

流動層蓄熱システムの開発

Development of Circulating Fluidized Bed Thermal Energy Storage (CFB TES) System

石 川 温 士	技術開発本部技術基盤センターエネルギー変換グループ	主査 博士（工学）
劉 志 宏	技術開発本部技術基盤センターエネルギー変換グループ	調査役 博士（工学）
橋 場 道太郎	技術開発本部技術基盤センターエネルギー変換グループ	
山 根 善 行	技術開発本部技術基盤センターエネルギー変換グループ	主査 博士（工学）
鬼 塚 久 和	技術開発本部技術基盤センターエネルギー変換グループ	主査

カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギー由来の電力（グリーン電力）は重要であるものの、出力が不安定なことで需要にマッチしないことから、有効かつ安定的に利用するにはエネルギー貯蔵が不可欠になる。しかしながら、現在実用化されているエネルギー貯蔵システムは高コスト、立地制約、資源制約といった難点が挙げられる。これらの課題を解決するべく、IHI は清華大学と共同で、大規模で低廉なエネルギー貯蔵システムとして、流動層技術を活用した蓄熱システムを開発した。蓄熱材には、流動層ボイラの熱媒体として一般的に使用されるけい砂を用いた。要素試験と解析を実施した後、100 kW 級の原理実証試験を行い、システムの有効性を確認した。

Green electricity derived from renewable energy is essential for achieving carbon neutrality. Since the output of renewable energy is unstable, energy storage is required to ensure a stable supply, but the energy storage systems currently in use have drawbacks such as high cost, location constraints, and resource constraints. To solve these problems, IHI, in collaboration with Tsinghua University, developed a thermal storage system that utilizes fluidized bed technology as a large-scale, inexpensive energy storage system. The heat storage material used was silica sand, which is a heat medium commonly used in fluidized bed boilers. After conducting preliminary experiments and analyses, we performed a 100 kW class proof-of-concept (PoC) test and confirmed the effectiveness of the system.

1. 緒 言

世界的にカーボンニュートラルの実現への取り組みが進められるなか、化石燃料から再生可能エネルギー（以下、再エネ）へ、エネルギー源のシフトが加速している。日本では、2050 年までにカーボンニュートラルを目指すことを政府が宣言し、資源エネルギー庁が中心となり2021 年 6 月にグリーン成長戦略を策定した。

カーボンニュートラル社会における主力電源となる再エネ電源（太陽光発電、風力発電）は、大規模化・大量生産によって発電コストの低下が著しいものの、地域特性に依存し、発電量や発電時間の変動が大きいという欠点をもつ。そのため、再エネ電源を活用するには、出力を安定化させる必要がある。再エネ電源の安定化には、エネルギー貯蔵システムが有効であり、代表的なものとしては、蓄電池（二次電池）、揚水発電、水素などが挙げられる。これらは、カーボンニュートラルの実現に必要な要素でありながら、さまざまな要因から普及が進んでいない。例えば、リチウムイオン電池に代表される蓄電池は、電気自動車の

普及に伴いコストダウンが進展しているものの、一部には下げ止まりの傾向も見られている。また、材料の希少金属が地球規模で特定の地域に偏在しており、カントリーリスクが存在する。国内外で古くから活用されている大規模なエネルギー貯蔵設備である揚水発電については、昨今の急速な再エネ電源の増加に対して、適地の調査や地元自治体への申し入れ、関係省庁との調整を含めて、計画から建設まで 15 ～ 20 年を要すること⁽¹⁾、⁽²⁾を鑑みると、昨今の再エネ電源の普及スピードに対してタイムリーに十分な容量を確保することは困難といえる。そして、ヨーロッパを中心にエネルギー貯蔵・輸送の切り札として世界的に研究開発・事業開発が進んでいる水素については、以下のような問題がある。すなわち、再エネを利用して作った水素（グリーン水素）が代替燃料として市場に普及するには、グリーン成長戦略⁽³⁾によれば、水素発電コストを2050 年にガス火力以下にするという目標が掲げられており、その実現には数十年の時間が必要とされている。

再エネ電源の変動性を安定化させるには、上述の手段のほかに熱エネルギーに変換して貯蔵する、蓄熱という方法

がある。蓄熱は、ほかのエネルギー貯蔵手段と比較して、大規模低コスト化が容易という特徴を有する。本稿で紹介する流動層蓄熱システムは、既存のエネルギー貯蔵システムが抱える課題を解決できる可能性がある。

まず蓄電池と比較して希少金属を使わないシステムであり、資源調達のカントリーリスクが低い。コストについては、既設の蒸気タービン発電所との親和性が良く、脱炭素化の流れやボイラの老朽化などにより休止を余儀なくされている発電設備を流用することで蓄熱システム自体のコストを大幅に抑制できる。また、蒸気タービンを流用することは、電力系統の安定化という点も利点になる。太陽光発電や風力発電のような変動型再エネ電源は、従来の火力発電や水力発電が保有していた慣性力および同期化力をもたないといわれている。慣性力と同期化力は、電力系統の事故時にも、安定的に電力を供給するために必要な要素である。変動型再エネ電源の大量導入によって、系統電力の安定化に必要な慣性力の不足が懸念されているが、当該システムには慣性力と同期化力があり、電力系統の安定を維持しつつ再エネ電源の普及を促進できる。次に、揚水発電に対する利点としては、立地制約が少なくエネルギー消費地に近接して建設できることと、建設期間が短く再エネ電源の普及拡大のペースに合わせて設備を増強できる点が挙げられる。

