

『次世代型ヒートポンプシステム研究開発』  
研究評価委員会

発表資料(公開)

デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型  
ノンフロストヒートポンプの技術開発

国立大学法人東京大学

(再委託先:独立行政法人産業技術総合研究所)

東京電力株式会社

新日本空調株式会社

平成26年10月17日

研究開発期間:平成22年7月1日～平成25年2月28日

# 発表内容

1. 研究開発の背景、目的、目標
2. 研究開発の計画、研究体制
3. 技術内容と成果
4. 実用化・事業化に向けての見通しおよび取り組み

# 1. 研究開発の背景、目的、目標

## 1.0. テーマの位置付け

家庭用次世代型ヒートポンプシステムとして、寒冷地での着霜問題を解決し、エアコンや給湯機の実運用上の効率向上を目的とした研究開発を行う。

研究開発項目		重要課題			
分野	テーマ名	多様な未利用熱の活用	実負荷に合わせた年間効率の向上	生成熱の最大限の活用	高温熱の効率的な生成
家庭	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの研究開発		○ 対象：冷暖房、給湯 条件等：寒冷地		
業務	次世代型ビル用マルチヒートポンプシステムの革新的省エネ制御の研究開発		○ 対象：冷暖房 条件等：低負荷		
	実負荷に合わせた年間効率向上ヒートポンプシステムの研究開発		○ 対象：冷暖房 条件等：低負荷		
	地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発	○ 対象：冷暖房 条件等：地下熱			
産業 (インフラ)	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通技術	○ 対象：冷暖房、給湯 条件等：下水熱、熱移送		○ 対象：冷暖房、給湯 条件等：下水熱、熱移送	
	高密度冷熱ネットワークの研究開発			○ 対象：冷房 条件等：下水熱、熱移送	
調査事業	次世代型ヒートポンプシステムの性能評価ガイドライン策定と運用に関する検討				

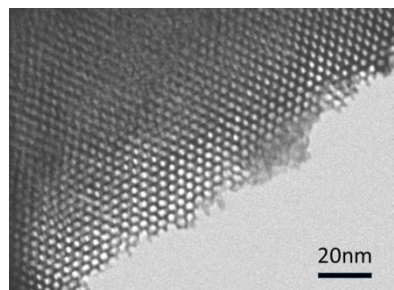
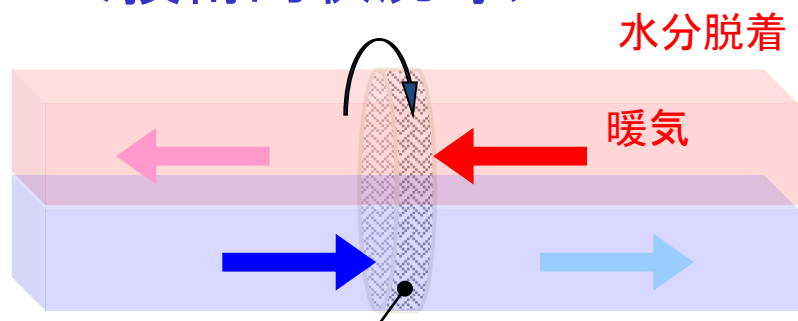
# 1. 研究開発の背景、目的、目標

## 1. 1. 背景

### <社会的必要性等>

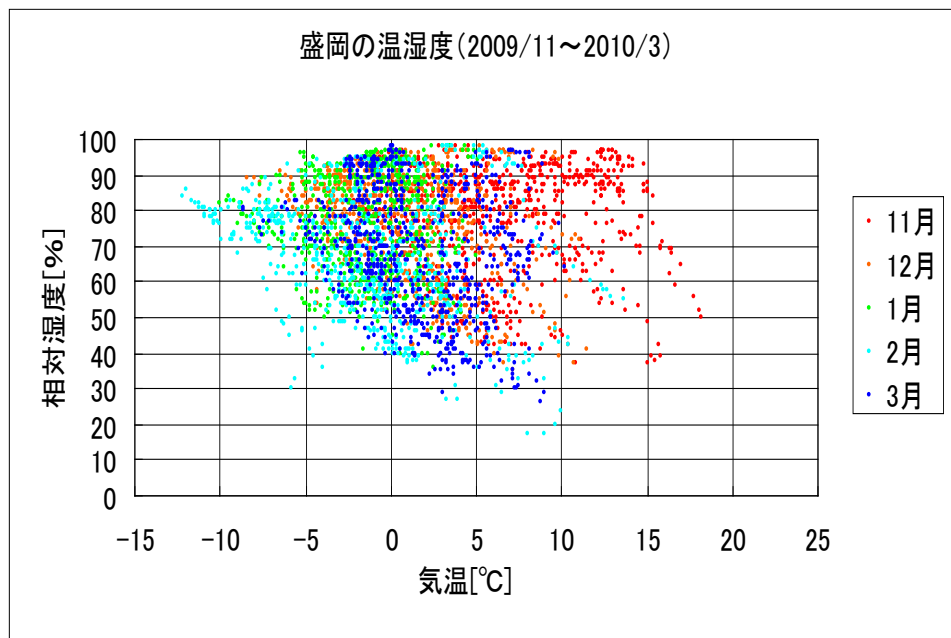
寒冷地でのヒートポンプ普及の為、マイナス温度域においても凍らずに水蒸気を吸着することができるデシカントロータ(メソポーラスシリカ)を内蔵した、寒冷地においても着霜が起きないノンフロストエアコン、及びノンフロスト給湯機を開発する。

### <技術的状況等>



デシカントロータ  
(メソポーラスシリカ)

