

#### 3. 吸着材蓄熱技術

ユニクロのヒートテック<sup>®</sup>は、冬期商品として、人体からの湿分を吸着して発熱する。

同様に、吸着能力が高い吸着材を詰め込んだタンクに湿り空気を供給すると、吸着材が湿分を吸着して発熱し、高温低湿の空気を供給することができる。湿分が飽和して吸着性能が低下した吸着材は、工場や焼却施設からの排熱などから作られた高温（低湿）の空気を通過させることで再生することができる。これが、吸着材蓄熱の

<sup>#</sup> takashi\_kokubo@tte-net.com

Table 1: Thermal Storage Density of Various Adsorption Materials

Thermal storage technology Type	Thermal storage medium	Latent heat kJ/kg	Thermal storage material	Specific weight kg/L	Amount of adsorption kg/kg	Filling rate Vol.%	Thermal storage density kJ/L	Remarks
Adsorption thermal storage	Water (Moisture)	2,440 Gas - Liquid	Zeolite 13X	1.20	0.26	50	381	
			Silica gel A-type		0.28		410	
			AQSOA®-Z01		0.30		439	
			Polymer adsorbent		0.35		512	
			HAS-Clay		0.37		588	AIST

原理である。

Figure 1 に蓄放熱運転の模式図を示す。左図は排熱などから作られた高温(低湿)の空気で再生する蓄熱運

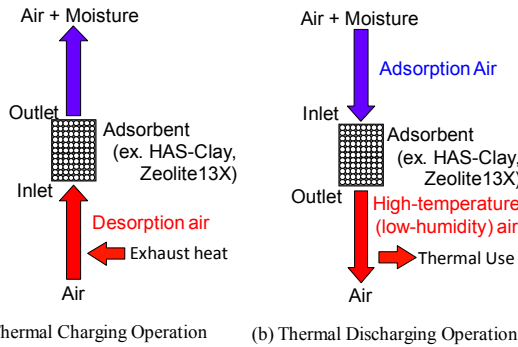


Figure 1: Charging and discharging operation of adsorption thermal storage technology.

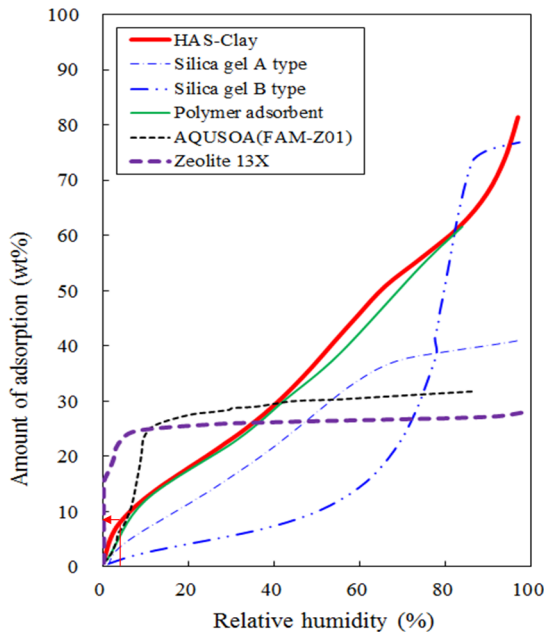


Figure 2: Isothermal adsorption diagram [1,2].

転(Charging 運転)であり、右図は吸着材が湿分を吸着し発熱して高温低湿の空気を供給する放熱運転(Discharging 運転)である。

各種吸着材の蓄熱密度の比較を、Table 1 に示す。吸着水分量は、Figure 2 に示す吸着等温線での「50%RHと1%以下 RH の水分吸着量の差」として示されている。Table 1 に示す吸着材のうち、ハスクレイ:HAS-Clay は、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)が開発した材料で、Figure 2 の吸着等温線がリニアなことが示すとおり、蓄熱密度が大きいうえ、100℃以下の低温排熱でも使用できる。最新の改良型ハスクレイでは、蓄熱密度は588kJ/Lit.と報告されている。

#### 4. 開発概要の紹介

##### 4.1 ハスクレイでの開発(NEDO 助成事業)

新エネルギー・産業技術総合研究開発機構(NEDO)の助成を受けて、改良型ハスクレイの開発とシステム化技術の開発を行ってきた。プロジェクト構成メンバーは、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)、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)、日野自動車(株)である。

国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)が開発した「粘土系ナノ粒子吸着材」のハスクレイ:HAS-Clay をベースに、大きな蓄熱密度と安価な製作費用を目指して、改良型ハスクレイを蓄熱材として開発してきた。Figure 3 にハスクレイの X 線回折ピークを、Figure 4 に透過型電子顕微鏡画像を示す。

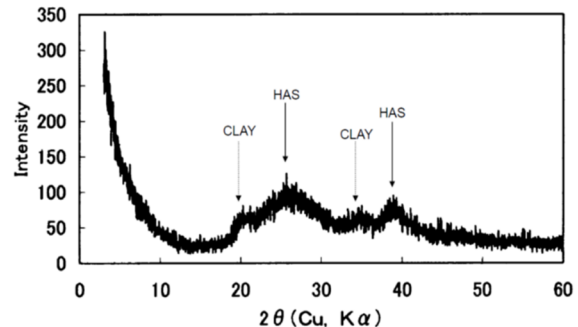


Figure 3: X-ray diffraction of HAS-Clay [1].