なお、カーボンニュートラル社会実現に向けた蓄熱技術の重要性については、一般社団法人日本機械学会の「カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵技術研究会」においても議論がなされ、学会の提言として社会に発信された⁽⁴⁾。

一方でエネルギーを熱で貯蔵するデメリットとしては、電気出力の場合、投入電力に対する出力の効率 (Round Trip Efficiency) が低いという点が挙げられる。この欠点を克服するには貯蔵した熱そのものを有効活用することである。熱の有効利用に関しては、熱が電力よりも輸送しづらい特徴を有することから、需要家の近くに設置する形が想定される。本システムの適用先としては、電力に加えて熱も消費する需要家、もしくは高温熱を大量に消費する需要家が適する。なお、既存の熱需要家のエネルギー源としては、電力よりも安価な化石燃料への依存度が高い。熱の脱炭素化に向けて燃料のグリーン化 (再エネを利用して生成した燃料) は重要であると認識されているものの、熱エネルギー自体が安価であるがゆえに脱炭素化は進んでいないのが現状といえる。一方で、昨今の不安定な世界情

勢に起因した化石燃料の高騰や、脱炭素への世界的な圧力の強まりもあり、低廉なエネルギー貯蔵システムのニーズは高まっていると考える。

本稿では、電気と熱の脱炭素化に貢献できる大規模で低廉なエネルギー貯蔵システムとしての流動層蓄熱システムのコンセプトを紹介し、その後で要素技術の開発と原理実証試験の結果を報告する。

2. システムコンセプト

2.1 システム構成要素

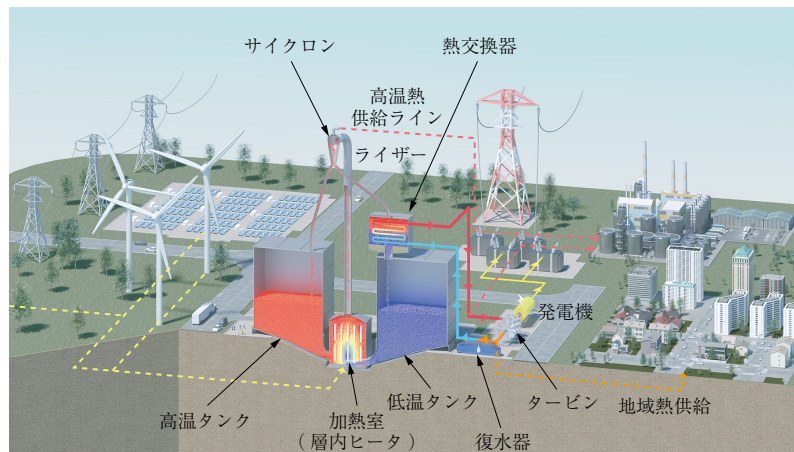
システムコンセプトは、再エネ電源を有効かつ安定的に活用するための大規模で低廉なエネルギー貯蔵システムであり、世界的に見れば安価な電気エネルギーを電気ヒータにより熱エネルギーに変換し、砂を加熱して貯蔵 (蓄熱) する。本システムは循環流動層ボイラの技術をベースにしている。エネルギーが必要なときに、砂の熱エネルギーで水を加熱して蒸気を生成し、蒸気タービン発電やプロセス蒸気などに活用する。コンセプト図を第 1 図に、構成図を第 2 図に示す。砂を貯蔵するタンクの配置によって、タンク並列タイプ (第 1 図 - (a) , 第 2 図 - (a)) とタンク直列タイプ (第 1 図 - (b) , 第 2 図 - (b)) の 2 パターンがある。

主な構成要素は、低温タンク、高温タンク、加熱室 (層内ヒータ) , ライザー, サイクロン, 熱交換器である。それぞれの要素に求められる機能として、低温タンクは蓄熱前の低温の砂をためる。高温タンクは蓄熱後の高温砂をためる機能を有し、耐熱性と断熱性能が求められる。加熱室は板状の層内ヒータとそれを囲う壁面で構成される。層内ヒータは、電気ヒータで砂を加熱する部分であり、砂を最小のスペースで効率良く加熱する機能が求められる。ライザーは加熱室で加熱した砂をタンクに輸送するための配管であり、耐熱性と断熱性能が求められる。サイクロンは、砂と砂を搬送するための空気を分離するため、分離性能や耐摩耗性能が求められる。熱交換器は、高温の砂と水や空気を熱交換し、蒸気や高温空気を生成する。

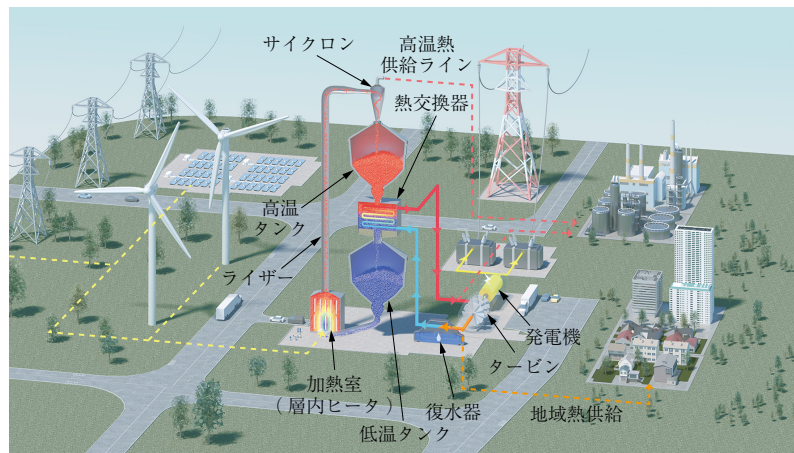
2.2 運用方法, 適用先

エネルギー貯蔵システムの運用方法は、エネルギーを貯蔵するチャージモード、貯蔵したエネルギーを保持するウェイトモード、必要なときにエネルギーを取り出して利用するディスチャージモードの 3 モードが存在する。ウェイトモードは砂の動きがないことから、ここでは砂の動きがあるチャージモードとディスチャージモードについ