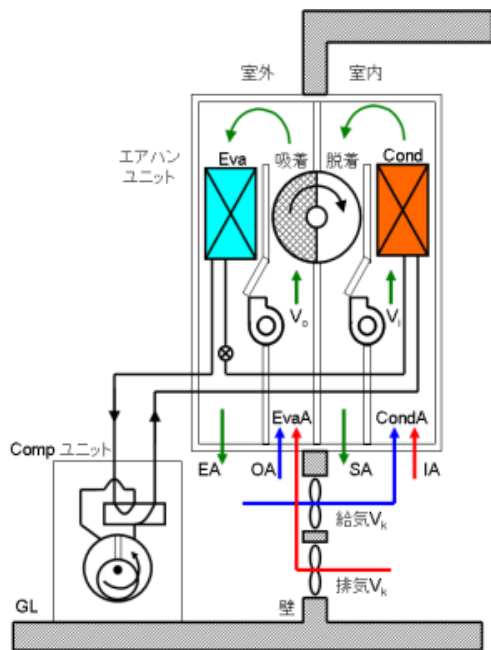
0°C以下でも機能する。メソポーラスシリカの  
STEM画像



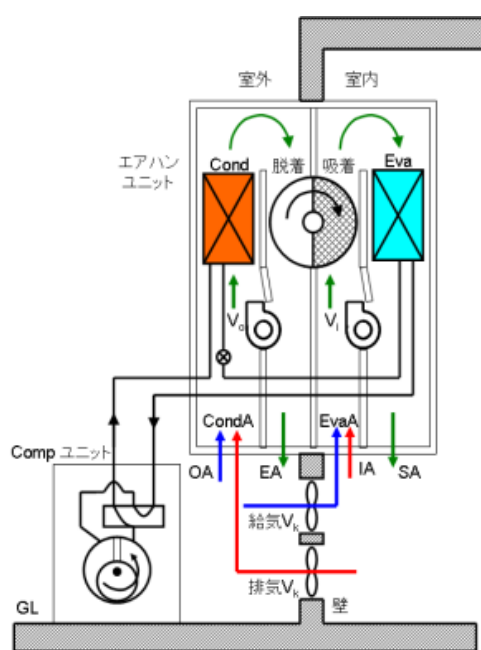
# 1. 2. 課題・目的

## <①ノンフロストエアコン>

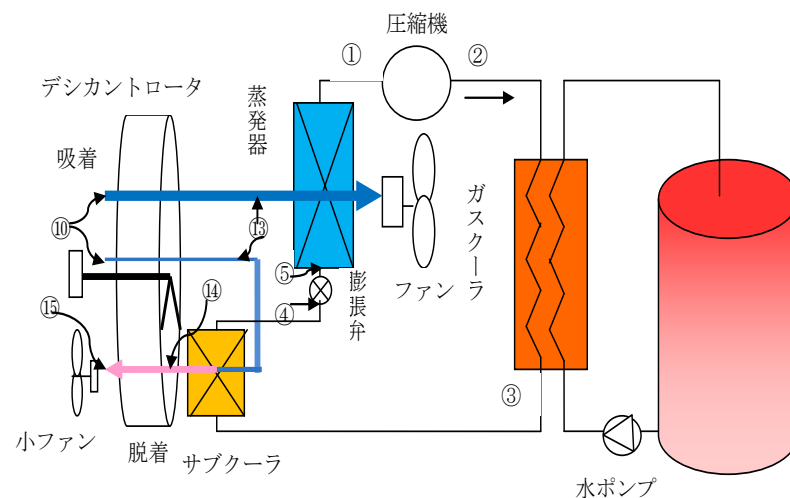
i) 暖房時 (ノンフロスト)



ii) 冷房時 (ノンドレイン)



## <②ノンフロスト給湯機>



高効率な吸着剤を用いたデシカントと蒸気圧縮式冷凍サイクルのハイブリッドシステムを用いて、室内への供給空気の調湿に加え、除湿した外気を蒸気圧縮式冷凍サイクルの室外機に供給するハイブリッドシステムとすることで、冬季に無着霜(ノンフロスト)、夏季に無ドレイン(ノンドレイン)運転を実現させるシステムを提案

