

# 「次世代型ヒートポンプシステム研究開発」

## 事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 省エネルギー部
-----	------------------------------------

## —目次—

概要	0-1
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果(費用対効果)	I-1
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-1
2.1 研究開発の内容	II-1
2.2 研究開発の実施体制	II-5
2.3 研究の運営管理	II-7
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	II-12
3. 情勢変化への対応	II-12
4. 評価に関する事項	II-14
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	III-1
2. 研究開発項目毎の成果	III-2
2.1 デシカント・蒸気圧縮式ハイブリット型ノンフロストヒートポンプの研究開発	III-2
2.2 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	III-41
2.3 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	III-70
2.4 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発	III-105
2.5 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	III-134
2.6 高密度冷熱ネットワークの研究開発	III-154
2.7 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	III-177
IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	
(実用化に向けての見通し及び取り組みについて)	
1. 事業全体のまとめ	IV-1
2. 研究開発項目毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	IV-2
2.1 デシカント・蒸気圧縮式ハイブリット型ノンフロストヒートポンプの研究開発	IV-2
2.2 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	IV-6

2.3 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	IV-10
2.4 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発	IV-12
2.5 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	IV-15
2.6 高密度冷熱ネットワークの研究開発	IV-21

(添付資料)

- ・プロジェクト基本計画
- ・技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ抜粋版)
- ・省エネルギー戦略 2009
- ・事前評価関連資料(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)
- ・特許論文リスト

概要

最終更新日 平成26年11月17日

プログラム (又は施策)名	エネルギーイノベーションプログラム				
プロジェクト名	次世代型ヒートポンプシステム研究 開発	プロジェクト番号	P10011		
担当推進部/担当者	エネルギー対策推進部 エネルギー対策推進部/省エネルギー部 省エネルギー部 省エネルギー部 省エネルギー部	担当者氏名	松林成彰 (H22年7月~H23年6月) 柴田諭 (H23年7月~H24年8月) 鳶尾友重 (H24年9月~H25年3月) 甘利猛 (H25年4月~H26年3月) 安田圭吾 (H26年3月~ )		
0. 事業の概要	高効率ヒートポンプの実現には、機器単体の開発では技術的に困難であり、建築・機械・材料等の多様な領域にまたがる幅広い関係者の技術を融合させた産学官による研究開発体制により、熱源の多様化、熱媒体の搬送効率化などの各種単体技術をシステム化することにより、現状システムに比べて極めて高い効率を有する次世代型ヒートポンプシステムを実現する。				
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>近年、我が国での家庭・業務などの民生部門における最終エネルギー消費は、全体の3割強を占め、産業、運輸部門に比べて増加が著しい。その民生部門におけるエネルギー消費の内訳は冷暖房・給湯用が家庭部門で6割、業務部門で5割を占めており、これらの削減が極めて重要である。また、最終エネルギー消費の5割を占めている産業部門においても、工場空調、加湿、乾燥などの分野でのエネルギー削減が重要である。ヒートポンプの高効率化は、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」の中でこれら消費エネルギーの削減に資する重要課題として位置づけられ、さらに「新成長戦略(基本方針)」(2009年12月30日閣議決定)の中でも、その重要性・必要性について言及されている。</p> <p>しかしながら、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」の技術ロードマップでの効率の目標を達成するためには、機器単体の開発だけでは困難とされている。そこで、本事業では、個別要素技術の開発のみならず、多様な熱源の活用や、建築物や設置場所などを十分配慮して、利用側の要求に対し高効率に作動することができる革新的なヒートポンプシステムを開発する。</p>				
II. 研究開発マネジメントについて					
事業の目標	本事業は、適用対象を家庭用、業務用、産業用とし、特に家庭用および業務用を重視する。いずれの適用対象についても、現状システムに比べて、1.5倍以上の効率を有するヒートポンプシステムを実現するための基盤技術開発を行うとともに、その性能を実機により確認する。ただし、産業用における高温を生成するヒートポンプシステム(120℃級を生成するシステム)に関しては、現状システムに比べて、1.3倍以上の効率を有することができればよいこととする。なお、これまでに実現されていない高温を生成するヒートポンプシステム(180℃級を生成するシステム)に関しては、現状加温システム(ボイラシステムなど)以上の効率が見込めるものとし、システムの実現可能性の可否も含めた技術課題を明確にすることを目標とする。				
事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy
	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			→	240.2
	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			→	120.7
	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			→	158.7
	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			→	227.9

	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					860.5
	高密度冷熱ネットワークの研究開発					315.3
	インキュベーションフェーズまでの3事業  地中熱を軸にしたハイブリッド熱源 CO2 ヒートポンプ温水暖房システムの研究開発 多様な未利用熱の活用を可能とした最適熱源切替型高効率高温循環ヒートポンプシステムに関する研究開発 人の分布・温冷感をセンシングして、局所気流を最適制御する次世代型空調システム					112.7
	調査事業					40.7
	成果取りまとめ					
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	総額
	特別会計 (電源・需給の別)	需給	需給	需給	需給	
	総予算額	356	778	811	131	2077
	(委託)	333	707	746	131	1918
契約種類: 委託 (○) 共同研究 (○)	(共同研究) : 負担率 2/3	23	71	65		159
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 省エネルギー対策課				
	プロジェクトリーダー	宗像 鉄雄 独立行政法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 所長代理 (平成23年度からPLを設置)				

	<p style="text-align: center;">委託先 (一部共同研究先)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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（委託先：東京大学、東京電力（株）、新日本空調（株）一再委託：（独）産業技術総合研究所）</li> <li>・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（委託先：中部電力（株）、日本設計（株）、三重大学大学院一再委託：ダイキン工業（株））</li> <li>・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（共同研究先：日立アプライアンス（株）、（株）日立製作所一再委託：北海道大学）</li> <li>・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（委託先：清水建設（株）、信州大学一再委託：（独）産業技術総合研究所）</li> <li>・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（委託先：大阪市立大学、中央復建コンサルタンツ（株）、関西電力（株）、（株）総合設備コンサルタント一再委託：（株）トヨックス、三菱重工業（株）、（株）NTTファシリティーズ総合研究所）</li> <li>・高密度冷熱ネットワークの研究開発（委託先：東京電機大学、東洋熱工業（株））</li> </ul> <p>インキュベーションフェーズのみ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地中熱を軸にしたハイブリッド熱源CO<sub>2</sub>ヒートポンプ温水暖房給湯システムの研究開発（委託先：サンデン（株）、大和ハウス工業（株）、早稲田大学）</li> <li>・多様な未利用熱の活用を可能とした最適熱源切替型高効率高温循環ヒートポンプシステムに関する研究開発（委託先：（株）前川製作所、早稲田大学、大成建設（株））</li> <li>・人の分布・温冷感をセンシングして、局所気流を最適制御する次世代型空調システム（委託先：芝浦工業大学、立命館大学、ダイキン工業（株））</li> </ul> <p>調査研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・次世代型ヒートポンプシステムの性能評価手法、及び熱の面的利用におけるヒートポンプの有効活用に関する検討（委託先：（株）三菱総合研究所）</li> <li>・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に関する検討（委託先：（株）三菱総合研究所）</li> <li>・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（委託先：（株）三菱総合研究所）</li> </ul>
<p>情勢変化への対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究開発マネジメント機能を更に高度化すべく、高い技術的知見を有するプロジェクトリーダーを設置しマネジメントを強化した。</li> <li>・情勢等の変化に対しては、追加資金の投入による研究開発の拡充など柔軟に対応した。例えば、産業系（2テーマ）は研究開発期間を1年間延長し、インフラ系への適用に不可欠な長期運転による課題の抽出とその対応を追加的に実施した。</li> </ul>	
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>中間評価は事業期間が4年のため実施していない</p>	

評価に関する事項	事前評価	平成 21 年度実施 担当部 省エネルギー技術開発部
	中間評価	対象外
	事後評価	平成 26 年度実施予定 担当部 省エネルギー部
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>事業全体</p> <p>ステージゲート審査を通過した6つのテーマについて研究開発を行い、その性能を実機で確認し、概ね目標を達成した。これにより、超高効率ヒートポンプ（2030年に効率1.5倍）の実用化の目処が立った。今後、コスト3/4という目標に向けた低コスト化や信頼性向上等について、企業内の開発が必要であるが、事業化へ向けて期待できる。</p> <p>欧米においてもヒートポンプ技術に関する研究の取り組みは行われているが、低負荷時の効率向上、デシカント利用空調等が実用化されれば、日本独自の革新技術となると期待される。</p> <p>個別テーマ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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 目標：エアコンAPF 1.5倍、給湯器の年間給湯効率1.3倍（寒冷地条件） 成果：エアコンAPF 1.7倍、給湯器のシステムCOP 1.12倍</li> <li>・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 目標：制御改善による不可率50%未満のCOP向上、平均COP 1.5倍以上 成果：従来機比1.7倍</li> <li>・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 目標：ワイドレンジ圧縮機・制御システムによる効率1.5倍 成果：ワイドレンジ圧縮機負荷率3～100%、東京地区で年間効率1.55倍</li> <li>・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 目標：従来比1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの実現 成果：帯水層蓄熱を考慮することで3年目の効率1.53倍</li> <li>・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 目標：システム全体での効率向上1.5倍以上 成果：下水熱利用システムで1.9倍</li> <li>・高密度冷熱ネットワークの研究開発 目標：業務用空調負荷のエネルギー消費効率1.5倍以上の実証 成果：氷水搬送、低温送水、水・送風、室温緩和、統合制御等を用いて1.7倍</li> </ul>	
	投稿論文	「査読付き」9件、「学会発表」91件
	特 許	「出願済」23件（うちPCT出願2件）
	その他	「新聞、雑誌等への掲載、展示会への出典等」85件
Ⅳ. 実用化・事業化の見通しについて	<p>本事業で得られた開発成果は多岐にわたる。当該研究開発に係る製品の販売により、まもなく企業活動に貢献するものがある。ヒートポンプを含むシステムについては、早期事業化を目指し国・地方自治体にも働きかけつつ、他業種の実施者が連携を図り事業化のための各種活動を行っている。また将来性のある要素技術については、引き続き研究開発を行い確実な実用化を目指す。</p>	
Ⅴ. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 22 年 3 月 作成
	変更履歴	平成 23 年 3 月 改訂 プロジェクトリーダーを設定 平成 23 年 7 月 改訂 根拠法を変更 平成 25 年 3 月 改訂 事業の実施期間を1年延長

## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDOが関与することの意義

近年、我が国での家庭・業務などの民生部門における最終エネルギー消費は、全体の3割強を占め、産業、運輸部門に比べて増加が著しい。その民生部門におけるエネルギー消費の内訳は、冷暖房・給湯用が家庭部門で6割、業務部門で5割を占めており、これらの削減が極めて重要である。また、最終エネルギー消費の5割を占めている産業部門においても、工場空調・加湿・乾燥などの分野でのエネルギー削減が重要である。

ヒートポンプは、使用する電力エネルギーを遙かに超える熱エネルギーを供給できる省エネ機器のため、民生部門の二酸化炭素排出の約5割を占める空調・給湯機器や、産業部門の空調・プロセス冷却・加熱機器、等への適用が期待されている。

ヒートポンプの高効率化は、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」の中でこれら消費エネルギーの削減に資する重要課題として位置づけられ、さらに「新成長戦略（基本方針）」（2009年12月30日閣議決定）の中でも、その重要性・必要性について言及されている。

「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」で示されている極めて高い目標を達成するには、建築・機械・材料等の多様な領域にまたがる研究開発が必要となるため、幅広い関係者の技術を融合させた開発体制を構築し、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という）が主導的役割を担うことで、高い技術ハードルを克服するとともに、研究成果の確実な製品化を促進する。また、国際競争力の強化にも資する。

なお、本事業は「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

#### 1.2 実施の効果（費用対効果）

本研究開発の成果は、家庭用・業務用・産業用への高効率ヒートポンプ導入普及促進に貢献し、大きな省エネ効果を発揮するものと期待できる。例えば家庭用給湯機においては一台当たり3.9GJ/年の省エネ効果が期待でき、普及台数を200万台と想定した場合は、原油換算で約21万kL/年の省エネルギー効果が見込まれる。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

近年、我が国での家庭・業務などの民生部門における最終エネルギー消費は、全体の3割強を占め、産業、運輸部門に比べて増加が著しい（図I-2-1、図I-2-2、出典：資源エネルギー庁「平成24年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書2013））。その民生部門におけるエネルギー消費の内訳は、冷暖房・給湯用が家庭部門で6割（図I-2-3、出典：資源エネルギー庁「平成24年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書2013））、業務部門で5割を占めており、これらの削減が極めて重要である。また、最終エネルギー消費の5割を占めている産業部門においても、工場空調・加湿・乾燥などの分野でのエネルギー削減が重要である。



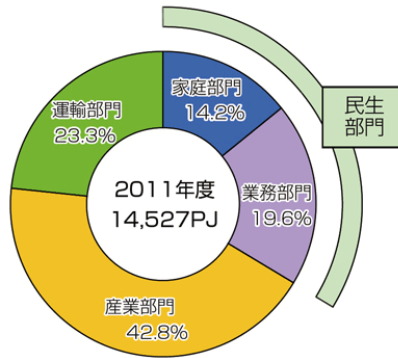


図 I-2-1 最終エネルギー消費の構成比

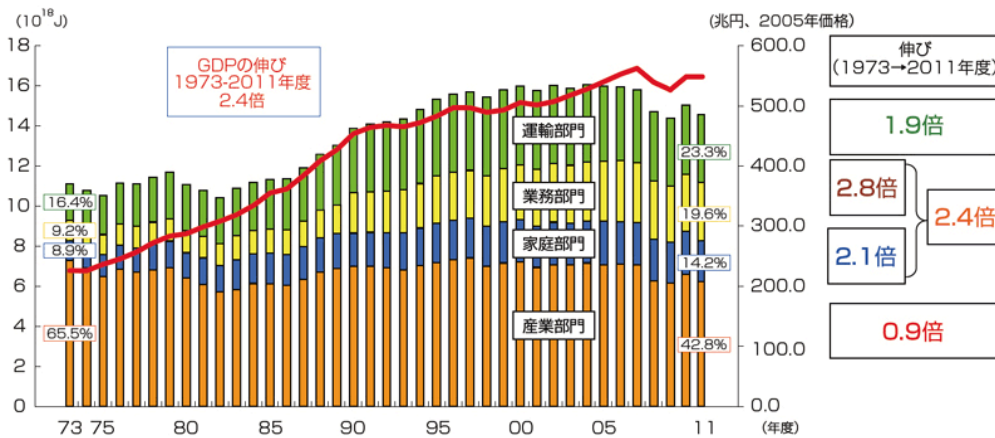


図 I-2-2 最終エネルギー消費と実施GDPの推移

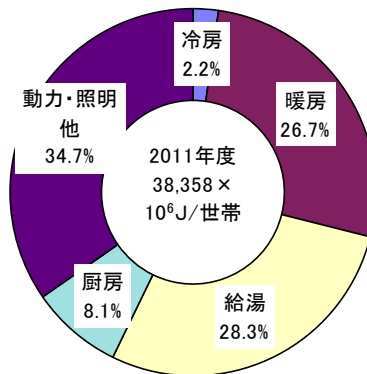


図 I-2-3 世帯あたりのエネルギー消費原単位

経済産業省は、「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(2008年3月)において、世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに現状から半減するという長期目標の実現に向けて、我が国が重点

的に取り組むべき 21 のエネルギー革新技術を掲げている (図 I-2-4)。その一つとして、「⑯超高効率ヒートポンプ」が取り上げられており、冷媒や熱交換器の効率向上といった要素技術の開発を通じて、2030 年に効率を現状比 1.5 倍、コストを 3/4 倍、2050 年に効率を現状比 2 倍、コストを 1/2 倍まで向上させるという目標が掲げられている (図 I-2-5)。また、「⑩革新的材料・製造・加工技術」に関する産業横断的な省エネ技術として「蒸気生成ヒートポンプ」が取り上げられており、圧縮機の高温耐久性技術、熱交換器の効率化、新規作動流体等の開発を通じて、2020 年頃に 120℃級で COP4.0 の達成を目指すという目標が掲げられている (図 I-2-6、図 I-2-7)。



図 I-2-4 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

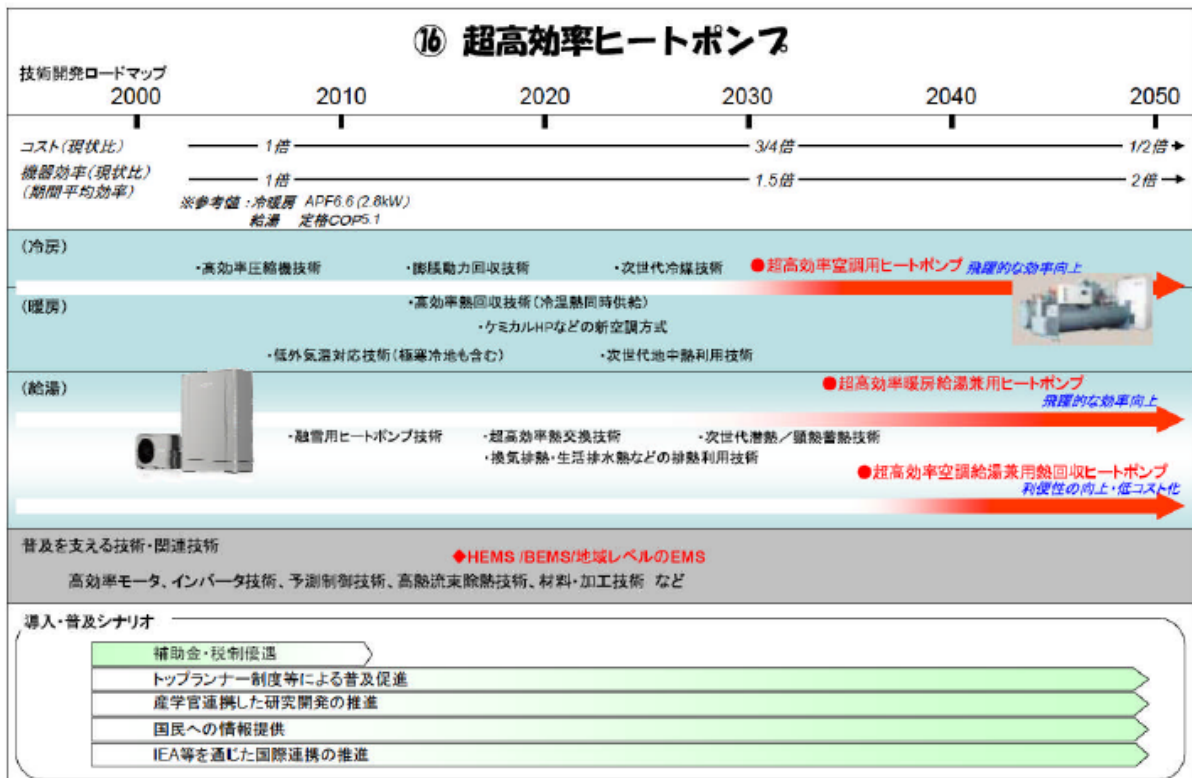


図 I-2-5 超高効率ヒートポンプにおける技術開発ロードマップ



図 I-2-6 革新的材料・製造・加工技術における技術開発ロードマップ

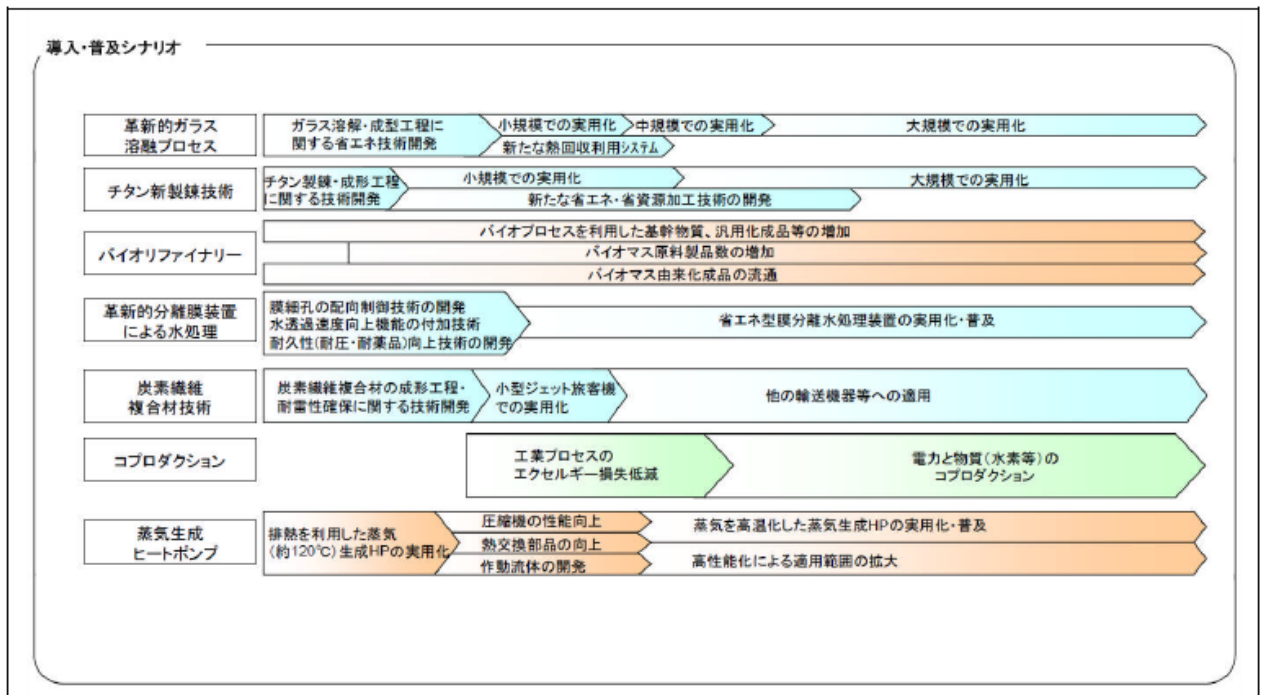


図 I-2-7 蒸気生成ヒートポンプにおける導入・普及シナリオ

「省エネルギー技術戦略 2009」（2009 年 4 月）では、ヒートポンプは重点技術分野「超燃焼システム技術」における重要技術として取り上げられている。具体的な技術として、高効率圧縮技術、膨張動力回収技術、高効率熱交換技術、次世代冷媒対応技術、低環境負荷冷媒技術が挙げられている（図 I-2-8）。また、「時空を超えたエネルギー利用技術」においては、高効率ヒートポンプ給湯機等への適用を見越して、顕熱・潜熱利用蓄熱技術が挙げられている（図 I-2-9）。

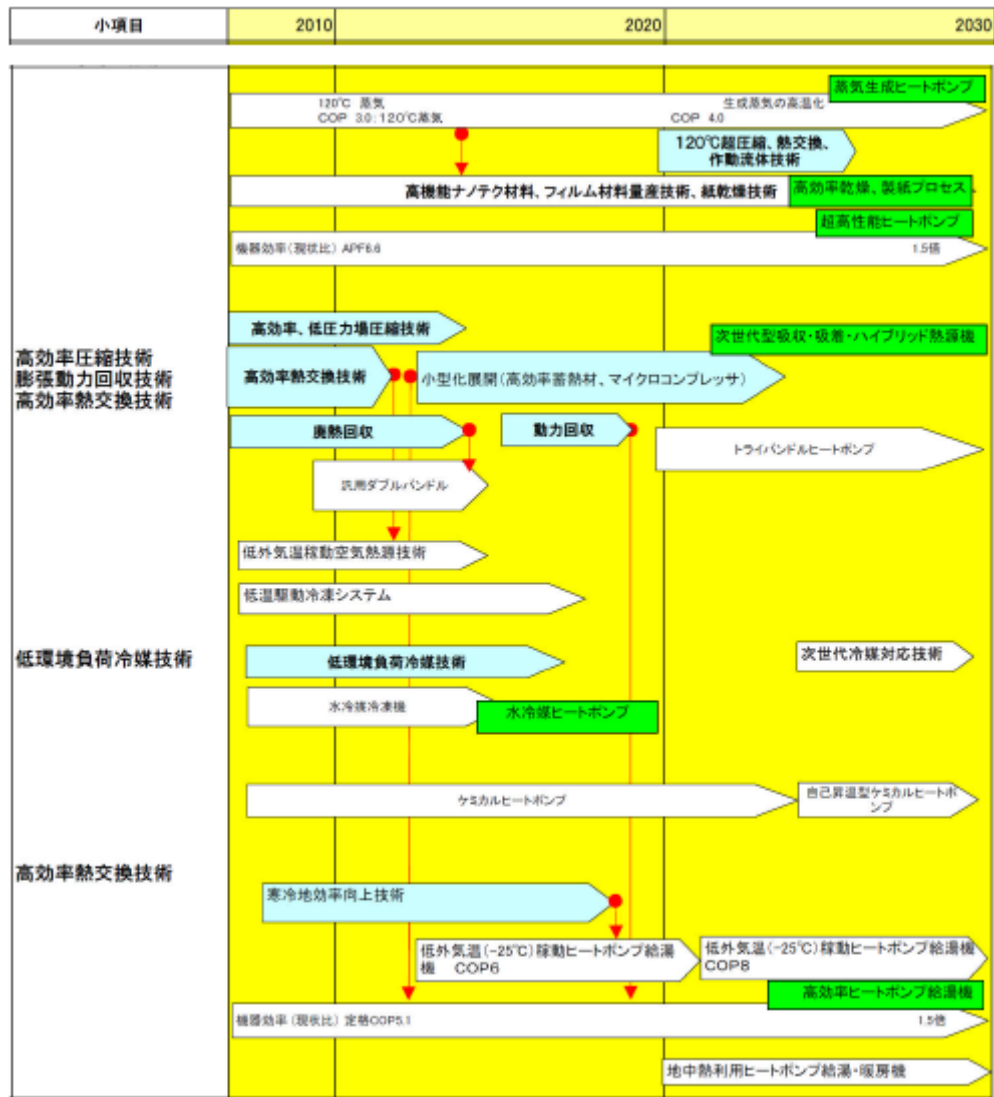


図 I-2-8 「超燃焼システム技術」における重要技術

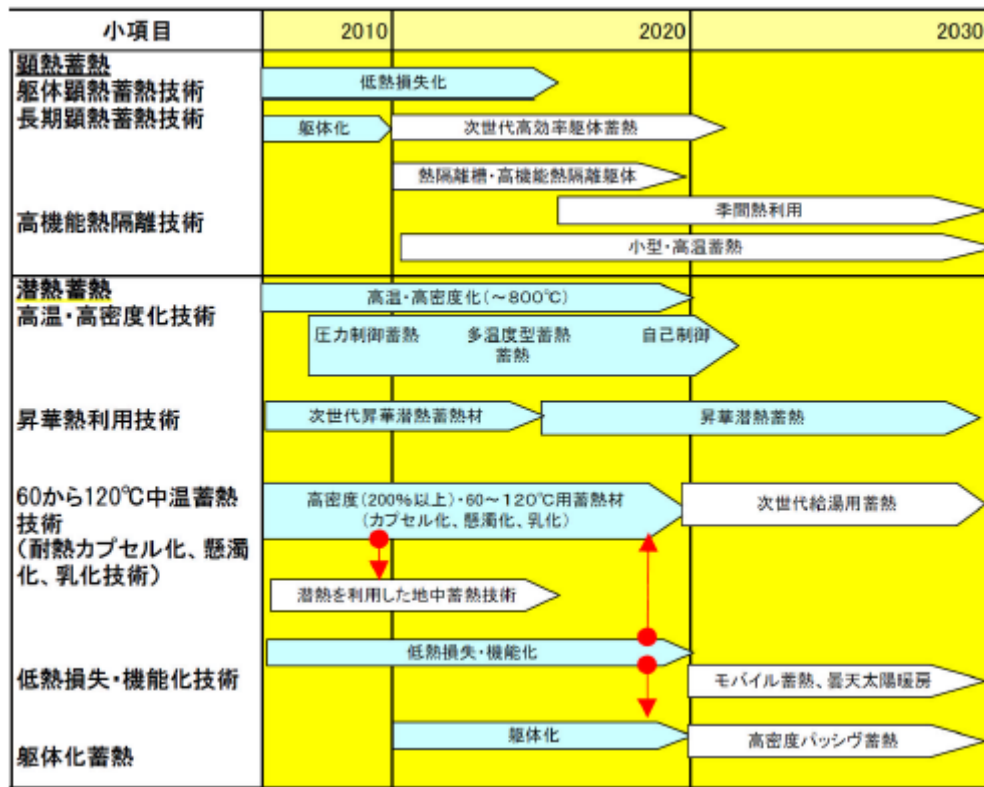


図 I-2-9 「時空を超えたエネルギー利用技術」における重要技術

NEDOは経済産業省と、「技術戦略マップ 2009 (エネルギー分野)」(2009年4月)を策定し、2030年頃までに実用化され、エネルギー政策目標に寄与すると思われる技術について、技術開発の推進に必要な要素技術、課題、要求機能等を掲げている。本マップは2005年3月に策定された第1版から毎年見直しが行われており、「技術戦略マップ 2009」では、「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」や「省エネルギー技術戦略」との整合が図られている。この中で、政策目標「総合エネルギー効率の向上」に寄与する技術として、空調用、給湯用、冷凍冷蔵用ヒートポンプおよび産業用ヒートポンプが取り上げられている(図 I-2-10、図 I-2-11、図 I-2-12)。具体的な構成技術としては、高効率圧縮機、高効率熱交換器、膨脹動力回収技術等の機器単体の要素技術の他、都市排熱利用、自動協調制御(人感センサー等)等、熱源側や負荷側も含めたシステム化関連技術も挙げられている。

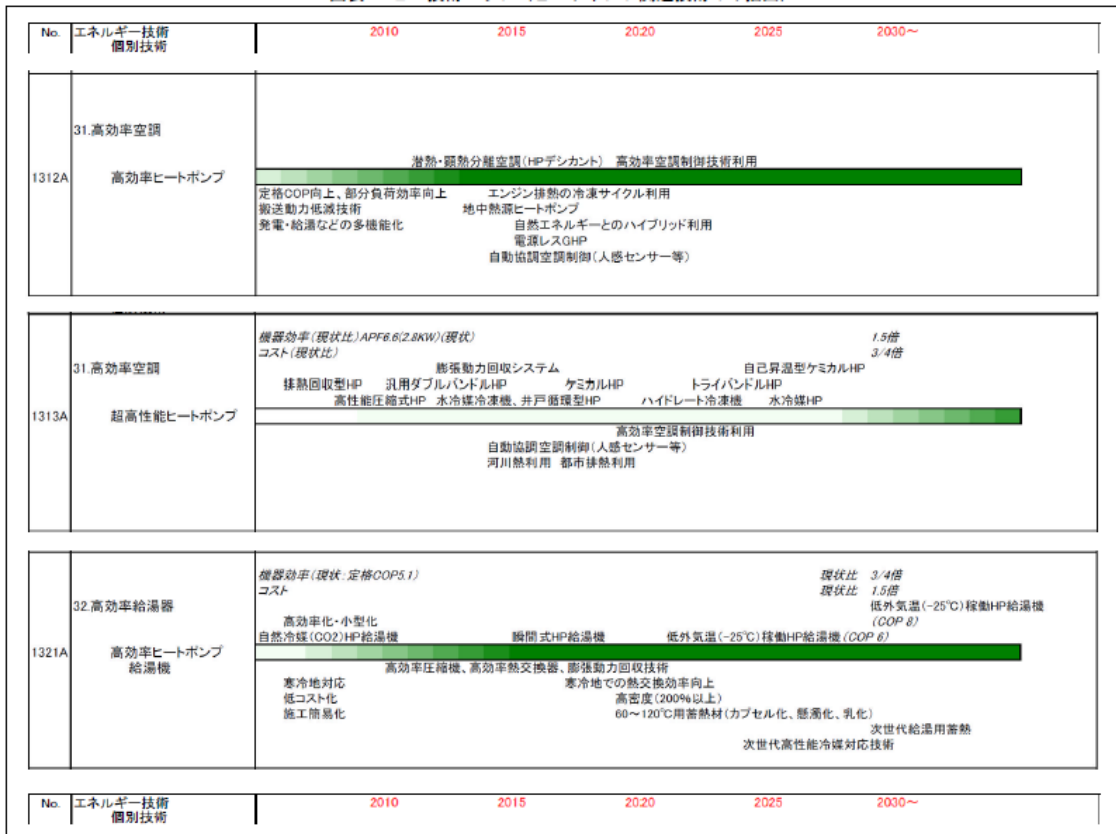


図 I-2-10 「総合エネルギー効率の向上」に寄与する技術の技術ロードマップ(抜粋)

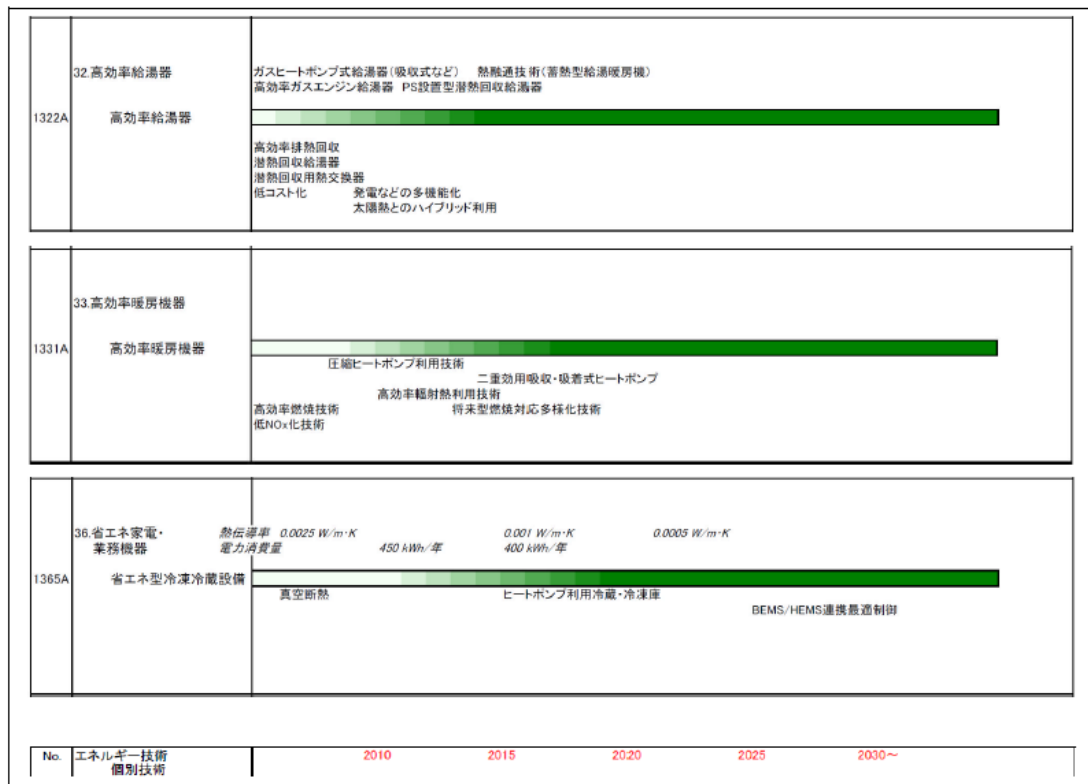


図 I-2-11 「総合エネルギー効率の向上」に寄与する技術の技術ロードマップ(抜粋)