(a) タンク並列タイプ

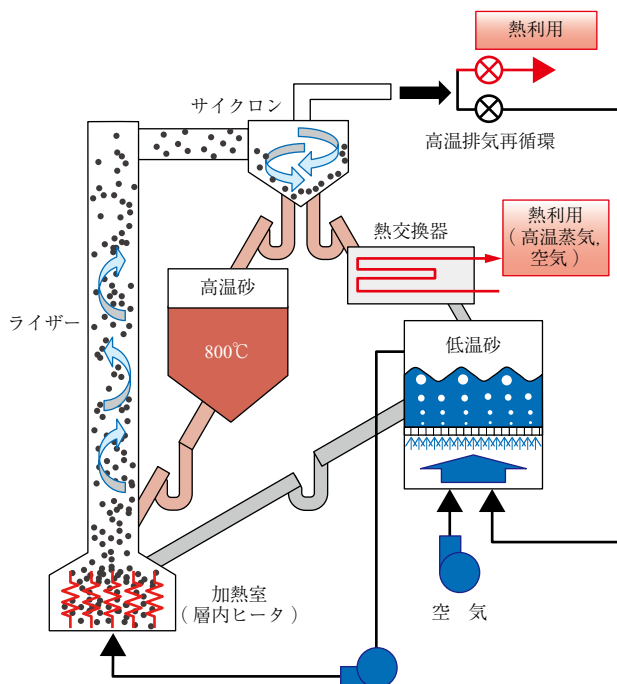


(b) タンク直列タイプ

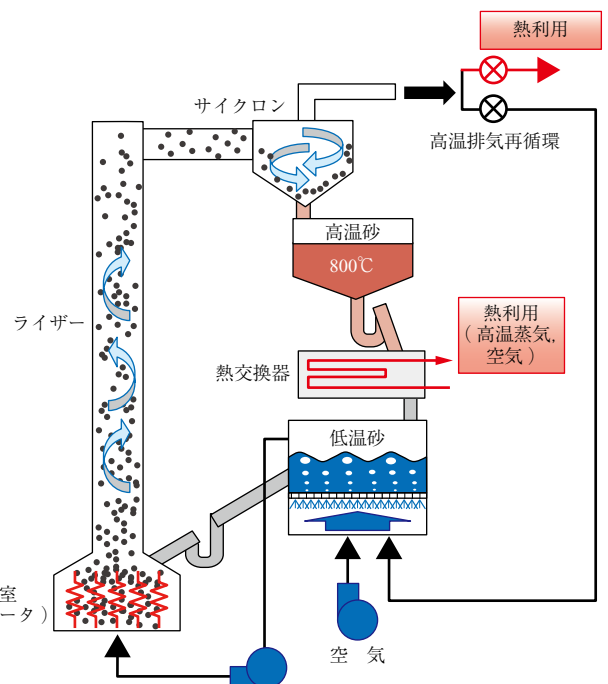


第 1 図 流動層蓄熱システムコンセプト図
Fig. 1 Conceptual diagram of CFB TES system

(a) タンク並列タイプ



(b) タンク直列タイプ



第 2 図 流動層蓄熱システム構成図
Fig. 2 Schematic diagram of CFB TES system

て説明する。

チャージモードは、電気エネルギーを熱に変換して砂に蓄熱する。砂は低温タンクからライザー底部の加熱室に供給されて、電気で高温にした層内ヒータと接触することで加熱される。高温の砂は、加熱室底部から供給される空気によってライザー、サイクロンを経由して高温タンクに貯蔵される。砂の搬送に用いた空気は、砂やヒータから熱を受け取り高温になる。サイクロンで砂と分離した高温空気の熱は、加熱室に供給する空気の予熱に利用され、システム全体の効率改善に寄与する。

続いてデイスチャージモードでは、砂にためた熱エネルギーを高温空気や蒸気といった下流のプロセスで利用できる形で取り出す。第2図-(a)のタンク並列タイプの場合、高温タンクから取り出した砂は、加熱室、ライザー、サイクロンを経由して熱交換器に供給される。サイクロン出口の高温空気の熱はチャージモードと同様に、搬送空気の予熱に利用する。一方、第2図-(b)のタンク直列タイプの場合、高温タンクの砂は直下にある熱交換器に供給される。熱交換器に供給された高温の砂は、水や蒸気と熱交換をして低温になり、低温タンクに貯蔵される。なお、適用先の運用方法によっては、チャージモードとデイスチャージモードを併用する場合は考えられる。第2図-(a)のタンク並列タイプの場合、サイクロン下流の砂を高温タンクに貯蔵する砂と熱交換器に供給する砂に分配させる。一方、第2図-(b)のタンク直列タイプの場合は、高温タンク上部から砂を貯蔵しつつ、底部から熱交換器に砂を供給する。