寒冷地の気象条件でエアコンのAPFが1.5倍、給湯機の年間給湯効率が1.3倍の向上が目標とする

# 1. 3. 事業最終目標

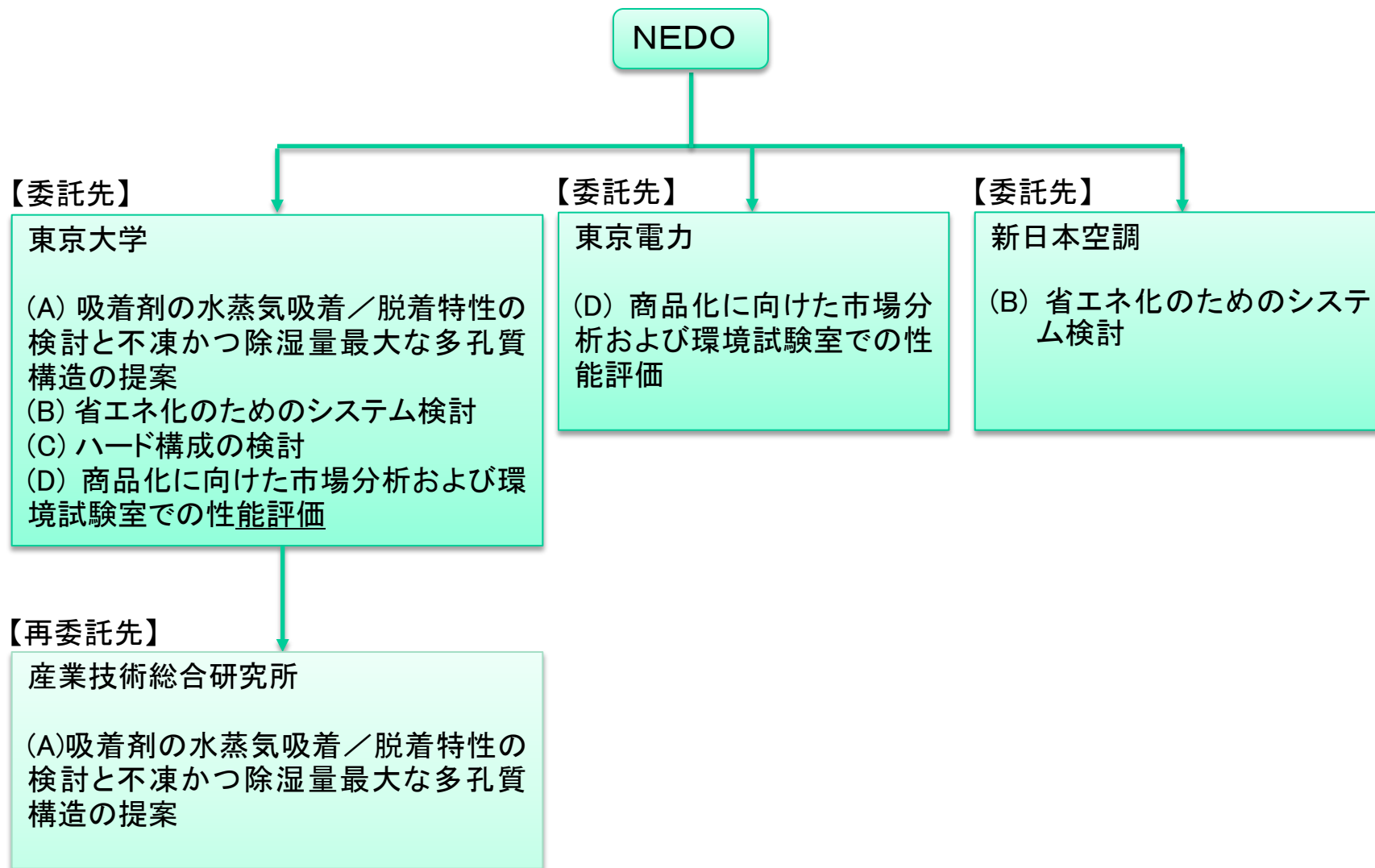
全体目標 (主目標)	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの開発	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッドシステムを用いて、室内への供給空気の調湿に加え、蒸気圧縮式ヒートポンプの冬季に無着霜(ノンフロスト)、夏季に無ドレイン(ノンドレイン)運転を実現させる、寒冷地の気象条件でヒートポンプのAPFを1.5倍、給湯機では年間給湯効率を1.3倍それぞれ向上させる	該当製品がなし
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
(1) マイナス温度域での水蒸気吸/脱着特性の検討と最適多孔質構造の提案	吸着剤の氷点下の吸着性能の把握 メソポーラスシリカのナノ細孔内の水蒸気移動特性の解明 デシカントロータの吸着特性の解明 高性能な吸着ロータの提案	該当製品がなし
(2) ハイブリッドシステムの解析とAPF評価	ハイブリッドヒートポンプの夏季ノンドレイン、冬季ノンフロスト運転 ハイブリッド給湯機の冬季ノンフロスト運転 ハイブリッドヒートポンプの年間APFは1.5倍向上 ハイブリッド給湯機の年間APFは1.3倍向上	該当製品がなし
(3) 商品化に向けた市場分析	実用化に向けた課題の抽出とシナリオの作成	該当製品がなし

## 2. 研究開発の計画、研究体制

### 2.1. 実施計画

	2011Fy	2012Fy	2013Fy
1) 吸着剤の水蒸気吸着/脱着特性の検討と不凍かつ除湿量最大な多孔質構造の提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>デシカント材の平衡吸着量評価: 低温(5.5℃～-7℃)時の平衡吸着量評価</li> <li>デシカント材の設計: 氷点下においても着氷が起きない吸着剤構造の提案</li> <li>デシカントロータの平衡吸着量評価: 既存のデシカントロータの低温での平衡吸着量評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムの効率を最大化するための吸着剤構造を決定</li> <li>デシカントロータの水蒸気吸着/脱着のモデル化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実用レベルでの使用に耐える吸着剤/吸着モジュールを試作, デシカントロータの構造(ピッチ, 厚み, 幅等)の設計</li> </ul>
2) 省エネ化のためのシステム検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアコン, 給湯機のシミュレーションモデルの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアコン, 給湯機のシミュレーションプログラム開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアコン, 給湯機の省エネ化(年間エネルギー効率それぞれ1.5倍と1.3倍)の検討</li> </ul>
3) ハード構成の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアコン, 給湯機のハード構成の最適化: デシカントサイクルの再生熱源用熱源の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアコン, 給湯機の年間効率算出用全運転モード温度条件下でのハード構成のパラメータ判定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアコン, 給湯機のハード構成(熱交換器のフィンピッチ狭小値, 低圧縮比仕様の圧縮機)の設計</li> </ul>
4) 商品化に向けた市場分析および環境試験室での性能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>マーケット分析, 市場調査, 仕様検討: デベロッパ等へのヒアリング結果により, 製品仕様(大きさ, 重さ, 形状など)の指針作成(「ハード構成の研究」における目安とする)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非国内住宅市場での適用市場の検討と省CO<sub>2</sub>効果の算定</li> <li>従来製品の性能評価による, 着霜の影響の明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境試験室での性能評価により性能向上の確認 給湯機: 年間給湯効率で1.3倍 エアコン: APFで1.5倍</li> </ul>
研究開発費(k円)(総計: 240,241)	39,610	93,800	106,830