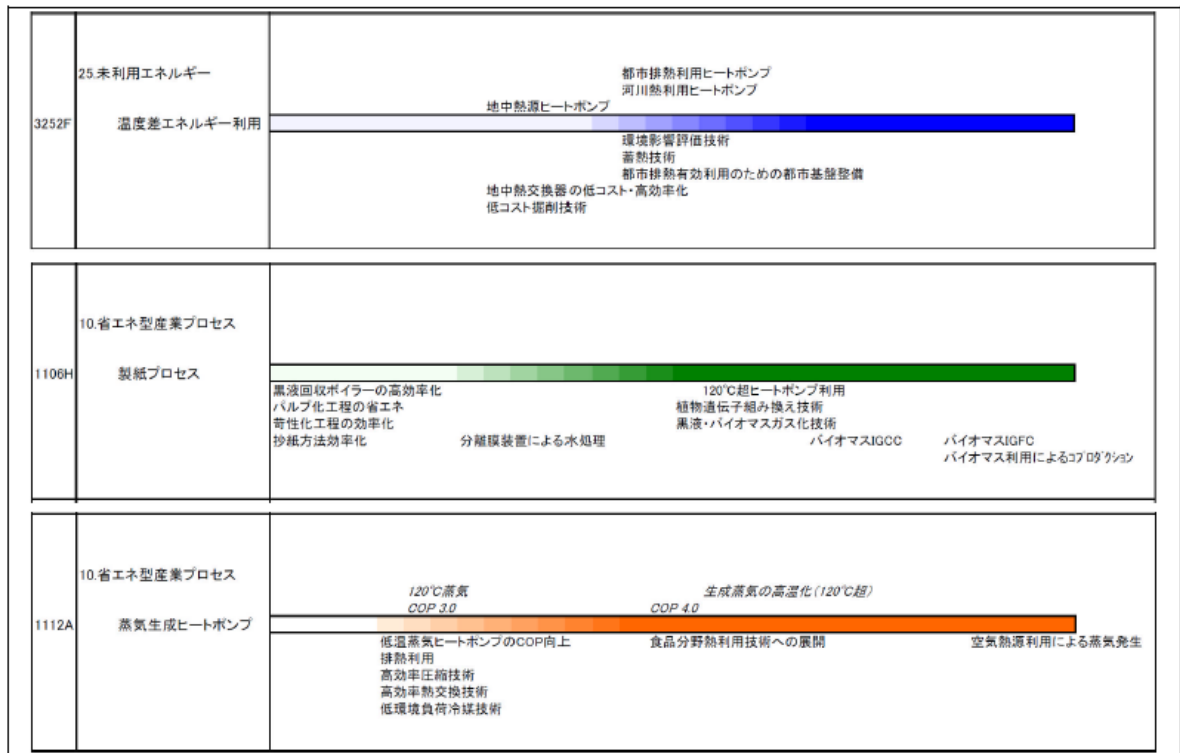


図 I-2-12 「総合エネルギー効率の向上」に寄与する技術の技術ロードマップ（抜粋）

・また 2009 年 12 月に閣議決定された「新成長戦略（基本方針）」においても、住宅・オフィス等のゼロエミッション化推進による温室効果ガス削減等を進めるための重要施策の一つとして、ヒートポンプの普及拡大が掲げられている。

## ②我が国の状況

我が国は、世界トップレベルの高効率ヒートポンプ技術を実現しているだけでなく（COP<sup>※1</sup>が日本平均5.35、北米欧州3.0 [IPCC<sup>※2</sup> AR4WGIIIより]）、世界初のCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機開発に成功するなど、ヒートポンプ技術で世界をリードしている。

1985年度から1992年度まで実施した「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム研究開発」では、ふんだんな工場排熱を利用した超高性能圧縮式ヒートポンプやケミカル蓄熱などの要素技術開発、およびこれらの成果を統合したトータルシステムの技術開発が行われた。これらの取り組みについては一定の成果があがったが、コストや蓄熱材・冷媒（GWP<sup>※4</sup>が高い）に対する配慮が十分でなかったため、技術開発成果の一部（熱交換器製造、冷媒圧縮技術など）が製品に適用されるにとどまっている。

しかしながら、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の技術ロードマップでの効率の目標<sup>※3</sup>を達成するためには、機器単体の開発だけでは困難とされている。そこで、個別要素技術の開発のみならず熱源や利用側等を含めてシステム化し、ヒートポンプが高効率に作動するよう建築側の対策等による周辺条件の整備を行うと共に、ヒートポンプ自体を周辺環境に適合するよう改善することが不可欠となっている。

※1 COP (Coefficient Of Performance) 成績係数

※2 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 気候変動に関する政府間パネル

※3 目標：「超高効率ヒートポンプ」は2030年に現状比1.5倍、2050年に現状比2  
「蒸気生成ヒートポンプ」では、2020年頃にCOP4.0

### ③世界の取り組み状況

ヒートポンプは国際エネルギー機関（IEA）の「エネルギー技術展望2008」において、温室効果ガス削減効果の高い主要17技術に選定されており（表I-2-1、出典：エネルギー技術展望2008要約日本語版）、米・EUにおいても、高効率ヒートポンプシステム開発の国家プロジェクトに着手している。

表 I-2-1 エネルギー技術展望2008において提示された17の技術

供給サイド	需要サイド
■ CCS一体化石燃料発電	■ 建築物及び電気機器のエネルギー効率改善
■ 原子力発電	■ ヒートポンプ
■ 洋上及び地上風力発電	■ 太陽熱暖房給湯
■ バイオマスガス化複合発電(BIGCC)及び混合燃焼	■ 輸送部門のエネルギー効率改善
■ 太陽光発電システム	■ 電気自動車及びプラグイン・ハイブリッド自動車
■ 集光型太陽熱発電	■ 燃料電池自動車
■ 石炭ガス化複合発電システム(IGCC)	■ 産業部門におけるCCS, 水素及び燃料転換
■ 石炭超々臨海圧発電(USCSC)	■ 産業部門モーターシステム
■ 第二世代バイオ燃料	



## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」の「超高効率ヒートポンプ」、「蒸気生成ヒートポンプ」で記載されている目標を達成するためには、多様な未利用熱（下水熱、地中熱、太陽熱、風呂排熱、空調・給湯排熱、換気排熱、工場排熱等）を熱源に活用し熱源温度と取り出し温度の温度差を小さくし、蓄熱システム、熱搬送システム、高度な統合制御技術を有することで、熱源と利用側の負荷との時間的かつ量的なマッチングを最適に行い、ヒートポンプシステムへの投入エネルギーを大幅に削減する必要がある。また著しい低負荷が長時間続くなど、設計時に想定していた条件（定格条件）から大きく外れた場合でも、負荷状況を適切に把握しヒートポンプ自体を最適化制御することでヒートポンプシステムへの投入エネルギーを大幅に削減する必要がある。またヒートポンプが同時に生成する温熱と冷熱を最大限活用することで飛躍的な効率向上を図る必要がある。またこれまでに実現されていない高温を生成するヒートポンプシステム（180℃級熱を生成するシステムなど）の開発と用途拡大による消費エネルギー削減が必要である。

本事業は、適用対象を家庭用、業務用、産業用とし、特に家庭用および業務用を重視した。いずれの適用対象についても、現状システムに比べて、1.5倍以上の効率を有するヒートポンプシステムを実現するための基盤技術開発を行うとともに、その性能を実証試験システムにより確認した。ただし、産業用における高温を生成するヒートポンプシステム（120℃級を生成するシステム）に関しては、現状システムに比べて、1.3倍以上の効率を有することができればよいこととした。なお、これまでに実現されていない高温を生成するヒートポンプシステム（180℃級を生成するシステム）に関しては、現状加温システム（ボイラシステムなど）以上の効率が見込めるものとし、システムの実現可能性の可否も含めた技術課題を明確にすることを目標とした。

### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

本事業では、個別要素技術の開発のみならず、多様な熱源の活用や、建築物や設置場所などを十分配慮して、利用側の要求に対し高効率に作動することができる革新的なヒートポンプシステムを開発する。特に、未利用熱の活用については、大幅な効果が期待できる下水熱を活用したヒートポンプシステムの研究開発が重要であることに留意する。

なお、当該ヒートポンプシステムの効率は、動作する環境条件、熱源の利用条件、建築側の条件、利用側の負荷条件などによって異なるため、定格COPやAPF（Annual Performance Factor）通年エネルギー消費効率）など汎用の評価指標は用いることができない場合がある。従って、開発されるシステムごとに効率の評価指標を検討し、省エネルギー効果を検証するものとする。

以下に、研究開発にあたっての具体的な技術課題と効率向上に向けたシステム化技術の要素を示す。適用対象において目標の効率を達成するために、これらを複数あるいはその他の技術を組み合わせたシステムについて検討する（図II-2-1）。

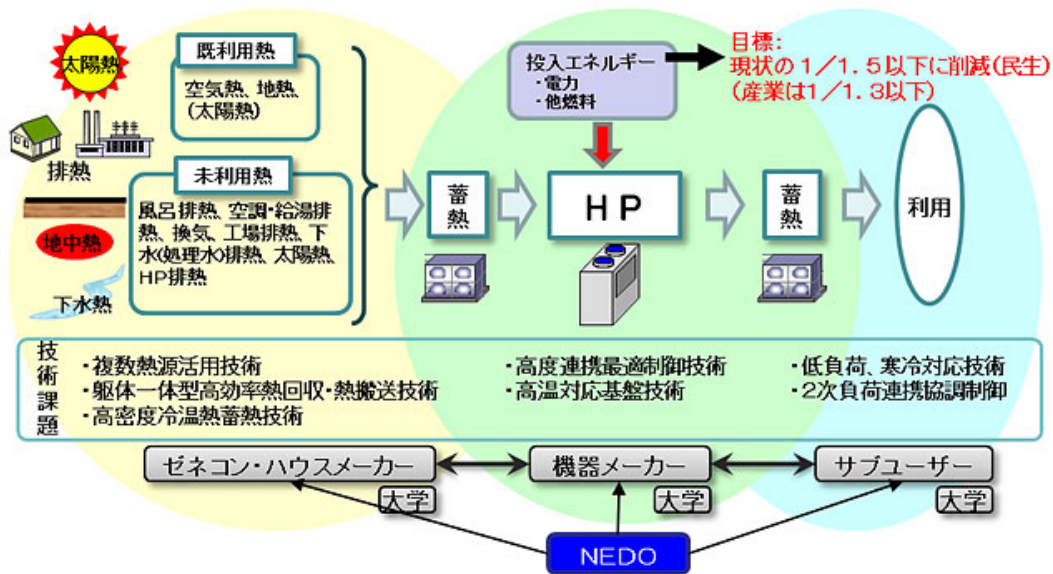


図 II-2-1 次世代型ヒートポンプシステムのイメージ

### (1) 多様な未利用熱の活用

これまで未利用熱を用いたヒートポンプシステムは、太陽熱利用ヒートポンプ、地中熱利用ヒートポンプ等、単一熱源利用を前提としたものが一般的であるが、回収できる未利用熱と需要との条件（時間、量等）が整合しないといった課題を有する。このため、多様な未利用熱（下水熱、地中熱、太陽熱、風呂排熱、空調・給湯排熱、換気排熱、工場排熱等）を活用することによって熱源の不安定性を抑制しシステムの効率向上を図る必要がある。関連する技術は、複数の熱源を活用する技術、高効率な未利用熱回収・搬送技術、躯体一体型高効率熱回収・熱搬送技術、躯体蓄熱技術、高密度冷温熱蓄熱技術、多様な熱源に対応した高性能圧縮機、システム高効率運用のための統合制御技術、デシカント材再生にヒートポンプ生成熱を用いた潜熱処理技術、システムの年間非定常運転特性解析シミュレータ技術などがある。

### (2) 実負荷に合わせた年間効率の向上

従来の空調用ヒートポンプはピーク負荷に合わせた定格性能設計となっているが、実負荷の年間出現率は概して低負荷領域が支配的となっている。低負荷領域などにおいては効率の低下が見られる場合があり、実運用上の効率向上を図るためには、低負荷領域などにおける効率向上を図る必要がある。関連する技術は、低負荷領域においても優れた効率特性を維持できる技術、負荷状況を適切に把握し連携制御する技術、運用時に最大効率点を調整可能な技術などがある。

また、寒冷地においては、ヒートポンプの熱交換器の結露・着霜等による効率の低下が課題となっており、これについても技術開発を進展する必要がある。ノンフロスト技術、耐着霜熱交換器技術、作動媒体密度低下対策等の基盤技術などが関連技術となる。

このように、ヒートポンプ本来の能力を発揮できていない領域の性能向上を実現することにより、実運用上の効率向上を実現する。なお、本技術要素は、他の技術要素との組み合わせによりシステム化して開発を行う。

### (3) 生成熱の最大限の活用

ヒートポンプは温熱と冷熱を同時に生成することができる機器であるが、熱需給が時間的・空間的にバランスしないことが多く、温熱・冷熱の同時利用が十分には図られていない。このため、熱の時間的・空間的な需給調整や、利用側設備も含めた協調制御等により、ヒートポンプで得られる熱を最大

限活用する開発が必要である。関連する技術は、高温蓄熱技術、高密度冷熱搬送技術、高顕熱型空調熱源・潜顕熱分離空調技術、局所気流の制御による最適空調技術などがある。

#### (4) 高温熱の効率的な生成

高温発生には一般的にボイラが用いられてきたが、ボイラの場合は、投入エネルギー以上の熱を生成することは原理的に不可能である。一方、ヒートポンプの場合、投入エネルギーを上回るエネルギーを生成することが可能であり、一次エネルギーベースで評価したとしても、既存のボイラと比較して飛躍的な効率向上を図ることが可能である。

従来のボイラ代替としてヒートポンプを利用するためには、最終的には出力温度は例えば180℃級の熱を生成するシステムであることが求められるが、一方で、既存のヒートポンプでは対応の難しかった120℃級熱を生成するヒートポンプの技術開発が進展すれば、産業分野での省エネ実現に大きく資するものと考えられる。このため、120℃級熱を生成するヒートポンプシステムと180℃級熱を生成するヒートポンプシステムの2つの目標を立てて開発を行う。関連する技術は、排熱利用による蒸気生成技術、冷熱・蒸気同時供給技術、空気熱源蒸気生成技術、循環加温時の高効率化技術、高温対応作動媒体、圧縮機、熱交換器、膨張動力回収等の基盤技術開発などがある。

上記の4つの技術課題に対し当初は、下記9テーマを採択し、インキュベーションフェーズとして技術開発を実施した。

- ① 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
- ② 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
- ③ 地中熱を軸にしたハイブリッド熱源CO<sub>2</sub>ヒートポンプ温水暖房給湯システムの研究開発
- ④ 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
- ⑤ 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
- ⑥ 高密度冷熱ネットワークの研究開発
- ⑦ 多様な未利用熱の活用を可能とした最適熱源切替型高効率高温循環ヒートポンプシステムに関する研究開発
- ⑧ 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
- ⑨ 人の分布・温冷感をセンシングして、局所気流を最適制御する次世代型空調システム

ステージゲート審査の結果、平成23年度からは、実際に次世代型ヒートポンプシステムを試作し、実証を行うテーマとして、当初の9テーマから以下の6テーマに絞り込みを行い、実施した。

- ・ 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
- ・ 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
- ・ 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
- ・ 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
- ・ 高密度冷熱ネットワークの研究開発
- ・ 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

また上記6テーマを、技術の主な適用先から下記のとおり3つの分野（家庭用：1件、業務用：3件、産業用：2件）に分類して、マネジメントを行うこととした。

#### (A) 家庭用次世代型ヒートポンプシステムの開発

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に以下の研究開発を行う。

#### **(A-1) 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**

平成23年度までにデシカントロータを組み込んだ機能試験システム（ノンフロストヒートポンプエアコン、ノンフロストヒートポンプ給湯機）を構築し、着霜領域の詳細試験によりノンフロスト運転の効果を実証する。

平成24年度までに実用レベルの耐久性を有するデシカントロータの構造設計を完了し、エアコン／給湯機のハード構成を最適化した2次試作機の設計・製作を行い、環境試験室での性能評価により省エネ効果を実証する。

#### **(B) 業務用次世代型ヒートポンプシステムの開発**

業務用次世代型ヒートポンプシステムとして、オフィスビルや店舗などで利用状況により大きな負荷変動があっても一定の効率性を保ち実運用上の効率向上ができるシステム、また未利用熱の一つである地下水熱を活用するシステムの構築を目的に以下の研究開発を行う。

##### **(B-1) 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**

平成23年度までに高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機と空調場の負荷推定と空調機の特性を考慮した適応制御システムを組み込んだプロトタイプ機を試作するとともに、空調場の実使用条件の妥当性を検討する。

平成24年度までに高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機のプロトタイプ機での効率評価を完了する。またヒートポンプシステムの2次試作機を試作し、実使用場所の実負荷による実用試験、及び検証を行う。

##### **(B-2) 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**

平成23年度までに低負荷領域での圧縮機発停止によるCOP低下を改善できるリアルタイムの負荷予測と、負荷予測に基づく能力制御を組み込んだビル用マルチエアコンを試作し、業務用ビルに設置し、評価を実施する。

平成24年度までに、低負荷領域での圧縮機発停止によるCOP低下を改善できるリアルタイムの負荷予測と、それに基づく能力制御を組み込んだビル用マルチエアコンの評価を業務用ビルで行い効果を検証する。

##### **(B-3) 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**

平成23年度までに地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの実証実験装置の製作と試運転・調整を次世代省エネルギーⅢ地区（信州大学工学部）で行い、現状システムとの比較検証および評価を行う。

平成24年度までに夏期冷房運転における実証実験装置の運転を行い、現状システムとの比較検証および評価を行う。

#### **(c) 産業用次世代型ヒートポンプシステムの開発**

産業用次世代型ヒートポンプシステムとして、下水熱利用および都市間の排熱融通により実運用上の効率向上ができるシステム、および地域冷暖房等における熱搬送の効率化を行うシステムの構築を目的とした以下の研究開発を行い、現状システム比1.5倍以上の効率向上を実証する。

##### **(c-1) 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**

平成23年度までに下水処理場内の下水管路・未処理水を用い、樹脂製熱交換器、下水管組込型熱交換器を組み込んだ小規模試験設備を構築し、下水熱利用の効果実測を行う。

平成25年度までに、耐久性の高い熱交換器の開発を継続し、さらに夾雑物対策を強化する。それらを組み込んだ下水熱利用・熱融通の効果実測を行うことによって、長期運転による課題を抽出し、解決を図る。

#### (c-2) 高密度冷熱ネットワークの研究開発

平成23年度までに氷混入装置、高密度な1管ループ方式、低温送風および変動微風、統合制御を組み込んだメインプラントを構築し、実証を行う。

平成25年度までに冷熱ネットワークシステム実証機器の評価を進め、氷混入装置／冷熱取り出し等、システム全体の網羅的統合制御ソフトウェアを開発して、性能安定性の高い氷混入システム／配管システムの構築、及びこれらを組み合わせた冷熱ネットワークシステム全体制御システムの実証データを積み重ねることで、長期運転による課題を抽出し、解決を図る。

#### (4) 効率評価方法等に関する検討

本プロジェクトで研究開発を行うシステムの実用化及び普及拡大にあたっては、システムの実際の効率を統一的に評価する指標が確立されることが望ましい。このため、NEDOが設置する「次世代型ヒートポンプシステム研究開発技術委員会」において実際にシステムが動作する環境条件、熱源の利用条件、建築側の条件、二次側の負荷条件などを考慮した効率評価方法等について検討を行う。また、検討に資する調査を実施する。

平成23年度は、NEDOにおいて開発を実施するヒートポンプシステムの省エネルギー評価に用いる「評価方法」について、その基本的な考え方、手法のあり方、条件設定などの検討を行った。

平成24年度は、その評価方法のガイドラインを策定し、試用と課題検証を行う。また、必要に応じて検討に資する調査を実施した。

平成25年度は、24年度に策定した性能評価ガイドラインの試用を更に進めながらブラッシュアップを図った。

## 2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、企業、大学等から公募によって研究開発実施者を選定し、委託（一部共同研究）事業として実施した。効率向上の目標の達成が機器単体の開発だけでは困難でありシステム化による効率向上が不可欠であることに鑑み、建築関係も含めた複数の企業および大学等による研究開発体制が組まれることに十分留意した。また、平成23年度からプロジェクトリーダーとして、独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 主幹研究員 宗像 鉄雄氏をおき、プロジェクトリーダーと密接な関係を維持し、効果的な研究開発マネジメントを実施した。

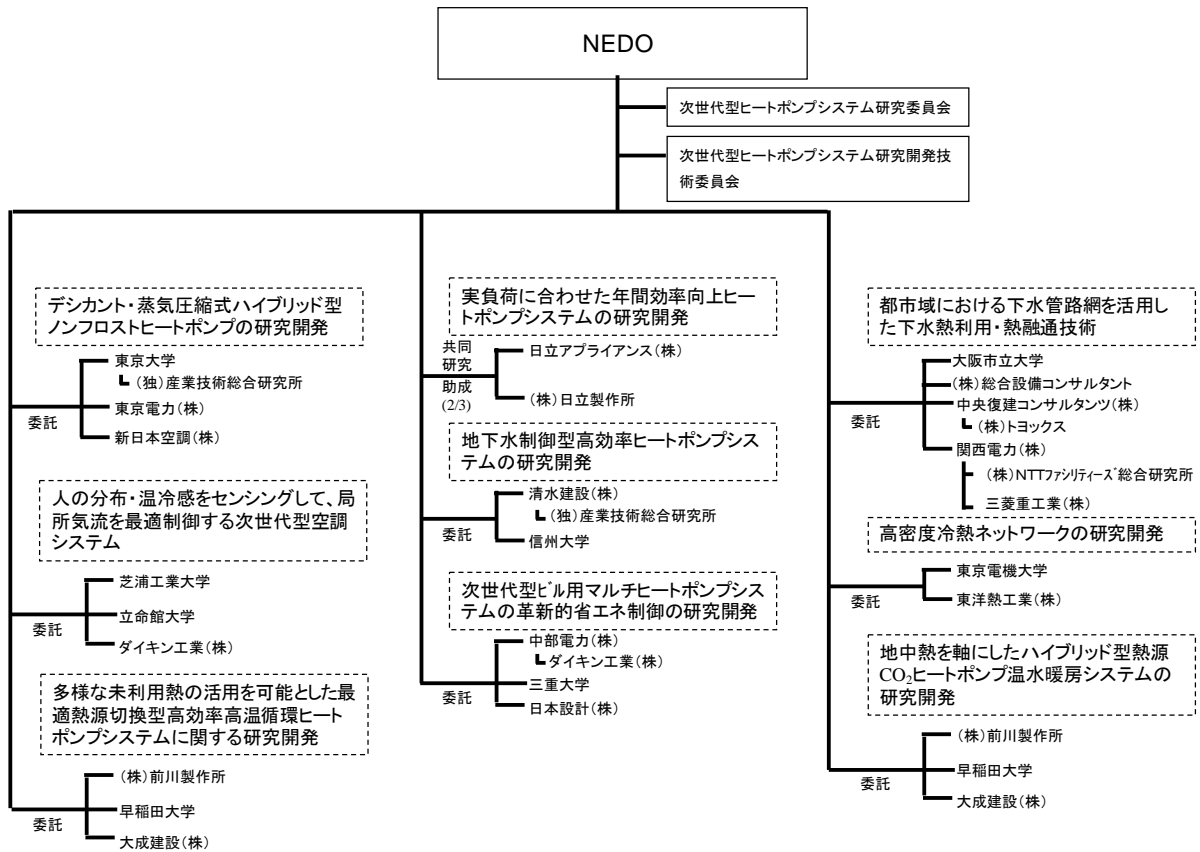


図 II-2-2 平成22年度の研究開発の実施体制

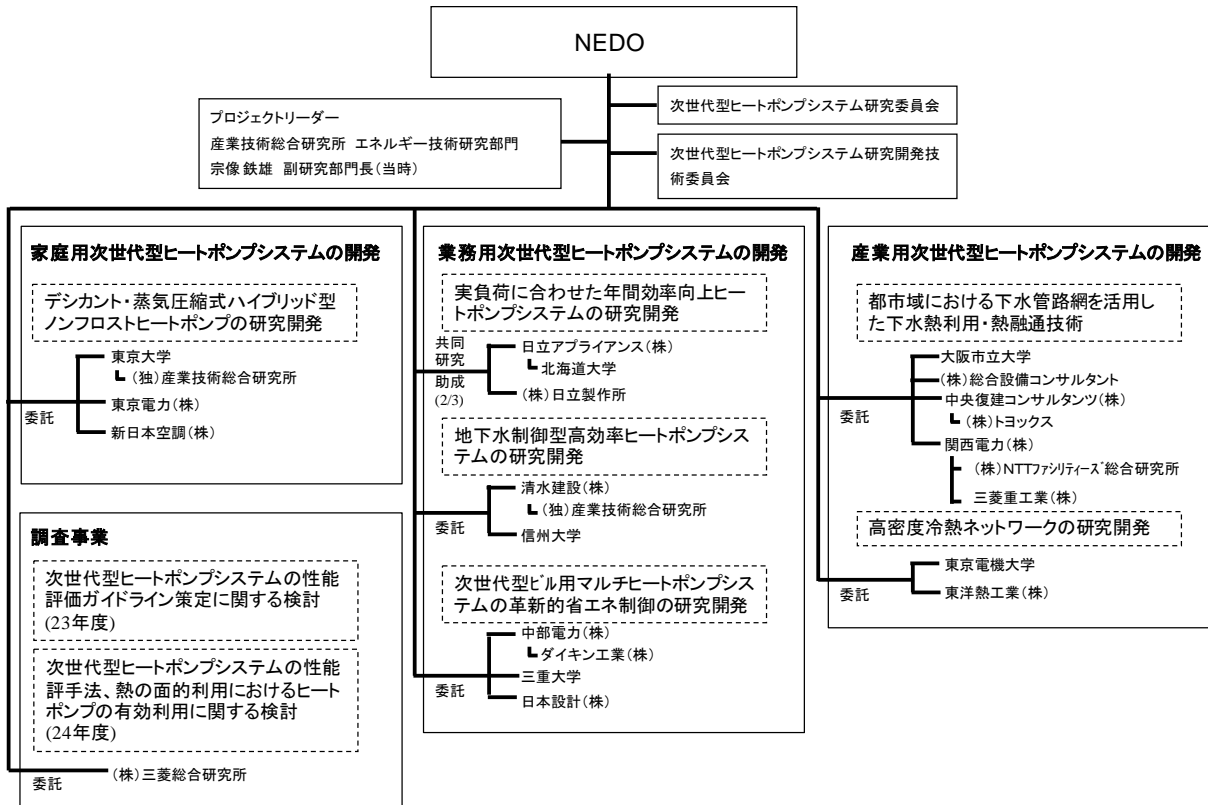


図 II-2-3 平成23年度、24年度の研究開発の実施体制

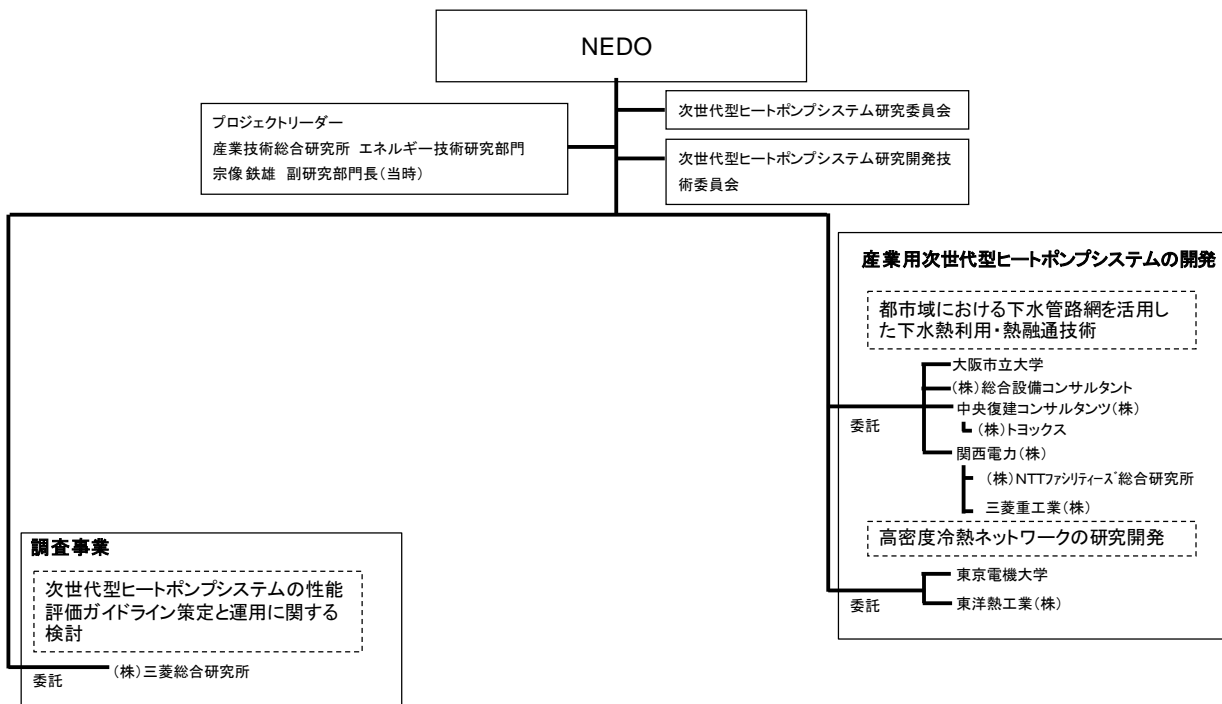


図 II-2-4 平成25年度の研究開発の実施体制

### 2.3 研究の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行った。

研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、「ステージゲート制度」を導入した。具体的には、プロジェクト実施期間の初年度（平成22年度）にステージゲート評価を実施した。ステージゲート評価では、研究目標に対する「達成度」、「効果」、「実現可能性」等を踏まえて、定性的・定量的に評価を行い、次年度以降（平成23～25年度）における研究開発主体の選定を行った。次年度以降へ移行するにあたり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、目標及び実施体制を見直した。

#### ステージゲート審査

開催日：平成23年2月9日

開催場所：NEDO本部

委員：(委員長) 中上 英俊	株式会社 住環境計画研究所 所長
(委員) 小山 繁	九州大学 教授
(委員) 斎川 路之	電力中央研究所 上席研究員
(委員) 関田 真澄	日本冷凍空調学会 事務局長
(委員) 瀬下 裕	日本冷凍空調工業会 技術部長
(委員) 西山 智康	株式会社 三菱総合研究所 副本部長

(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長  
(委員) 宗像 鉄雄 産業技術総合研究所 主幹研究員

<ステージゲート評価審査対象テーマおよびその成果>

- (1) 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  
デシカント材料とデシカントロータについて、マイナス温度域における吸着等温線と吸着速度を実測し、ノンフロストヒートポンプシステムへの適用可能性を示すとともに、理論解析により寒冷地を対象としたエアコンでは年間効率指標であるAPFが従来機の1.5倍（給湯機では年間給湯効率が従来機の1.3倍）になることを示した。（実施体制：東京大学、東京電力（株）、新日本空調（株）－再委託：（独）産業技術総合研究所）
- (2) 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  
外気処理機とビル用マルチエアコンについて、選定した業務用ビルの空調負荷（計算値）と機器の設計仕様値を用い、従来制御に対して、外気処理機で30.2%、ビル用マルチエアコンで35.1%の消費電力量削減効果が得られ、トータルで1.5倍の効率向上の目途を得た。（実施体制：中部電力（株）、日本設計（株）、三重大学大学院－再委託：ダイキン工業（株））
- (3) 地中熱を軸にしたハイブリッド熱源CO<sub>2</sub>ヒートポンプ温水暖房給湯システムの研究開発  
暖房負荷・給湯負荷・太陽熱採熱量の見込み量とその時系列変化を予測することにより地中採熱量を決定し、原理検証機用のデータ取得条件を確定できた。また机上計算でCOP2.46となり、目標値以上となった。（実施体制：サンデン（株）、大和ハウス工業（株）、早稲田大学）
- (4) 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  
地中埋設下水管の動的伝熱計算法、下水管の流量・温度推定法、管路周辺の施設熱需給の整合検討手法を検討し、下水利用地点での下水温度、管路内の空気層温度などの計算が可能となった。また樹脂製熱交換器の耐久性試験、下水管組込型熱交換器の試作を行い実証試験の仕様を明確にした。また下水熱利用給湯・冷温水供給システムの構成検討、データセンタ等の年間冷房排熱やゴミ焼却場・変電所排熱の処理方法の検討などを行い、システム全体で従来比1.5倍の効率向上の可能性を見出した。（実施体制：大阪市立大学、中央復建コンサルタント（株）、関西電力（株）、（株）総合設備コンサルタント－再委託：（株）トヨックス、三菱重工業（株）、（株）NTTファシリティーズ総合研究所）
- (5) 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  
冷凍サイクルシミュレータ、自然冷媒循環システムシミュレータ、簡易空調負荷シミュレータ、予測制御コントローラを開発し、開発システムの年間効率を計算し、発停頻度の抑制、構成機器のスペック変更を加えた結果、年間効率が現行システムの1.5倍の見込みを得た。（実施体制：日立アプライアンス（株）、（株）日立製作所）
- (6) 高密度冷熱ネットワークの研究開発  
低圧側氷蓄熱槽から、高圧側主配管（地域導管を想定）へ氷を混入する技術検討を行い、一管ループの制御方法、氷混入装置を提案した。氷混入装置に関しては、実証を行い連続して確実に稼働することを確認した。また地域全体の総合システム効率が従来比1.5倍以上となる与条件を確認できた。（実施体制：東京電機大学、東洋熱工業（株））
- (7) 多様な未利用熱の活用を可能とした最適熱源切替型高効率高温循環ヒートポンプシステムに関する研究開発  
冷媒を独自のHC系混合冷媒（GWP＝3）とすることで、従来のR407Cに対して1