本システムの適用先としては、蒸気タービンを保有する火力発電所や熱電併給プラントを想定している。そのような適用先では、カーボンニュートラル社会への移行期間として、燃料アンモニア転換を進める石炭火力発電所のように、プラントの機能を維持したうえで、蓄熱システムからの蒸気利用を段階的に増やしていく。装置の入力、出力、および規模感に関するイメージを第1表に示す。安価な再エネ電気を8時間貯蔵し、発電用途としては8時間蒸気を供給するシステムを、熱電併給としては24時間蒸気を供給するシステムとした。

3. 要素開発

本システムは循環流動層ボイラの技術をベースにしている。第2表に一般的な循環流動層ボイラと流動層蓄熱システムの差異を示す。流動層蓄熱は熱源が電気になることに

第1表 流動層蓄熱システム仕様イメージ
Table 1 Assumed specifications of thermal energy storage system for thermal power plant (TPP) and combined heat and power (CHP) plant

項目	単位	仕様	
		発電用途	熱電併給
入力	MW _e	185	185
入力時間	h	8	8
入力量	MW・h _e	1 480	1 480
出力	—	75 MW _e	56 MW _{th}
出力時間	h	8	24
出力量	—	600 MW・h _e	1 332 MW・h _{th}
効率 ^{*1}	%	40	90
敷地面積	m	40 × 40	40 × 40
装置高さ	m	80	80
熱媒体	—	けい砂	けい砂
熱媒温度 ^{*2}	℃	高温 800 / 低温 350	高温 800 / 低温 200
熱媒循環量	t/h	1 200	400 ~ 1 200
熱媒タンク	m	φ 20 × 高さ 30	φ 20 × 高さ 30

(注) *1:蓄熱と熱利用の待機期間による効率低下は1%/週程度(断熱材 900 mm)
*2:高温タンクと低温タンクの砂温度を示す。

第2表 循環流動層ボイラと流動層蓄熱システムの比較
Table 2 Comparison between circulating fluidized bed (CFB) boiler and CFB TES system

項目		仕様	
		循環流動層ボイラ ⁽⁵⁾	流動層蓄熱システム
燃料		石炭、重油、バイオマス	電気(再エネ)
アグロメレーション		あり	なし
排ガス後処理		必要	不要
運転条件	熱媒体	けい砂	けい砂
	温度	800 ~ 900℃	200 ~ 800℃
	圧力	常圧 ~ 微加圧	常圧 ~ 微加圧
	流量	一定	可変
主要機器	ライザー空塔速度	4 ~ 8 m/s	3 m/s
	ライザー底部砂濃度	低	高
	配管摩擦 ^{*1}	中	低
	熱交換器	外部熱交、排熱回収熱交	外部熱交、排熱回収熱交
	貯蔵タンク	不要	必要

(注) *1:けい砂の流速の3乗に比例

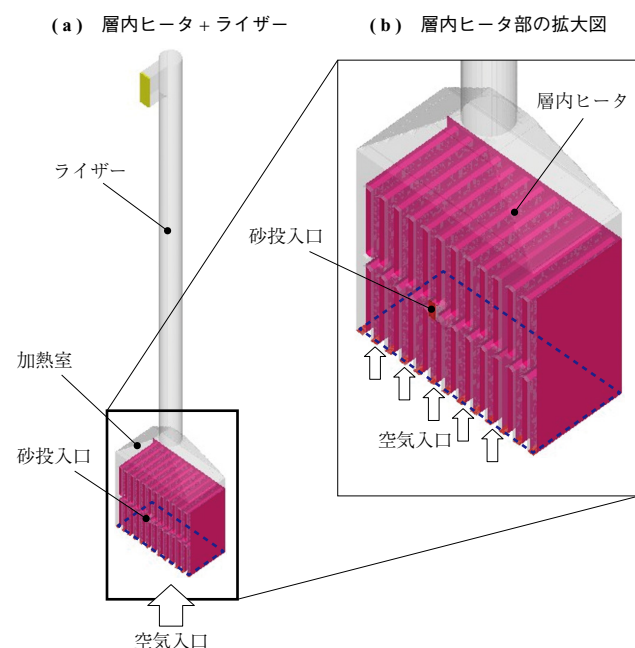
より、炭化水素系燃料の燃焼における局所的な過熱により発生する凝集塊(アグロメレーション)の対策や排ガス処理が不要になる利点が挙げられる。一方、加熱室でヒータの熱を効率的に砂に与える方法や、循環する砂の流量を変化させる運用が求められる。本稿では、3.1節にて層内ヒータ、3.2節にて粒子流量制御機構の開発状況について述べる。

3.1 加熱室(層内ヒータ)

循環流動層ボイラのエネルギー源は石炭、バイオマス燃

料などを流動層内に投入するのに対し、本システムは板状のヒータを流動層内に設置する。層内ヒータの概念図を第3図に示す。層内ヒータは、ライザー底部に空気を供給する分散板の上面に配置する。砂は側壁の砂投入口から層内ヒータの隙間に流れ込み、層内ヒータの周囲に粒子濃度の濃い領域（粒子濃厚相が連続相となる領域）を形成する。空気は、底部の分散板を通して当該領域内に均一に供給される。層内ヒータ周囲の砂は、気泡流動層のように、上昇する空気によって押し上げられたり、押しのけられたり、引き上げられたりしつつ、空気（気泡）の流れにくい壁面近傍では下降流を生じる形で攪拌される。層内ヒータ上方の粒子濃度が薄い領域の砂は、空気とともにライザーに搬送されていく。砂は層内ヒータ周囲で攪拌されることにより、高頻度でヒータと接触し効率良くヒータの熱が砂に伝わる。層内ヒータを薄くし、設置間隔を狭くするほど、加熱部がコンパクトになり、必要な床面積や放熱ロスを抑制できる。一方で、層内ヒータの間隔が狭すぎると、砂がスムーズに流れない領域が生じることが懸念される。また、砂との接触は摩耗を加速させることが懸念される。摩耗のパラメータとしては、衝突頻度に加えて、粒子と壁面の材質（硬度、ぜい性）、粒子の衝突速度、衝突角度、温度などが影響する。