## 2. 2. 研究開発体制



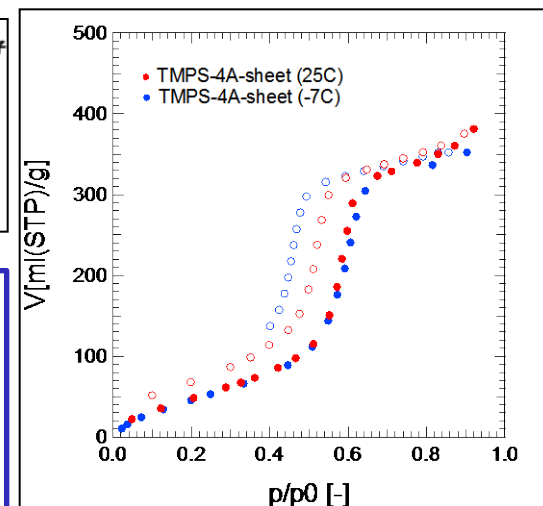
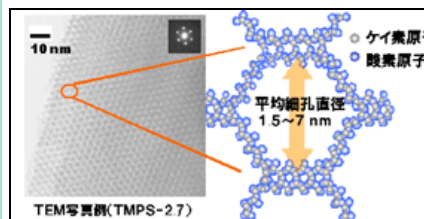


# 3. 技術内容と成果

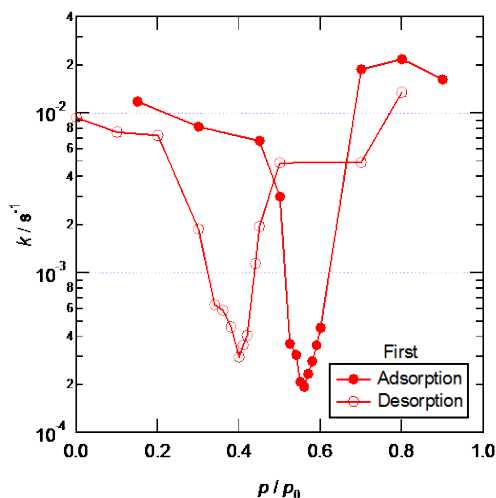
## 3.1. 成果

### (1) マイナス温度域での水蒸気吸/脱着特性の検討と最適多孔質構造の提案の研究

ナノ細孔内部の水は氷点下でも凍らないことが実験的に検証し、メソポーラスシリカTMPS（太陽化学製）について、氷点下でも十分な吸着性能を示すことが確認した



TMPS4A(シート上に塗布)の吸着・脱着等温線(-7℃と25℃)



Zr-MPS粉末の25℃における水蒸気吸脱着緩和速度

重量法(磁気浮遊天秤)を用いてメソポーラスシリカの吸脱着速度特性を計測し、毛管凝縮・蒸発の領域において層状吸着、ポアフィリングの領域より緩和速度が10倍以上小さいことが分かった



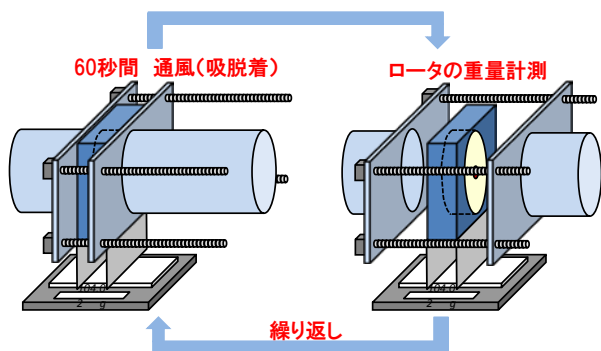
泳動電着法で作製したTMPS担持ハニカム

金属ドーブによるメソポーラスシリカの耐久性向上も確認できた。さらに、泳動電着法によるロータを製作し、バインダーと接着剤の使用を無くすことで更なる性能向上させる提案を行った

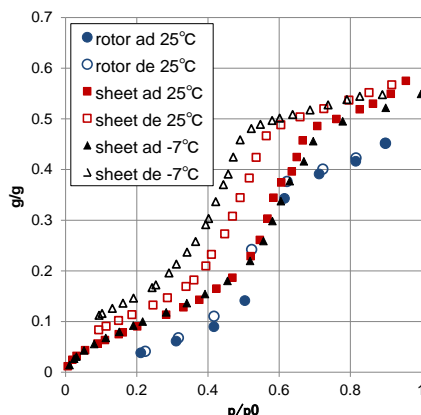
# 3. 技術内容と成果

## 3.1. 成果

### (2) デシカントロータの吸脱着特性



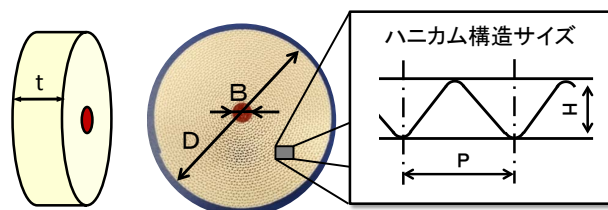
重量法による吸・脱着速度を計測



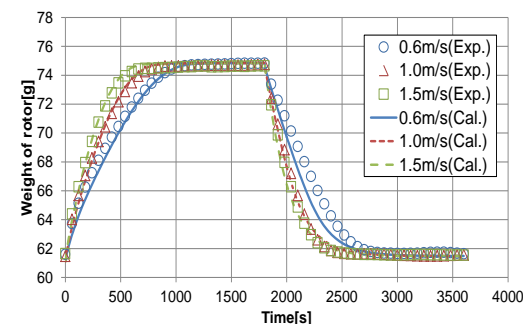
デシカントロータ・シートの常温・低温吸脱着特性

- デシカントロータの低温域における吸/脱着特性を評価する重量法測定装置を開発した
- 極低温においてもシートの吸着量が常温時と変わらないことが確認した。

- 空気側と吸着剤側両方の熱・物質移動抵抗を考慮した性能予測モデルを作成
- 吸着剤の等価物質拡散係数を求めた。空気流速による吸脱着が早まるのは空気側の湿度変化によるものであった