3. 8% (出湯温度65℃, 熱源水温度24℃、同条件での比較) のCOP向上の見込みを得た。また利用可能な未利用熱を調査した結果、COP向上に寄与できる未利用熱は太陽熱、排湯、排水、地下水、下水、空気熱であり、それらの組合せを最適化することで平均熱源水温度24℃とすることが可能であると確認できた。(実施体制：(株)前川製作所、早稲田大学、大成建設(株))

(8) 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

ヒートポンプへの直接通水、目詰まり発生防止を確実にできる水質制御技術および装置を設計するとともに、シミュレーションによりシステム全体の性能評価を行った結果、札幌市では1.81倍、長野市では1.72倍、福岡市では1.71倍の効率向上が可能であることが確認でき、従来比1.5倍以上となる見通しが得られた。(実施体制：清水建設(株)、信州大学一再委託：(独)産業技術総合研究所)

(9) 人の分布・温冷感をセンシングして、局所気流を最適制御する次世代型空調システム

被験者実験を行い、衣服内気候の快適域等を特定した温冷感モデルを作成、モデルをもとに不快と感じている人に局所気流を送出する制御アルゴリズムを立案した。さらに実オフィスを想定したシミュレーションにより、2次側1.36倍(1次側1.1倍の効率上昇を想定、全体効率として1.5倍)の目標を達成しうる制御パラメータを選出できた。(実施体制：芝浦工業大学、立命館大学、ダイキン工業(株))

<ステージゲート評価審査項目・基準>

審査項目	審査基準
①目標である「現状システムに比べて1.5倍以上の効率向上できるシステム」の可能性検討が完了し、具体的なシステムの提案ができていること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>比較対象である、現状システムが妥当であるか(狭歪な見方をしていないか)。</li> <li>高い技術課題を乗り越えられる具体的な技術検討が十分か。</li> <li>十分な省エネポテンシャルがあるか。</li> </ul>
②試作機による実証の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証規模は十分か。</li> <li>実証期間、実証条件は適切か。</li> </ul>

<ステージゲート評価結果>

実証を行うテーマとして、上記9テーマから以下の6テーマに絞り込みを行った。

- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・高密度冷熱ネットワークの研究開発
- ・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

技術委員会による研究内容の精査

「次世代型ヒートポンプシステム研究開発技術委員会」を研究開発現場でも開催して研究の実態に即した議論や助言を行うよう配慮した。

対象テーマ：「高密度冷熱ネットワークの研究開発」

開催日：平成23年6月22日

開催場所：NEDO分室

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 上席研究員  
(委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授  
(委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長  
(委員) 西山 智康 株式会社 三菱総合研究所 副本部長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「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」

開催日：平成24年10月2日

開催場所：日立アプライアンス(株) 清水事業所

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 奥宮 正哉 名古屋大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 上席研究員  
(委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授  
(委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「高密度冷熱ネットワークの研究開発」

開催日：平成24年10月15日

開催場所：NEDO本部

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 上席研究員  
(委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授  
(委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「次世代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」

開催日：平成24年10月25日

開催場所：日本設計 中部支社 名古屋インターシティビル

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 副研究参事  
(委員) 西山 智康 株式会社 三菱総合研究所 副本部長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「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」

開催日：平成24年10月30日

開催場所：信州大学

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 副研究参事

(委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授  
(委員) 西山 智康 株式会社 三菱総合研究所 副本部長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「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」

開催日：平成24年10月31日

開催場所：東京大学 柏キャンパス

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 奥宮 正哉 名古屋大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 副研究参事  
(委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長  
(委員) 西山 智康 株式会社 三菱総合研究所 副研究参事  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「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」

開催日：平成24年11月2日

開催場所：大阪市千島下水処理場

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 副研究参事  
(委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授  
(委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「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」

開催日：平成25年12月2日

開催場所：NEDO本部

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 奥宮 正哉 名古屋大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 副研究参事  
(委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授  
(委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長  
(委員) 西山 智康 株式会社 三菱総合研究所 主席研究部長  
(委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

対象テーマ：「高密度冷熱ネットワークの研究開発」

開催日：平成25年12月16日

開催場所：NEDO本部

委員：(委員長) 勝田 正文 早稲田大学 教授  
(委員) 奥宮 正哉 名古屋大学 教授  
(委員) 小山 繁 九州大学 教授  
(委員) 齋川 路之 電力中央研究所 副研究参事

- (委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授
- (委員) 関田 真澄 日本冷凍空調学会 事務局長
- (委員) 西山 智康 株式会社 三菱総合研究所 主席研究部長
- (委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長

研究委員会「次世代型ヒートポンプシステム研究委員会」

- 委員：(委員長) 射場元 忠彦 東京電機大学 教授
- (委員) 秋元 孝之 芝浦工業大学 教授
  - (委員) 岸本 哲郎 日本冷凍空調工業会 専務理事
  - (委員) 小山 繁 九州大学 教授
  - (委員) 斎川 路之 電力中央研究所 副研究参事
  - (委員) 齋藤 潔 早稲田大学 教授
  - (委員) 佐々木 正信 ヒートポンプ・蓄熱センター 課長
  - (委員) 長野 克則 北海道大学 教授
  - (委員) 飛原 英治 東京大学 教授
  - (委員) 平野 聡 産業技術総合研究所 研究グループ長
  - (委員) 渡邊 幸芳 ヒートポンプ・蓄熱センター 課長

研究委員会「次世代型ヒートポンプシステム研究委員会」評価手法ワーキンググループ

- 委員：(座長) 齋藤 潔 早稲田大学 教授
- (委員) 佐々木 正信 ヒートポンプ・蓄熱センター 課長
  - (委員) 田中 英紀 中部大学 准教授
  - (委員) 松田 憲兒 日本冷凍空調工業会 技術部長 参事
  - (委員) 渡邊 幸芳 ヒートポンプ・蓄熱センター 課長

## 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

本研究開発は、建築・機械・材料等の多様な領域にまたがる取り組みが必要となるため、産学の幅広い関係者の技術を融合させた開発体制を構築した。

また研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的としてステージゲート審査によるテーマの重点化を行った。

平成23年度からは、研究開発マネジメント機能を更に高度化すべく、高い技術的知見を有するプロジェクトリーダーを設置しマネジメントを強化した。

情勢等の変化に対しては、追加資金の投入による研究開発の拡充など柔軟に対応した。例えば、産業系（2テーマ）は研究開発期間を1年間延長し、インフラ系への適用に不可欠な長期運転による課題の抽出とその対応を追加的に実施した。

また外部有識者から構成される委員会を設置して、開発テーマへの専門的指導の他、システム評価検討も実施した。

## 3. 情勢変化への対応

- (1) 基本計画、実施方針について

### 基本計画の改定履歴

平成22年3月、制定。

平成23年3月、プロジェクトリーダーの追加による改訂。

平成23年7月、根拠法を変更。

平成25年3月、事業の実施期間を1年延長。

### 実施方針の改定履歴

平成22年度実施方針

平成22年3月、制定。

平成22年9月、採択決定に伴う体制図の追加。

平成23年度実施方針

平成23年3月、制定。

平成23年7月、根拠法を変更。

平成24年度実施方針

平成24年3月、制定。

平成25年度実施方針

平成25年2月、制定。

### (2) 進捗状況の把握について

NEDOが主催する技術委員会において、プロジェクトリーダー等から事業全体の進捗と報告を受け、技術委員のとの意見交換を通じて開発の方向性と取り組むべき課題についての妥当性を確認した。また実施者により定期的に報告される日誌等を通じてプロジェクトの進捗状況を把握するとともに、軽微な計画変更の有無、予算の前倒し・後ろ倒し要否、状況に応じて対応を実施した。その例を以下に示す。

変更項目	変更時期	対象テーマ	対象実施者	変更理由
予算後倒し	平成23年3月	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	日立アプライアンス(株)、(株)日立製作所	東日本大震災により、共同研究業務に従事できない状況が発生したため
予算前倒し	平成23年11月	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリット型ノンフロストヒートポンプの研究開発	東京大学、東京電力(株)、新日本空調(株)	エアコンおよび給湯機の省エネ化の検討を前倒し
予算前倒し	平成23年11月	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	日立アプライアンス(株)、(株)日立製作所	開発システムの増設および遠隔監視システムの設営による試験データ取得のための時間短縮
予算前倒し	平成23年11月	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	大阪市立大学、(株)総合設備コンサルタント、中央復建コンサルタント、関西電力(株)	未処理下水に対する熱交換器の能力認識および夾雑物対策の効果確認

予算前倒し	平成 23 年 11 月	高密度冷熱ネットワークの研究開発	東京電機大学、東洋熱工業(株)	実システム規模における氷水搬送時の圧力損失特性データの取得
予算前倒し	平成 24 年 12 月	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	大阪市立大学、(株)総合設備コンサルタント、中央復建コンサルタント、関西電力(株)	地域・季節を考慮した長期運転データの取得
事業期間延長	平成 25 年 2 月	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	大阪市立大学、(株)総合設備コンサルタント、中央復建コンサルタント、関西電力(株)	
事業期間延長	平成 25 年 2 月	高密度冷熱ネットワークの研究開発	東京電機大学、東洋熱工業(株)	

#### 4. 評価に関する事項

##### 評価の実施時期

事前評価：平成 21 年度  
事後評価：平成 26 年度

##### 評価手法

事前評価：有識者からのヒアリング  
事後評価：外部評価

##### 評価事務局

事前評価：省エネルギー技術開発部  
事後評価：評価部

##### 評価項目・基準

事前評価：添付資料の事前評価書参照

##### 評価委員

事前評価：  
エネルギーシステム工学、機械・熱力学、建築工学等の各分野における有識者、機器メーカー、エネルギー企業、関連団体等の業界代表者など多方面の関係者

##### 事後評価：

内山 洋司 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授  
加藤 恭義 株式会社 MCX 研究所 MCX Institute Inc. 代表取締役社長  
伊加賀俊治 慶応義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 教授

香川 澄 防衛大学校 システム工学群 機械システム工学科 教授  
小林 敬幸 名古屋大学大学院 工学研究科 化学・生物工学専攻 准教授  
長谷川 巖 株式会社日建設計 設備設計部門 設備設計部 部長  
森 英夫 九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 教授

#### 評価結果

事前評価：添付資料の事前評価書参照

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

本事業の目標「現状 1.5 倍以上の効率を有するヒートポンプシステムを実現するための基盤技術開発を行うとともに、その性能を実機により確認する。」に対して、概ね目標を達成した。各研究開発テーマの数値目標に対する達成度を下表に示す（表Ⅲ-1-1）。

これらにより、超高効率ヒートポンプ（2030年に効率 1.5 倍）の実用化の目処がついた。今後、コスト 3/4 に向けた低コスト化や信頼性向上等、企業内の開発が必要であるが、事業化へ向けて期待できる。欧米においてもヒートポンプ技術に関する取り組みは行われているが、低負荷時の効率向上、デシカント利用空調等が実用化されれば、日本独自の革新技术となる。

表 Ⅲ-1-1 各研究開発テーマの数値目標に対する達成度

◎: 大幅達成、○: 達成、△: 一部未達、達成見込み、×: 未達

分野	研究開発テーマ	目標	成果	達成度	今後の課題
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 (東京大学、東京電力、新日本空調)	・エアコンAPF1.5倍 ・給湯器の年間給湯効率1.3倍(寒冷地条件)	・エアコンAPF1.7倍 ・給湯器システムCOP1.12倍	△	・熱交換器の最適化 ・デシカント材構造やローター構造の最適化 ・商用分野の拡大
業務	革新的省エネ制御技術を用いた次世代ビル用マルチヒートポンプシステム (中部電力、日本設計、三重大学)	制御改善による負荷率50%未満のCOP向上、平均COP1.5倍以上	従来機比1.7倍	◎	・今後発売する機器から順次搭載予定
	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 (日立アプライアンス、日立製作所)	ワイドレンジ圧縮機・制御システムによる効率1.5倍	ワイドレンジ圧縮機負荷率3~100% 東京地区で年間効率1.55倍向上	○	・長期信頼性確認(単体、ユニット組込) ・冷媒自然循環での配管最適化
	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 (清水建設、信州大学)	従来比1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率HP空調システムの実現	帯水層蓄熱を考慮することで3年目の効率1.53倍	△	・3年目以降の蓄熱効果で効率向上の実証
産業 (地域熱輸送)	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 (大阪市立大学、中央復建C、関西電力、総合設備C)	システム全体での効率向上1.5倍以上	下水熱利用システムで1.9倍	◎	・需要と供給のマッチング ・工場排熱などの未利用エネルギーも考慮した都市域マスタープランの作成
	高密度冷熱ネットワークの研究開発 (東京電機大学、東洋熱工業)	業務用空調負荷のエネルギー消費効率1.5倍以上の実証	氷水搬送、低温送水・送風、室温緩和、統合制御等を用いて1.7倍	◎	・実証による信頼性向上

次頁以降に、下記研究開発項目それぞれに対する成果について述べる。

- ・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
- ・次世代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
- ・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
- ・地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発
- ・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
- ・高密度冷熱ネットワークの研究開発
- ・次世代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



## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 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

#### 1. テーマの目的（必要性）

東北・北信越などの寒冷地と呼ばれる地域では夏季の冷房負荷に比べ冬季の暖房負荷が大きくなる。図 1.1 には盛岡の年間の温湿度分布を示したものだが、盛岡では空調負荷の約 9 割が暖房負荷である。したがってこのような地域でヒートポンプが広く利用されるようになれば、大きな省エネ効果が期待できるわけだが、図 1.2 に示すように東北地方の主な暖房装置は依然として石油・石炭系のストーブが主となっている。ヒートポンプの普及を妨げている原因の 1 つにフロスト（着霜）という現象がある。寒冷地では冬季低温かつ高湿になるため、蒸発器で外気が冷やされるとそこで凝縮水が生じ、それが氷となることにより蒸発器に霜が付いてしまう。図 1.3 には室外機に生成したフロストを示した。霜が付き始めると熱交換器の伝熱が損なわれるほか、一定時間ごとにデフロスト（除霜）しなくてはならない。デフロスト中は暖房運転が停止するため快適性が損なわれ、ヒートポンプの性能を表す COP も平均で 10 %ほど落ちてしまう。既にノンフロストを謳う製品も登場し始めてはいるが、蒸発器を複数搭載し交代で利用することによりデフロストによる暖房運転の中断を回避しているに過ぎず、フロストの根本解決には至っていない。ここでノンフロストを実現する有効なシステムを提案することができればこれら寒冷地におけるヒートポンプの性能および快適性を大幅に改善することができ、ヒートポンプの定着を後押しするだろう。これらはヒートポンプの広範囲にわたる普及に欠かせないことである。

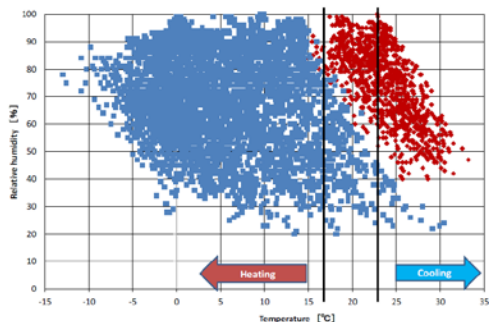


図 1.1 盛岡の年間温湿度分布

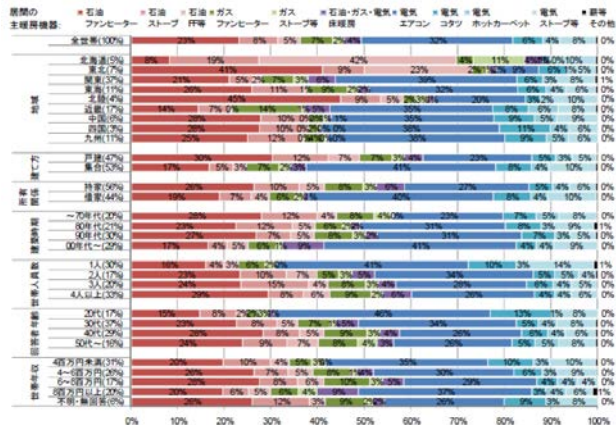


図 1.2 各熱源が占める割合

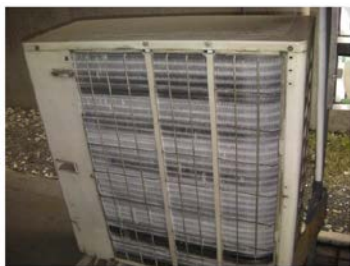


図 1.3 室外機の着霜

本研究は、吸着剤メソポーラスシリカを使用したデシカントサイクルと蒸気圧縮式冷凍サイクルのハイブリッドシステムにより、冬季におけるノンフロスト運転、夏季におけるノンドレイン運転を可能とするノンフロストヒートポンプを開発する。従来のデシカント空調機では室内への供給空気の調湿にのみデシカントを利用していたが、本事業では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ノンフロスト、ノンドレイン運転を実現させる。メソポーラスシリカは、マイナス温度域においても吸着水が凍らず吸脱着速度が速く大きな水蒸気吸着量を有するという、従来のデシカント材にはない特徴を持ち、また低温で再生可能である。これらの特徴を持つメソポーラスシリカをデシカント材に用いることで補助熱源なしでノンフロスト、ノンドレイン運転が可能になる。本研究開発で得られた技術をエアコン（R410A冷媒搭載の4.0kW機種と第1種機械換気を対象）と給湯機（CO<sub>2</sub>冷媒搭載の4.5kW～6kW機種を対象）に適用することにより、寒冷地の気象条件でエアコンではAPFで1.5倍、給湯機では年間給湯効率で1.3倍が見込まれる。

## 2. テーマの要旨

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した。主な開発項目は下記の通りである。

### A. 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

常温付近および低温領域における吸着剤の水蒸気吸/脱着特性を定容法にて行った。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実験計測により明らかにした。太陽化学製メソポーラスシリカ TMPS-1.5A（細孔径 1.5nm）および TMPS-4A（細孔径 4nm）に対して、-7℃と 25℃ではほとんど吸着量に違いは見られず、等温線の形状もほぼ同じ結果が得られた。また、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。

### B. 省エネ化のためのハードの構成とシステム検討

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、ロータの吸/脱着量と吸/脱着速度の温度、風速による変化を明らかにした。その結果を踏まえて、ノンフロンエアコンと給湯機のシミュレーションモデルをそれぞれ開発し、そのエアコンのハード構成（デシカントロータの吸着/脱着面積比率、熱交換器のフィンピッチ、圧縮比）と給湯機のハード構成（過冷却器、熱交換器のフィンピッチ、圧縮比）の設計検討と最適化を行った。

従来型エアコンの着霜条件での平均COPは無着霜時より10%程度が低下する結果が得られた。ハイブリッドエアコンの実証機暖房実験では、ノンフロスト化が実現でき、従

来サイクルより性能向上が見られた。寒冷地（代表地：盛岡）への適用を想定し、調湿機能を考慮した通年エネルギー消費効率 APF 算定法を提案し、熱交換器のフィンピッチを半減させ、伝熱性能の向上を図ったところ、APF は従来機の 1.35 倍となった。更に、本研究の結果に基づいて、ハイブリッドサイクルに顕熱交換器を導入したシステムを解析し、換気と排気と熱回収を行うことで、APF を従来システムの 1.7 となり、開発目標の 1.5 倍を実現することが可能であることを明らかにした。

給湯機に関しては、冬季のノンドレイン化とヒートポンプユニットのエネルギー消費効率の向上を目指して、CO<sub>2</sub>冷媒搭載の家庭用を対象としてハイブリッドシステムの最適化を行った。その結果、給湯効率は従来機の 0.92 倍であった。これはCO<sub>2</sub>冷媒の物性に起因しているため、改善策としてR410A冷媒搭載の業務用の実証機を製作し、ノンフロスト運転を実現した上で、給湯効率は従来機の 1.12 倍となることを示した。

### C. 商品化に向けた市場分析

国内の住宅分野の市場について詳細分析し、国内の非住宅分野、及び海外分野への導入可能性について調査を行った。対象地域の分析により、ノンフロストシステムの導入が最も効果的な地域と考えられるのは低温また湿度の高い東北地方であるが分かった。普及期間を 2019～2030 年とし、東北地域の新築戸建て数を 31,100 戸/年として、一戸あたりの削減電力量は 1,288 kWh/戸、原油換算省エネ効果は 2020 年及び 2030 年にそれぞれ 218 kL/年と 1,350 kL/年と見込まれる。また、米国、欧州の主要都市など比較的に着霜しやすい温湿度条件であるため、本研究の成果の海外展開が十分可能性があると言える。

### 3. テーマの目標

項目	平成 22 年度 (ステージ1時の目標)	平成 23 年度	平成 24 年度 (最終目標)
A. 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	<p>A-1. 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.</p> <p>A-2. 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.</p> <p>A-3. 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.</p> <p>A-4. デシカント材の吸着速度評価: 既存のメソポーラスシリカの低温での吸着速度評価.</p>	<p>A-2: システムの効率を最大化するための吸着剤構造を決定.</p> <p>A-3: デシカントロータの水蒸気吸着/脱着のモデル化</p> <p>A-4: 吸着モジュールとしての課題 (担持量, 吸着角度/脱着角度比率等) を明確化.</p>	A-5: 実用レベルでの使用に耐えうる吸着剤/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
B. 省エネ化のためのシステム検討	<p>B-1: 給湯機のシミュレーションモデルの構築: 年間給湯効率で 1.3 倍のシミュレーションモデルを構築.</p> <p>B-3: エアコンのシミュレーションモデルの構築: APF で 1.5 倍のシミュレーションモデルの構築.</p>	<p>B-1: 給湯機のシミュレーションプログラム開発.</p> <p>B-3: エアコンのシミュレーションプログラム開発.</p>	<p>B-2: 給湯機の省エネ化 (年間給湯効率で 1.3 倍) の検討.</p> <p>B-4: エアコンの省エネ化 (APF で 1.5 倍) の検討.</p>
C. ハード構成の研究	<p>C-1: 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給湯機の過冷却器とガスクーラの最適比率検討.</p> <p>C-2: エアコンのハード構成の最適化: 冬季と夏季におけるデシカントサイクルの吸着/脱着面積比率の最適化検討.</p>	<p>C-1: 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.</p> <p>C-2: エアコンの APF 算出用全運転モード温度条件下でのハード構成 (吸着/脱着面積比率に可変対応可能) のパラメータ判定.</p>	<p>C-1: 給湯機のハード構成 (過冷却器とガスクーラ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.</p> <p>C-2: エアコンのハード構成 (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.</p>
D. 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	<p>D-1: マーケット分析, 市場調査, 仕様検討: デベロッパー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. (「C. ハード構成の研究」における目安とする)</p>	<p>D-1: 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.</p> <p>D-2,3: 従来製品の性能評価による, 着霜の影響の明確化.</p>	<p>D-2,3: 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</p>

## 4. テーマの計画、研究内容

### 4.1 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

冬季に無着霜（ノンフロスト）運転，夏季に無ドレイン（ノンドレイン）運転を実現させるためには，高効率な吸着剤の開発が求められている．本研究は，まず常温付近および低温領域における吸着剤の水蒸気吸/脱着特性を定容法で計測し，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調べた．また，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手法を提案する．

#### 4.1.1 デシカント材の平衡吸着量評価

##### (1) 吸着等温線測定

日本バル社製 Belsorp-Aqua および Belsorp-max を用い各種デシカント材の水蒸気吸着特性を測定した．以下，温度依存性，細孔径依存性，材料の種類による違い等のデータについて説明する．本研究開発で評価したメソポーラスシリカを表 4.1.1 にまとめた．

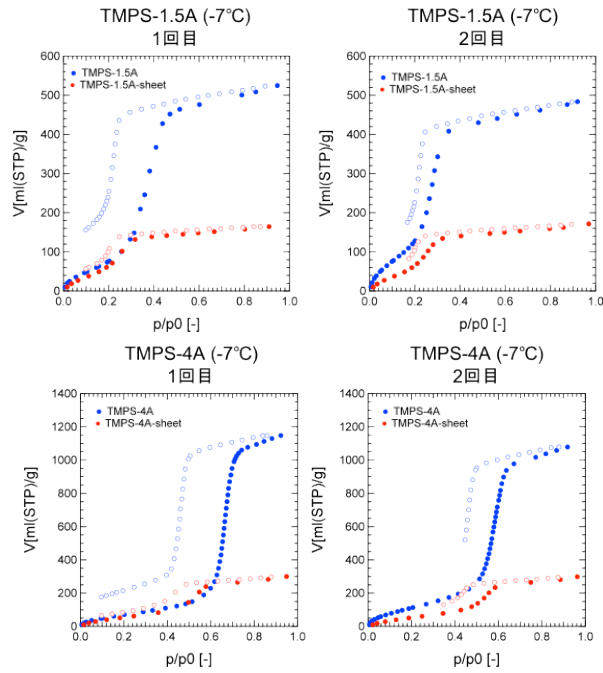
表 4.1.1 本研究開発で合成・使用したメソポーラスシリカ

サンプル名	製法（場所）	組成	比表面積 [m <sup>2</sup> /g]	細孔容積 [cc/g]	細孔径 [nm]	細孔内水凍結 温度
Zr-MPS	溶媒揮発法（産総研）	ZrドープSiO <sub>2</sub>	1086	0.81	3.8	-30~-40℃
SBA-15	水熱合成法（産総研、東大）	Pure SiO <sub>2</sub>	637	1.16	9.1	-10~-15℃
TMPS-1.5A	水熱合成法（太陽化学）	Al修飾SiO <sub>2</sub>	950	0.44	<2.0	凍結せず
TMPS-4A	水熱合成法（太陽化学）	Al修飾SiO <sub>2</sub>	850	1.0	4.5	-25~-30℃

##### ・ 細孔径依存性

太陽化学製TMPS-1.5Aについて，-7℃（想定される使用温度）付近における水蒸気吸着等温線を測定した．窒素吸着等温線を解析することにより，細孔径は 2nm未満，細孔容積は 0.44cc/g，比表面積は約 950m<sup>2</sup>/gであることがわかった．次に，TMPS-1.5A粉末および担持シート（三菱製紙製）の-7℃水蒸気吸着等温線の測定結果を図 4.1.1(a)に示す．粉末はV型の等温線を示した．細孔径が 2nm未満と小さいため，毛管凝縮の起こる相対湿度は小さく，2回目の吸着時で 0.3程度であった．また，氷点下（-7℃）においても，問題なく水蒸気を吸脱着できることが確認された．担持シートの吸着等温線も基本的には同じ形であるが，縦軸（重さあたりの吸着量）については，シート母材の重量も含まれるために小さくなっている．

同じ太陽化学製TMPS-4Aについて，窒素吸着等温線を解析することにより，細孔径は 4.5nm，細孔容積は 1.0cc/g，比表面積は約 850m<sup>2</sup>/gであった．粉末および担持シートの-7℃水蒸気吸着等温線の測定結果を図 4.1.1(b)に示す，TMPS-1.5Aと同様に氷点下（-7℃）においても問題なく水蒸気を吸脱着できることが確認された．ただし，担持シートの重さあたりの吸着量は吸着剤粉末の約 1/4 と小さくなった．



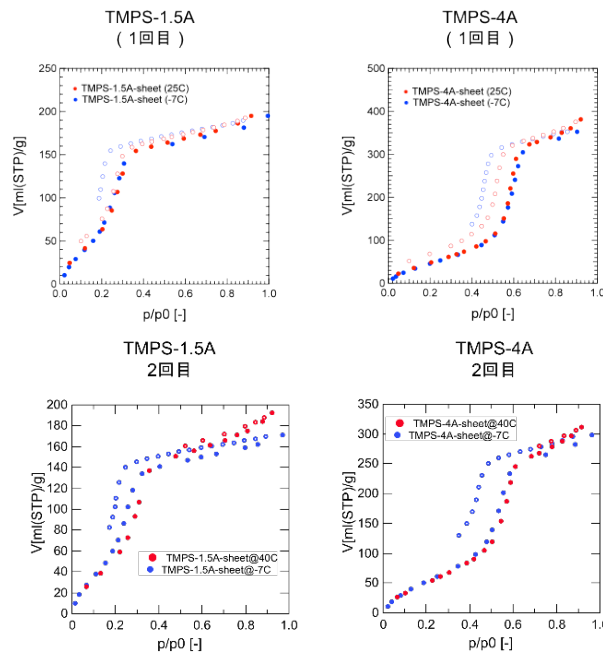
(a) TMPS-1.5A (b) TMPS-4A

図 4.1.1 -7°Cにおける吸着剤の水蒸気吸脱着等温線

・ 温度依存性

TMPS-1.5A および 4A の-7°C（氷点下）、25°C（室温）および 40°C（再生想定温度）にて水蒸気吸着等温線の温度依存性を測定し、その結果を図 4.1.2(a)に示した。

-7°Cと 25°Cではほとんど吸着量に違いは見られず、等温線の形状もほぼ同じであった。また、それぞれの材をシートに担持した試料については、40°Cでの等温線の測定と比較を行った。図 4.1.2(b)から分かるように、40°C（想定再生温度）においても、その等温線の形状、吸着容量はほとんど影響を受けないことがわかる。



(a) -7°Cと 25°C

(b) -7°Cと 40°C

図 4.1.2 水蒸気吸脱着等温線の温度依存性

## (2) 吸着速度測定

デシカント材 Zr-MPS の水蒸気吸着特性を重量法により測定し、吸着・脱着の速度について考察した。測定には磁気浮遊式天秤吸着測定装置（MSB-Flow-SPT, 日本ベル社製）を用いた。キャリアガスには高純度ヘリウムを用い、大気開放の流通系で測定を行った。約 3.2 mg の試料をバスケットに量り取り、25 °C で階段状に湿度を変化させ試料の重量変化を測定した。吸着量測定実験は 2 回連続で行った。1 回目の測定前には、試料を真空、300 °C で 8 時間加熱し、2 回目の測定前には、同じ試料を 140 °C で 8 時間加熱した。

図 4.1.3 は 25 °C で 1 回目の測定における試料への水の吸着量の時間変化および相対湿度の時間変化を示している。吸着過程、脱着過程とも低湿度域と高湿度域では、湿度変化後、直ぐに平衡状態に達するのに対し、中間の湿度域では、平衡状態に達するのにより長い時間がかかることがわかった。

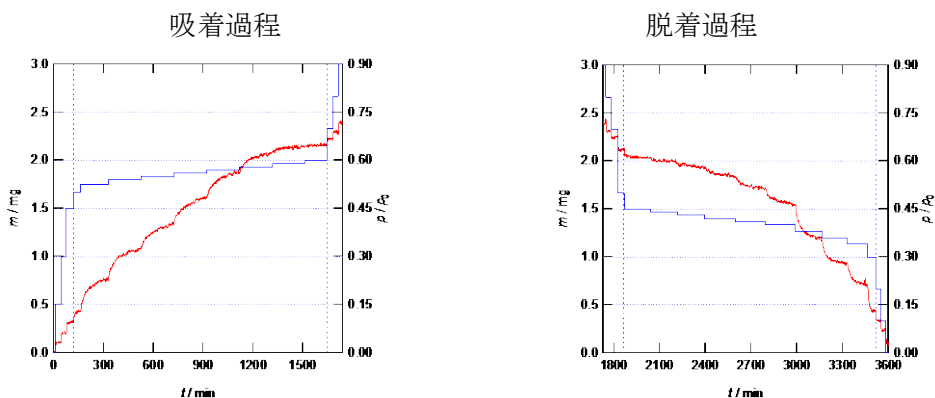


図 4.1.3 Zr-MPS 粉末の 25°C における水蒸気吸脱着の緩和曲線（1 回目）

図 4.1.4 には吸着量の時間変化から求められる相対圧ごとの緩和速度を示している。緩和速度  $k$  は吸着量の時間変化を以下の式でフィッティングすることにより求めた。

$$\frac{m}{m_{\text{eq}}} = 1 - \exp(-kt) \quad (4.1.1)$$

緩和速度—相対圧のグラフは、毛管凝縮、毛管蒸発の領域において緩和速度が非常に遅くなることを示している。層状吸着、ポアフィリングの領域における緩和速度と比較して 10 倍以上小さい値を示している。

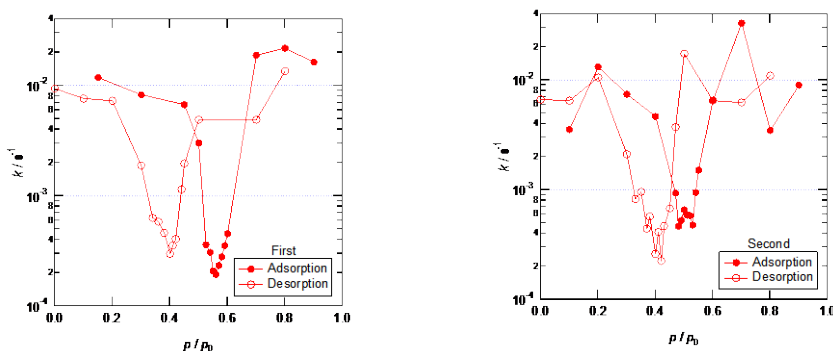


図 4.1.4 Zr-MPS 粉末の 25°C における重量法により求められた水蒸気吸脱着緩和速度  
1 回目（左図）、2 回目（右図）

図 4.1.5 は毛管蒸発、毛管凝縮の領域において、相対湿度の変化量を変えたときの水の吸着量の緩和曲線を示している。相対湿度の変化量が大きくなるにつれて緩和速度が速くなる様子が捉えられている。また、吸着過程、脱着過程とも、相対湿度の変化量が小さいときは、緩和曲線はフィックの式から求められる式でよくフィッティングすることができるが、大きくなるにつれて、