上述の観点から、層内ヒータの機能としては、①砂が狭あい部で閉塞せず、投入口からライザーに至るまでスムーズに流れることにより、局所的な高温部が生じないこ

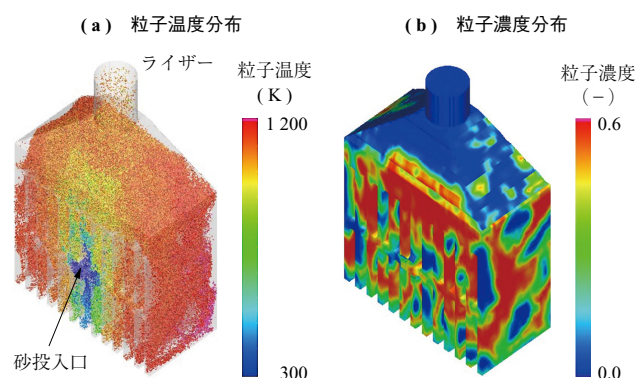


第3図 層内ヒータ概念図
Fig. 3 Conceptual diagram of in-chamber panel heater

と、および②摩耗が問題ないレベルに抑えられていること、が重要な指標となる。この点に関して、数値解析を活用して評価した。解析ツールには、高濃度の粒子流動現象の予測に特化して開発された Barracuda (Virtual Reactor With Chemistry, CPFD Software) を用いた。当該ツールでは、流体相をオイラー的に取り扱い、固体粒子をラグランジュ的に扱う。計算負荷を抑えるため、粒子同士の相互作用については計算セル内の体積分率に関するモデルで計算する。解析条件として、砂を 800℃ に加熱するため、ヒータ表面温度を 1 000℃ として計算した。解析結果の一例を第4図に示す。第4図 - (a) は粒子群の温度分布であり、赤が高温、青が低温を意味する。砂投入口近傍で低温の砂がヒータにより加熱され、砂の流出口（ライザー）では 800℃ 近くに加熱されている。第4図 - (b) は粒子濃度分布であり、赤色が砂の濃い領域を意味する。分布図から、ヒータ周りの狭あいな空間において、砂と空気が満遍なく混ざっており、砂の偏流や閉塞、よどみ領域の生成はなく、スムーズに流れることが確認された。また、摩耗についても、一般的な循環流動層ボイラよりも流速が遅く、摩耗量は限定的であることを確認した。

3.2 粒子流量制御機構

流動層蓄熱システムでは、チャージモード、ディスチャージモードそれぞれで粒子流量を柔軟に変化させることが求められる。粒子搬送の流量制御装置としては、一般的にスクリーフィーダーが使用されるが、高温粒子の搬送には適用できない。また、高温で粒子搬送を制御する J バルブ、L バルブは、On-Off 制御のみで流量制御する機能を有しない。本稿では循環流動層で汎用的に使用されているループシール（J バルブ）の上流にオリフィスを設置することで、高温で粒子流量制御可能な装置を開発した。



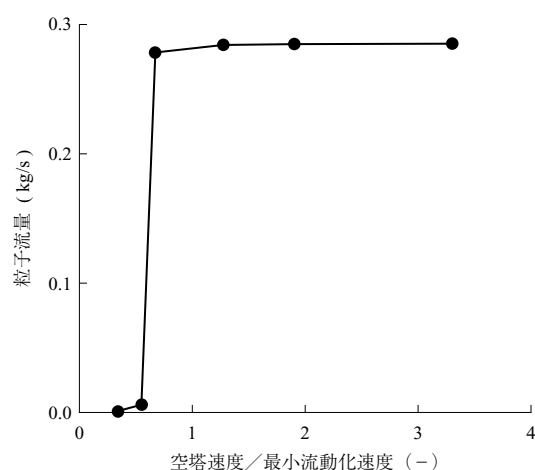
第4図 層内ヒータ CFD 解析結果
Fig. 4 Simulation results of particle temperature and particle concentration distribution in heating chamber

第5図に試験装置の概要図を示す。砂を貯蔵するホッパーからボールバルブ、配管を介して、オリフィスと粒子バルブに砂を供給し、底部のレシーバートンクで砂を回収する。粒子バルブの底部の風箱に空気を供給することで、砂が流動化する。試験では、①オリフィスと粒子バルブで粒子流量を一定値に制御できることを確認した後、②粒子バルブの流動抵抗を評価するため、オリフィス単体とオリフィスに粒子バルブを追加した流動試験を実施した。さらに、実際のシステムではバルブ出口がライザー底部の層内ヒータに接続されており背圧が高くなる。一般に粒子が流出する側の背圧が高いと流動抵抗が大きくなる⁽⁵⁾ことが知られている⁽⁵⁾ことから、③出口圧力の影響についても評価した。以下にその結果を示す。