デシカントロータのシミュレーションモデル



吸脱着速度への空気流速の影響

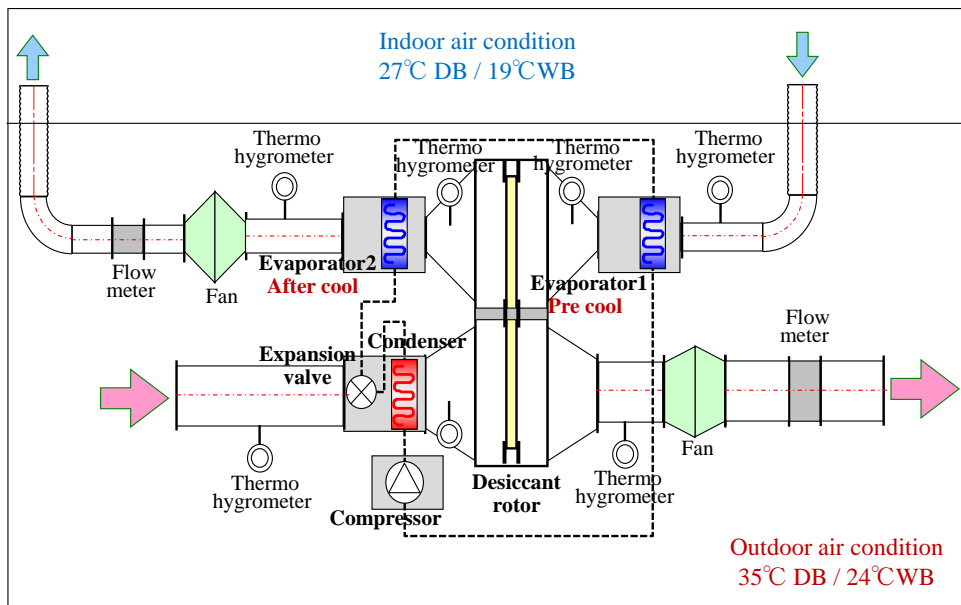
- ロータの低温領域の吸・脱着速度常温より遅くなり、細孔の入り口の凍結による影響の可能性ある

# 3. 技術内容と成果

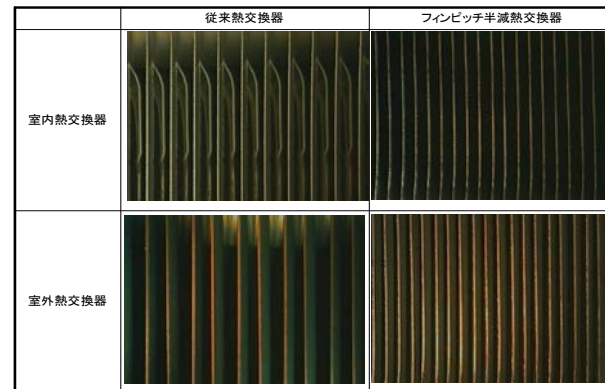
## 3.1. 成果

### (3) ハイブリッドシステムの夏季ノンドレイン運転

ノンフロスト・ノンドレイン運転することで、熱交換器のフィンピッチを現状より小さくすることが可能



ハイブリッド空調機の夏季ノンドレイン運転性能実験装置



フィンピッチ半減熱交換器

System	Base system		Hybrid system	
	Standard	Part	Standard	Part
Load factor				
Fin pitch	mm	1.2	0.7	
Rotor rotation speed	rph	—	9.0	
Evaporate temp.	°C	7.4	16.9	10.4
Condense temp.	°C	47.6	41.2	43.5
COP	-	3.38	6.07	4.68
				(+38.5%)
				(+3.8%)

ハイブリッド空調機と従来エアコンとの比較

- 定格条件においては、蒸発温度が約3°C上昇、凝縮温度が約4°C低下し、ノンドレインが実現できた上に、COPが38.5%大幅に向上した
- 冷房中間条件においてもCOP向上が実現した

# 3. 技術内容と成果

## 3. 1. 成果

### (4) ハイブリッドシステムの冬季ノンフロスト運転

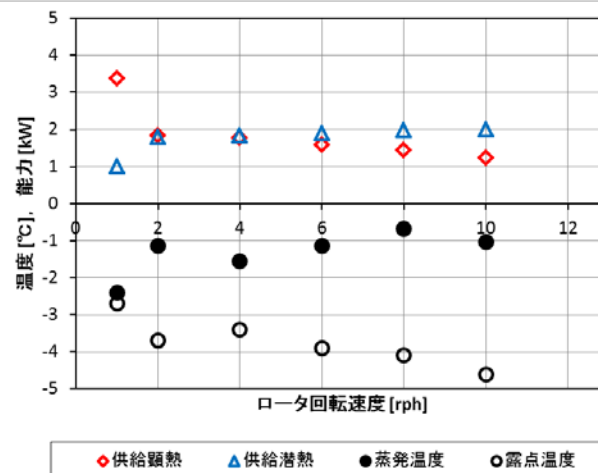


ノンフロスト運転実験装置

2 rph時COP 潜熱を有効に利用することが重要

	供給熱量	COP
顕熱	2.39 kW	1.95
全熱	3.97 kW	3.25
従来機(デフロスト含む)		2.56

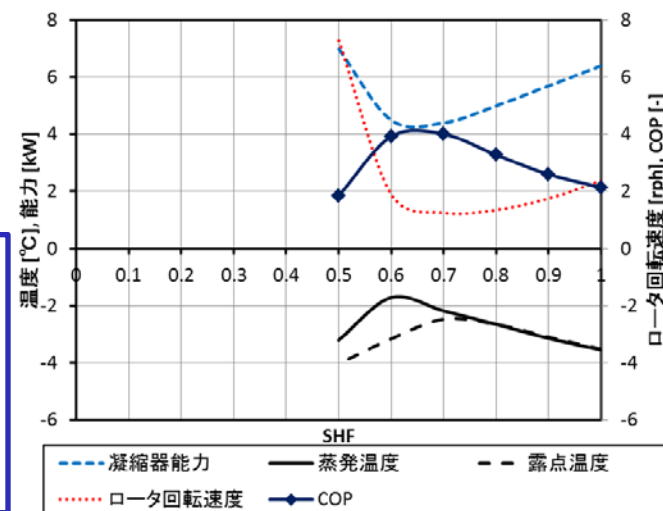
潜熱を有効に利用することで、COP向上が実現できる



ロータ回転数によるノンフロスト運転特性

- デシカントロータを用いて、冬季のノンフロスト運転が達成できた
- ロータの回転数を増加させることで、露点を下げることができる、ただし、大きくなりすぎると供給する顕熱・潜熱の和(全熱)は小さくなる