急速に平衡吸着量に達し、一定値に折れ曲がるようになる。

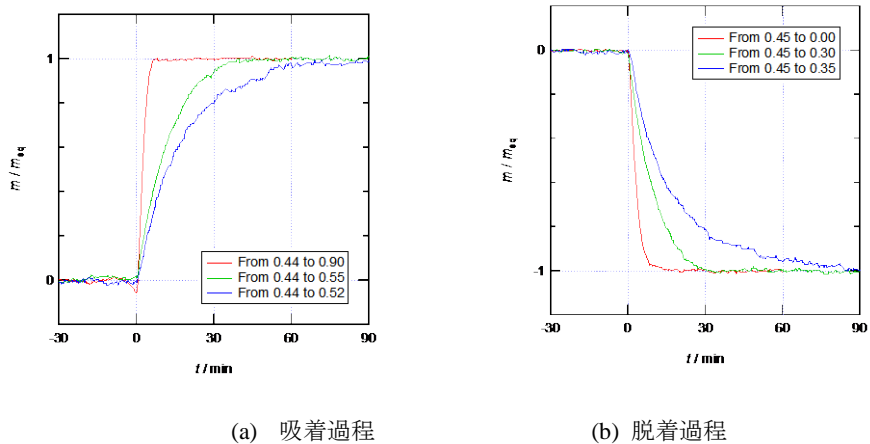


図 4.1.5 Zr-MPS 粉末の 25°Cにおける水蒸気吸脱着の緩和曲線

#### 4.1.2 デシカント材の設計

##### (1) 凝固, 融解温度特性

一般にナノ細孔内部に閉じ込められた水は氷点下においても凍らないことが知られている。ナノ細孔内部に閉じ込められた液体は細孔壁との相互作用などの影響で、壁面近傍にバルクと異なる吸着層構造を形成したり、分子運動の一部が拘束されたり、特徴的な構造的、動的性質を示す。その結果、凝固点・融点降下など熱力学的性質も変化する。図 4.1.6 は 2 種類のメソポーラスシリカ内部に閉じ込められた水について、示差走査熱量計 (DSC) により測定した凝固過程の冷却曲線を示している。シリンダ状の細孔構造を持ちZrを担持したメソポーラスシリカ (Zr-MPS, 細孔径 3.8 nm) の内部では-45~-50 °C, 同様の構造を持ち細孔径がより大きなメソポーラスシリカ (SBA-15, 細孔径 9.1 nm) の内部では-15~-20 °C付近で水が凝固することがわかる。さらに, 図 4.1.7 はメソポーラスシリカ (MCM-41, SBA-15) 内部の水について, 凝固点・融点降下と細孔直径の関係を整理したものである。白抜き記号はオリジナルデータ, 黒塗り記号は細孔直径を求める計算に異なるモデルを使用した補正データを表している。細孔直径が小さくなるにつれて, 凝固・融解温度の降下が大きくなることがわかる。また, 細孔直径が 2 nm程度になると, 細孔内部の水は実質的に凍らないことが予想される。

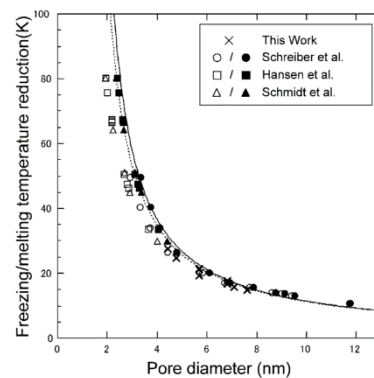
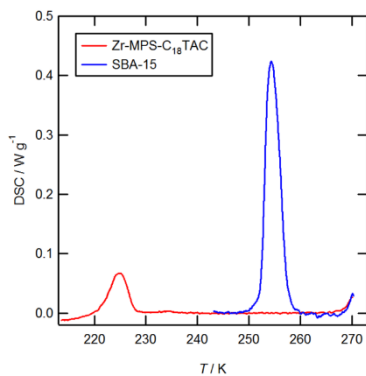


図 4.1.6メソポーラスシリカ内部の冷却曲線 図 4.1.7 凝固点・融点降下と細孔直径の関係

##### (2) 飽和吸着量特性

従来から水蒸気吸着剤としてよく用いられているシリカゲルは、細孔構造が不規則であり、細



孔径分布も幅広いため、相対湿度の増加に伴う吸着量の増加は緩やかである。また、ゼオライトも水蒸気吸着剤としてよく用いられるが、細孔径が 1.5 nm 以下と小さく水分子との相互作用が強いため、再生には 100–200 °C の高温が必要であるのが一般的である。一方、メソポーラスシリカの水蒸気吸着特性は、図 4.1.8 に示されるように、細孔径に応じて、特定の相対湿度で細孔への毛管凝縮による大きな水蒸気吸着量変化を示す。また、低湿度においてはほとんど水蒸気を吸着しないため、水蒸気の脱着を低温で行うことが可能である。したがって、これまで利用不可能であった 50 °C 程度の低温排熱を利用した省エネルギー性の高いデシカント空調用への応用が期待されている。ただし、カチオン性界面活性剤（4級アルキルアンモニウム塩）をテンプレートとして合成されたメソポーラスシリカは、シリカ壁の厚さがほぼ一定となる。従って、細孔径が小さいものほど飽和吸着量が小さくなり、TMPS-4A は 1.5A と比較して飽和吸着は 2 倍以上となる。材料合成の観点からは、細孔径が小さく、かつ壁の薄いものの合成が課題であるが、現状 1nm 程度の壁厚をこれ以上薄くすることは極めて困難であると考えられている。

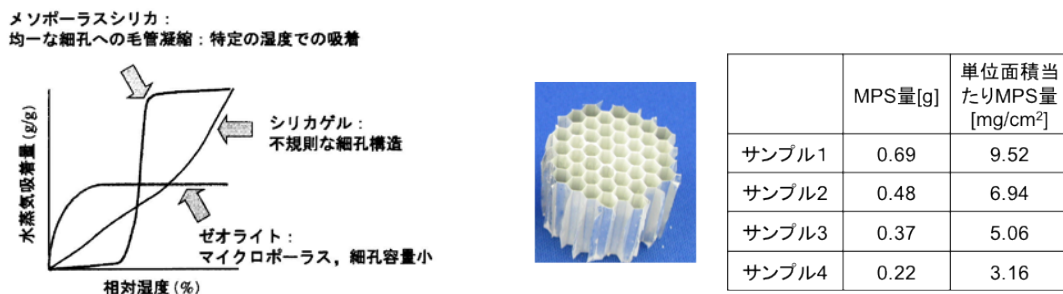


図 4.1.8 各種吸着剤の吸着等温線 図 4.1.9 泳動電着法で作製した TMPS 担持ハニカム

### (3) 新素材の提案

本プロジェクトにおいては、デシカント材をバインダーと混合した後、シート上に加工し、さらにそのシートをコルゲート加工した後ロータを形成している。その際端面処理のために接着剤を使用し、有効に吸着層として利用できない部分も生じている。吸着性能を向上させるため、泳動電着法によるロータ形成を提案する。図 4.1.9 に、泳動電着法により作製したハニカムおよびその単位面積あたりのデシカント材の固定量を示した。ここでは、デシカント材として TMPS-1.5A を使用した。ロータとしての単位体積あたりの TMPS 固定量としては、現在のシート加工によるロータと同程度が見込まれ、またバインダーの使用量は格段に少なくなることで、ハニカム径の大きさも大きくすることが可能で圧力損失が小さくなることから、システムとしての大幅な性能向上が見込まれる。

## 4.2 デシカントロータの吸脱着特性

ノンフロストヒートポンプシステムを設計するためにはデシカントロータの吸脱着特性を把握する必要がある。しかしながら吸着剤そのものの平衡状態における吸着特性の解明は進む一方で、実際にシステムに適用する事を想定した通風環境におけるデシカントロータの動特性の解明は不十分となっているのが現状である。本研究では等価物質拡散係数を導入しバインダーが混ざった場合の実ロータ物質移動特性を実験的に評価した。比較のため、メソポーラスシリカと高分子吸着剤をデシカントロータの吸湿材として採用し実験を行った。

#### 4.2.1 シミュレーションモデル

本研究で用いたメソポーラスシリカは、細孔直径が 2 nm と 4nm の二種類である。また、メソポーラスシリカを吸着剤として利用する際には、造粒や固定化などのプロセスが必要となるためその過程で使用したバインダーが本来の吸着性能を低下させることが考えられる。したがって本研究では、粒子間隙間の水分の拡散をバインダーが阻害し拡散抵抗になっていると考える。本研究では、デシカントロータの実験結果から求めた等価拡散係数を用いてデシカントロータの吸脱着特性を評価した。

デシカントロータの様々な条件における吸脱着速度を解析するためにモデル化を行った。流れ方向の平面モデルとデシカントロータの寸法を図4.2.1と4.2.2に示す。

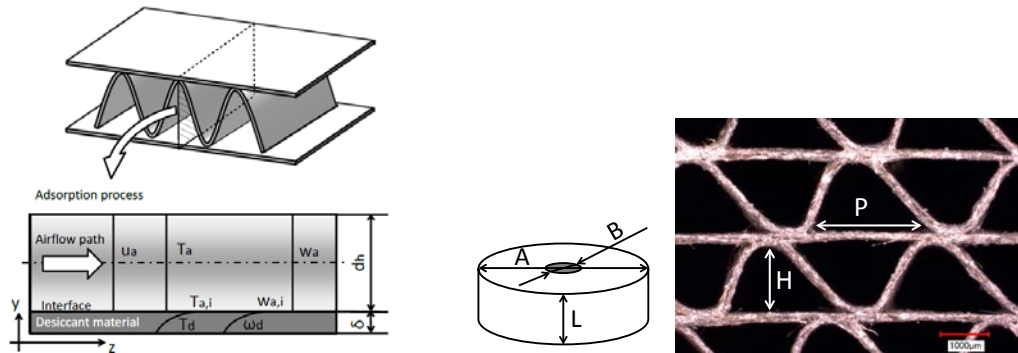


図 4.2.1 シミュレーションモデル 図 4.2.2 デシカントロータ寸法

デシカントロータの動特性を解析するために用いた支配方程式を以下に示す。まず空気流路内の熱・物質移動は流れ方向のみを仮定したため以下のようなになる。

$$\text{湿り空気中の水蒸気連続方程式: } \rho_a \frac{\partial w_a}{\partial t} + \rho_a u_a \frac{\partial w_a}{\partial z} + \frac{1}{5} \rho_a h_m (w_a - w_{a,i}) = 0 \quad (4.2.1)$$

$$\text{湿り空気のエネルギー方程式: } \rho_a c_{pa} \frac{\partial T_a}{\partial t} + \rho_a c_{pa} u_a \frac{\partial T_a}{\partial z} + \frac{1}{5} h (T_a - T_{a,i}) = 0 \quad (4.2.2)$$

また、吸着剤内部の熱伝導方程式と水蒸気の拡散方程式はそれぞれ：

$$\rho_d c_d \frac{\partial T_d}{\partial t} = \lambda_d \left( \frac{\partial^2 T_d}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_d}{\partial z^2} \right) \quad (4.2.3), \quad \frac{\partial \omega_d}{\partial t} = D_d \left( \frac{\partial^2 \omega_d}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_d}{\partial z^2} \right) \quad (4.2.4)$$

境界面における濃度  $w_{a,i}$  はデシカントロータの吸着等温線を用いて与える。吸着シート  
の中心部は対称条件を与える。

本研究で対象となる空気の流路を円管と仮定する。また対象の流れは層流であるから、  
発達した区間と助走区間に分けて熱伝達率はそれぞれ

$$N_{u_c} = 3.66 \quad (4.2.5) \text{ と, } N_{u(z)} = 5.357 \left[ 1 + \left\{ 388 \left( \frac{z/d}{R_e Pr} \right) / \pi \right\}^{-\frac{3}{4}} \right]^{-\frac{3}{4}} - 1.7 \quad (4.2.6) \text{ とした。}$$

物質伝達率は Chilton-Colburn のアナロジーを用い、ヌセルト数からシュミット数を求  
め、物質伝達率を計算する。

吸着層内の等価熱伝導率  $\lambda_d$  はシリカゲルの熱伝導率から推定し 0.11 W/(mK) とした。等  
価物質拡散係数  $D_d$  は実験より決定した。

#### 4.2.2 実験

上記のシミュレーションモデルのロータ側等価物質拡散係数 $D_d$ を求めるために実際に通風状態における吸脱着速度計測実験を行った。本実験で使用ロータの仕様を表 4.2.1 に示す。

表 4.2.1 テストデシカントロータの詳細

	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3	Rotor 4
Adsorption material	Mesoporous silica		Sorption material	
$A$ [mm]	120	120	120	120
$B$ [mm]	10	10	10	40
$L$ [mm]	40	40	40	40
$P$ [mm]	4.2	3.2	4.2	3.4
$H$ [mm]	2.5	1.9	2.5	1.7
Average pore size [nm]	4	4	2	—
Density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	675	633	697	493
Thickness of sheet [mm]	0.177	0.230	0.182	0.138

低温の空気は絶対湿度が非常に低いため出入り口の空気の湿度差からデシカントロータの吸脱着量を算出すると誤差が大きくなる。本実験では重量法を用いてデシカントロータの吸脱着速度を計測した。図 4.2.3 に示すとおり、通風時は供給空気が漏れないように両端を固定する。一方、重量計測時は両端を固定せずに電子天ピンを用いて計測を行う。

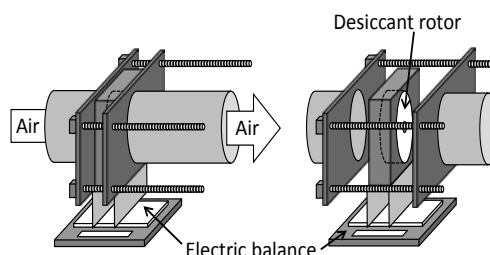


図 4.2.3 重量法計測装置

本研究で使用する4つのロータとそれぞれのロータに加工する前のシートの吸着等温線を重量法で計測し、その結果を図 4.2.4 に示す。メソポーラスシリカは毛管凝縮現象の発生により急激に吸着量が増加し、そして細孔径が小さくなるにつれ吸着等温線の立ち上がる湿度帯が低湿度側に移行している。高分子収着剤は線形状に吸着量が増加し、どの湿度においても吸着することが分かる。また、 $-7^{\circ}\text{C}$ におけるシートの吸着量は表面等で凍結することなく  $25^{\circ}\text{C}$ の時と同程度の吸着量が得られることが確認できた。更に、ロータ成形後の吸着量はシートの吸着量に比べ減少していることが分かる。これはロータ形状に成形する際に使われるバインダーが細孔の表面を塞いでしまい、吸着量が低下してしまっている可能性が考えられる。本研究におけるロータの吸脱着特性の解析には実測した吸着等温線の値を用いた。

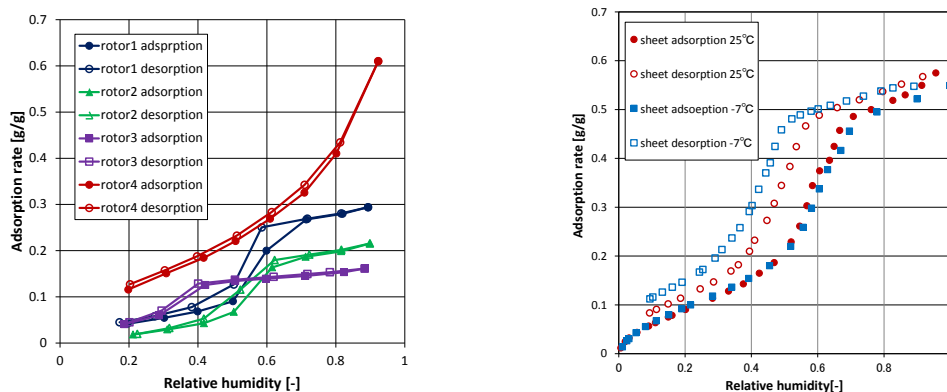


図 4.2.4 吸着ロータ(シート)の吸着等温線

### 4.2.3 実験結果

#### (1) 空気流速の影響

風速の影響を調べる実験結果を図4.2.5に示す。実験結果よりすべてのロータにおいて面風速を上げることで吸脱着速度が上昇する事が示された。また、面風速1.5m/sでの実験結果を用いて等価物質吸着拡散係数 $D_d(ad)$ と等価脱着物質拡散係数 $D_d(de)$ を算出した結果を表4.2.2に示す。

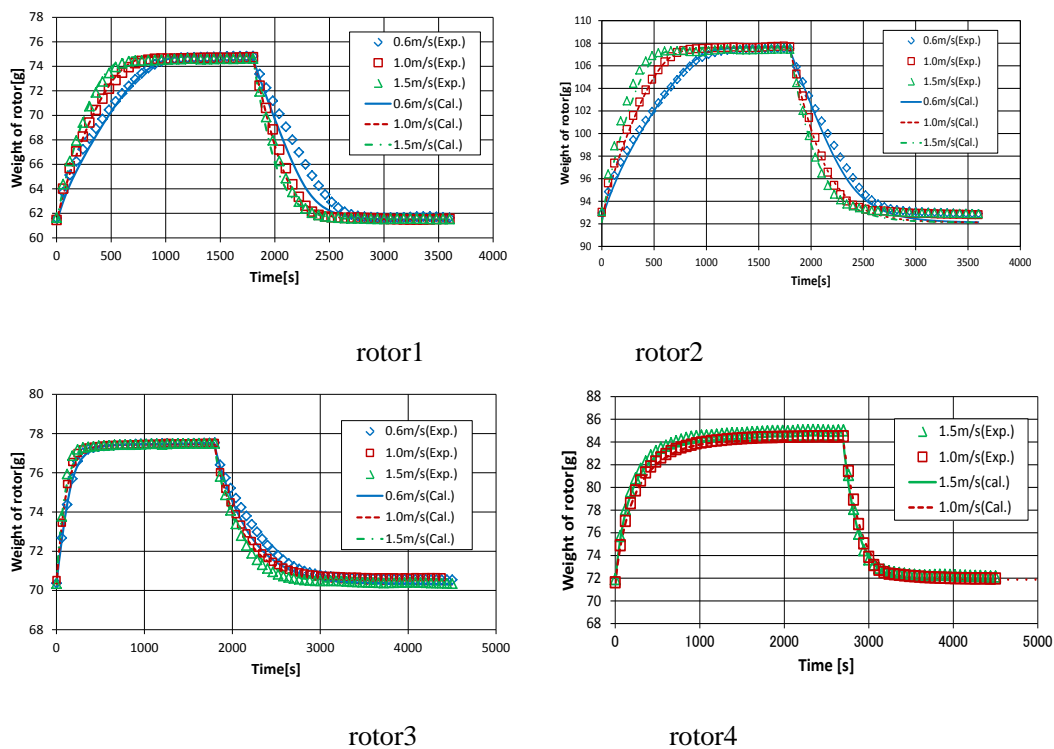


図 4.2.5 吸脱着特性への空気流速の影響

表 4.2.2 等価拡散係数 (25 °C)

	Temp. [°C]	$D_d(ad)$ [ $m^2/s$ ]	$D_d(de)$ [ $m^2/s$ ]
Rotor 1	25	$7.5 \times 10^{-11}$	$2.0 \times 10^{-11}$
Rotor 2	25	$8.0 \times 10^{-11}$	$2.5 \times 10^{-11}$
Rotor 3	25	$4.6 \times 10^{-11}$	$1.2 \times 10^{-11}$
Rotor 4	25	$9.8 \times 10^{-11}$	$1.5 \times 10^{-11}$

コルゲートサイズおよびシート厚さ、吸着量異なるロータにおいても同細孔径の吸着剤であれば同一の等価物質拡散係数で吸脱着速度が表現できることが分かった。一方で、ロータ3の等価物質拡散係数はロータ1の等価物質拡散係数に比べ値が減少していることが分かる。これは細孔径の違いによって等価物質拡散係数が異なると考えられる。次にそれぞれのロータごとに算出した等価吸着物質拡散係数を他の風速について計算を行った結果、その他の風速においても実験値と同様な結果を得ることが出来た。したがって、空気流速は吸着剤内の等価物質拡散係数に影響を与えないことが分かった。

上記に示したように等価物質拡散係数が流速によって変化しないという結果が得られたが、実験結果を見ると吸脱着速度が変化していることが分かる。これは流路内の流れ方向で湿度が変化していることが考えられる。つまり供給空気流速が低い場合、ロータの入口付近で空気中の水分が十分に吸着されてしまい流路後方に水分が供給されなため流路後方での吸着が遅れ、全体的な吸着速度が低下したと考えられる。脱着過程においても同様である。

#### 4.2.3.2 供給空気温度の影響

平均細孔径 4nm のメソポーラスシリカを担持したシートを用いて成形したロータについて、供給温度の影響を検討した。図 4.2.6 に示す通り、空気温度が低下するにつれ吸脱着速度が低下している。また、各温度における等価吸着物質拡散係数を決定した。表 4.2.3 に示す通り、供給する空気温度が低温になるにつれ等価物質拡散係数が低下し、デシカントロータの吸脱着速度が低下することが考えられる

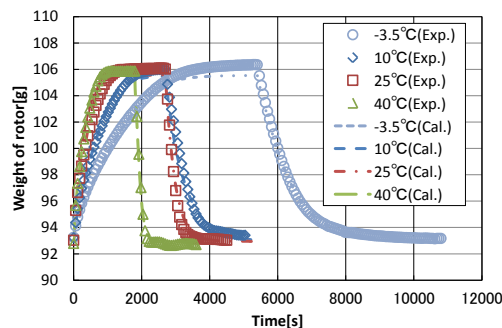


図 4.2.6 吸脱着速度への温度の影響 (rotor4)

等価物質拡散係数の温度依存性について検討するため、化学反応の温度依存性を表すアレニウス式(4.2.7)を用いた。

$$D_a = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4.2.7)$$

$E_a$ および $D_0$ の算出値を表 4.2.4 に示す。

表 4.2.3 各温度での等価吸脱着拡散係数

Temp. [°C]	$D_a(\text{ad})$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	$D_a(\text{de})$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
-3.5	$2.0 \times 10^{-11}$	$8.0 \times 10^{-12}$
10	$2.4 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-11}$
25	$7.8 \times 10^{-11}$	$2.3 \times 10^{-11}$
40	$8.0 \times 10^{-11}$	$6.5 \times 10^{-11}$

表 4.2.4 吸脱着時の $E_a$ と $D_0$ の値

Process	$E_a$ [kJ/mol]	$D_0$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
Adsorption	26	$1.9 \times 10^{-6}$
Desorption	34	$2.2 \times 10^{-5}$

アレニウス式の活性化エネルギーについて、シリカゲルの脱着過程の活性化エネルギーは

30kJ/mol 程度、吸着過程についてもバルクの水の活性化エネルギーが 20kJ/mol 程度という報告があり、本研究で算出した数値はそれらに近い値となっている。本研究の対象は純粋な吸湿材料ではなく、バインダーを用いて紙にメソポーラスシリカを担持したロータであるため、バインダー等の影響がこれら数値の差となって現れたと考えられる。

#### 4.2.4. 結論

本研究では重量法を用いてデシカントロータの等価物質拡散係数を決定した。また空気流量の影響や温度を変化させて等価物質拡散係数を決定した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 本実験条件において風速を上昇させることによって吸脱着速度が上昇することが確認された。
- (2) 風速によって吸着剤内の等価物質拡散係数は変化しない。吸脱着による供給空気中の水分の変化が吸脱着速度に影響を与えたと考えられる。
- (3) 平均細孔径が小さくなると吸脱着過程において等価物質拡散係数が低下する。
- (4) 吸着過程と脱着過程で比較すると脱着過程の等価拡散係数は吸着過程に比べ低くなる傾向が得られた。
- (5) 本実験条件において空気温度を低下させると吸脱着速度が大きく低下することが分かった。低温時には吸着剤内の等価物質拡散係数が低下した。吸着剤内の物質拡散係数に対する温度の影響はアレニウス式で表される。

### 4.3 ハイブリッドエアコンシステムの夏季ノンドレイン運転

本研究は、蒸気圧縮式ヒートポンプにデシカントロータをハイブリッド化することにより、蒸発器における結露及び着霜を防止して、ヒートポンプの性能を改善することを目的としている。

提案システムの実現性を検証するため、まず、一般的な家庭用ルームエアコンと、メソポーラスシリカを使用したデシカントロータを組み合わせた試作機を製作し性能試験を行った。そして従来品よりフィンピッチをほぼ半減させ伝熱面積を増加する熱交換器（以降、「2AK 熱交換器」と呼ぶ）を製作し、性能改善効果を検証した。更に、デシカント室内空気入口の前段に、プレクール用の熱交換器（蒸発器）を追加する改造を行い、プレクール熱交換器追加による効果を検証した。

#### 4.3.1 実験装置及び方法

図 4.3.1 には使用した実験装置の概略を示す。デシカントロータ流入前の室内空気を、追加した蒸発器でドレインが出ない程度にプレクールし、相対湿度を高めてデシカントで吸着除湿する。その後、デシカント後流に設けた蒸発器にて目的の給気温度まで顕熱冷却する（以降、この操作を「アフタークール」と呼ぶ）。室外空気の流れを凝縮器で加熱してデシカントロータの再生を行う。

プレクール用熱交換器への流入空気は潜熱負荷を含むので、非結露化のためには熱交換器内を流れる冷媒の温度が流入空気露点より高い必要があると考えられる。このため、冷凍サイクル内で

プレクール用熱交換器は、メインの冷却を行うアフタークール用熱交換器の後流に設置し、スーパーヒートに当たる冷熱を使って冷却するようにした。

デシカントロータに担持する吸着剤は、より高湿度域での吸脱着で優れた性能を示す TMPS-4.0A とした。ロータは直径 770mm、厚さ 60mm、ハニカムの段ピッチ 4.2mm、段高さ 2.5mm、吸着と再生の流路断面面積比 1:1 のものを使用した。また、製作上の都合で、室内外機用ともに、フィンピッチ 1.2mm の熱交換器を使用した。プレクール熱交換器での過剰な冷却を防ぐため、プレクール用熱交換器の列数は 1 列とした。

空調機の室内機のノンドレイン運転が実現できたら、結露水排出の対策が不要になるため、フィンピッチを小さくして蒸発器の性能向上が可能となる。そのフィンピッチを小さくする効果を検証するため、プレクールを用いていない単純サイクルを用いて、室内機を室外機が共にフィンピッチをほぼ半減した 0.7mm とした 2AK 熱交換器を使用したハイブリッドサイクルの性能を実験計測した。ただし、2AK 熱交換器のフィンピッチが小さいため、スリット加工が困難であったため、フラットフィンとした。なお、従来の熱交換器と 2AK 熱交換器に使用したフィンの比較を図 4.3.2 に示す。

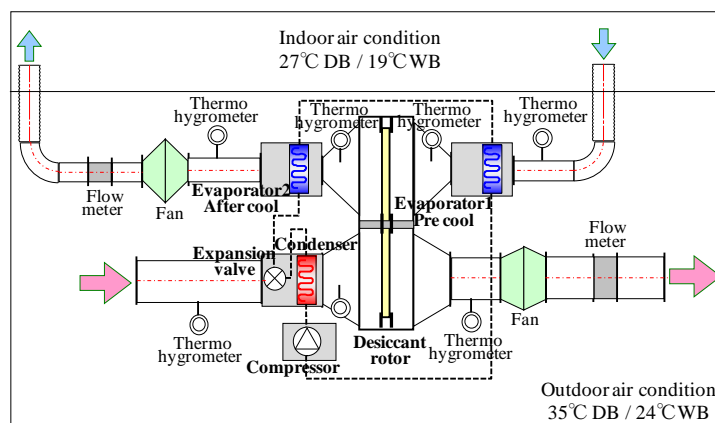


図 4.3.1 実験装置概要

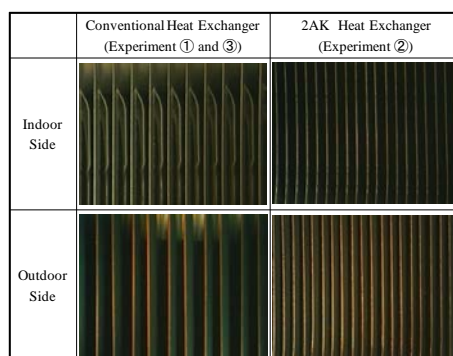


図 4.3.2 熱交換器のフィンの比較

#### 4.3.2 実験結果

表 4.3.1 に実験結果の概要を示す。また、比較のため、プレクールを用いていない、フィンのピッチを半減した 2AK 熱交換器を使用したサイクルの実験結果を表 4.3.1 に示す。

冷房定格時について、表中のデシカントロータを停止させたとき（エアコン単独運転）の性能

値と、回転させたとき（ハイブリッド運転）の性能値を比較している。エアコン単独運転では、プレクール・アフタークール熱交換器でドレインが生じていたが、ハイブリッド化によりドレイン量はゼロとなり、ノンドレイン運転を達成した。蒸気圧縮式冷凍サイクルのスーパーヒート熱量を利用してプレクールを行う本システムは、ヒートポンプ・デシカントハイブリッドシステムのノンドレイン化に対し、有用な手段であることが確認された。

蒸発温度の上昇量は約 1.5°Cで、ハイブリッド運転時の値は 2AK 熱交換器使用時より高い値となった。プレクール方式と 2AK 熱交換器を用いる方式はともに蒸発器(室内熱交換器)の伝熱面積は増加しているが、熱交換器の数を増やしたプレクール方式のほうが、フィンピッチを縮小したときより、蒸発温度が大きく上昇した。フィンピッチを縮小する実験では製造上の理由で、熱交換器にスリットを入れることが困難であったためフラットフィンとしている。一方、熱交換器数を増やすプレクール方式では、スリット入フィンを使用した。室内熱交換器のスリットの有無が蒸発温度に与える影響は大きく、フィンピッチ縮小により伝熱面積を増加させた場合でも、フラットフィンを使用すると、効果的な性能改善効果は望めないことが分かった。一方、定格能力ハイブリッド運転時の凝縮温度を比べると、2AK 熱交換器使用時のほうが約 2°C低い。室外機は元々がフラットフィンであったため、フィンピッチ半減化による性能改善効果が大きかったものと考えられる。以上の結果から、ノンフロスト運転を前提とした室外熱交換器フィンピッチ半減化は、冷房運転においてもシステム COP 改善に有用な手法であることが分かった。

表 4.3.1 サイクル性能試験結果

(a) プレクール付きサイクル

Load factor		Rated load		Half load	
Rotor rotation speed	rph	0.0	9.0	0.0	9.0
Compressor frequency	Hz	55.5	55.5	25.7	25.7
Evaporating temp.	°C	10.5	12.0	16.7	19.7
Condensing temp.	°C	44.9	45.2	39.1	39.8
Amount of drain	Pre	106		0	
	After	1,086		0	
Amount of dehumidification	cc/h	1,192	1,305	0	930
SHF	-	0.77	0.72	1.00	0.67
Cooling capacity	kW	4.04	3.92	2.13	2.07
COP	-	4.19	4.06 (-3.2%)	5.95	5.87 (-1.4%)

(b) 2AK 熱交換器サイクル

Load factor		Rated load		Half load	
Rotor rotation speed	rph	0.0	9.0	0.0	9.0
Compressor frequency	Hz	50.9	55.1	25.7	25.7
Evaporating temp.	°C	10.8	10.4	15.1	19.2
Condensing temp.	°C	42.8	43.5	39.7	40.1
Amount of drain	cc/h	1,180		98	
Amount of dehumidification	cc/h	1,547		957	
SHF	-	0.76	0.72	1.00	0.68
Cooling capacity	kW	4.02	4.11	2.14	2.17
COP	-	5.06	4.68 (-7.7%)	6.10	6.30 (+3.3%)

図 4.3.3 は定格運転時のシステム内の各所空気の状態量を空気線図上に示したものである。本システムでのデシカントの理論上の除湿限界点は図 4.3.3 中 B 点で示される。プレクール熱交換器を設けなかった 2AK 熱交換器使用実験の A 点と比較すると、約 2g/kg(dry air)程度低くなっていることが分かる。しかし、実際の運転では 2AK 熱交換器使用デシカントサイクルでの除湿量は、より少なかった。この原因は定かでないが、一因としてデシカントロータの材料的・機械構造的設計に改善の余地がある

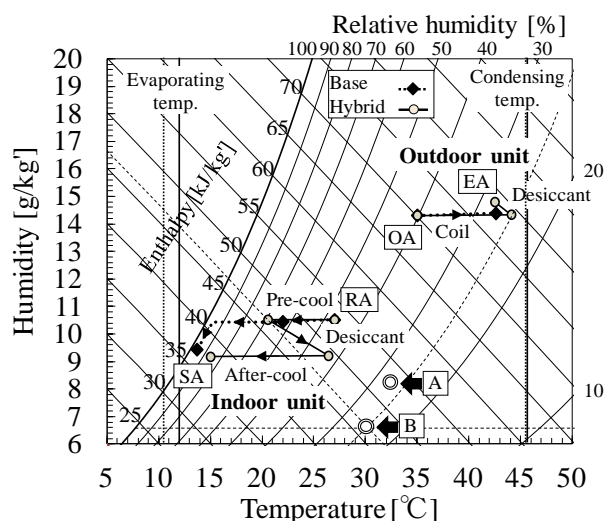


図 4.3.3 試験サイクルにおける空気状態



可能性がある。より適切なデシカントロータ設計がなされれば、さらにシステム効率を改善することが可能と考えられる。

表 4.3.1 の冷房中間時について、9rph で回転させたときの性能値を見ると、システム除湿量は 2AK 熱交換器使用実験とほぼ同等であった。プレクールを行う分だけ除湿量が増加すると予想していたが、中間運転時は蒸発温度が約 20°C と高かったため、プレクールによる温度降下は約 2°C と小さく、大幅な改善にはならなかった。

#### 4.3.3. 結論

蒸発器における結露及び着霜防止を目的とした蒸気圧縮式ヒートポンプとデシカントロータのハイブリッドシステムを検討し、以下の知見を得た。

1. 一般的な蒸気圧縮式ヒートポンプエアコンとデシカントロータをハイブリッド化することによって、JIS 冷房定格・中間条件にてシステム除湿量を減少させることなく、ドレイン量を大幅に減少させることができた。
2. さらに、ヒートポンプ室内外熱交換器のフィンピッチを半減化させる改造を行った結果、蒸発温度が上昇してシステムのノンドレイン化を達成する目途が得られた。
3. 今回試作したフィンピッチ半減化室外熱交換器では、ノンフロスト運転は実現できなかったが、ノンフロスト運転が実現できたときには、室外熱交換器フィンピッチ半減化は、冷房運転においてもシステム COP 改善に有用な手法である。
4. 蒸気圧縮式冷凍サイクルのスーパーヒート熱量を利用してプレクールを行うシステムは、ヒートポンプ・デシカントハイブリッドシステムのノンドレイン化に対し、有用な手段である。これにフィンピッチ半減化室外熱交換器を併用すれば、省エネルギー化も実現できると推測される。

#### 4.4 ハイブリッドエアコンシステムの冬季ノンフロスト運転

ヒートポンプによる暖房は燃焼系の暖房装置に比べ、省エネルギー性が大きく優れている。しかし、冬季に多湿となる地域では、蒸発器へのフロスト（着霜）が起こる。デフロスト（除霜）のためには暖房運転を一度停止しなければならず、これによりシステムの効率が低下し、また快適性も大きく損なわれている。そこで、デシカントロータを用いて蒸発器に流入する空気の湿度を下げて、デフロスト運転を回避するシステムの開発を目指した。（図 4.4.1）