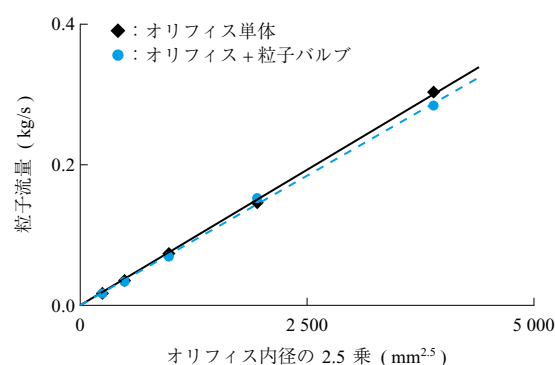
① 第6図に粒子流量と流動化空気速度の関係を示す。

横軸は、充填物がない状態での空気流速を意味する空塔速度 (m/s) を、流動化開始する空気流速である最小流動化速度 (m/s) で除して正規化している。数字が大きいほど空気流量が多くなり、砂の流動状態が活発になる。試験結果から、流動化空気を一定量以上供給することで、粒子流量を一定に制御できることを確認した。

② 第7図にオリフィス径と粒子バルブの有無が粒子流量に与える影響を評価した結果を示す。白井の研究によれば、配管内の粒子流量は配管径の2.5乗に比例する⁽⁶⁾。本試験結果においても、横軸をオリフィス径の2.5乗にすることで粒子流量を整理できてい



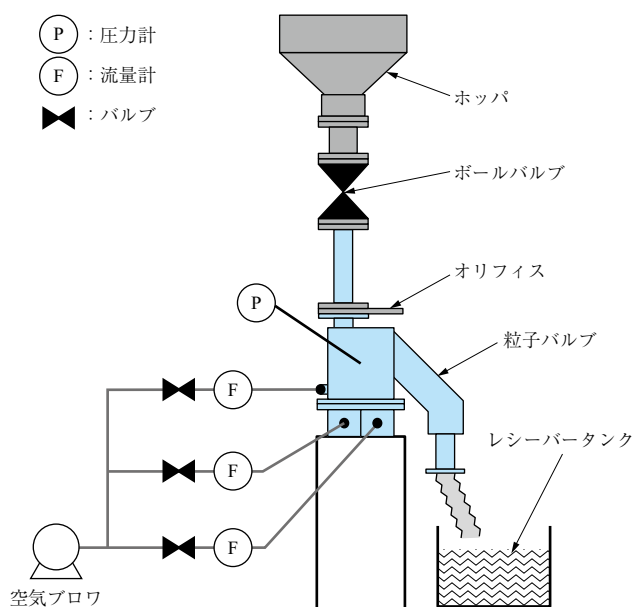
第6図 粒子流量と流動化空気速度の関係
Fig. 6 Relationship between particle flow rate and air flow velocity



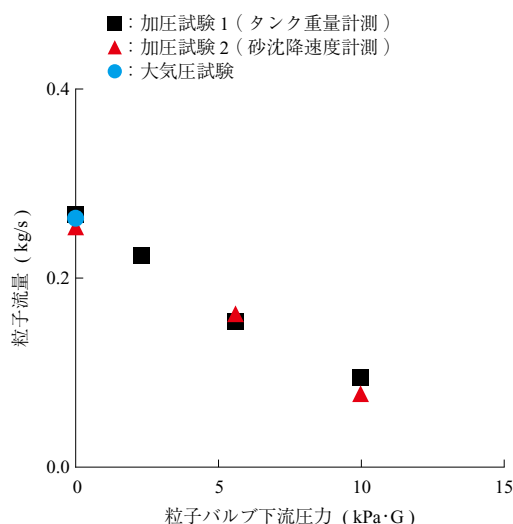
第7図 オリフィス径と粒子バルブの有無が粒子流量に与える影響
Fig. 7 Effects of orifice diameter and with/without valve on particle flow rate

る。また、粒子バルブの有無による粒子流量の低下は4%程度であった。この結果から、粒子バルブの流動抵抗はオリフィスの流量抵抗よりも十分小さく、オリフィスで砂の流量を一定に制御できることが確認された。実際の装置では、複数のバルブを並列に接続し、離散的に流量を制御する。

③ 第8図に粒子バルブ下流圧と粒子流量の関係を示す。図中には、大気圧での試験結果と、加圧試験の結果を示す。加圧試験は粒子バルブ下流を圧力タンクで封止するため、粒子流量の計測に工夫を要する。ここでは、砂を一定時間流下させた際のタンク重量増加（加圧試験1）と、オリフィス上流の可視化配管で砂と空気の界面の沈降速度を計測した結果（加圧試験2）を示す。両計測とも下流圧が上がるにつれて線形に粒子流量が減少する傾向となった。また、下流圧が高い条件では、加圧タンク側の空気が粒子バルブを逆流し、砂の流れが不安定になる様子が観察された。



第5図 粒子流量制御装置
Fig. 5 Experimental apparatus for particle flow control



第 8 図 粒子バルブ下流圧力と粒子流量の関係

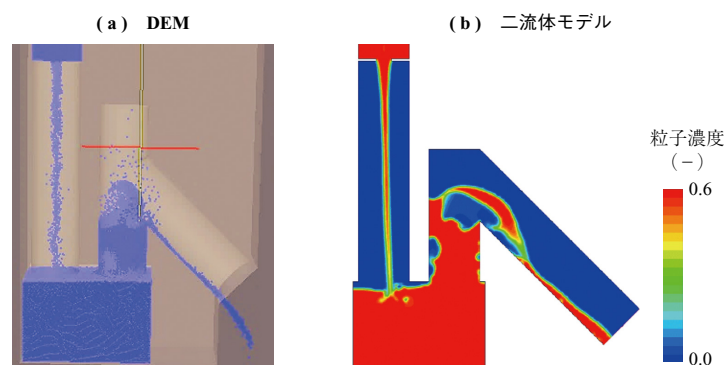
Fig. 8 Relationship between backward pressure of particle valve and particle flow rate