2016～2017年度の実用化開発フェーズでは、改良型ハスクレイによる、日野自動車工場間と高砂熱学工業(株)技術研究所間で、熱回収と利用の現地実証試験を行った。トラック脱着装置付きコンテナに充填した、約 2,000kgの蓄熱材(改良型ハスクレイの造粒体)の外観を Figure 5 に示す。また、約 2,000kg のハスクレイを充填した脱着装置付きコンテナを搭載した輸送用トラックを、Figure 6 に示す。

2,000kg のハスクレイの蓄熱量は約 1,800MJ になり、

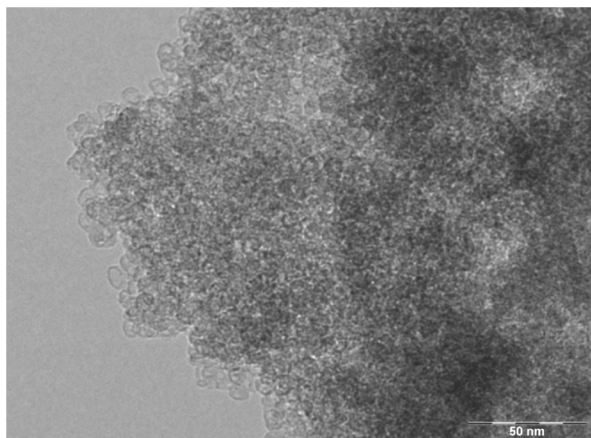


Figure 4: Transmission electron microscope image of HAS-Clay [1].

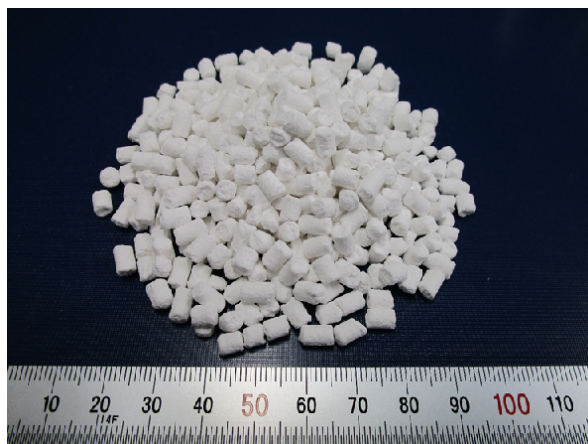


Figure 5: Granulated HAS-Clay [3-6].



Figure 6: Adsorption thermal storage container (Hino motors truck type) [3-6].

家庭用風呂の加温では約 120 軒分、業務用ビルの1日分(朝方の立上り時)の暖房用では約 2,400 m<sup>2</sup>分が賅える量である。

#### 4.2 汎用ゼオライトでの開発

熱利用先を探索することを主目的として NEDO 助成事業とは別途に、栃木県鹿沼市において汎用ゼオライトを用いたシステム化技術の開発を行ってきた。実施会社は、高砂熱学工業(株)、月島機械(株)、サンエコサーマル(株)である。

産業廃棄物焼却施設の発電後の排熱を回収し、その熱利用先は鹿沼市出会いの森福祉センターと鹿沼運動公園温水プールの2箇所である。

Figure 7 に示す鹿沼市出会いの森福祉センターでは、浴槽加温補助、冷暖房、結露防止用乾燥空気供給に利用している。鹿沼運動公園温水プールでは温水プール加温補助、更衣室とトイレに温風供給、結露防止用乾燥空気供給に利用している。

Figure 8 に示すユニック車の荷台に乗せた、汎用ゼオライトが約 700kg入りの蓄熱タンクで熱回収・輸送・熱利用している。



Figure 7: A utilization site of thermal storage tank at Kanuma welfare center "Deainomori".



Figure 8: Adsorption thermal storage tank on the truck.