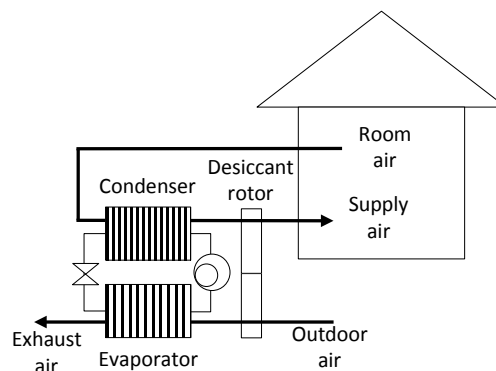


図 4.4.1 デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッドヒートポンプシステムの概要

システムをノンフロスト化することにより以下のようなメリットが考えられる。

- ① デフロスト運転が必要なくなるため、システム効率・快適性が向上する。
- ② 熱交換器へのフロストが起こらないことにより、熱交換器のフィンピッチを狭めることができる。これにより伝熱面積が増加し、蒸発温度が上昇する。
- ③ 吸着熱により、蒸発器に流入する空気の温度が上昇し、ヒートポンプの蒸発温度が上昇する。
- ④ デシカントロータ再生に用いた空気を室内に供給することにより、室内の加湿を行うことができる。

本研究ではデシカント材としてメソポーラスシリカを用いた。メソポーラスシリカは均一な細孔径を有するデシカント材であり、その特徴として比較的低温で再生が可能であることと、0℃以下でも吸着した水分が細孔内で氷結しないことである。

#### 4.4.1 実験

東京大学所有の環境試験室を利用して、デシカントハイブリッドヒートポンプの実験を行った。実験装置は冷凍サイクルとデシカントロータをダクトで連結することにより作成した。図 4.4.2 は実験装置の外観と概略図である。連結された3つの筐体のうち、右側上部には凝縮器、右側下部には蒸発器、左側の大きな筐体にはデシカントロータが収められている。本実験では、冷凍サイクルとデシカントロータを連結することでノンフロスト運転が可能であるかを検証する。冷凍サイクル部分は冷房能力 4 kW の汎用ルームエアコンをベースとし、デシカントロータは図 4.4.3 のようにハニカム構造を有している。

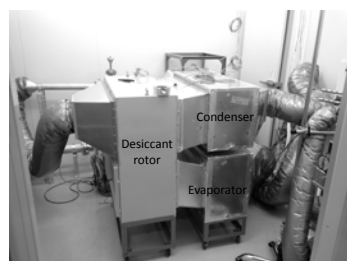


図 4.4.2 実験サイクルの写真と概略図

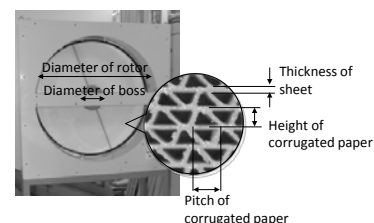
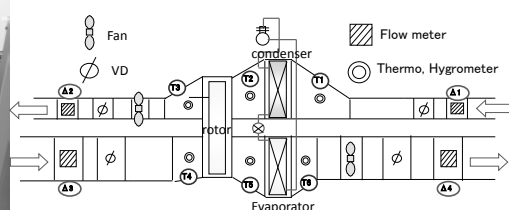


図 4.4.3 実験用デシカントロータ

#### 4.4.2 実験結果

従来熱交換器型試験において、ノンフロスト運転が可能であることが示唆されたため、熱交換器のフィンピッチを半減させシステムの試験を行った。フィンピッチを狭めることで、熱交換器の伝熱面積増加による、冷凍サイクルの性能向上と見込まれる。またこれにより蒸発温度の上昇も見込めるため、よりノンフロストが実現しやすくなると考えられる。デメリットは少しのフロストで熱交換器が目詰まりしてしまうため、デフロスト運転の頻度が高くなることと、排水の悪さであるが、これはノンフロスト化により避けることができると考えた。図 4.3.2 には従来熱交換器とフィンピッチ半減化熱交換器の比較である。本実験で用いた熱交換器の仕様を表 4.4.1 に示す。また、ロータの構造を表 4.4.1 に示す。

表 4.4.1 使用熱交換器の仕様

	Width	Number of row	Number of column	Number of path	Diameter of tube	Pitch of tube	Length of fin	Pitch of fin	Slit type
Indoor unit	660 mm	2	12	2	7 mm	21 mm	13.6 mm	0.7 mm	Flat
Outdoor unit	870 mm	1	24	2	8 mm	21 mm	24.4 mm	0.7 mm	Flat

表 4.4.2 使用ロータの仕様

Material	Diameter of rotor	Diameter of boss	Width of rotor	Thickness of desiccant sheet	Height of corrugated paper	Pitch of corrugated paper
Mesoporous silica	770 mm	170 mm	120 mm	0.38 mm	2.5 mm	4.2 mm

また本実験では内視鏡を用いて蒸発器の状態を直接観察できるようにした。実験条件を表 4.4.3, 実験結果を図 4.4.4 に示す。なお, ここで示す蒸発温度は熱電対 T1~T11 で計測された冷媒の最低温度とする。

表 4.4.3 実験条件

	Adsorption side	Desorption side
DB	2.0 °C	20.0 °C
WB	1.0 °C	15.0 °C
Flow rate	2450 m <sup>3</sup> /h	750 m <sup>3</sup> /h
Condenser heat load	4.5 kW	
Rotational speed	0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 rph	

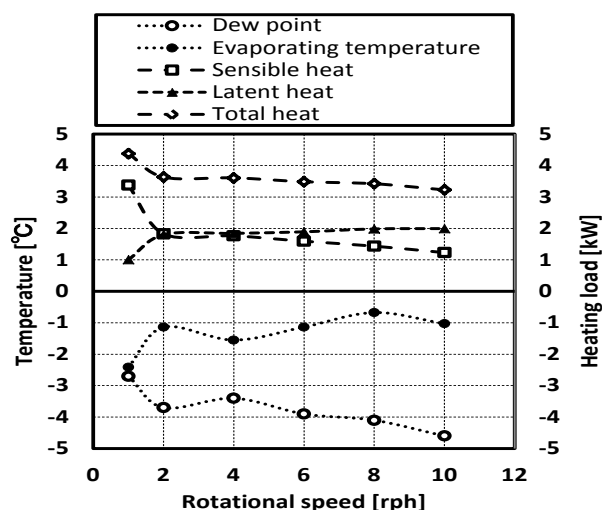
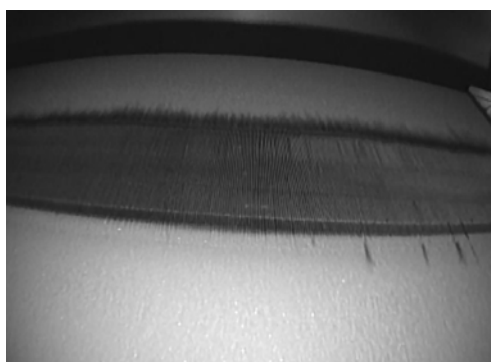


図 4.4.4 2AK熱交換器サイクルの実験結果

ロータ回転速度が 0 rph の時はフロストが起こり, 運転が停止した。したがって図 4.4.4 上に 0 rph 時の実験点は記していない。この時, 内視鏡で熱交換器を観察したところ, 図 4.4.5(a) のようにフロストが確認できた。ロータ回転速度 1~10 rph の範囲では蒸発温度が露点温度を上回り, フロストが起こらないと考えられる。また内視鏡で熱交換器の様子を確認したところ, 図 4.4.5(b) のようにフロストは確認されなかった。

ロータ回転速度を増加させるに伴い, 居室に供給される顕熱量が減少し, 潜熱量が増加してい

るのは 4.4.2.1 項の試験と同様であるが、今回使用したロータの方が吸着剤の担持量が多いため、処理潜熱量が増加したと考えられる。



(a) 着霜状態



(b) 非着霜状態

図 4.4.5 内視鏡で観察した熱交換器表面の様子

ロータ回転数が 2 rph の時の実験値をもとに、COP を計算すると表 4.4.4 のようになる。なお COP は式 4.3.1 により与えられる。消費電力は冷凍サイクルの消費電力のみを考えるものとし、ファン動力およびロータの回転に必要な電力は考えないものとする。ここでハイブリッドシステムに利用した汎用ルームエアコンの暖房低温条件における能力を測定したところ、デフロストを含んだ平均 COP は 2.56 となった。本ハイブリッドシステムが居室に供給する熱量として顕熱のみを考慮すると、COP は 1.50 と従来型のエアコンの性能に劣るが、潜熱処理量も考慮し、全熱で評価すると COP は 2.97 となり、高い性能を示すことが明らかになった。したがって外気から得た水分（潜熱）を室内の加湿に有効に利用することができれば、本システムは高い性能を発揮できる可能性がある。

$$COP = \frac{\text{供給熱量}}{\text{消費電力}} \quad (4.3.1)$$

#### 4.4.3 シミュレーション

実験により本システムは高い性能を発揮するポテンシャルを有することが示された。今後システムの改良や最適化を行うためには、より多くの環境条件下で本システムの性能を評価しなくてはならない。そこでデシカントロータの性能に関するシミュレーションモデルを作成した。ロータのシミュレーションモデルは 4.1 に示したモデルを用いた。境界面における濃度  $w_{a,i}$  は図 4.4.6 の吸着等温線を線形補間して与えた。

表 4.4.4 COP の計算結果

	Supplied heat	COP
Considering sensible heat	1.83 kW	1.50
Considering total heat	3.63 kW	2.97
Conventional heat pump (Including defrost operation)		2.56

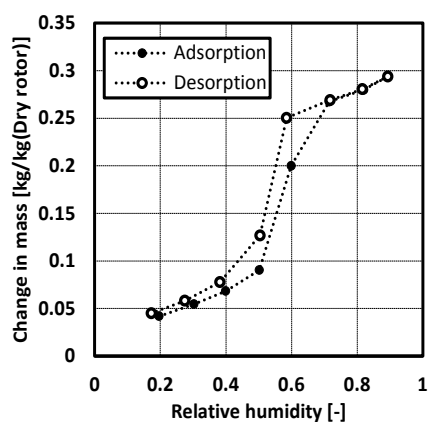


図 4.4.6 デシカントロータの吸着等温線

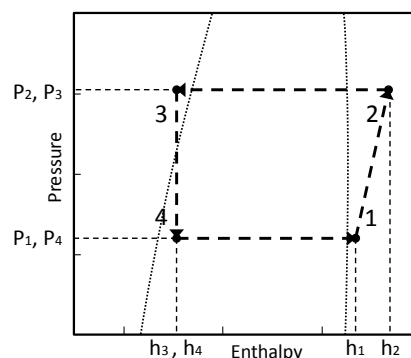


図 4.4.7 冷凍サイクルの P-h 線図

吸着層内の等価熱伝導率  $\lambda_d$  はシリカゲルの熱伝導率から推定し 0.11 W/(mK) とした。等価物質拡散係数  $D_d$  にはアレニウスの式を用いて温度依存性を与えた。

$$D_d = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4.3.2)$$

吸着、脱着過程においての  $D_0$ ,  $E_a$  の値を表 4.4.5 に示す。

ロータ回転系における定常解は、ロータ回転速度から吸脱着プロセスの時間が与えられるため、その時間間隔に応じて交互に吸着空気と再生空気を通風し、吸脱着量の差の絶対値が許容値以下となったところを収束値としている。

冷凍サイクルの COP は図の  $h_1 \sim h_4$  を用いて、式 (4.3.3) で与える。

$$COP = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (4.3.3)$$

蒸発温度、凝縮温度は外気温度と蒸発温度の温度差  $\Delta T_{eva}$ 、室内温度と凝縮温度の温度差  $\Delta T_{cond}$  を用いて与える。ここで表 4.4.6 には実験より求めた各負荷における環境温度と冷媒温度の差、サブクール、スーパーヒート、断熱効率（機械効率、その他含む）、COP を示した。冷凍サイクルシミュレーションにおいてはこれらの値を負荷の関数として線形に補間し使用する。

作成したシミュレーションモデルを用いて、4.4.2.2 項の実験の入口条件を入力して計算すると図 4.4.8 のように実験値と良い一致が見られた。

#### 4.4.3.2 ロータ回転速度の影響

作成したシミュレーションを用いて、本システムにおけるロータ回転速度の影響を調べた。

計算条件を表 4.4.7 に示す。なお計算に使用したロータ形状、冷凍サイクル性能は 4.4.1 の実験で利用したものに準じている。計算結果は図 4.4.9 のようになった。ロータの回転速度を増

加させることで、蒸発器出口空気の露点が下がることは実験からも確認された通りである。また潜顕熱の和（全熱）が回転速度の増加とともに減少していることから、過度なロータの回転はエネルギーロスを招くことが分かった。

表 4.4.5 等価拡散係数計算用パラメータ

Process	$E_a$ [kJ/mol]	$D_0$ [ $m^2/s$ ]
Adsorption	26	$1.9 \times 10^{-6}$
Desorption	34	$2.2 \times 10^{-5}$

表 4.4.6 Parameters of heat pump for each heating load

Heating load	5.25 [kw]	2.46 [kw]
$\Delta T_{eva}$ [°C]	7	3.8
$\Delta T_{cond}$ [°C]	26	11.1
SC [°C]	11	10
SH [°C]	2.0	2.0
$\eta$ [-]	0.66	0.67
COP [-]	4.16	7.03

表 4.4.7 計算条件

	Adsorption side	Desorption side
Dry bulb temp.	2 °C	20 °C
Wet bulb temp.	1 °C	15 °C
Flow rate of air	2450 m <sup>3</sup> /h	750 m <sup>3</sup> /h
Condenser heat load		5 kW
Rotational speed		1~12 rph

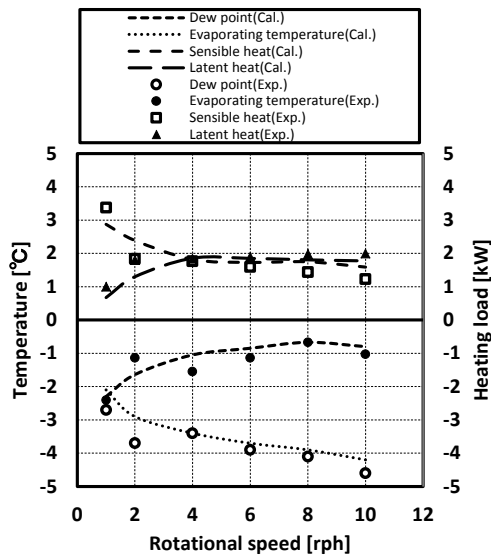


図 4.4.8 計算結果と実験の比較

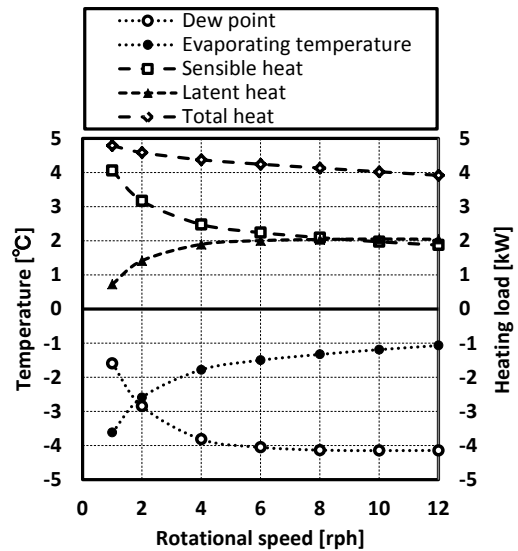


図 4.4.9 回転速度の影響

#### 4.4.3.3 凝縮器能力の影響

次にロータの回転速度を固定し、凝縮器の能力の変化による影響を調べた。計算条件を表 4.4.8 に示す。

計算結果は図 4.4.10 のようになった。図 4.4.11 にはロータ再生温度の変化を示した。凝縮器能力を大きくすることで、露点下がることが分かる。これは凝縮器能力が大きくなると、ロータ再生空気の温度が上昇し、再生能力が向上するためだと考えられる。居室への顕熱供給量に着目してみると、投入熱量が 3 kW を超えたあたりから増加率が大きくなっていることがわかる。逆に潜熱供給量は投入熱量 3 kW 以降ほとんど増加していないことから、凝縮器での投入熱量が小さい範囲では、熱は潜熱処理を中心に利用され、潜熱処理量が飽和に近づくと、顕熱処理に利用されることが予想される。また、凝縮器能力を非常に大きくした場合、ヒートポンプにかかる負荷の増大から蒸発温度が低下し、再びフロストする状態になることに注意が必要である。

#### 4.4.4. 潜顕熱供給量制御運転

4.4.3.2, 4.4.3.3 項からロータ回転速度ならびに凝縮器投入熱量を変化させることによって、ノンフロスト運転を達成できるだけでなく、顕熱供給・潜熱供給の割合をある程度制御できることが分かった。そこで本項では居室への要求全熱供給量を固定した場合、潜顕熱の割合をどの程度制御が可能であるかを検討する。

ここで居室に供給される全熱に占める顕熱の割合を SHF (Sensible Heat Factor) と定義する。

$$SHF = \frac{\text{供給される顕熱}}{\text{供給される全熱}} \quad (4.3.4)$$

この時、本システムは以下の 3 項目を満足する必要がある。

表 4.4.8 計算条件

	Adsorption side	Desorption side
Dry bulb temp.	2 °C	20 °C
Wet bulb temp.	1 °C	15 °C
Flow rate of air	2450 m <sup>3</sup> /h	750 m <sup>3</sup> /h
Condenser heat load		1~7 kW
Rotational speed		2 rph

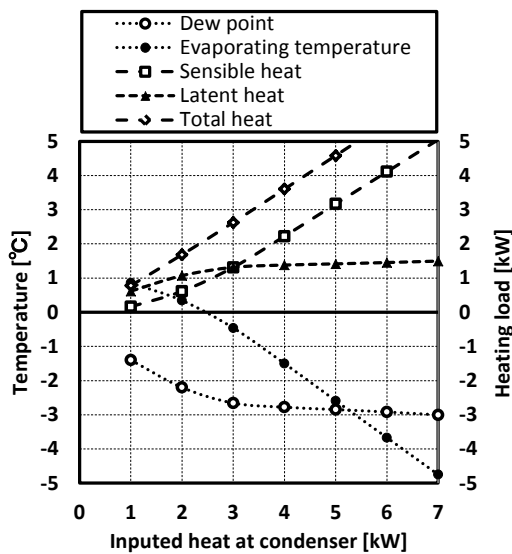


図 4.4.10 凝縮器の熱負荷の影響

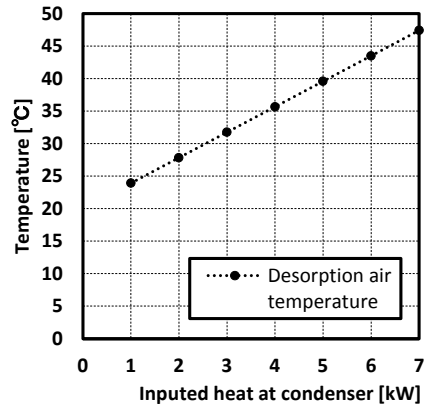


図 4.4.11 凝縮器の投入熱量と再生空気温度の関係

- ① 顕熱供給量  $\geq$  要求全熱供給量  $\times$  SHF
- ② 潜熱供給量  $\geq$  要求全熱供給量  $\times (1 - \text{SHF})$
- ③ 蒸発温度  $\geq$  露点温度

理想的な運転状態は、凝縮器において居室への要求全熱供給量と同量の顕熱を投入し、その後適当な回転数のロータに通風することにより、顕熱の一部を潜熱に変えることである。しかしながら特に低 SHF 領域では多くの潜熱を供給しなくてはならないため、ロータの回転数が増加し熱容量による損失が大きくなる。また、より高温の脱着温度が必要となるための投入熱量が大きくなるしなくてはならない。以上の理由により本システムにおいては凝縮器能力と居室への要求全熱供給量が一致しない。仮に供給する顕熱や潜熱が要求より大きくなった場合は排気するものとする。この時、3つの運転条件を満たす運転状態は複数あることが考えられるが、その際はシステム COP が最大となる、すなわち凝縮器能力が最小となる運転状態を凝縮器能力・ロータ回転数を調節して求める。ここでシステム COP は要求全熱供給量を消費電力で割ったものであるため、要求全熱供給量が同じでも SHF によって消費電力が異なるため、COP は大きく変化する可能性がある。

$$\text{COP} = \frac{\text{要求全熱供給量}}{\text{消費電力}} \quad (4.3.5)$$

ここで、居室への要求全熱供給量を 4 kW で固定し、SHF を 0~1 の範囲において 0.1 刻みで変化させた時の、各 SHF での凝縮器能力、ロータ回転数、蒸発温度、露点温度、COP を求めた。本システムは冷凍サイクルとデシカントロータを併設しているため、凝縮器で供給される熱量の一部が蒸発器側へと逃げてしまう。そのことを考慮し、本システムで使用している冷房能力 4 kW の汎用ルームエアコンの定格暖房能力は 5 kW であるが、居室への要求全熱供給量は 4 kW とした。計算条件を表 4.4.9 に示す。

表 4.4.9 計算条件

	Adsorption side	Desorption side
Dry bulb temp.	2 °C	20 °C
Wet bulb temp.	1 °C	15 °C
Flow rate of air	2450 m <sup>3</sup> /h	750 m <sup>3</sup> /h

図 4.4.12 に結果を示す。SHF が 0.5 以下の範囲では潜熱の供給量を確保するのが難しく、システムに対し潜熱負荷が大きすぎるため、条件①～③を同時に満足することができない。SHF が 0.5 の時はロータの回転数を増加させるだけでは潜熱供給能力を大きくし、脱着温度を高温にしなくてはならない。そのため要求全熱供給量 4 kW に対し、凝縮器能力が 7.3 kW と大きくなってしまっている。したがって消費電力が大きくなるため、システム COP は小さくなる。またこの時の処理潜熱量はノンフロスト運転を達成するのに必要な処理潜熱量よりも大きいため、蒸発温度と露点温度には開きが見られる。SHF が 0.6~0.7 の範囲では要求全熱供給量 (4 kW) に近い凝縮器能力で①~③の条件を満たしているため、システム COP は大きくなる。SHF が 0.8~1.0 の範囲では顕熱供給がメインとなるため、ロータの回転は小さい方が望ましいが、ロータの回転数が小さすぎる場合、蒸発器前で十分な除湿ができず、フロストが起こる。したがって、この範囲においては蒸発温度と露点温度が一致するように徐々に凝縮器能力並びにロータ回転数を増加させるのが最適運転となる。

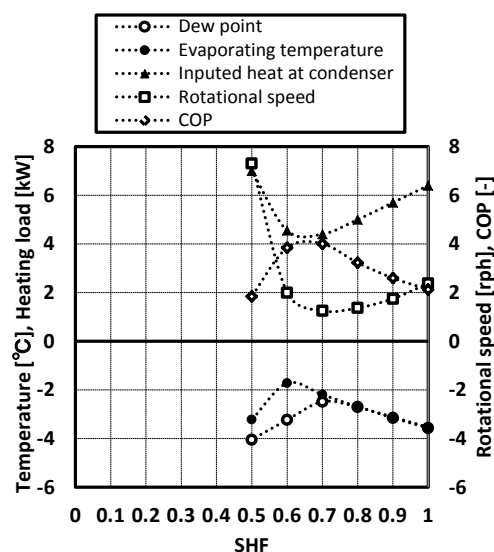


図 4.4.12 SHF ごとの性能計算

以上により本システムで 4 kW の加熱を行う場合、SHF 0.5~1 の範囲で任意に潜顕熱供給比を調整できることが示された。

#### 4.4.5. 結論

本研究により以下の知見を得た。

- (1) 実験により、ノンフロスト運転が可能であることが示され、外気から取得した水分を有効に利用することができれば、高い COP を示すことが分かった。
- (2) シミュレーションにより、本研究で用いたシステムが加熱を行う際、SHF 0.5~1 の範囲で任意の割合で潜顕熱処理を行うことができることが分かった。

### 4.5 ハイブリッド給湯機の冬季ノンフロスト運転

本研究は、蒸気圧縮式ヒートポンプ給湯機とデシカントロータを組み合わせることで、冬季のノンフロスト運転による高効率化を目的としている。ノンフロスト運転が実現できれば、デフロスト運転が不要となることに加えて、着霜による蒸発温度の低下の解消とフィンピッチ縮小による高効率化が期待できる。また、給湯運転時間延長による機器容量の低減が可能となる。家庭用給湯機と業務用給湯機を分けて、それぞれのノンフロスト運転特性について実験的に調べて、ただし、家庭用給湯機の冷媒はCO<sub>2</sub>、業務用給湯機の冷媒をR410Aとする。

#### 4.5.1 家庭用給湯機システム

従来国内家庭用のCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機 (エコキュート) の実測データに基づき、ハイブリッド給湯機システムの比較を行った。



(1) 従来家庭用給湯機の性能評価 (CO<sub>2</sub> 冷媒)

試作機の性能試験に先立ち、従来の機器の着霜の影響の定量的な評価を行った。試験機の仕様を表 4.5.1 に示す。

表 4.5.1 従来家庭用給湯機仕様

冷媒		CO <sub>2</sub>
加熱能力	中間期	4.5kW
	夏期	4.5kW
	冬期	4.5kW
消費電力	中間期	0.98kW
	夏期	0.88kW
	冬期	1.5kW
貯湯タンク容量		370L
出湯温度		約 65℃～約 90℃

試験条件を表 4.5.2 に示す。JRA4060 規格の 3 条件 (中間期, 冬期, 着霜期) に加えて, 着霜期着霜しない条件も試験を行った。

表 4.5.2 試験条件

	番号	空気条件				水条件	
		乾球温度℃	湿球温度℃	相対湿度%	露点温度℃	入水温度℃	出湯温度℃
中間期	⑤	16.0	12.0	62.4	8.8	17	64.9
冬期	⑥	7.0	6.0	86.6	4.9	9	76.9
着霜期	①	2.0	0.68	75.8%	-1.8	5	64.4
	②	2.1	0.78	75.9%	-1.7	5	64.5
追加 1	③	2.0	-0.65	50.8	-7	5	77.8
追加 2	④	2.1	-0.66	50.5%	-7.1	5	78.1

表 4.5.2 の条件での実験結果から, ①②ではデフロスト運転に入り, 他の条件ではデフロスト運転に入らず連続して給湯運転ができた。

デフロストに入らなかった③～⑥の結果を表 4.5.3 に示す。⑤, ⑥については JRA 規格の中間期, 冬期であるが, メーカー仕様 (表 4.5.1) 同等の結果となった。また, この二つ実験はいずれも室外熱交換器温度が露点温度を下回っており, ドレインは発生しているが室外熱交換器温度が氷点以下とならないため着霜が起こらなかったと考えられる。③, ④については着霜期と同等な温度条件であり, 相対湿度 50%RH の実験結果であり, 能力はメーカー仕様同等の結果になったが, 室外蒸発器温度が露点温度より高くなっているため, 着霜しなかった。

表 4.5.3 試験結果 1

		③	⑤	⑤	⑥
給湯能力	kW	4.71	4.82	4.83	5.55
消費電力	kW	1.80	1.84	1.73	1.45
COP	-	2.62	2.63	2.79	3.83
室外蒸発器温度	℃	-2.45	-2.74	2.23	7.04

次に, デフロスト運転に入った①～②の試験結果を表 4.5.4 に示す。COP 計算のため, デフロストの時間, デフロスト中の消費電力量も示している。

デフロスト運転が給湯性能に及ぼす影響を推測したのが「給湯能力/全体能力」, 「給湯 COP / 全体 COP」である. これにより給湯能力は約 10%, COP は約 8%性能が悪化していることが分かる. この値はデフロスト運転のみの影響であるが, さらに実際には着霜により熱交換効率が悪くなっていると考えられるため, ノンフロスト運転によりそれ以上の性能向上が期待できると考えられる.

表 4.5.4 試験結果 2

運転状態	②		②	
	給湯	デフロスト	給湯	デフロスト
時間	02:13:30	00:13:25	02:18:15	00:14:50
熱量	10.95kWh		11.30 kWh	
消費電力量	3.77 kWh	0.31 kWh	3.89 kWh	0.34 kWh
給湯能力	4.92kW		4.90 kW	
全体能力	4.43 kW		4.38 kW	
給湯能力/全体能力	90.1%		89.3%	
給湯 COP	2.90		2.90	
全体 COP	2.68		2.67	
給湯 COP/全体 COP	92.5%		91.9%	
平均室外蒸発器温度	-3.77		-3.68	

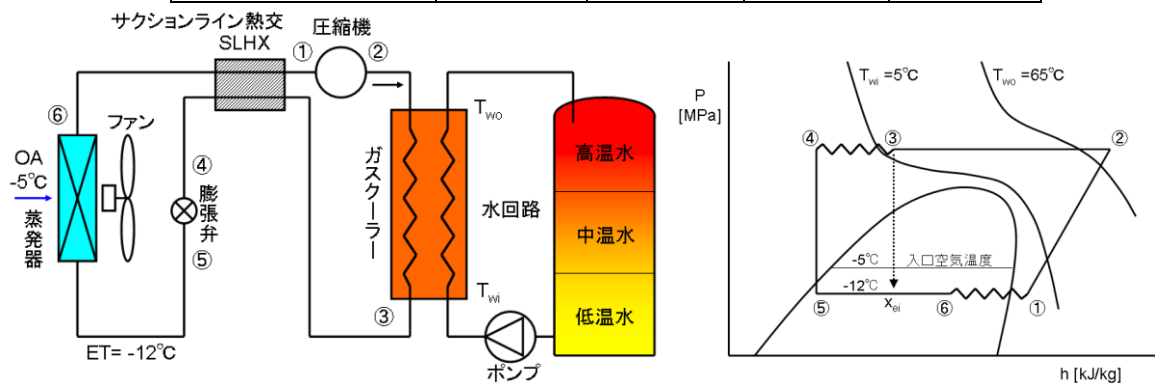


図 4.5.1 従来ヒートポンプ給湯機システム

## (2) 給湯機サイクルシミュレーションモデル

従来給湯機のシステム同定 (AK 値, 機械効率等) を実データに基づき実施し, ハイブリッド給湯機システムのハード開発および省エネ試算に活用した.

冬季低外気温度 (-5°C 乾球温度, -5.1°C 湿球温度) 条件下で, 温水入口温度 5°C, 温水出口温度 65°C と 90°C の運転データに基づき, 圧縮機特性とガスクーラ熱交換器の伝熱特性とサクシオンライン熱交換器の伝熱特性と蒸発器熱交換器の伝熱特性をシステム同定した.

シミュレーション結果と実験測定の結果の比較を表 4.5.5 に示す. ヒートポンプサイクルの給湯能力, 温水出口温度と COP は実測結果を再現できた. また, シミュレーションと実験の結果を図 4.5.2 に示す. 両方よく一致することが分かった.