ロータ回転速度並びに凝縮器投入熱量を変化させることで、顕熱供給・潜熱供給の割合をある程度制御できる。

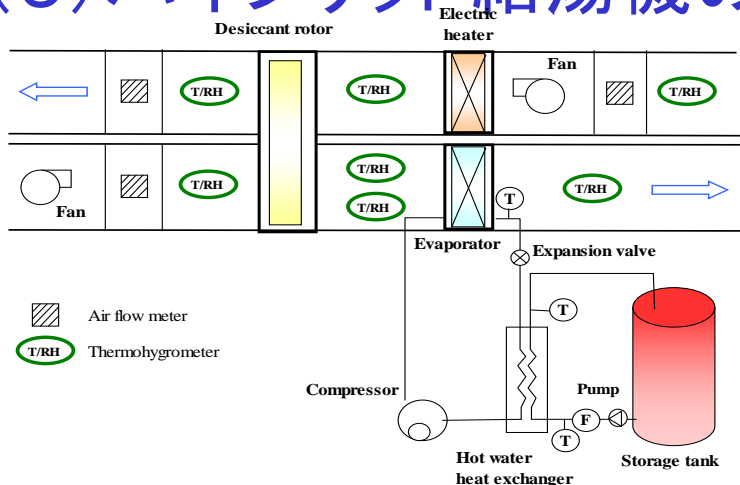


潜顕熱供給量制御運転計算結果

# 3. 技術内容と成果

## 3.1. 成果

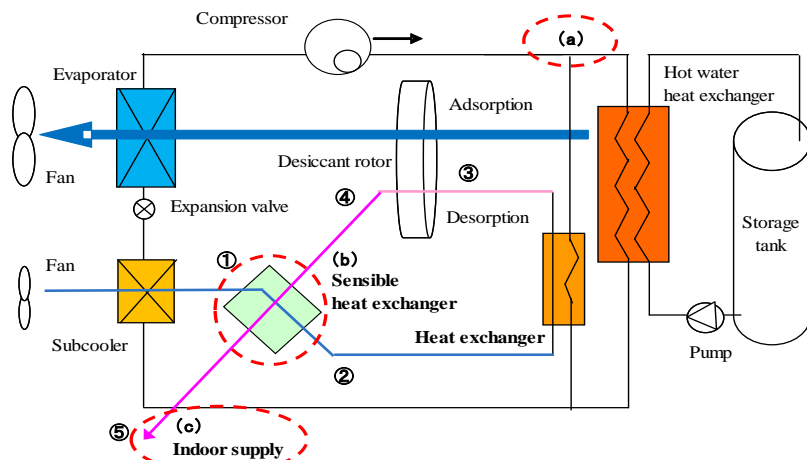
### (5) ハイブリッド給湯機の冬季ノンフロスト運転



給湯機ハイブリッドサイクル1

- ハイブリッド運転により給湯運転時間が延長し、ノンフロスト運転を確認
- ノンフロスト達成条件において給湯能力, COPいずれも従来比で約20%向上(ヒータ電力含めず)

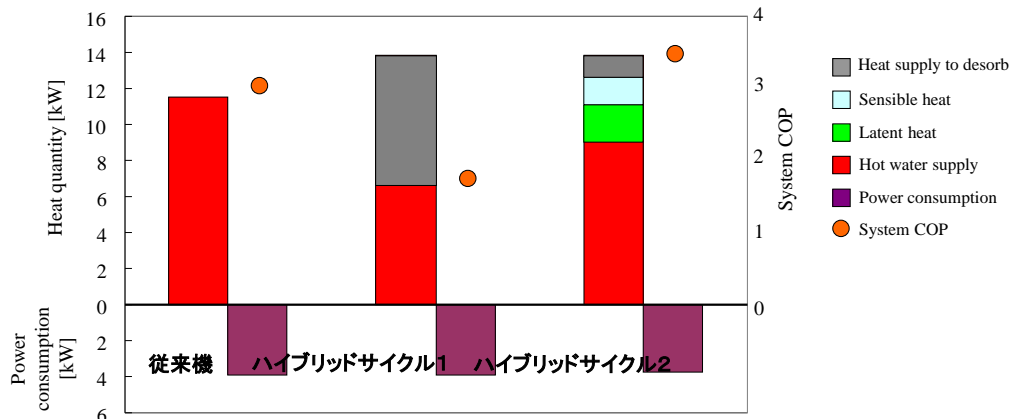
給湯機ハイブリッドサイクル1



給湯機ハイブリッドサイクル2

給湯機ハイブリッドサイクル2

- 顕熱交換器導入により、再生熱源を7.1→4.8kWに低減することができる
- 室内暖房能力は顕熱1.5kW, 潜熱2.0kWとなる.
- システムCOPは従来比で1.12倍を得た



システム効率比較

# 3. 技術内容と成果

## 3. 1. 成果

### (6) ハイブリッドシステムのAPF評価方法の提案

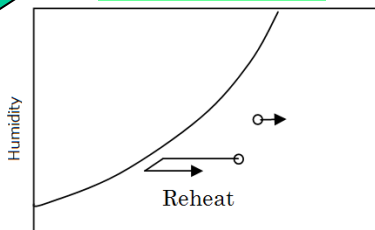
- 換気による外気負荷が考慮されていない
- 冷房能力は全熱で定義され、SHFは決められていない
- 夏期の除湿・・・成り行き
- 冬期の加湿・・・なし
- 夏期冷房時： ノンドレイン運転の評価が不可
- 冬期暖房時： ノンフロスト運転の評価が不可
- **加・除湿に消費エネルギーを考慮したAPF評価法を提案**