これらの試験に加えて、粒子バルブ内の流動現象の把握と設計技術獲得を目的として CFD 解析を実施した。固気混相流の代表的な解析手法としては、個々の粒子の挙動を考慮して物理モデルとして厳密に扱う離散要素法 (Discrete Element Method : DEM) と、密集した粒子層を連続体として扱う二流体モデルがある。DEM は粒子個々の挙動や粒子同士の衝突を考慮することから、物理現象の再現精度は高いものの、計算負荷が高いという難点が挙げられる。一方、二流体モデルは、粒子個々の挙動をモデル化せず、流体としてモデル化するため、DEM と比較して粒子挙動の予測精度は劣るが、計算負荷が軽いという特徴がある。特に高濃度の粒子群が流体のような挙動を示す流れ場の予測に適する。今回、粒子バルブ内の粒子流れについて、DEM と二流体モデルの比較を行い、二流体モデルの適用可能性を評価した。第 9 図に解析結果の一例を示す。第 9 図 - (a) は DEM (iGRAF, 株式会社構造計画

研究所) の結果であり、- (b) は二流体モデル (Ansys Fluent, ANSYS, Inc.) の結果を示す。二流体モデルは、粒子混相流向けの Euler-Granular 手法を用いた。DEM 法は三次元モデルだが、二流体モデルはさまざまな条件でパラメータスタディを実施する都合、二次元でモデル化しており、両者の比較は定性的になるものの、オリフィスが粒子流量を制御できている点、オリフィス下流に粒子の存在しない空間が形成される点、粒子が間欠的に吹き上がりながら排出されていく点などの重要な特徴を捉えられたことを確認した。その後、第 10 図に示すように、可視化試験結果との比較も実施した。出口が大気圧での複数条件の試験との比較に加えて、下流を加圧したことによる流量低下や、流量の間欠性、下流からの空気の流れについても試験結果の現象を良好に捉えることができた。この結果から、粒子バルブの流動解析に二流体モデルが適用できることを確認した。

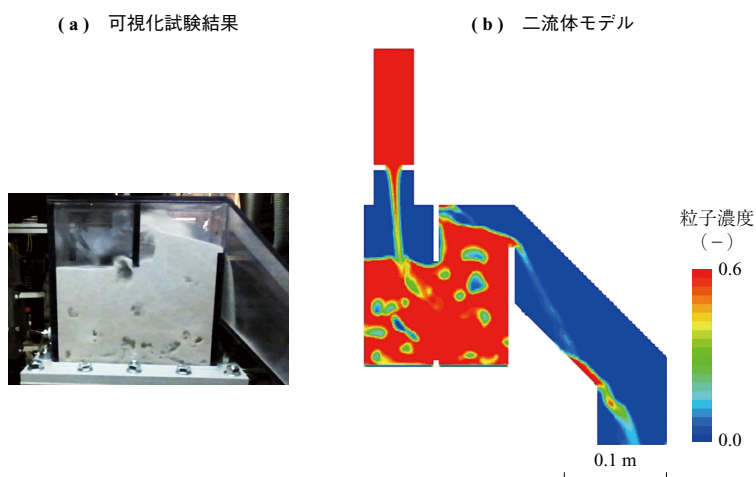
4. 実証試験

流動層蓄熱システムの原理実証を目的として、100 kW 級の試験装置を製作し、試験を実施した。本実証は清華大学の協力を得て遂行した。なお、開発を効率的に進めるため、本試験では既往の循環流動層ボイラとの差異に焦点を当てることとした。具体的には、層内ヒータによる砂の加熱と、高温砂の加熱室からタンクへの搬送について、機能検証を実施した。第 11 図に試験装置の外観写真を示す。本装置は第 2 図 - (b) のタンク直列タイプである。試験装置の仕様を第 3 表に示す。試験結果を第 12 図に示す。本試験において、層内ヒータ表面温度を 1 000℃ に加熱することで、砂を安定的に 800℃ まで昇温し、高温砂タンクに蓄熱できることを確認し、原理実証を成功させた。



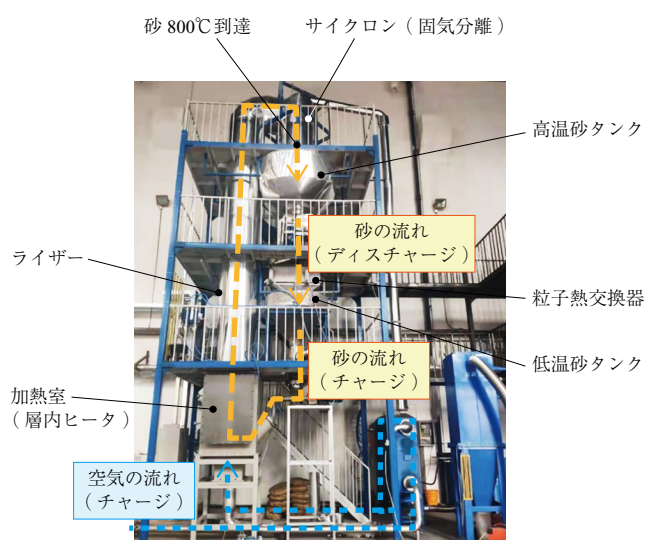
第 9 図 DEM と二流体モデルの解析結果の比較

Fig. 9 Comparison of simulation results of particle valve between DEM and Two-Fluid Model