表 4.5.5 ヒートポンプ給湯機のサイクルシミュレーションと実験結果の比較

	シミュレーション	実験値
COP[-]	2.759	2.721
給湯能力[kW]	3.954	3.992
温水出口温度[°C]	64.4	65.3

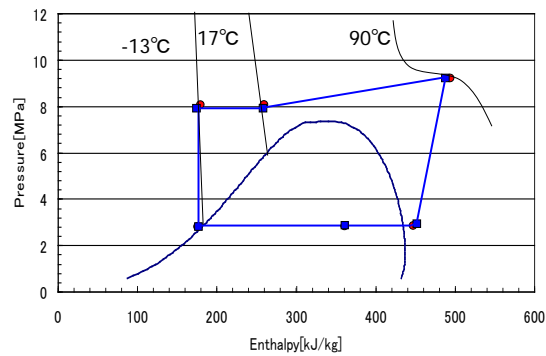


図 4.5.2 サイクルシミュレーションと実験結果の比較

(3) ハイブリッド給湯機システムの提案

デシカントロータに新冷媒回路を組み合わせたハイブリッド給湯機システムを図 4.5.3 に示す。新冷媒回路は従来冷媒回路に比べて脱着再生用に追加ガスクーラがあり、再生熱回収用の顕熱交換器を追加した。

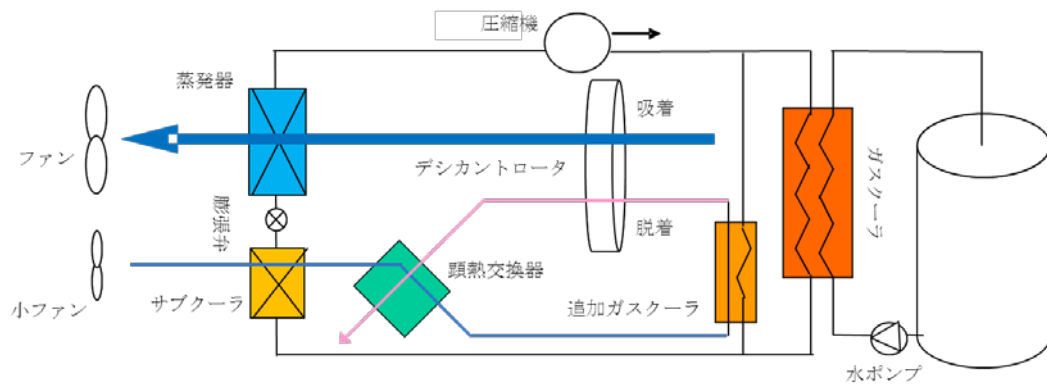


図 4.5.3 ハイブリッド給湯機システム

シミュレーション条件は従来システムと同等で、表 4.5.6 に示す。

表 4.5.6 ハイブリッドサイクル計算条件

パラメータ	値
外気乾球温度[°C]	2.0
外気湿球温度[°C]	1.0
温水入口温度[°C]	5.0
ガスクーラ温水流量[kg/s]	0.0126
蒸発器空気流量[kg/s]	0.5
再生用空気流量[kg/s]	0.1
ストロークボリューム[cc]	4.5
ポリトロープ指数[-]	1.333
スーパーヒート[°C]	0.5
圧縮機体積効率[-]	0.921
圧縮機機械効率[-]	0.628
ガスクーラ熱交ポテンシャル[kW/°C]	0.24
SL熱交ポテンシャル[kW/°C]	0.40
空気熱交ポテンシャル[kW/(kJ/kg)]	0.40
ガスクーラ熱交ポテンシャル[kW/°C]	0.24
追加ガスクーラ熱交ポテンシャル[kW/°C]	0.40
空気熱交ポテンシャル[kW/(kJ/kg)]	0.40, 0.8 (2AK)
顕熱交換機の温度効率	0.8

表 4.5.7 デシカントロータ形状パラメータ

ロータ直径 [m]	0.77
ロータ長さ [m]	0.12
段ピッチ×段高 [mm]	2.8×1.6
吸着剤厚み [mm]	0.3
吸着角度 [°]	240
回転速度 [rph]	6

冷房低温条件において、従来サイクルとハイブリッドサイクルの性能比較を下記の表 4.5.8 にまとめる。ただし、シミュレーションの際に、ガスクーラの圧力を 9.2MPa に固定し、ガスクーラの加熱能力を 3kW になるように圧縮機の回転速度を調節する。ガスクーラと追加ガスクーラに流れる冷媒流量は 7:3 とする。

表 4.5.8 ハイブリッドサイクルと従来サイクルとの比較

サイクル	COP	圧縮機 回転数 (Hz)	ガスクーラ 加熱能力 (kW)	追加ガス クーラ熱交 換量(kW)	出湯温 度 (°C)	蒸発器 冷媒温 度 (°C)	蒸発器入 口空気温 度 (°C)	蒸発器入 口空気露 点温度 (°C)	再生用 空気出 口温度 (°C)	再生用空気 出口相対湿 度 (%)	排熱回収 を考慮し た COP
A	3.73 (3.43)	32	2.99	-	79.0	-3.9	2	-0.4	-	-	-
B	2.27	52.7	2.99	1.30	69.2	-5.9	6.5	-6.1	5.6	100	3.08
C	2.26	53.0	3.00	1.30	69.4	-6.0	6.4	-6.2	5.8	100	3.08
D	2.27	52.7	3.00	1.31	69.3	-5.6	6.7	-5.8	5.5	100	3.05
E	2.28	52.6	3.00	1.32	69.3	-5.5	6.8	-5.4	5.4	100	3.08

フィンピッチ半減による AK⇒2AK 化の効果

F	2.31	51.9	3.00	1.35	69.4	-3.5	6.7	-5.8	5.8	100	3.15
---	------	------	------	------	------	------	-----	------	-----	-----	------

A: 従来サイクル

B: ハイブリッドサイクル(冷媒分配比 0.3, 回転速度 6rph)

C: ハイブリッドサイクル(冷媒分配比 0.3, 回転速度 4rph)

D: ハイブリッドサイクル(冷媒分配比 0.3, 回転速度 8rph)

E: ハイブリッドサイクル(冷媒分配比 0.3, 回転速度 10rph)

F: ハイブリッドサイクル(冷媒分配比 0.3, 回転速度 6rph)フィンピッチ 1/2

従来サイクルの場合、蒸発器の表面温度はマイナスになり、また来流空気の露点温度より低くなるため、蒸発器の表面が着霜が起こり、性能が低下することがわかる。計算で求めたCOPは、着霜時の伝熱器表面での熱抵抗による伝熱性能の低下、およびデフロストのためのエネルギー消費を考慮してない。4.5.1 に示す測定結果から、デフロストのため、加熱能力が平均的に 10%、COP は 8% 低下することが分かった。そのCOPをサイクルAの括弧内に記入した。

提案したハイブリッドヒートポンプ給湯機サイクルは、いずれの場合においても、蒸発器表面温度は、入口空気の露点温度より高くなり、連続的なノンフロスト運転が実現できたことがわかる。ただし、従来サイクルと比べ、COPが平均 30%程度で、大幅に低下することになった。その性能の低下は、主にロータを再生するために、一部の冷媒を追加ガスクーラに流すため、圧縮機の回転数を上がり、投入エネルギーが増えたためである。

ただし、再生のために使用した熱量は、大部分を外へ排出するため、その分の熱を回収できれば、サイクルの性能改善が期待できる。たとえば、サイクル B の場合、再生用空気の排出温度は 5.6°C、相対湿度は 100%なので、その空気を換気の一部として部屋へ供給することで、換気熱損失を顕熱 0.36kW、潜熱 0.75kW それぞれ低減することができ(空気流量 0.1kg/s)、その熱量を給湯能力に換算すると、システムの総括COPは 3.08 まで向上させることができる。サイクル F でもCOPは 3.15 であり、従来システムAとのCOP比は 0.92 であった。

二酸化炭素ヒートポンプの冷媒の物性上、膨張弁前の冷媒温度が高いほどサイクル性能が低下

する傾向がある。本サイクルには追加ガスクーラを用いて再生用空気を 30°C 近く加熱するため、ガスクーラ出口温度が多少高くなり、それによりサイクル COP が低下する。また、二酸化炭素ヒートポンプサイクルの高圧側には、最適な圧力が存在することが知られている。本研究のシミュレーションは、高圧の圧力は 9.2MPa に固定して行ったため、従来サイクルより性能低下する理由の一つになると考えられる。さらに運転条件、各熱交換器の伝熱面積などを最適化することで、従来サイクルと同等な COP で、かつノンフロスト運転の可能性があると考えられる。

#### 4.5.2 業務用給湯機システム (R410A 冷媒)

本報では、業務用ヒートポンプ給湯機とデシカントロータを組み合わせたハイブリッドシステム試作機によるノンフロスト運転の実証と性能評価、さらにデシカントロータの再生出口空気を空調に利用することでシステムの高効率について報告する。

##### (1) 実験装置

ハイブリッドシステムの試験装置の概要図を図 4.5.4 に示す。ロータ再生空気温度を任意に設定するため、再生熱源には電気ヒータを用いた。デシカントロータはメソポーラスシリカ TMPS-4.0A を担持した直径 1,220mm、厚さ 200mm、吸着と再生の流路断面積比 3:1 のものを使用した。ロータ回転数の可変域は 2.4~12.0rph である。デシカントロータ直後の空気は回転方向に温湿度分布があると考えられるため、デシカントロータ-蒸発器間は上下 2 箇所温湿度計を設置した。また、蒸発器入口のコイル表面に熱電対を取り付け、冷媒温度を計測した。装置全体を環境試験室に設置し、温湿度条件を調整した。

表 4.5.9 実験用蒸発器の寸法

Number of row	2	
Number of step	48	
Tube diameter	8mm	
Tube pitch	21mm	
Fin pitch	0.7mm	1.2mm
Fin length	24.4mm	
Fin height	1,008mm	
Surface area	128.50m <sup>2</sup>	75.08m <sup>2</sup>
COP	4.24 +3.7%	4.09 —

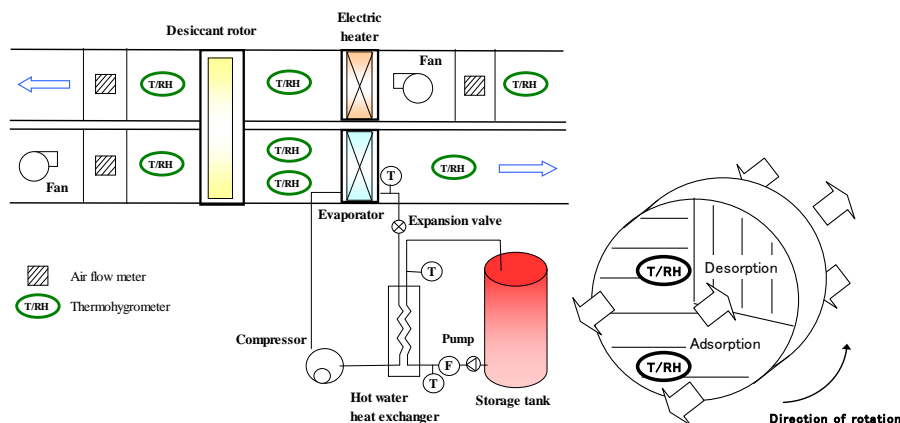


図 4.5.4 業務用給湯機実験装置とロータの温度計測部

ヒートポンプ給湯機は給湯能力 15kW の業務用給湯機をベースとし、蒸発器はダクト接続用に製作した。製作した蒸発器の仕様とシステム性能計測の結果をそれぞれ表 4.5.9 と表 4.5.10 に示

す。フィンピッチ縮小の効果を評価するため、フィンピッチは 1.2mm と 0.7mm（ベースと同仕様）の 2 種類とした。表中の COP は本試験システムにてデシカントロータおよびヒータを停止させた状態での中間期条件（16°CDB, 12°CWB）における給湯性能である。フィンピッチ縮小により 3.7%の効率向上効果が得られたている。

表 4.5.10 ヒートポンプ単独試験の条件と結果

Conditions				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
Experimental condition	Desorption air inlet	Dry-bulb temperature	°C	2												
		Wet-bulb temperature	°C	1												
		Dew-point temperature	°C	-0.4												
		Relative humidity	%	83.9												
	Adsorption air inlet	Air volume	m <sup>3</sup> /h	5,900			3,250			5,900			4,600		3,250	
		Temperature	°C	200				400								
Result	Electric heater	Power consumption	kW	6.9	5.4	7.0	5.4	9.8	6.9	5.4	6.7	5.4	10.0	6.8		
		2.4 rph	Upper side	°C	/	/	/	/	/	/	/	-2.5	-3.5	-3.0	/	
	Under side		°C	/	/	/	/	/	/	/	-1.7	-2.8	-2.3	/		
	Average		°C	/	/	/	/	/	/	/	-2.1	-3.1	-2.7	/		
	4 rph	Upper side	°C	-2.6	-1.8	-4.3	-3.4	-3.7	-3.0	-2.4	-3.2	-2.8	-6.7	-4.5		
		Under side	°C	-2.2	-1.5	-3.7	-2.9	-3.1	-2.5	-1.9	-2.7	-2.3	-5.2	-3.8		
		Average	°C	-2.4	-1.7	-4.0	-3.1	-3.4	-2.7	-2.2	-2.2	-3.0	-2.6	-6.0	-4.2	
	8 rph	Upper side	°C	-2.3	-1.6	-3.5	-2.9	-3.2	-2.7	-2.2	-3.0	-2.7	-5.8	-4.1		
		Under side	°C	-2.2	-1.5	-3.2	-2.7	-2.8	-2.4	-1.9	-2.6	-2.4	-4.9	-3.6		
		Average	°C	-2.2	-1.5	-3.3	-2.8	-3.0	-2.6	-2.1	-2.8	-2.5	-5.4	-3.8		
	12 rph	Upper side	°C	-2.0	-1.5	-3.1	-2.7	-2.8	-2.4	/	/	/	-5.3	-3.9		
		Under side	°C	-2.0	-1.4	-3.0	-2.5	-2.6	-2.3	/	/	/	-4.8	-3.6		
		Average	°C	-2.0	-1.4	-3.1	-2.6	-2.7	-2.4	/	/	/	-5.0	-3.7		

(2) ハイブリッド性能試験

ハイブリッドシステムの性能試験を実施し、ノンフロスト運転の実証確認、性能評価を行った。蒸発器のフィンピッチ縮小による性能向上が確認できたため、0.7mm のものを用いた。

実験条件および結果を表 4.5.11 に示す。表中括弧内の数字はロータ回転数を表している。ノンフロスト運転が確認できたものは給湯能力および COP を、ノンフロスト運転とならなかったものはデフロスト運転に入るまでの給湯運転時間を示している。ここでノンフロスト運転とは、各種測定値（出湯温度、出湯流量、消費電力量、蒸発器入口冷媒温度、蒸発器風量、圧縮機回転数、冷媒圧力等）が 4 時間以上安定したことにより判断した（着霜するとこれらの測定値が安定しない）。

表 4.5.11 ハイブリッドサイクル実験の条件と結果

Conditions				A(12)	A(4)	B(4)	C(4)	F(4)	G(4)	G(2.4)	H(4)	I(4)	I(2.4)	J(4)	K(4)
Experimental condition	Rotor	speed	rph	12	4				2.4	4					
		Desorption air inlet	Dry-bulb temperature	°C	2										
	Wet-bulb temperature		°C	1											
	Dew-point temperature		°C	-0.4											
	Relative humidity		%	83.9											
	Adsorption air inlet	Air volume	m <sup>3</sup> /h	5,900	5,900	5,900	3,250	5,900	5,900	5,900	4,600	4,600	4,600	3,250	3,250
Temperature		°C	90			70	90	50	40	40	50	40	40	70	50
Evaporator inlet	Dew-point temperature (Result of "3.2")	°C	-2.0	-2.4	-1.7	-4.0	-2.7	-2.2	-2.1	-3.0	-2.6	-2.7	-6.0	-4.2	
Result	Electric heater	Power consumption	kW	7.1	7.0	5.3	6.9	7.1	5.4	5.4	7.1	5.4	5.4	10.0	7.0
		Heat pump	Heating capacity	kW	/				13.84	/	14.00	/			
	COP		-	/				3.57	/	3.55	/				
	Hot water supply time		hmin	2:18	over 4:30	1:49	0:48	∞	1:29	1:20	∞	1:23	0:59	∞	0:46
	Refrigerant of evaporator inlet		°C	-0.9	-1.5	-1.7	-3.1	-1.6	-0.9	-1.0	-2.1	-1.5	-1.6	-3.0	-3.1

ヒートポンプ単独試験に比べて給湯運転時間が長くなり、F(4)、H(4)、J(4)の条件でノンフロスト運転を達成することができた。また、給湯能力、COPともに20%以上の性能向上効果が得られることが分かった（ヒータ電力含まず）。

条件A(4)はA(12)と比較して、露点温度の低下が大きいため、給湯運転時間が長くなっている。なお、A(4)では4時間30分以上連続して給湯運転を続けることができたが、蒸発器入口冷媒温度が徐々に低下しており、いずれデフロスト運転に入ることが予想できるためノンフロスト運転とは見なさなかった。I(2.4)とI(4)を比較すると、平均露点温度はI(2.4)のほうが低いものの、ロータ回転方向の分布のため、給湯運転時間が短くなったと考えられる。

### (3) 再生排熱利用システム

ノンフロスト給湯運転の実証に成功し、20%以上の性能向上を確認することができたが、50℃以上の再生空気が必要という結果となった。50℃以上の排熱を利用できる場所ではその熱を利用しロータの再生を行うことができるが、試験システムのようにヒータを使用する場合はヒータ消費電力を含めた効率は著しく低くなってしまう。そこで再生熱源を含めたシステム効率の改善方法を検討した。

検討システムを図4.5.5に示す。特長を以下に記す。

- ・ 圧縮機出口の高温冷媒を分岐し、高温の再生空気を作る。（給湯能力は減少する）
- ・ ロータ再生出口空気と再生用外気を顕熱交換し、再生熱量を低減する。
- ・ 顕熱交換後のロータ再生出口空気を居室内へ供給することで、換気による熱損失（顕熱・潜熱）を低減する。

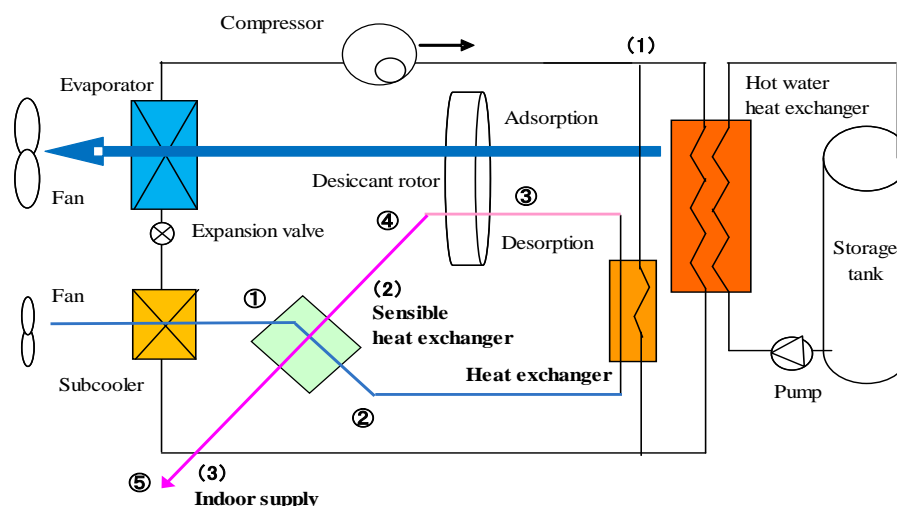


図 4.5.5 再生排熱利用システム

ハイブリッド性能試験で最も効率のよかった条件 F(4)の実験結果を元に、上記システムのシミュレーションを行った。計算における仮定を以下に記す。なお、文中の○囲み数字は図 4.5.5に対応している。

- ・ ロータ再生出口空気④は実測値とする。
- ・ ロータ再生入口空気③の乾球温度は実測値、絶対湿度は外気と同じとする。



- ロータ再生出口空気④は相対湿度が高いため、顕熱交換器内で結露が生じることとなる。再生空気側では潜熱交換も行われることを考慮し、顕熱交換効率を用いず、②顕熱交換器出口空気の乾球温度は④ロータ再生出口空気の乾球温度マイナス 1°C とする。
- 室内給気空気⑤は相対湿度 100% とし、乾球温度は①外気と②顕熱交換器出口の熱交換量から求める。

結果、再生熱源は 2.3kW (7.1→4.8kW) 低減できる結果となった(表 4.5.12)。また、室内暖房能力は顕熱 1.5kW、潜熱 2.0kW となった。これは 125m<sup>2</sup>の事務所の換気潜熱負荷に相当する(図 4.5.6)。

表 4.5.12 顕熱交換器の効果

		①	②	③	④	⑤
		Outdoor	Sensible heat exchanger outlet	Desiccant rotor inlet	Desiccant rotor outlet	Indoor supply
Dry-bulb temperature	°C	2.0	17.9	51.8	18.9	12.9
Relative humidity	%	83.9	29.2	4.4	97.8	100.0
Absolute humidity	g/kg'	3.7	3.7	3.7	13.3	9.3
Specific enthalpy	kJ/kg	11.2	27.4	61.6	52.8	36.6
Air volume	kg/h	507				

Heat supply to desorb except sensible heat exchanger(③-①) 7.1 kW

Heat supply to desorb at modified system(③-②) 4.8 kW

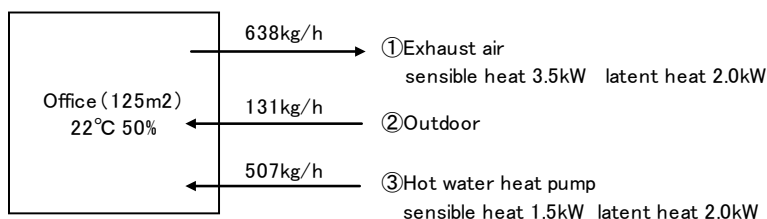


図 4.5.6 排熱利用のイメージ

これらの結果から、表 4.5.13 に示すとおり、本検討システムの COP は従来比で 1.12 倍となる結果が得られた。

表 4.5.13 再生排熱利用サイクルのサイクル計算結果

		Base[1]	Experiment result(3.3)	Modified system simulation
Heating capacity	kW	11.51	13.84	9.02
Power consumption of heat pump	kW	3.89	3.88	3.78
Power consumption of heater	kW	-	7.08	-
Heat supply to desorb	kW	-	-	4.82
Sensible heat	kW	-	-	1.54
Latent heat	kW	-	-	1.97
COP	-	2.96	3.57(※)	3.31 (+12%)

(※)except power consumption of heater

#### (4) まとめ

- 蒸気圧縮式ヒートポンプ給湯機とデシカントロータを組み合わせたハイブリッドシステムの性能試験を実施し、ノンフロスト運転の実証に成功した。
- ロータ再生排熱を空調に利用するシステムを検討し、システム効率で従来比 1.12 倍の効率向上結果をシミュレーションより得られた。

#### 4.6 ハイブリッドシステムのAPF評価方法の提案

本研究は、ヒートポンプにデシカントロータを組み合わせるにより、蒸発器における冷房時の結露および暖房時の着霜を防止してヒートポンプの効率を改善し、APFで従来システムの1.5倍を達成することを目標としている。本章では、エアコンシステムについて、湿度を考慮したAPF評価法を提案し、本システムと従来システムとの比較評価を行った。

##### 4.6.1 現在のAPF評価法

エアコンのAPF測定方法はJIS C 9612<sup>1)</sup>で定義されており、その手順は次の通りである。

###### (1) 熱負荷

住宅では、冷房時には、23℃の時をゼロとして

33℃の時の熱負荷測定値をグラフに描いて直線近似とすることで他の温度の時の熱負荷が求められる。また、暖房時には、17℃の時をゼロとして、0℃の時の測定値をグラフに描いて同様に直線近似で求めている。(図

###### 4.6.1)

###### (2) 熱負荷の出現時間

表4.6.1に示すように、地域で冷暖房運転期間が決められている。1日の運転は6～24時の18時間である。

###### (3) 測定点

表4.6.2に示すように、冷房定格、冷房中間、暖房定格、暖房中間および暖房低温の5条件でそれぞれ室内外の乾球温度と湿球温度が指定されている。

###### (4) 消費電力

図4.6.2に示すように、上記5点の運転データから各外気温度と熱負荷条件の消費電力を計算により求める。

###### (5) APF集計

以上で求めた熱負荷と消費電力を発生時間で積算して次式よりAPFを算出する。

$$APF = \frac{\text{冷房期間総合負荷 (CSTL)} + \text{暖房期間総合負荷 (HSTL)}}{\text{冷房期間消費電力量 (CSEC)} + \text{暖房期間消費電力量 (HSEC)}}$$

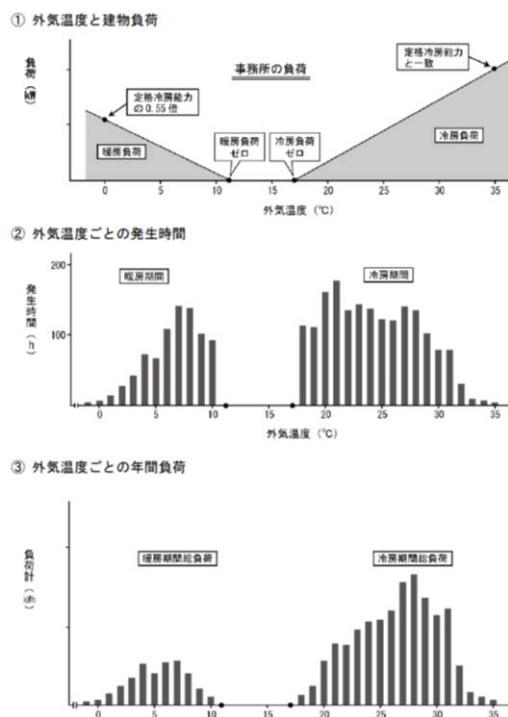


図 4.6.1 冷暖房負荷 (東京 住宅)<sup>2)</sup>

表 4.6.1 空調期間

	東京	盛岡
冷房期間	6/2～9/21	7/4～8/27
暖房期間	10/28～4/14	10/10～5/28
運転時刻	6:00～24:00	6:00～24:00

表 4.6.2 室内外温湿度

	室内 (°C)		室外 (°C)	
	乾球温度	湿球温度	乾球温度	湿球温度
冷房定格	27	19	35	24
冷房中間	27	19	35	24
暖房定格	20	15	7	6
暖房中間	20	15	7	6
暖房低温	20	15	2	1

ここで、従来の APF 計算手法の問題点を次に挙げる。

- ・室外温度が冷房時 1 条件，暖房時 2 条件しか指定されていないため，高湿度や低湿度時の性能が評価できない。
- ・室内の熱負荷は全熱で定義しているのみで，冷房時の SHF，暖房時の加湿負荷が考慮されていない。

以上の問題点を解決するための APF 評価法を次のように提案する。

#### 4.6.2 提案 APF 評価法

デシカントロータによる吸着および脱着は，相対湿度による影響を大きく受け，また室内の除湿および加湿を評価するためには，室内の潜熱負荷を決定する必要がある。以下に新しい APF 評価法を示す。尚，ここではノンフロストによる効率改善効果の評価するため，地域として盛岡を選択した

##### (1) 気象条件

図 4.6.3 に盛岡における気象条件を拡張アメダス気象データ標準年（2000 年度版）から表 4.6.1 の期間の 1 時間ごとのデータをプロットしたグラフを示す。図 4.6.4 に 17℃から 23℃までの負荷ゼロ期間を除いた温度毎の発生時間を示す。図 4.6.1 の東京と比較して，盛岡では年間負荷の 90%が暖房期間で発生し，暖房時の効率が APF に影響することが分かる。

##### (2) 空調対象床面積の計算

提案 APF では，熱負荷を直接計算するために，対象とする定格冷房能力 4kW のエアコンで賄うことが可能な床面積を次のように決定する。

図 4.6.5 に示す暖房能力の温度展開から盛岡における最低外気温度-13℃における暖房能力は 3.366kW となる。ここで，対象建物の Q 値を次世代省エネ基準値から 1.9W/m<sup>2</sup>k（地域区分 II）とすると，室内外温度差（20℃ - (-13℃））= 33℃と安全率 1.2 を用いて空調床面積は

$$3,366\text{W} \div 1.9\text{W/m}^2\text{k} \div 33\text{℃} \div 1.2 = 44.7\text{m}^2 \quad \text{となる。}$$

##### (3) 熱負荷計算

対象建物の負荷を以下のように決定した。

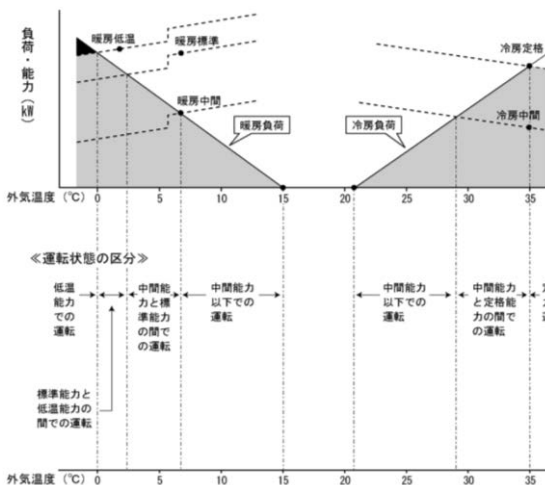


図 4.6.2 測定ポイントと外気温度による能力の変化

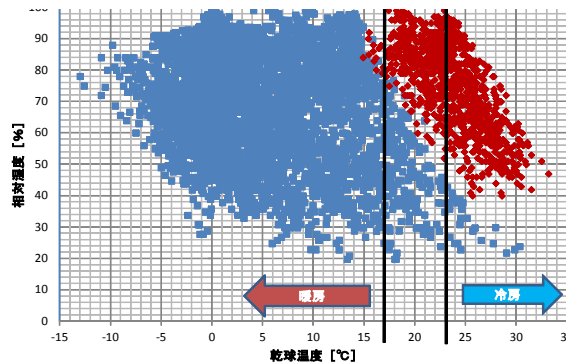


図 4.6.3 盛岡における温湿度データ

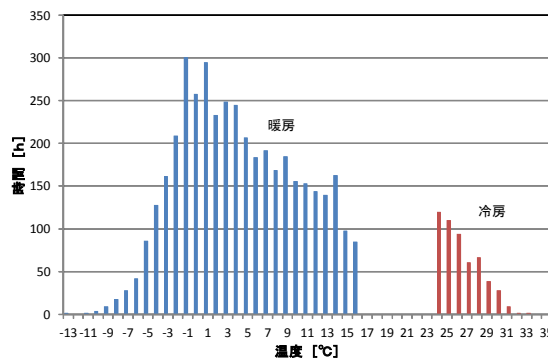


図 4.6.4 温度別出現時間

① 貫流負荷

上記の Q 値と床面積，室内外温度差から各温度条件で計算した。

② 換気負荷

換気量は階高を 2.4m とすると 0.5 回換気より

$$44.7\text{m}^2 \times 2.4\text{m} \times 0.5 \text{ 回/h} = 53.6\text{m}^3/\text{h} \text{ となる。}$$

室外条件から，各温湿度における外気負荷を計算した。

③ 人体発熱

夏期および冬期の人体発熱量を表

4.6.3 の値を使用し，人員は 4 人とした。

④ 内部発熱

内部発熱は，外気が 17°C から 23°C における負荷が 0 になるよう一律 400W とした。

①から④の熱負荷を顕熱・潜熱別々に計算し，1 度毎，10%毎に表にまとめた。

表 4.6.4 に全熱負荷の計算結果を示す。

(4) 温湿度の領域分け

表 4.6.4 の温湿度の分布を計算の簡略化のために冷房 5，暖房 10 の領域に分け，全熱負荷の加重平均値となる温湿度領域を白抜きで示す。

(5) 消費電力計算

前節で求めた冷房 5 条件，暖房 10 条件の室外温湿度および，顕熱・潜熱負荷におけるエアコンシステムの消費電力を数値シミュレーションにより算出した。ヒートポンプシミュレーションは凝縮圧力と蒸発圧力を仮定して，冷媒側と空気側で授受される熱量を一致させることで計算を収束させる簡単なものを用いた。デシカントの吸脱着モデル

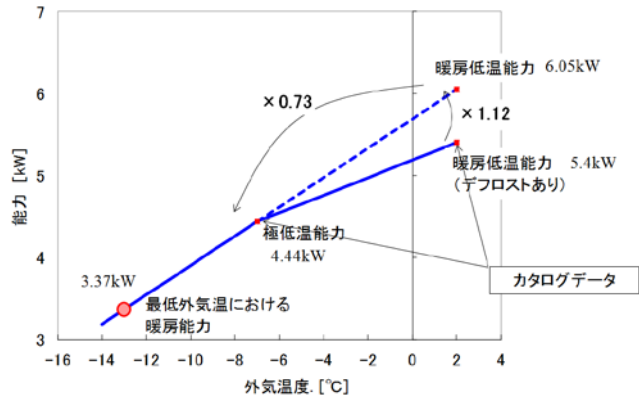


図 4.6.5 暖房能力計算図<sup>1)</sup>

表 4.6.3 人体からの発熱量<sup>3)</sup>

	W/人	
	顕熱	潜熱
冷房	51	68
暖房	79	40

表 4.6.4 全熱負荷分布

Temperature [°C]	Relative humidity [%]										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-13											
-12											
-11											
-10											
-9											
-8											
-7											
-6											
-5											
-4											
-3											
-2											
-1											
0											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											

は平板モデルを使用した。

ここで、比較とする従来システムとハイブリッドシステムの運転方法は次の通りとした。

① 従来システム

夏期は図 4.6.6 の空気線図で示すように、潜熱負荷に合う冷却減湿を行った後に再熱を行い顕熱処理を行う。冬期は図 4.6.7 に示すように、顕熱処理はヒートポンプで行い、潜熱処理（加湿）は COP=1 の電気ヒータ加湿とする。また、外気温度が 5℃以下の時デフロスト運転を考慮して消費電力を 1.1 倍とする。

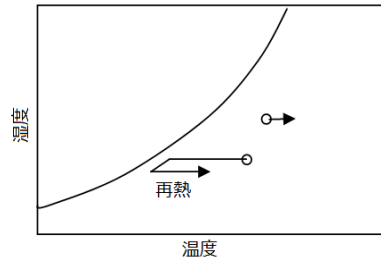


図 4.6.6 従来システム（冷房）

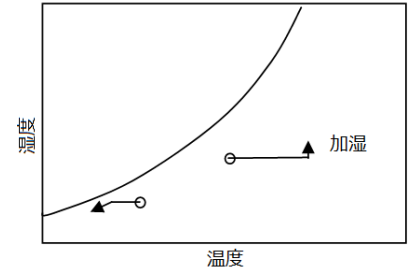


図 4.6.7 従来システム（暖房）

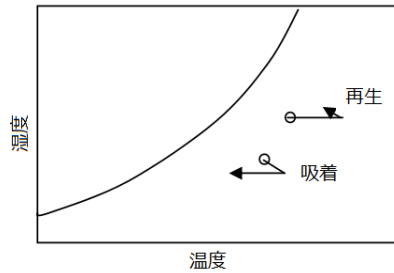


図 4.6.8 ハイブリッドシステム（冷房）

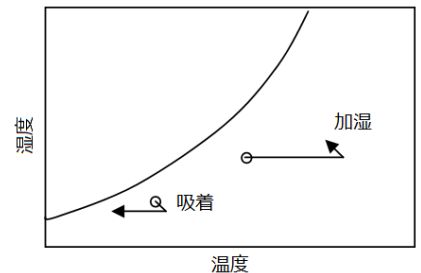


図 4.6.9 ハイブリッドシステム（暖房）

② ハイブリッドシステム

夏期は図 4.6.8 に示すように、デシカントによる除湿を行い、蒸発器はノンドレイン運転とする。冬期は図 4.6.9 に示すように、デシカントにより外気の除湿を行い、ノンフロスト運転を行う。また、デシカント再生により無給水加湿を行う。

4.6.3 計算結果

従来システムの計算結果を表

4.6.5 に、デシカント・ヒートポンプのハイブリッドシステムの計算結果を表 4.6.6 に示す。従来システムは、夏期の再熱除湿運転および冬期の加湿運転にエネルギーを消費する

ため、夏期は凝縮排熱を利用したデシカント除湿、冬期はデシカント再生を利用した加湿に置き換わることでシステム効率が上昇した。また、これにはノンフロストおよびノンドレイン達成により熱交換器のフィンピッチを縮小して伝熱面積を拡大したことや、ノンフロスト達成によりデフロスト運転をなくしたことも貢献している。

表 4.6.5 従来システム

冬期暖房								
条件	温度(℃)	湿度(%)	顕熱負荷 (W)	潜熱負荷 (W)	消費電力 (W)	出現時間(h)	負荷合計 (kWh)	消費電力合計(kWh)
①	-10	80	2,379	488	1,097	17	49	19
②	-5	70	1,863	468	852	302	704	257
③	-1	50	1,451	468	710	433	831	308
④	-1	80	1,451	421	663	792	1,482	525
⑤	4	80	935	433	544	525	718	286
⑥	4	80	935	365	476	593	771	282
⑦	9	50	419	386	413	374	301	154
⑧	9	80	419	290	317	481	341	152
⑨	14	50	0	323	323	286	93	92
⑩	13	80	6	211	211	344	75	73
合計						4,147	5,364	2,149

夏期冷房								
条件	温度(℃)	湿度(%)	顕熱負荷 (W)	潜熱負荷 (W)	消費電力 (W)	出現時間(h)	負荷合計 (kWh)	消費電力合計(kWh)
①	25	60	398	336	449	86	63	39
②	25	80	398	519	506	238	218	120
③	28	60	707	442	556	113	130	63
④	28	70	707	552	595	54	68	32
⑤	31	50	1,017	436	633	41	60	26
合計						532	539	280

表 4.6.6 ハイブリッドシステム

表 4.6.7 に示すように、ハイブリッドシステムは、冷房期間エネルギー消費効率 (CSPF) が 1.93 から 2.88 へ 1.49 倍に、暖房期間エネルギー消費効率 (HSPF) が 2.50 から 4.34 へ 1.74 倍に向上した、APF が 2.43 から 4.15 へ 1.7 倍に向上した。以上のように目標値であるシステム APF 向上率 1.5 倍を達成した。

冬期暖房								
条件	温度(℃)	湿度(%)	顕熱負荷 (W)	潜熱負荷 (W)	消費電力 (W)	出現時間(h)	負荷合計 (kWh)	消費電力合計(kWh)
①	-10	80	2,379	488	766	17	49	13
②	-5	70	1,863	468	516	302	704	156
③	-1	50	1,451	468	635	433	831	275
④	-1	80	1,451	421	336	792	1,482	266
⑤	4	50	935	433	472	525	718	248
⑥	4	80	935	365	174	593	771	103
⑦	9	50	419	386	353	374	301	132
⑧	9	80	419	290	58	481	341	28
⑨	14	50	0	323	28	286	93	8
⑩	13	80	6	211	22	344	75	8
合計						4,147	5,364	1,236