提案したAPF評価手法を寒冷地の岩手県盛岡市を対象とすると、開発したデシカントエアコンのAPFは2.43から4.15まで**1.7倍増**となり、1.5倍の開発目標をクリアした。

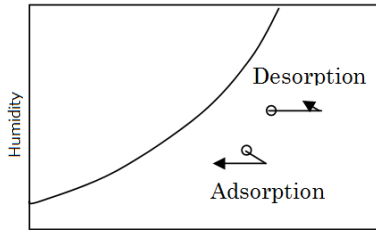
従来システム

ハイブリッドシステム

冷房

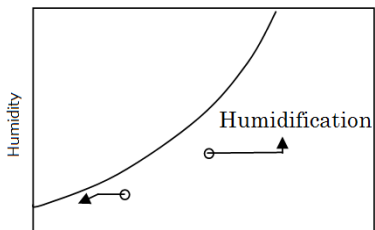


冷却減湿 ⇒ 再熱

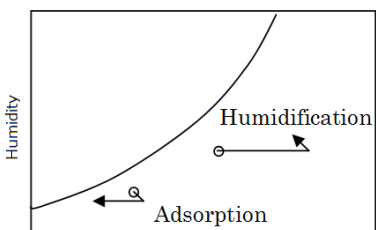


デシカント除湿 ⇒ 冷却

暖房



加熱 ⇒ 加湿 (COP 1)



加熱 ⇒ デシカント加湿

夏期冷房

	CSTL (kWh)	CSEC (kWh)	CSPF (-)
従来システム	539	280	1.93
ハイブリッドシステム	539	187	2.88

× 1.49

冬期暖房

	HSTL (kWh)	HSEC (kWh)	HSPF (-)
従来システム	5,364	2,149	2.50
ハイブリッドシステム	5,364	1,236	4.34

× 1.74

年間

	APF (-)
従来システム	2.43
ハイブリッドシステム	4.15

× 1.7



## 3. 2. 最終目標達成状況

全体計画	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの開発	ハイブリッドシステムを用いて、室内への供給空気の調湿に加え、ヒートポンプの冬季ノンフロスト、夏季ノンドレイン運転を実現させる、ヒートポンプのAPFを1.5倍、給湯機では年間給湯効率を1.3倍それぞれ向上させる	該当製品がなし	蒸気圧縮式ヒートポンプの冬季ノンフロスト、夏季ノンドレイン運転が実現できた。寒冷地の気象条件でヒートポンプのAPFを従来機の1.7倍、給湯機の年間給湯効率を1.12倍それぞれの向上が実現した
個別研究項目	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
(1) マイナス温度域での水蒸気吸/脱着特性の検討と最適多孔質構造の提案	吸着剤の氷点下の吸着性能の把握 メソポーラスシリカのナノ細孔内の水蒸気移動特性の解明 デシカントロータの吸着特性の解明 高性能な吸着ロータの提案	該当製品がなし	吸着剤の温度特性、細孔径依存性、材料の種類による違いを明らかにした。 ナノ細孔を有するメソポーラスシリカが-7℃においても吸着性能を示した 泳動電着法によるバインダーと接着剤の使用しないロータ製法を提案した 重量法を開発し、デシカントロータの低温域吸着特性を明らかにした
(2) ハイブリッドシステムの解析とAPF評価	ハイブリッドヒートポンプの夏季ノンドレイン、冬季ノンフロスト運転、年間APFは1.5倍向上 ハイブリッド給湯機の冬季ノンフロスト運転、年間APFは1.3倍向上	該当製品がなし	蒸気圧縮式ヒートポンプの冬季ノンフロスト、夏季ノンドレイン運転が実現できた。寒冷地の気象条件でヒートポンプのAPFを従来機の1.7倍、給湯機の年間給湯効率を1.12倍それぞれの向上が実現した
(3) 商品化に向けた市場分析	実用化に向けた課題の抽出とシナリオの作成 省エネ効果の評価	該当製品がなし	調湿機能付きノンフロスト(ノンドレイン)全館空調システム(特に東北地域)が実用化が有望であることが分かった 東北地域に導入した場合の原油換算省エネ効果は2020年時点で218kL/年、2030時点で1350kL/年と見積もられる

### 3. 3. 特許出願状況

・H22年度～ H24年度 国内0件(外国出願0件)

出願番号	名 称	出願人
該当なし		

### 3. 4. 論文等

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成26年 8月	International Heat Transfer Conference	Theoretical and experimental studies on characteristics of adsorption performance of desiccant rotor applied to desiccant heat pump	Shiyu Feng, Naoki Nakagawa, Takehiro Koyano, Chaobin Dang, Eiji Hihara
平成26年 6月	日本冷凍空調学会論文 集	メソポーラスシリカ系デシカントロータの低温吸脱着特性に関する研究	中川 直紀, 古谷野 赳弘, 党 超鋌, 飛原 英治
平成26年 6月	日本冷凍空調学会論文 集	デシカントハイブリッドヒートポンプの冬季ノンフロスト運転性能評価	古谷野 赳弘, 中川 直紀, 党 超鋌, 飛原 英治, 神戸 正純, 綾目 久雄, 黒田 尚紀
平成26年 6月	日本冷凍空調学会論文 集	デシカントハイブリッドヒートポンプの夏季ノンドレイン運転性能評価	綾目 久雄, 神戸 正純, 黒田 尚紀, 古谷野 赳弘, 中川 直紀, 党 超鋌, 飛原 英治