## 5. ILCの排熱利用の提案

### 5.1 ILCの排熱利用の提案

2.ILCの排熱利用の課題で述べたとおり、排熱回収場所相互及び熱の消費(利用)場所の距離が遠いことを解決する手法に、吸着材蓄熱技術は有効である。

特に、建築物の冷暖房用途に留まらず、農業・林業・水産業など、一次産業向けの利用を考えると、使用できる温度帯が広がり、排熱の有効な活用に繋がる。低温排熱の蓄熱も可能なハスクレイを使うことで、それが可能になる。

筆者らが参加する先端加速器科学技術推進協議会(AAA) CIVIL 部会の提言と重複するが、一次産業向けの利用提案として、以下が候補になる。

- 農業:ハウス栽培、野菜工場、キノコ工場、など
- 林業:材木製材所、木質ペレット工場、など
- 水産業:エビや魚の養魚場、など
- 乾燥食品製造業:椎茸、干瓢、魚、海藻、など

吸着材は、熱とともに乾燥空気の供給ができることから、林業や乾燥食品製造業に向いている。更には、CO<sub>2</sub>の移動媒体としても優秀なため、農業利用には、熱と合わせた利用効果も期待できる。

### 5.2 ILCの建設を待たずとも

Table 2の省エネルギーセンターの調査結果に示すとおり、既存工場から放出されている排熱は、年間1,000PJ以上もあり、しかも、その約半分があまり注目されなかった150℃以下の低温排熱である。

東北地方、そして ILC 計画地近傍にも、工場や焼却施設や地熱発電所など、放置されてきた排熱が大量にある。

従って、ILC 建設を待たずとも、これを契機として、既存の未利用排熱を、「吸着材蓄熱技術」によって農業・林業・水産業の一次産業に有効利用して、六次産業化していくことを提案したい。

## 6. おわりに

ILCは、我が国に初めて誘致する国際大規模プロジェクトであり、これをホストすること自体が東北地方にとり、そして日本にとって大変に意義深いことである。

そこには、今後何十年にも渡り、数千人規模の優秀な研究者とその家族が、世界中から集まり続け、地域に溶け込み生活する。それによって、多様な人的ネットワークとイノベーションが生まれ、ハイテク機器の集合体である ILC 周辺に、ハイテク企業が集積してくることが想像される。本稿の提案内容である「一次産業の六次産業化」が、これらハイテク企業と相乗効果が出せると素晴らしい。

これは、人口減少が避けがたい東北地方、そして日本が選択すべきモデルの一つではないだろうか。

## 謝辞

本稿では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業成果を使用させて頂いた。また、東北 ILC 推進協議会東北 ILC 準備室技術部会の活動内容や、先端加速器科学技術推進協議会(AAA) CIVIL 部会の活動内容を参考にさせて頂いた。ここに記して、深く謝意を表するものである。

Table 2: Quantity of Factory Exhaust Heat in Japan [7]

Temperature (°C)	Gas		Liquid		Solid		Total	
	(TJ/year)	(%)	(TJ/year)	(%)	(TJ/year)	(%)	(TJ/year)	(%)
40 ~ 59	—	—	45,619	49	—	—	45,668	4
60 ~ 79	—	—	14,823	16	—	—	14,839	1
80 ~ 99	—	—	12,629	14	—	—	12,643	1
100 ~ 149	440,480	43	20,394	22	—	—	460,939	40
150 ~ 199	275,129	27	—	—	—	—	275,156	24
200 ~ 249	125,023	12	—	—	—	—	125,035	11
250 ~ 299	68,140	7	—	—	—	—	68,147	6
300 ~ 349	39,034	4	—	—	2,373	8	41,411	4
350 ~ 399	21,035	2	—	—	—	—	21,037	2
400 ~ 449	8,632	1	—	—	—	—	8,633	1
450 ~ 499	8,992	1	—	—	—	—	8,993	1
500 ~ 999	30,164	3	—	—	1,972	7	32,139	3
1,000 ~	—	—	—	—	23,718	85	23,718	2
Total	1,016,629	100	93,465	100	28,063	100	1,138,357	100

## 参考文献

- [1] 国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)HP;  
<http://www.aist.go.jp>
- [2] 鈴木正哉, 前田雅喜, 犬飼恵一, 「高性能吸着材ハスクレイの開発ー粘土系ナノ粒子による省エネシステム用吸着材の開発展開ー」:産総研学術誌シンセシオロジー研究論文, 9巻3号2016年.
- [3] NEDO ニュースリリース, 2017.3.13.
- [4] 山内一正 他, 「100°C以下の廃熱利用が可能な吸着材蓄熱システムの開発」:自動車技術,(公社)自動車技術会, 2017年7月.
- [5] 川上理亮 他, 「100°C以下の廃熱を利用可能なコンパクト型高性能蓄熱システムの開発」:クリーンエネルギー, 日本工業出版, 2017年7月号(予定).
- [6] 谷野正幸 他, 「100°C以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発」:建築設備と配管工事, 日本工業出版, 2017年8月号(予定).
- [7] 秋山友宏「工場廃熱回収のための3つの視点、潜熱蓄熱、化学蓄熱そして熱電発電、時空を超えたエネルギー利用技術として」:Journal of the Japan Institute energy 86, 101-187, 2007年.