夏期冷房								
条件	温度(℃)	湿度(%)	顕熱負荷 (W)	潜熱負荷 (W)	消費電力 (W)	出現時間(h)	負荷合計 (kWh)	消費電力合計(kWh)
①	25	60	398	336	203	86	63	17
②	25	80	398	519	441	238	218	105
③	28	60	707	442	284	113	130	32
④	28	70	707	552	434	54	68	23
⑤	31	50	1,017	436	215	41	60	9
合計						532	539	187

表 4.6.7 APF 集計

4.6.4 APF まとめ

以上の検討結果より、以下の知見を得た。

1. ヒートポンプとデシカントを組み合わせたシステムを評価するために、新しい APF 評価法を提案した。
2. ハイブリッドシステムはの APF が 2.43 から 4.15 へ 1.7 倍に向上し、目標値であるシステム APF 向上率 1.5 倍を達成した。

	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

	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

	APF (-)
従来システム	2.43
ハイブリッドシステム	4.15

文 献

- 1) JIS C 9612 ルームエアコンディショナ
- 2) エアコンディショナーのエネルギー消費効率及びその測定方法 (案), 経済産業省
- 3) 建築設備設計マニュアル, (社)建築設備技術者協会

5. 研究開発成果

1. 事業概要

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した。本研究開発で得られた技術をエアコン (R410A冷媒搭載の 4.0KW機種と第 1 種機械換気を対象) とヒートポンプ給湯機 (CO<sub>2</sub>冷媒搭載の家庭用と R410A冷媒搭載の業務用を対象) に適用し、寒冷地の気象条件でエアコンでは APF で 1.5 倍、給湯機では年間給湯効率で 1.3 倍の目標を立てて、研究開発を行った。

2. 事業内容と成果

A. 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

常温付近および低温領域における吸着剤の水蒸気吸/脱着特性を定容法にて行った。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実験計測により明らかにした．太陽化学製メソポーラスシリカ TMPS-1.5A（細孔径 1.5nm）および TMPS-4A（細孔径 4nm）に対して， $-7^{\circ}\text{C}$ と  $25^{\circ}\text{C}$ ではほとんど吸着量に違いは見られず，等温線の形状もほぼ同じ結果が得られた．また，金属ドープ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．

メソポーラスシリカ（TMPS-4A と TMPS-1.5A）ロータと高分子収着剤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，そのロータの吸着/脱着量と吸/脱着速度の温度，風速による変化を明らかにした．その結果を踏まえて，ノンフロントエアコンと給湯機のシミュレーションモデルをそれぞれ開発し，そのエアコンのハード構成（デシカントロータの吸着/脱着面積比率，熱交換器のフィンピッチ，圧縮比）と給湯機のハード構成（過冷却器，熱交換器のフィンピッチ，圧縮比）の設計検討と最適化を行った．

#### B. ハイブリッドシステムの解析と APF 評価

従来型エアコンの着霜条件での平均 COP は無着霜時より 10%程度が低下する結果が得られた．ハイブリッドエアコンの実証機暖房実験では，ノンフロスト化が実現でき，従来サイクルより性能向上が見られた．寒冷地（代表地：盛岡）への適用を想定し，調湿機能を考慮した通年エネルギー消費効率 APF 算定法を提案し，熱交換器のフィンピッチを半減させ，伝熱性能の向上を図ったところ，運転環境に適したデシカント材を選択することにより APF は従来機の 1.7 倍となり，開発目標の 1.5 倍を実現することが可能であることを明らかにした．

給湯機に関しては，冬季のノンドレイン化とヒートポンプユニットのエネルギー消費効率の向上を目指して， $\text{CO}_2$ 冷媒搭載の家庭用を対象としてハイブリッドシステムの最適化を行った．その結果，エネルギー消費効率は従来機の 0.92 倍であった．これは $\text{CO}_2$ 冷媒の物性に起因しているので，改善策としてR410A冷媒搭載の業務用の実証機を製作し，ノンフロスト運転を実現した上で，効率は従来機の 1.12 倍となることを示した．

#### C. 商品化に向けた市場分析

国内の住宅分野の市場について詳細分析し，国内の非住宅分野，及び海外分野への導入可能性について調査を行った．対象地域の分析により，ノンフロストシステムの導入が最も効果的な地域と考えられるのは低温また湿度の高い東北地方であるが分かった．普及期間を 2019～2030 年とし，東北地域の新築戸建て数を 31,100 戸/年として，一戸あたりの削減電力量は 1,288 kWh/戸，原油換算省エネ効果は 2020 年及び 2030 年にそれぞれ 218 kL/年と 1,350 kL/年と見込まれる．また，米国，欧州の主要都市など比較的に着霜しやすい温湿度条件であるため，本研究の成果の海外展開が十分可能性があると言える．

海外展開について，米国，欧州の主要都市の地域温湿度，空調市場規模とエネルギー消費実態を比較検討し，米国，欧州の主要都市も比較的に着霜しやすい温湿度条件になることが分かり，本研究の成果の海外展開が十分可能であると結論された．

## 2.2 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

### 1. テーマの目的（必要性）

従来の業務用ビルの空調用ヒートポンプ（以下「ビル用マルチエアコン」という。）は、空調負荷率 50%未満の低負荷領域において圧縮機が発停を繰り返す断続運転に陥りエネルギー消費効率（※1。以下「COP」という）が低下する。実際の建物におけるビル用マルチエアコンの設備容量はピーク負荷をベースとして設計されているが、年間の負荷発生時間数に占めるピーク負荷の発生割合は極めて小さく、低負荷領域での運転が多くなっている。このことから、実効ある省エネルギーを図るためには、低負荷領域におけるビル用マルチエアコンの COP を向上させる必要がある。（添付図 1）

また、近年では室外機で外気に排出する冷房排熱を利用して暖房する冷房暖房同時運転が可能なビル用マルチエアコン（以下、「冷暖同時機」という。）が事務所ビルなどに多く導入されている。このビル用マルチエアコンは、排熱を利用することから高い COP を期待できる。しかし、冷房負荷と暖房負荷がほぼバランスする負荷領域では、制御の安定性を考慮し、外気へ冷房排熱と暖房排熱の両方を排出する運転モードに入るため、COP の低下を招いている。

そこで、本研究では、外気処理用の外調機と冷房暖房同時運転が可能な冷暖同時機の 2 機種 of ビル用マルチエアコンを組み合わせたヒートポンプシステム（添付図 2）を対象に、上記技術課題を解決し、従来機に比べて 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現する革新的省エネ制御（以下「新制御」という。）を開発することを目的とする。

JIS 規格の通年エネルギー消費効率（APF）試験のように、恒温室で圧縮機の回転数を固定して定格能力（空調負荷率 100%相当）および中間能力（同 50%相当）を発生させる性能測定では、従来のビル用マルチエアコンに見られる断続運転の発生とそれに伴う COP の低下を再現できないため新制御の効果を的確に把握することは不可能である。したがって、新制御の省エネ効果を正確に評価するためには、実際の設置環境またはそれに相当する空調試験室での性能測定が必須となる。

そこで本研究では、実際の設置環境を再現する部分負荷性能試験が可能な中部電力株式会社の空調試験室「ヒーポンらぼ」と、実際に運用されている業務用ビルの両方でエアコンの性能測定を行って新制御の省エネ効果を検証し、従来機に比べて 1.5 倍以上の年間平均 COP が達成できることを実証することとした。

（※1）エネルギー消費効率（Coefficient of Performance : COP）とは、冷房エネルギー消費効率及び暖房エネルギー消費効率の総称。冷房エネルギー消費効率とは、冷房能力を冷房消費電力で除したものをいい、暖房エネルギー消費効率とは、暖房能力を暖房消費電力で除したものをいう。（JIS B 8616:2006 より抜粋）



## 2. テーマの要旨

本研究では、ビル用マルチエアコンを対象に、「空調負荷率 50%未満の低負荷領域における COP の向上」と「冷暖同時運転における COP の向上」を実現する新制御を開発し、空調試験室と実際の業務用ビルの実測データに基づく年間平均 COP により、新制御の省エネ効果を検証した。

まず、新制御を実証できる外調機と冷暖同時機が設置された業務用ビル（以下「実証ビル」という。）を選定し、年間の空調負荷計算を行った。選定した実証ビルの空調負荷を用いて、従来制御に対する新制御の省エネ効果を、機器の設計仕様に基づく机上シミュレーションにより検証した。その結果、新制御では従来制御に対し 1.5 倍の年間平均 COP を達成できる目途を得た。

次に、実際の設置環境を再現する部分負荷性能試験が可能な空調試験室で、外調機と冷暖同時機の部分負荷性能試験を実施し、機器性能データを収集した。この機器性能データに基づくシミュレーションにより、従来制御に対する新制御の省エネ効果を検証した結果、約 1.7 倍の年間平均 COP を達成できる確証を得た。

続いて、実証ビルの基準階で稼働している外調機と冷暖同時機の各 1 系統を対象に、従来制御と新制御それぞれ 1 年間の実証試験を行い、実測データを収集した。この実測データを基に、従来制御と新制御それぞれの年間平均 COP を試算し比較評価した結果、新制御の年間平均 COP は従来制御に比べて約 1.7 倍に向上することを実現、実証できた。

さらに、新制御の効果を空調設計へ反映するため、実証試験の実測データで得られた建物使用状況および気象データをモデル化し、BEST（※2）プログラムを利用したエネルギー消費量の試算等による分析を行うとともに、空調試験室の機器性能データを機器特性として整理して BEST への提言資料にまとめ、併せて学会発表等にて提案した。

以上の結果、従来のビル用マルチエアコンの技術課題を克服し、従来機比約 1.7 倍の年間平均 COP 向上を達成できる新制御を実現、実証し、当初の目的を達成した。

（※2）BEST (Building Energy Simulation Tool)とは、企画・設計段階から運用段階にわたる建築物の総合的なエネルギー消費算出ツールである。パッケージ形空調機の機器特性に関しては、一般社団法人日本冷凍空調工業会の協力により、従来のシミュレーションでは定格能力から推計していたものを、中間性能等による補正を行うなど、最新機器の機器特性を利用することができる。

### 3. テーマの目標

下表に全体目標および研究課題目標等を示す。

JIS 規格の通年エネルギー消費効率（APF）では把握できない新制御の効果を、実際の設置環境を再現する部分負荷性能試験が可能な空調試験室、および実証ビルの両方で性能測定を行い、それぞれで目標達成を検証するよう、目標を設定した。

全体目標(主目標)	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
ビル用マルチエアコンの低負荷領域の COP 改善技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・達成目標 制御の改善を主に空調負荷率 50%未満の COP 向上を図り、従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現、実証する。</li> <li>・設定理由 実際のビルでは、空調負荷率 50%未満の低負荷率で稼働する時間が圧倒的に多いことが年間平均 COP 低下の原因である。空調負荷率 50%未満の COP 向上により、実効ある省エネを達成する。</li> </ul>	従来制御機の業務用ビルにおける年間平均 COP 実測値 = 2.1～2.2
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
①実証ビルの選定と空調負荷計算 ②新制御の効果シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・達成目標 机上シミュレーションにより実証ビルにおける運転条件で従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現できる目途を得る。</li> <li>・設定理由 全体目標に同じ。空調試験室での性能試験に先立ち新制御の効果を確認する。</li> </ul>	全体目標に同じ。
③空調試験室での部分負荷性能試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・達成目標 空調試験室で得た機器性能データを基に、従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現できる確証を得る。</li> <li>・設定理由 全体目標に同じ。実証ビルでの実証試験に先立ち新制御の効果を確認する。</li> </ul>	全体目標に同じ。
④実証試験の実施と試験結果の解析評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・達成目標 実証ビルでの実測データを基に、従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現、実証する。</li> <li>・設定理由 全体目標に同じ。</li> </ul>	全体目標に同じ。
⑤BEST の検証評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・達成目標 BEST の委員会に新制御を搭載した機器特性を提言する。</li> <li>・設定理由 新制御の効果を空調設計へ反映する。</li> </ul>	空調試験室や実証ビルでの実測データに基づく機器特性の提言実績はない。

#### 4. テーマの計画、研究内容

本テーマでは、ハードウェアの大幅な変更を伴わず、制御の改善を主とした新制御の研究開発に取り組み、従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現、実証する。

##### (1) 新制御の概要

先ず、従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現するための新制御の概要を説明する。

##### ア 空調負荷率 50%未満の低負荷領域における COP 向上

ビル用マルチエアコンは、通常 1 台の室外機に多機種・複数の室内機を接続して使用するため、従来制御では汎用性を重視し、室内機と室外機とは協調がなく独立した制御が行われている。具体的には、室内機は膨張弁で冷媒流量を制御して室内温度を一定に保ち、室外機は冷媒の蒸発温度（または凝縮温度）を目標値に保つよう、圧縮機回転数を制御している。この蒸発温度（または凝縮温度）の目標値は運転条件によらず、ほぼ一定となっている。（添付図 3）

年間を通じて出現時間が多い低負荷領域では、室内機と室外機の制御のアンマッチが発生し、圧縮機の断続運転が発生し、平均的な冷媒高低差圧が増大して COP が大幅に低下していた。そのため、従来制御では、原理的に低負荷領域での COP 向上に限界があった。（添付図 4）

新制御では、モデル予測制御（Predictive Functional Control）の理論に基づき、機器に搭載されたセンサで測定した冷媒圧力や冷媒温度、室温や室内機の吹出温度などを、各室内機の能力算出モデルと室温推定モデル（実験式と微分方程式）に代入して現在能力と次ステップの室温、室内機の吹出温度の予測値を計算し、空調負荷の変化をリアルタイムに推定する。推定された空調負荷に対し、室温または室内機の吹出温度を設定値に速やかに、かつ安定的に収束させるために必要な各室内機の能力を算出し、室内機のファン風量と冷媒の蒸発温度（または凝縮温度）の目標値を最適値に設定する。圧縮機回転数はこの最適値に蒸発温度（または凝縮温度）を保つように制御される。（添付図 5,6,7,添付表 1）

この制御により、冷媒高低差圧が減少して圧縮機動力が低減でき、圧縮機回転数が滑らかに変化することにより、低負荷時の圧縮機の断続運転を抑止して発停ロスを低減でき、大幅な COP 向上を図ることができる。（添付図 8）

##### イ 冷暖同時運転における COP 向上

冷暖同時運転時は、冷房している室内機と暖房している室内機の間で熱の授受を行い、その授受で過不足する冷房排熱または暖房排熱を室外機で排出する。

室外機では、この冷房排熱や暖房排熱の排出の切り替えを適切に行うため、熱交換器を 2 分割し、一方を凝縮器、他方を蒸発器として使用している。

従来制御では添付図 9 に示すように、それぞれの熱交換器で調整できる能力の下限がやや大きく（図の C の能力）、室内機の冷房負荷と暖房負荷に大きな差がない場合には、蒸発器あるいは凝縮器のみで室内の能力差を調整することができないため、蒸発器と凝縮器を同時に大きい能力で使用する場合がある。これにより、むだな冷房排熱や暖房排熱（排熱ロス）が生じ、COP が低下している。

例えば、添付図 9 の場合、室内機の冷房と暖房の能力差が  $A-B$  であるため、室外機の凝縮器で  $A-B$  の能力を発生できれば冷暖調整ロスは 0 となる。しかし、従来制御では凝縮器で発生できる能力の最小値が  $C$  であり、この値が  $A-B$  よりも大きい場合には、凝縮器単独で室内機の能力差を調整することが不可能になる。そのため、蒸発器も併用して、図に示すように、凝縮器で  $A-B+C$  の能力を発生させ、蒸発器で  $C$  の能力を発生させて能力を調整している。この場合、むだに能力  $C$  を発生させているので、圧縮機が高回転で駆動され、消費電力が増加し COP が低下してしまう。

新制御では、この凝縮器で発生できる能力の最小値を極力小さくすることで、むだな能力発生を抑え、消費電力を低減する。排熱ロスを最小化するため、電動弁を制御して熱交換器に流れる冷媒量を低減するとともに、室外機のファン風量も低減し、室外機熱交換器を蒸発器と凝縮器として併用する冷暖能力差の領域を必要最小限である  $D$  ( $\ll C$ ) とすることで、COP 向上を図る。

## (2) 研究内容

(1) で説明した新制御により研究目標を実現、実証するため、以下①～⑤に示す研究項目を実施する。

### ①実証ビルの選定と空調負荷計算

本研究開発の新制御を実証できる外調機と冷暖同時機が設置された実証ビルを選定し、BEST を利用したシミュレーションにより、1 年間にわたる外調機と冷暖同時機それぞれの空調負荷の 1 時間毎の変化を算出する。

### ②新制御の効果シミュレーション

①で選定した実証ビルの年間空調負荷と機器の設計仕様を用いて、従来制御に対する新制御の省エネ効果を机上シミュレーションにより試算し、研究目標である従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を達成できる目途を得る。

### ③空調試験室での部分負荷性能試験

従来制御および新制御を搭載した外調機と冷暖同時機を、実環境と同等の部分負荷性能試験を実施できる空調試験室に設置し、実証ビルでの実測データに基づく試験条件（外気温度、空調負荷率、外気湿度）で運転させ、機器性能データを得る。（添付図 10）

①で選定した実証ビルの年間空調負荷と空調試験室で得られた機器性能データを用いて、従来制御に対する新制御の省エネ効果を試算し、研究目標である従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を達成できる確証を得る。

### ④実証試験の実施と試験結果の解析評価

①で選定した実証ビルの基準階で稼働している外調機と冷暖同時機の各 1 系統を対象に、従来制御と新制御それぞれ 1 年間の実測データを得る。（添付図 11）

実測データを基に従来制御に対する新制御の省エネ効果を試算し、研究目標である従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現、実証する。

### ⑤BEST の検証

実証ビルの建物使用状況および気象データをモデル化し、BEST プログラムを利用した

エネルギー消費量の試算等により分析を行う。その分析結果を実測データの分析結果と比較し、BEST に対する提言としてまとめる。

## 5. 研究開発成果

全体および個別研究項目ごとの目標、および成果詳細を次頁以降に示す。

外調機と冷暖同時機の 2 機種 of ビル用マルチエアコンを組み合わせたヒートポンプシステムを対象に、新制御の省エネ効果を、空調試験室と実証ビルの実測データに基づく年間平均 COP の比較により検証した。その結果、研究目標である従来機比 1.5 倍以上となる約 1.7 倍の年間平均 COP を実現、実証できた。

現状の JIS 規格で定められた性能測定（定格 COP や APF）は、低負荷領域の運転時間が長い実建物で稼働しているビル用マルチエアコンの実測性能との乖離が指摘されている。本研究では、実際の設置環境を再現する空調試験室、および実証ビルの両方で性能測定することにより、実測性能に基づく省エネ効果の評価を実現、実証できた点は大きな意義があると言える。

開発した新制御は、ビル用マルチエアコンの室内機的能力を負荷に応じきめ細やかに制御して断続運転を減少させ、負荷に応じた冷凍サイクルの最適運転点に冷媒の圧力や温度を安定的に制御し、さらに室内機の風量も最適化するという、従来のビル用マルチエアコンには見られない革新的な省エネ制御である。

ハードウェアの大幅な変更を伴わず、制御の改善を主として実現した新制御は、競合技術（従来のビル用マルチエアコン）に対して、実効ある省エネルギーを図ることができ、技術的に優位性があることがわかった。

また、添付資料に示すとおり、学会発表は国内外を含めて 9 件、雑誌・新聞等への掲載は 2 件、講演他は 5 件、計 16 件の外部発表を行い、研究成果の積極的な公表に取り組んだ。

全体計画（研究項目）	目 標（値）	成 果 詳 細
ビル用マルチエアコンの低負荷領域の COP 改善技術の開発	従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現、実証する。	<p>「空調負荷率 50%未満の低負荷領域における COP 向上」や「冷暖同時運転における COP 向上」等、ハードウェアの大幅な変更を伴わず、制御の改善を主として実現した新制御を搭載した外調機と冷暖同時機について、空調試験室と実証ビルで実測データを収集し、年間平均 COP を試算した。</p> <p>その結果、新制御により、従来機比約 1.7 倍の年間平均 COP を実現、実証できた。</p>
<p>①実証ビルの選定と空調負荷計算</p> <p>②新制御の効果シミュレーション</p>	机上シミュレーションにより、従来機比 1.5 倍以上の年間平均 COP を実現できる目途を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究対象の外調機と冷暖同時機が導入されていること、波及効果が大きい大都市圏に立地していること等の条件から、新制御を実証できる実証ビルを選定した。（添付図 11）</li> <li>・ 実証ビルの年間空調負荷を算出した。（添付図 12,13）</li> <li>・ 研究目標を達成するために必要な COP 向上策を検討した。（添付表 2）</li> <li>・ 実証ビルの年間空調負荷と、設計仕様に基づく機器特性を用いた机上シミュレーションを実施した。</li> </ul> <p>その結果、新制御により、従来機比 1.5 倍の年間平均 COP の実現可能性の目途を得た。（添付図 14,15）</p>

（以下次頁に続く）

個別研究項目	目 標 (値)	成 果 詳 細
<p>③空調試験室での部分負荷性能試験</p>	<p>空調試験室で得た機器性能データを基に、従来機比1.5倍以上の年間平均 COP 向上を実現できる確証を得る。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証ビルでの実測データに基づき、出現頻度の高い運転条件（空調負荷率、外気温度、外気湿度）を抽出して試験条件を選定した。（添付図 16）</li> <li>・空調試験室にて、選定した試験条件で外調機と冷暖同時機の部分負荷性能試験を実施した。その結果、新制御では、従来制御の低負荷時に発生した圧縮機の断続運転が抑止され、COP が大幅に向上することを、試験データにより確認できた。（添付図 17,18）</li> <li>・空調試験室で得た機器性能データと実証ビルの空調負荷特性から、新制御の省エネ効果を試算した結果、従来機比1.7倍の年間平均 COP を実現できる確証を得た。（添付表 3,添付図 19）</li> <li>・実証ビルでの実証試験の空調能力計測を精度よく行うため、空調試験室で高精度に測定された空気エンタルピ法（AE法）の空調能力と、現地計測に適したコンプレッサ・カーブ法（CC法）による空調能力を比較検証した。その結果、AE法とCC法は、±5%の精度で一致し、CC法が実証試験のツールとして有効であることがわかった。（添付図 20）</li> </ul>

(以下次頁に続く)

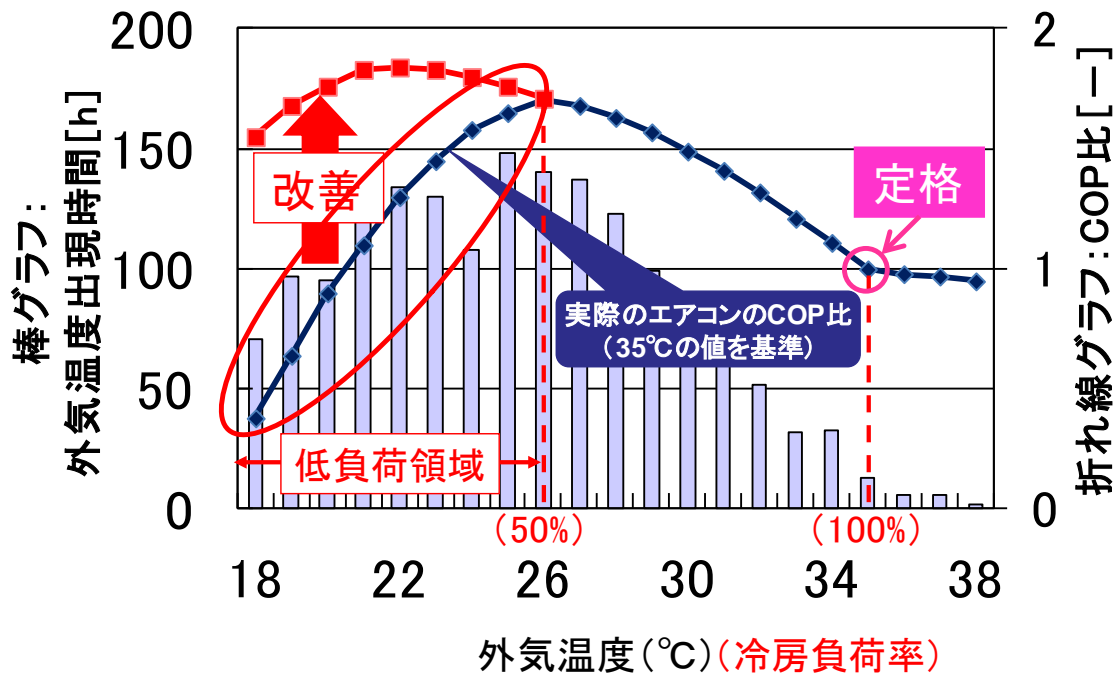


個別研究項目	目 標 (値)	成 果 詳 細
<p>④実証試験の実施 と試験結果の解析 評価</p>	<p>実証ビルでの実測データを 基に、従来機比 1.5 倍以上 の年間平均 COP 向上を 実現、実証する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実証ビルの基準階（空調面積 約 600 m<sup>2</sup>の事務所）で稼働し ている外調機と冷暖同時機 の各 1 系統を対象に、従来制 御と新制御それぞれ 1 年間 実測した。（添付図 21,22,23）</li> <li>なお、新制御の実証試験は、 制御基板のみ交換し、室内機 と室外機等は従来機と同じ ものを用いた。</li> <li>・ 実証ビルのビル用マルチエア コンは室内機に AC モータフ ァンが搭載されている。一 方、新制御は、よりきめ細か いファン回転数制御が可能 な DC モータファンを搭載し た室内機と組み合わせた場 合に本来の性能を発揮する。 そこで、あらかじめ空調試験 室で取得した AC ファン搭載 機と DC ファン搭載機の機器 性能データ（添付図 24）を用 いて、実証ビルの室内機に DC ファンを適用した場合の 年間平均 COP を試算した。 その結果、従来機比約 1.7 倍 の年間平均 COP を実現、実 証できた。 （添付図 25,26,添付表 4）</li> </ul>

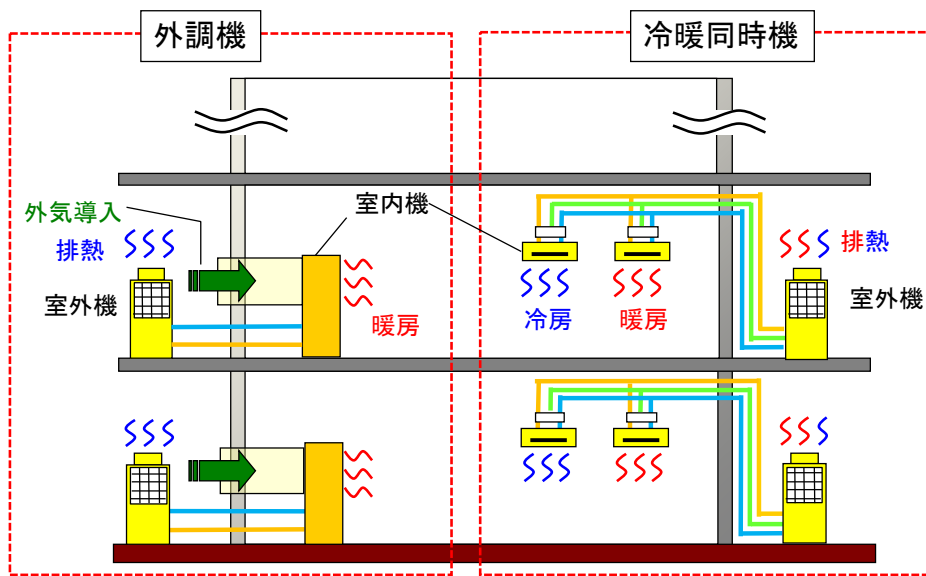
<p>⑤BEST の検証評価</p>	<p>BEST の委員会に新制御を搭載した機器特性を提言する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ BEST プログラムを利用したシミュレーション結果と実証試験で得られた結果を比較検証した。(添付図 27,28)</li> <li>・ 「③空調試験室での部分負荷性能試験」で得られた機器性能データを、機器特性として BEST への提言資料(例:添付図 17)にまとめ、併せて学会発表にて提案した。</li> </ul>
--------------------	-------------------------------------	--

付表 年度別研究開発スケジュールと実行内容

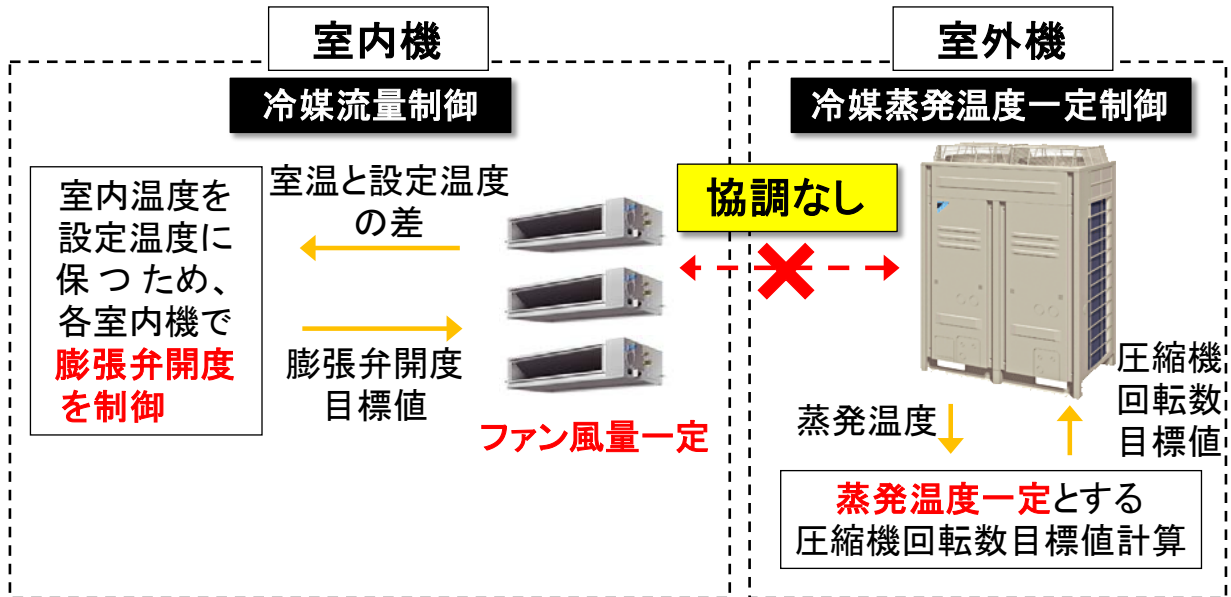
研究項目	平成22年度			平成23年度			平成24年度		
①実証ビルの選定と 空調負荷計算 (日本設計)									
ア) 実証ビルの選定		—							
イ) 年間の空調負荷計算		—	—						
②新制御の効果 シミュレーション (ダイキン工業)		—	—						
③空調試験室での部分負荷 性能試験									
ア) 試験条件の検討 (中部電力、三重大学)		—		—	—				
イ) 制御ソフトの作成 (ダイキン工業)		—		—	—				
ウ) 性能試験の実施 (中部電力)			—		—				
エ) 新制御の効果検証 (三重大学)			—		—				
オ) 空気エンタルピー法と コンプレッサ・カーブ法の 比較・検討 (三重大学)			—		—				
④ 実証試験の実施と 試験結果の解析評価									
ア) 実証試験の実施 (日本設計、ダイキン工業)				—	—	—	—	—	—
イ) 試験結果の解析評価									
a. 室内外機運転データの 確認 (ダイキン工業)					—	—	—	—	—
b. 建物負荷の分析 (日本設計)					—	—	—	—	—
c. 革新的省エネ制御の 省エネ性分析と評価 (三重大学、中部電力)					—	—	—	—	—
⑤BESTの検証 (日本設計)						—	—	—	—
総研究開発費 (千円) (総計: 120,655)				38,753			63,957		
								17,945	



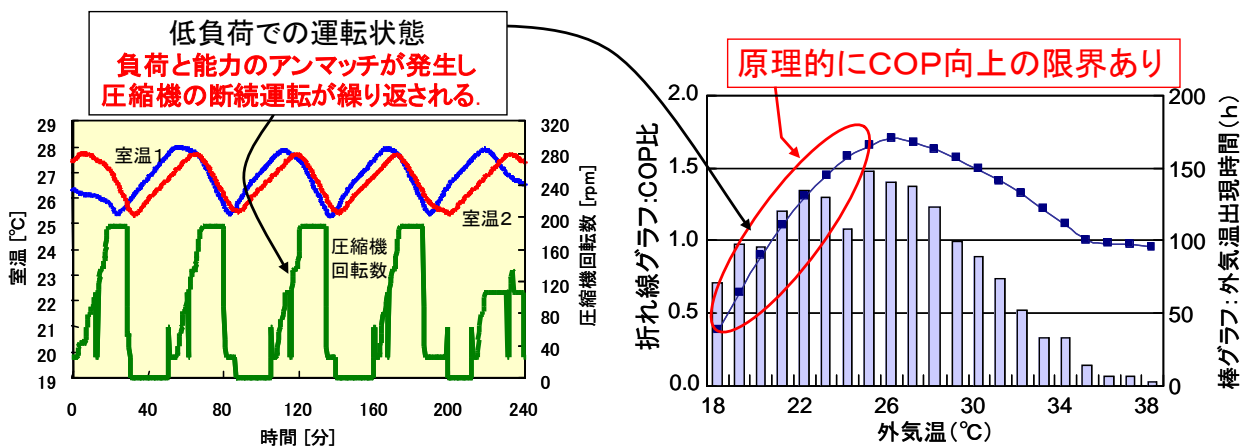
添付図1 事務所ビルの外気温度出現時間と実際のエアコンの COP 比の一例



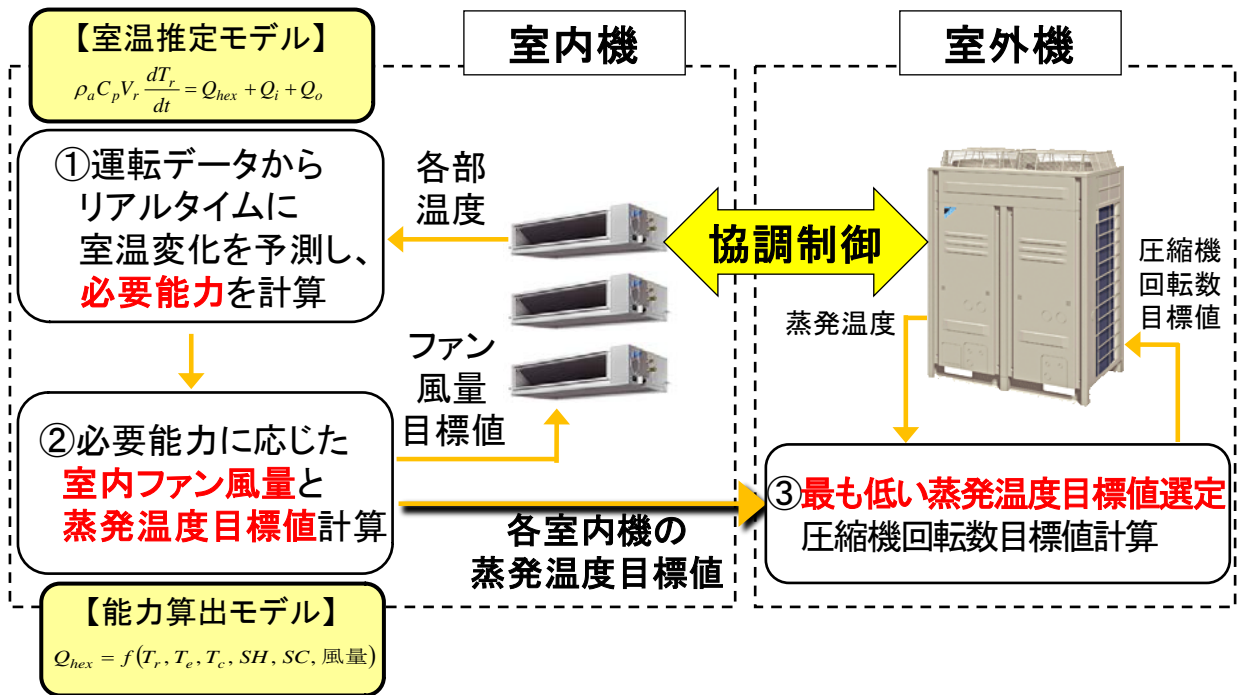
添付図2 研究開発対象の空調用ヒートポンプシステム (ビル用マルチエアコン)