## 3. 4. 学会発表等

日付	学会名	発表タイトル	発表者
平成26年 9月10日	2014年度日本冷凍空調学会年次大会	デシカントロータの吸着性能に関する研究	馮詩愚, 党超鋌, 王贊社, 中川直紀, 飛原英治
平成26年 9月2日	11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants	Performance of Desiccant Wheel Affected by Isotherm	Shiyu Feng, Chaobin Dang, Zanshe Wang, Eiji Hihara
平成26年 9月2日	11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants	Performance predication of desiccant rotor made by silica based adsorbent	Shiyu Feng, Naoki Nakagawa, Chaobin Dang, Zanshe Wang, Eiji Hihara
平成26年 4月3日	International Sorption Heat Pump Conference	Performance Evaluation of Frost-free Operation of Desiccant Hybrid Heat Pumps	Eiji Hihara, Takehiro Koyano, Naoki Nakagawa, Chaobin Dang, Masazumi Godo, Hisao Ayame, Naonori Kuroda
平成25年 No.19	新日本空調株式会社, 技術開発研究所技報	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ヒートポンプの開発	黒田尚紀, 綾目久雄, 神戸正純, 古谷野尠弘, 中川直紀, 党超鋌, 飛原英治
平成25年 9月12日	2013年度日本冷凍空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ヒートポンプの開発 - 第1報: デシカントロータの吸脱着特性 -	中川直紀, 古谷野尠弘, 党超鋌, 飛原英治, 神戸正純, 黒田尚紀, 綾目久雄
平成25年 9月12日	2013年度日本冷凍空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ヒートポンプの開発 - 第2報: エアコンの夏季ノンドレイン運転 -	綾目久雄, 神戸正純, 黒田尚紀, 古谷野尠弘, 中川直紀, 党超鋌, 飛原英治
平成25年 9月12日	2013年度日本冷凍空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ヒートポンプの開発 - 第3報: エアコンの冬季ノンフロスト運転 -	古谷野尠弘, 中川直紀, 党超鋌, 神戸正純, 黒田尚紀, 綾目久雄, 飛原英治
平成25年 9月12日	2013年度日本冷凍空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ヒートポンプの開発 - 第4報: 開発システムのAPF 評価方法の提案 -	黒田尚紀, 綾目久雄, 神戸正純, 古谷野尠弘, 党超鋌, 飛原英治

## 3. 4. 学会発表等

日付	学会名	発表タイトル	発表者
平成25年 9月12日	2013年度日本冷凍 空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ヒートポンプの 開発－第5報:給湯機の冬季ノンフロスト運転－	飯野 康二, 西川朋志, 勝部安彦, 党超鋌, 飛原英治
平成25年 9月12日	2013年度日本冷凍 空調学会年次大会	太陽熱デシカント空調の性能評価	FENG Shiyu, KOYANO Takehiro, DANG Chaobin, Hihara Eiji
平成25年 4月7日	The 5th International Conference on Cryogenics and Refrigeration	Hybrid Desiccant Heat pump Systems Using Solar Energy	Chaobin Dang, Duri Jang, Naoki Nakagawa, Shiyu Feng, Eiji Hihara
平成25年 4月7日	第47回空気調和・冷 凍連合講演会	太陽熱利用デシカント空調機に関する研究	Feng Shiyu, Jang, Dari, 党超鋌, 飛原英治
平成24年 11月17日	熱工学コンファレン ス	シリンダ型細孔構造をもつメソポーラスシリカの水の 吸着速度に関する研究	柳原英樹, 大宮司啓文, 遠藤明
平成24年 9月12日	2012年度日本冷凍 空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロスト ヒートポンプの研究開発－第1報 全体システムと技 術課題－	松岡文雄, 綾目久雄, 黒田尚紀, 神戸正純, 飯野康二, 党超鋌, 大宮司啓文, 飛原英治
平成24年 9月12日	2012年度日本冷凍 空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロスト ヒートポンプの研究開発－第2報 冷房時における ノンドレインの検討－	黒田尚紀, 綾目久雄, 神戸正純, 党超鋌, 大 宮司啓文, 松岡文雄, 飛原英治
平成24年 9月12日	2012年度日本冷凍 空調学会年次大会	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロスト ヒートポンプの研究開発－第3報 着霜条件下にお けるノンフロストヒートポンプシミュレーション－	古谷野起弘, 飛原英治, 松岡文雄, 大宮司啓 文, 党超鋌, 神戸正純, 黒田尚紀, 綾目久雄
平成24年 9月12日	2012年度日本冷凍 空調学会年次大会	太陽熱を利用したデシカント空調システムの研究	Jang Duri, 党超鋌, 飛原英治, 神戸正純

## 3. 4. 学会発表等

日付	学会名	発表タイトル	発表者
平成23年12月13日	7th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena -Science and Engineering	Transport and adsorption phenomena in mesoporous silica	Hirofumi Daiguji
平成23年9月30日	新日本空調株式会社, 技術開発研究所, 技報	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの研究開発	黒田尚紀, 綾目久雄, 神戸正純
平成23年9月16日	2011 年度日本冷凍空調学会年次大会	シリンダ状細孔を持つメソポーラスシリカの氷点付近における水蒸気吸着特性	大宮司啓文, 山下恭平, 松岡文雄, 飛原英治, 遠藤明
平成23年9月16日	2011 年度日本冷凍空調学会年次大会	メソポーラスシリカに吸着する水の分子シミュレーション	山下恭平, 大宮司啓文

## 3. 4. その他外部発表(プレス発表等)等

年月日	発表媒体・内容等
平成25年10月31日	NEDO省エネルギー技術フォーラム2013: タイトル: デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの研究開発 発表者: 東京大学, 東京電力, 新日本空調
平成25年11月16日	NEDO省エネルギー技術フォーラム2012: タイトル: デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの研究開発 発表者: 東京大学, 東京電力, 新日本空調