第 10 図 試験と CFD の比較

Fig. 10 Comparison results of flow pattern of particle valve between experiment and Two-Fluid Model simulation



第 11 図 100 kW 級原理実証試験装置

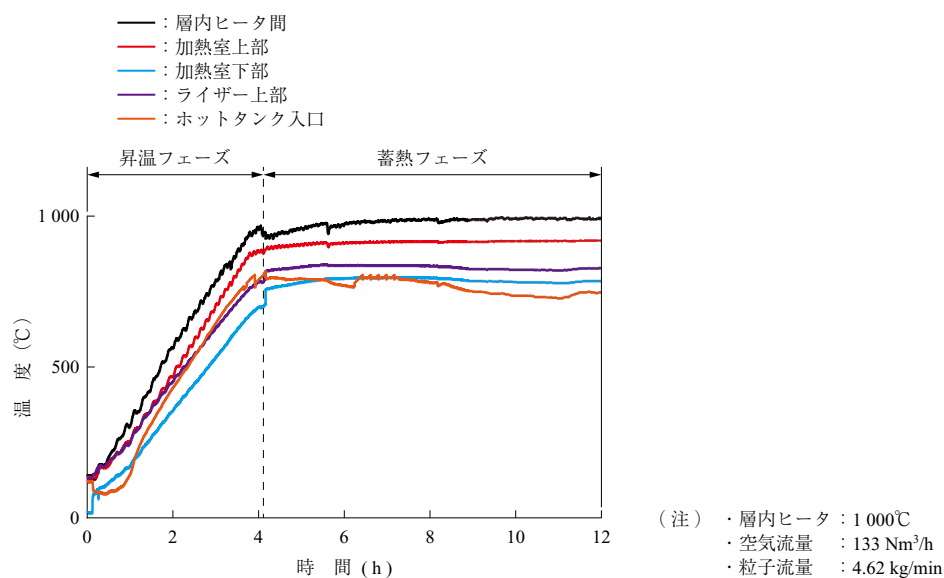
Fig. 11 100 kW class PoC test bench

第 3 表 100 kW 級原理実証試験装置仕様

Table 3 Specifications of 100 kW class PoC test bench

項 目	単 位	仕 様
ヒータ出力	kW	100 ~ 200
熱 媒 体	—	6 号けい砂
砂 温 度	℃	高温 700 ~ 800 / 低温 20
砂 循 環 量	kg/h	350
空 気 温 度	℃	入口 25 / 出口 700 ~ 800
空 気 流 量	Nm ³ /h	150 ~ 500
空 塔 速 度	m/s	3
効 率 ^{*1}	%	60 ~ 90
砂タンク寸法	m	φ1 × 高さ 1
敷 地 面 積	m	幅 4 × 奥行き 3
装 置 高 さ	m	8

(注) *1: 投入電力 (電気ヒータ, プロワ) に対する砂の蓄熱熱量



第 12 図 100 kW 級原理実証試験の結果

Fig. 12 Experimental results of 100 kW class PoC test bench

5. 結 言

国内、海外を問わず、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、変動のある再エネを最大限に活用し、熱と電気の脱炭素を図るには大規模で安価なエネルギー貯蔵システムが必要不可欠になる。本稿では、熱と電気の脱炭素化に資するためのオプションとして、循環流動層ボイラの技術を基礎とした流動層蓄熱システムを開発した。既往の循環流動層ボイラとの差別化要素を中心に技術開発を行ったのち、システム全体の原理実証として 100 kW 級の試験を実施し、投入電力を 800℃の高温砂として蓄熱できることを確認した。今後は、お客さまと IHI、そして社会全体が三方よしを享受できるソリューションに育て上げるべく、社会実装、商用化に向けた開発を進めていく。

— 謝 辞 —

100 kW 級の原理実証試験の実施においては、清華大学の多大な協力により実現しました。これは、張海教授、張揚副教授による技術的支援を始め、多くの優秀な学生の協力によって成し遂げられた成果です。ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 九州電力株式会社：小丸川発電所の必要性と開発の経緯，https://www.kyuden.co.jp/company_history_energy_hydropower_hydropower.html，（参照 2024. 3. 16）
- (2) 一般財団法人エンジニアリング協会：北海道電力株式会社京極発電所建設工事，<https://www.ena.or.jp/GEC/nec/html/nyokai/sk06-8.pdf>，（参照 2024. 3. 16）
- (3) 経済産業省：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略，https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf，（参照 2024. 3. 16）
- (4) 一般社団法人日本機械学会：カーボンニュートラル達成に向けたエネルギーストレージベストミックスのための提言（2024 年），<https://www.jsme.or.jp/about/about-jsme/proposal/teigen202404/>，（参照 2024. 3. 16）
- (5) 堀尾正靱，森 滋勝：流動層ハンドブック，日本粉体工業技術協会編，培風館，1999 年 3 月
- (6) 白井 隆：オリフィスからの粒体の流出速度，化学機械，第 16 巻，第 3 号，1952 年 3 月，pp. 86 - 89