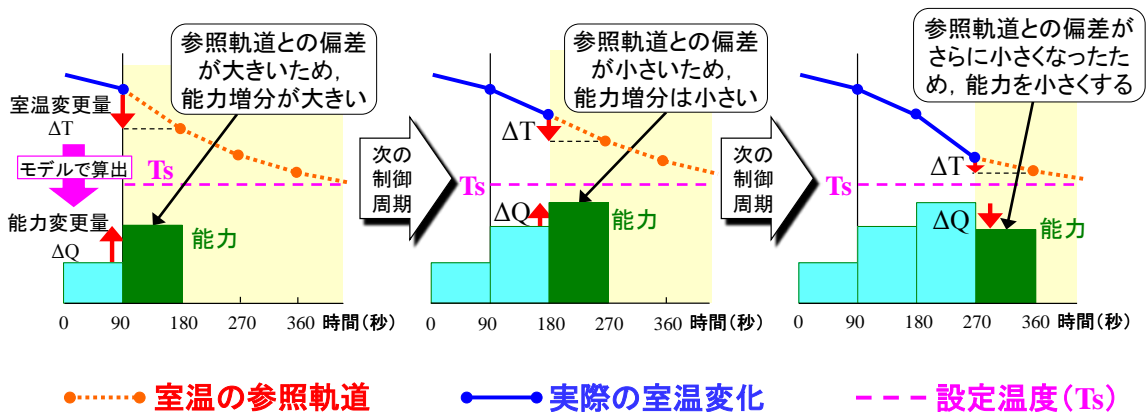
添付図 3 従来制御のフロー（冷房の場合）



添付図 4 従来制御の低負荷での運転状態と COP のイメージ（冷房の場合）



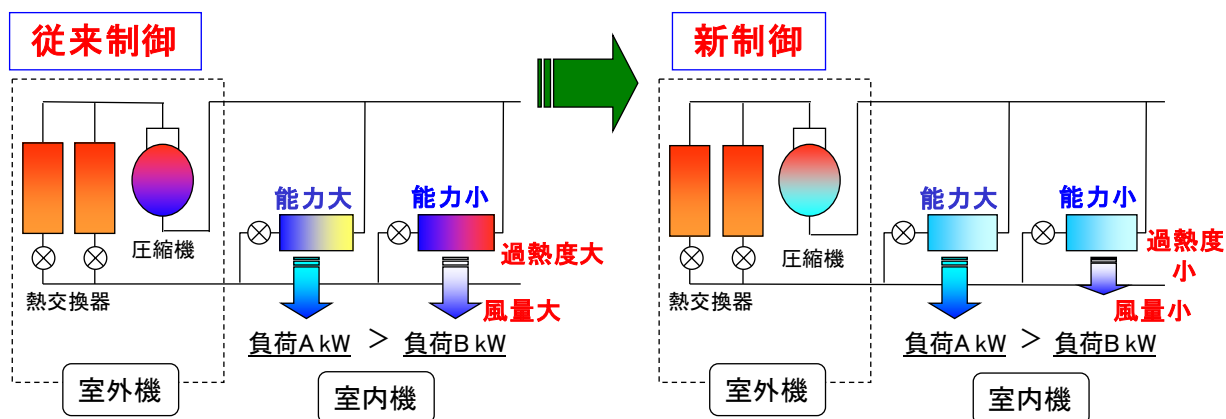
添付図 5 新制御のフロー（冷房の場合）



- ・室温の参照軌道      設定温度へ最適に収束させるため、制御周期ごとに求める室温変化
- ・室温変化量 $\Delta T$       現在の制御周期の室温と、次の制御周期の室温の偏差
- ・能力変更量 $\Delta Q$        $\Delta T$ から計算される必要な能力

制御周期ごとに適切な能力を発生できるので、従来制御に比べ冷やしすぎや暖めすぎを防止でき、大幅な省エネを図ることができる。

添付図 6 新制御の動作概要

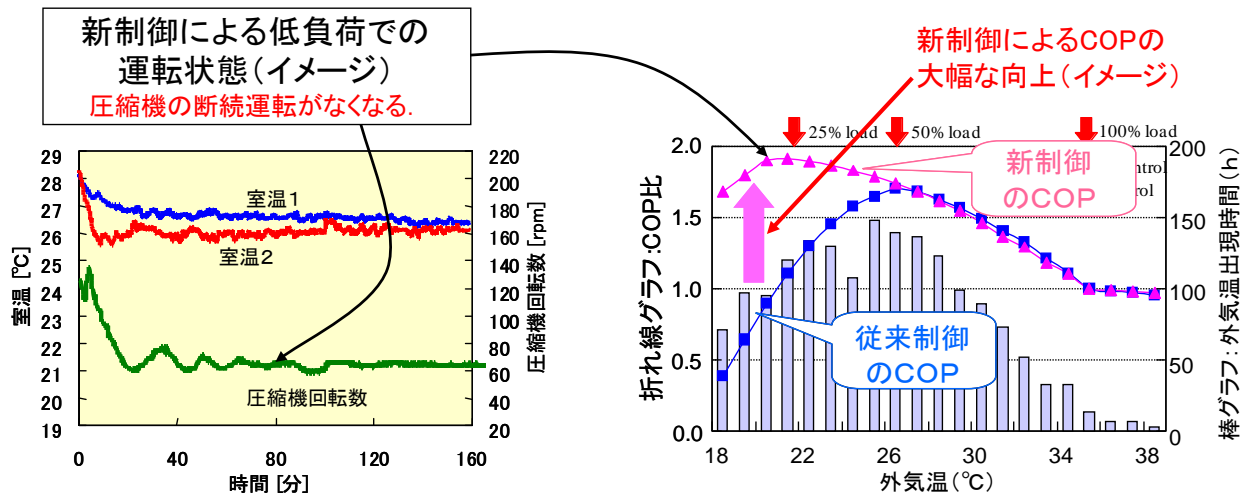


	従来制御	新制御
室内機の風量	固定 (ファン入力大)	負荷に応じ可変 (ファン入力小)
室内機の過熱度	中～大 (効率悪)	小 (効率良)
蒸発温度	低い固定値 (圧縮機入力大)	負荷に応じた最適温度 (圧縮機入力小)

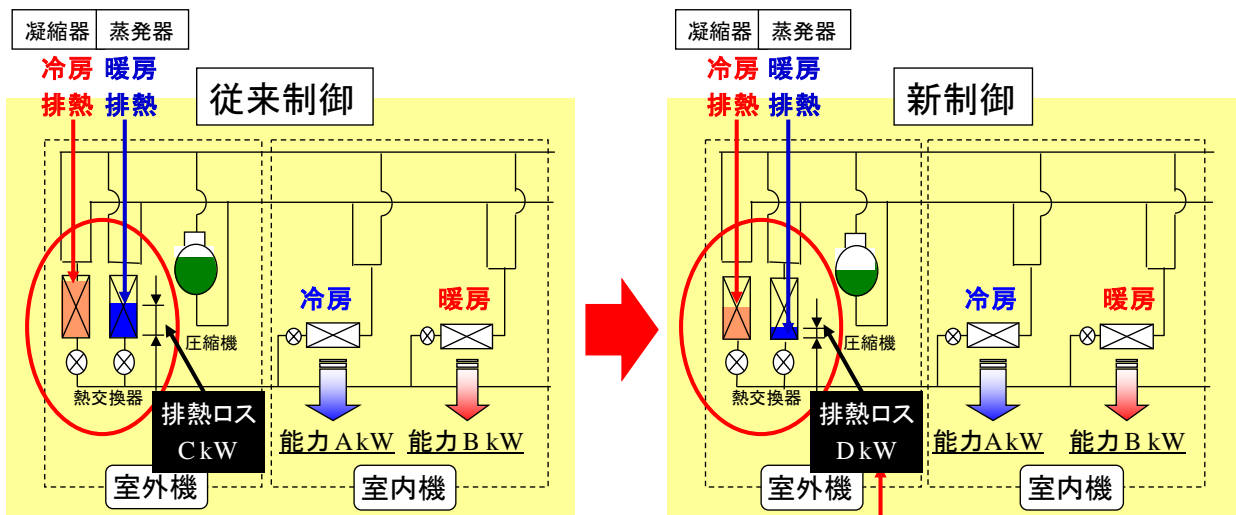
添付図 7 従来制御と新制御の比較

添付表 1 競合技術との比較

	今回開発した技術	従来技術
<b>負荷予測</b>	能力、室温、室内機の吹出温度の経時変化から、空調負荷の変化を制御周期(90秒)ごとに <b>リアルタイムに予測</b> する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ルームエアコンや従来のビル用マルチエアコンでは、<b>負荷予測を行っていない</b>。</li> <li>・エコキュートやエコ・アイスでは、過去の使用量から当日の負荷を予測しているが、秒単位の予測を行っていない。 <b>低負荷時の断続運転防止効果はない</b></li> </ul>
<b>能力最適化</b>	予測した空調負荷に対して <b>最適な能力を発生</b> させるため、 <b>室外機と室内機が協調</b> して、圧縮機回転数や室内機のファン・膨張弁開度等を制御する。	室外機と室内機が別々に制御されており、今回のような <b>室外機と室内機が協調</b> して速やか且つ滑らかに目標値に移行できる <b>制御は開発されていない</b> 。



添付図 8 新制御の低負荷での運転状態と COP のイメージ (冷房の場合)



	従来制御	新制御
室内機の冷暖能力差	A-B	A-B
室外機の冷房排熱	A-B+C	A-B+D
室外機の暖房排熱(排熱ロス)	C	D
室外機で調整される能力	A-B	A-B

膨張弁とファンの最適制御により、  
 排熱ロス(C, D)を最小化することで  
 効率を大幅改善(C ≫ D)

添付図 9 従来制御の冷暖同時運転と新制御の冷暖同時運転の比較





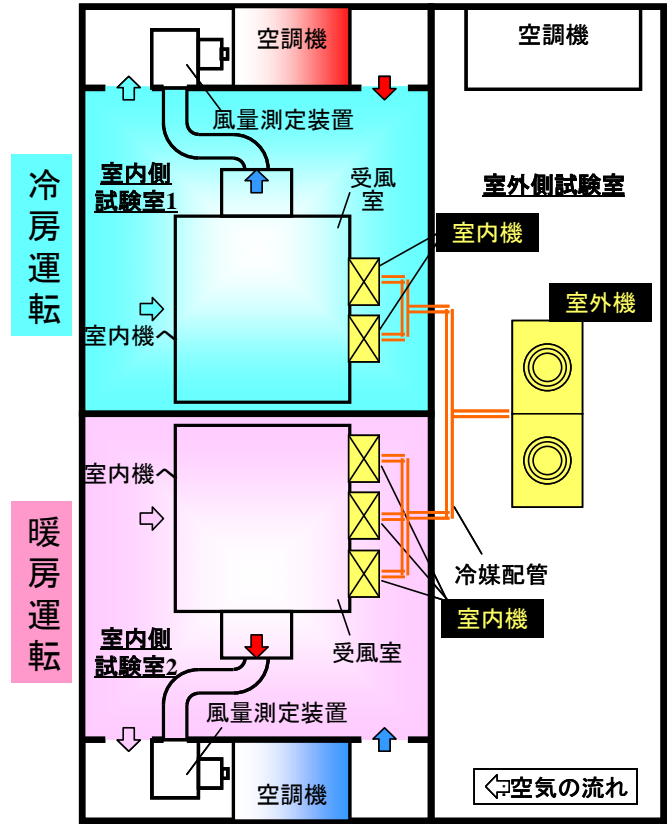
空調試験室の外観



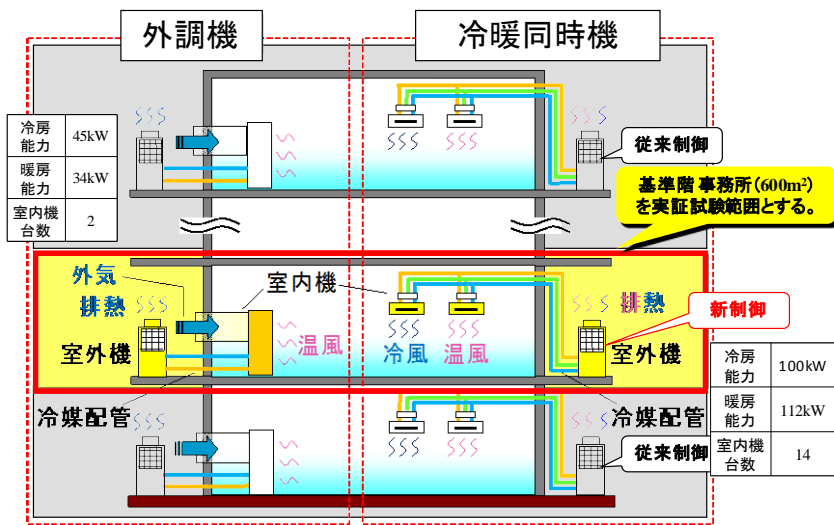
室内機の外観



室外機の外観

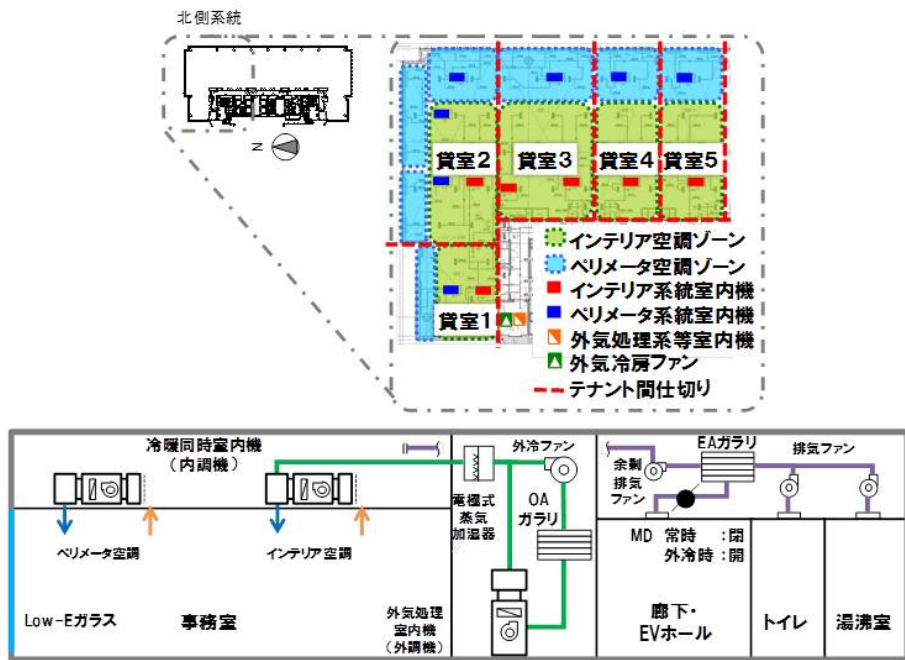


添付図 10 空調試験室での部分負荷性能試験の概要

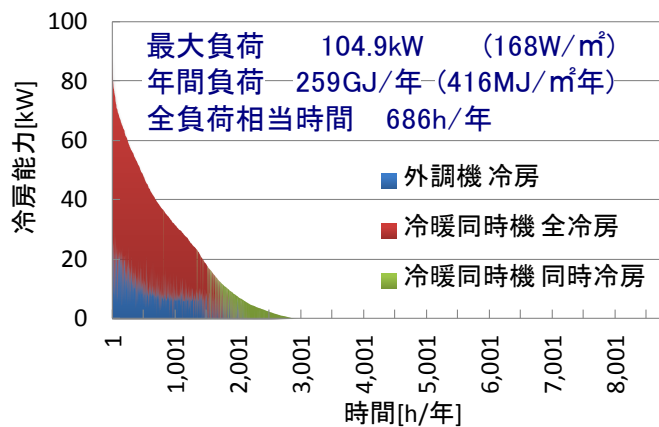


実証試験ビル外観  
(設計監理: 日本設計)  
所在地: 名古屋市  
階数: 地上19階、地下3階  
主用途: 事務所、店舗  
延床面積: 約37,000㎡

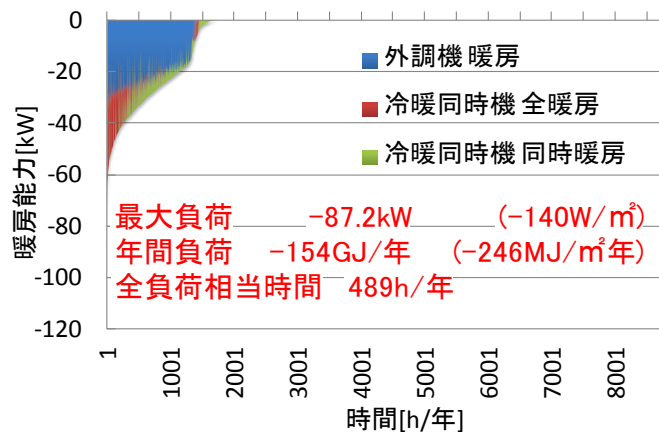
添付図 11 実証ビルでの実証試験の概要



添付図 12 実証ビルの実測対象空調ゾーンと空調システム



(1) 冷房

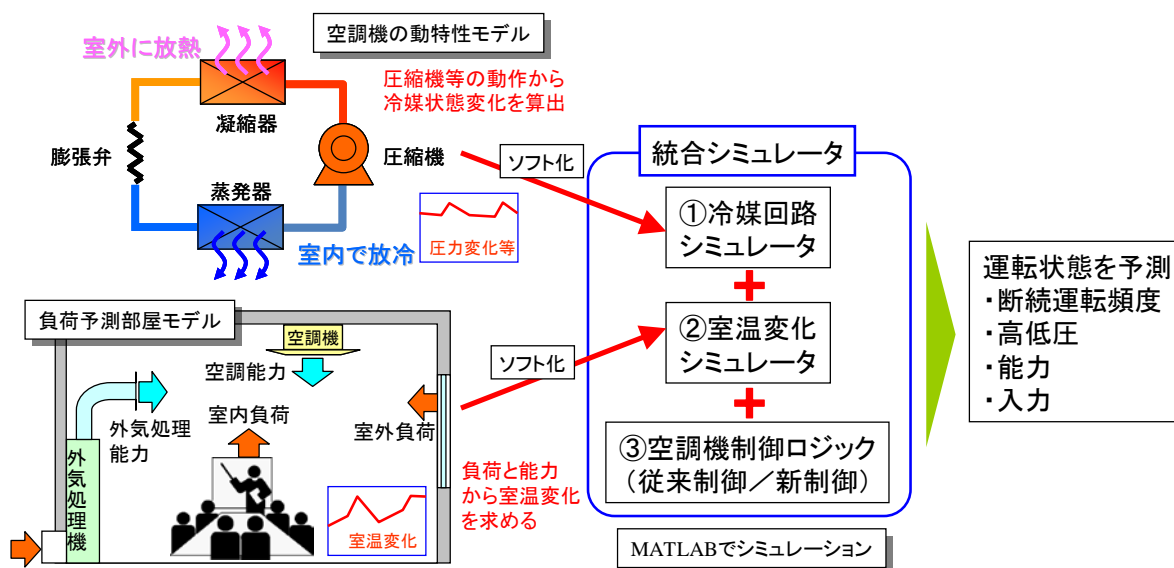


(2) 暖房

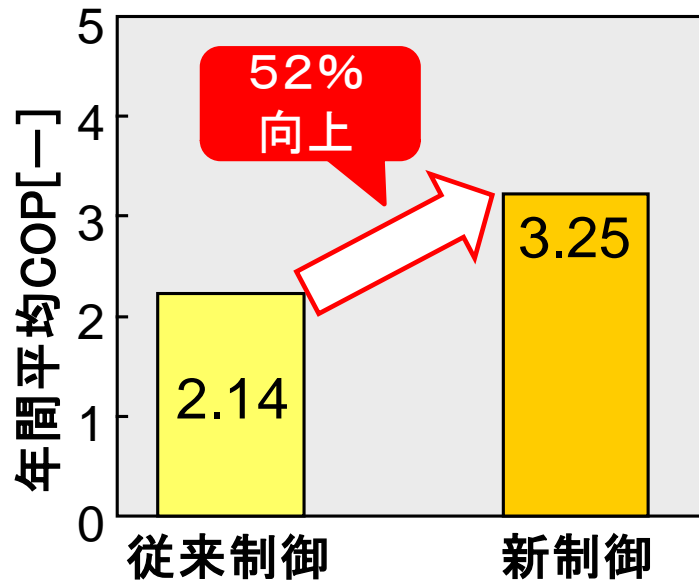
添付図 13 実証ビル空調負荷計算結果例 (デュレーションカーブ)

添付表 2 年間平均 COP 向上のための検討項目

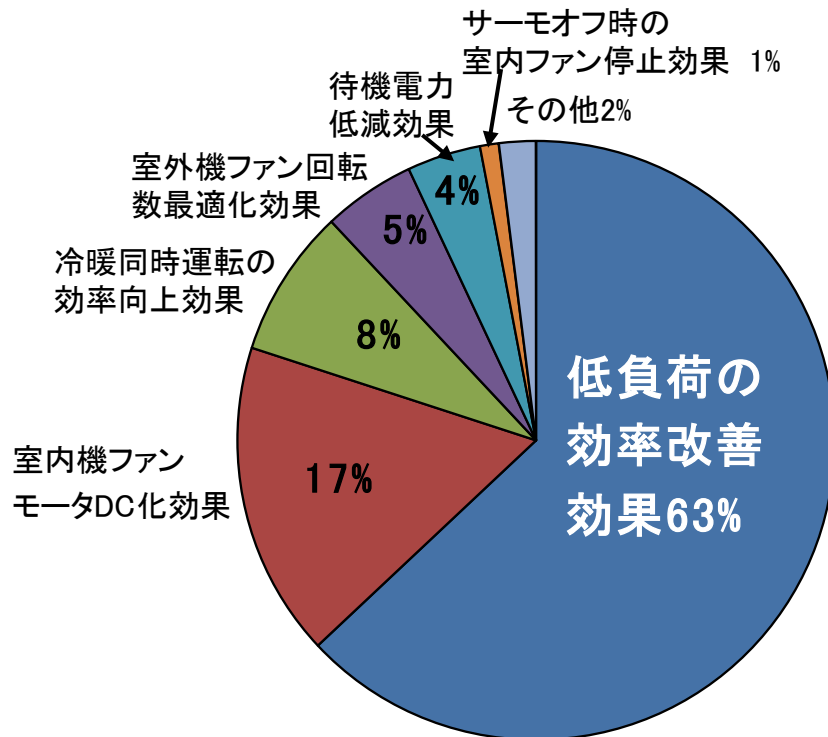
項目	内容
低負荷での効率改善	負荷推定に基づく能力制御により、圧縮機の発停を抑制する。
室内機ファンモータDC化	従来のACファンモータからDCファンモータへ変更することで、ファン動力を低減する。
冷暖同時運転の効率向上	冷暖同時運転時に発生していた室外機での排熱ロスを最小化することで、圧縮機やファン動力を低減する。
室外機ファン回転数最適化	空調負荷や外気温度に応じて、必要最小限の回転数で運転することで、ファン動力を低減する。
待機電力削減	圧縮機クランクケースヒータを必要最小限導通させることで、ヒータ入力を低減する。
サーモオフ時の室内ファン停止	快適性を損なわない範囲で、サーモオフ時の送風運転を停止することで、ファン動力を低減する。



添付図 14 机上シミュレーションの概略

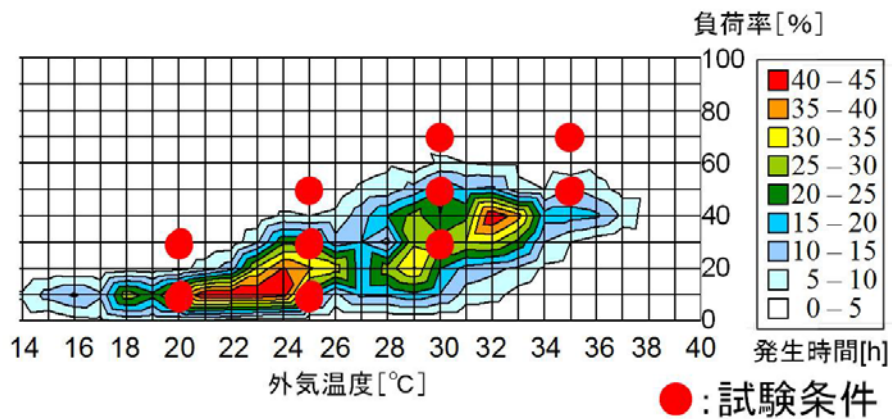


(1) 従来制御と新制御の COP 比較

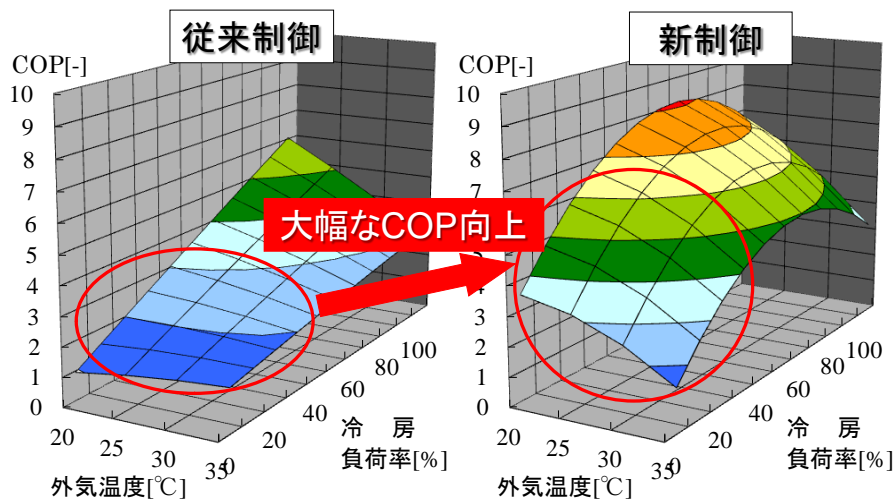
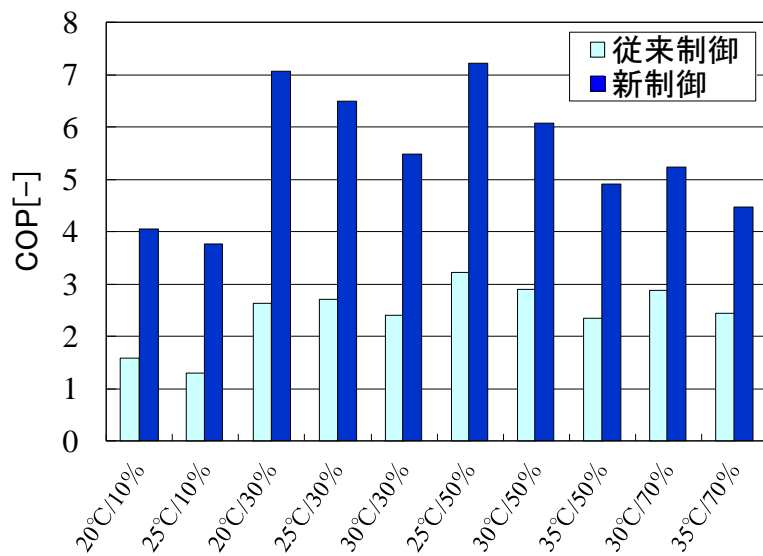


(2) COP 向上率の寄与度内訳

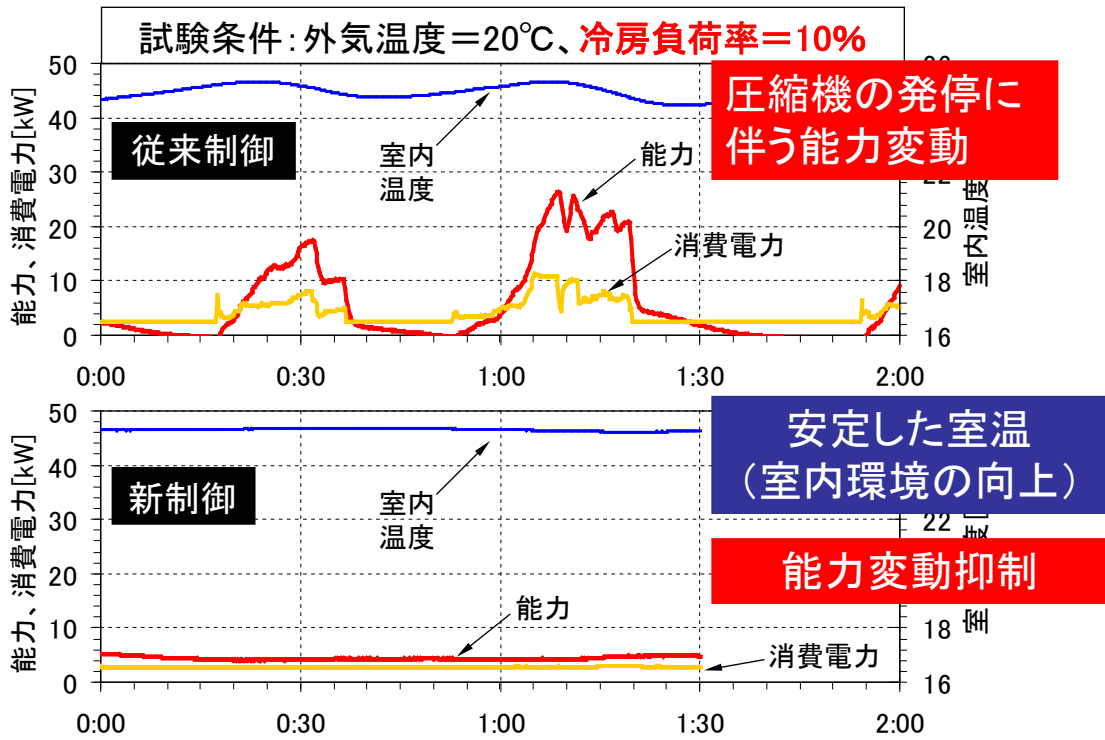
添付図 15 机上シミュレーションによる新制御の省エネ性検証結果



添付図 16 実証ビルでのエアコンの運転状態と空調試験室での試験条件一例  
(冷暖同時機の冷房運転の場合)



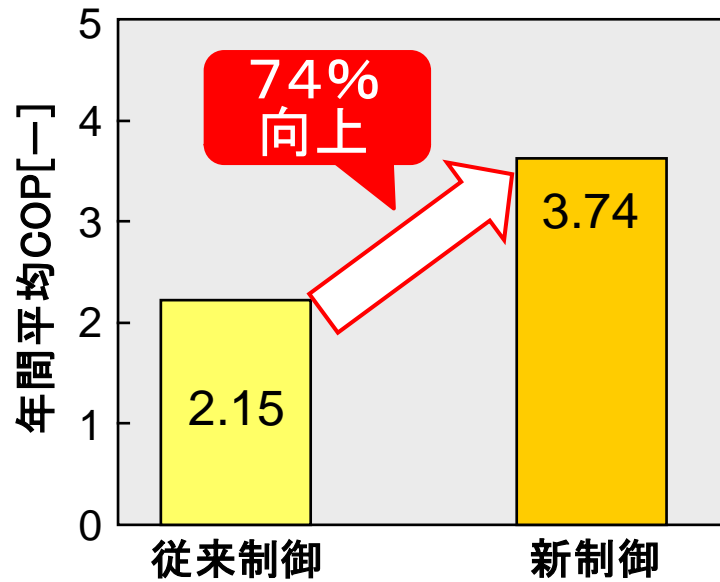
添付図 17 空調試験室での部分負荷性能試験結果一例  
(冷暖同時機の冷房運転 COP)



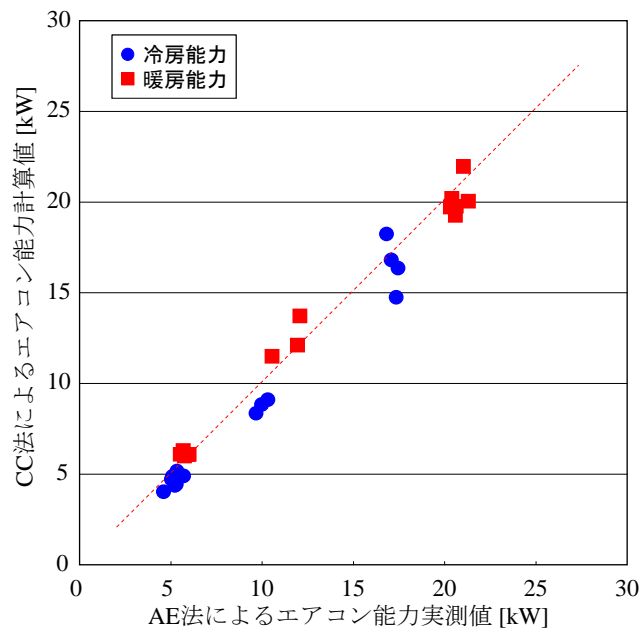
添付図 18 空調試験室での部分負荷性能試験結果一例  
(冷暖同時機の冷房運転時のトレンドカーブ)

添付表 3 従来制御と新制御の年間平均 COP の比較

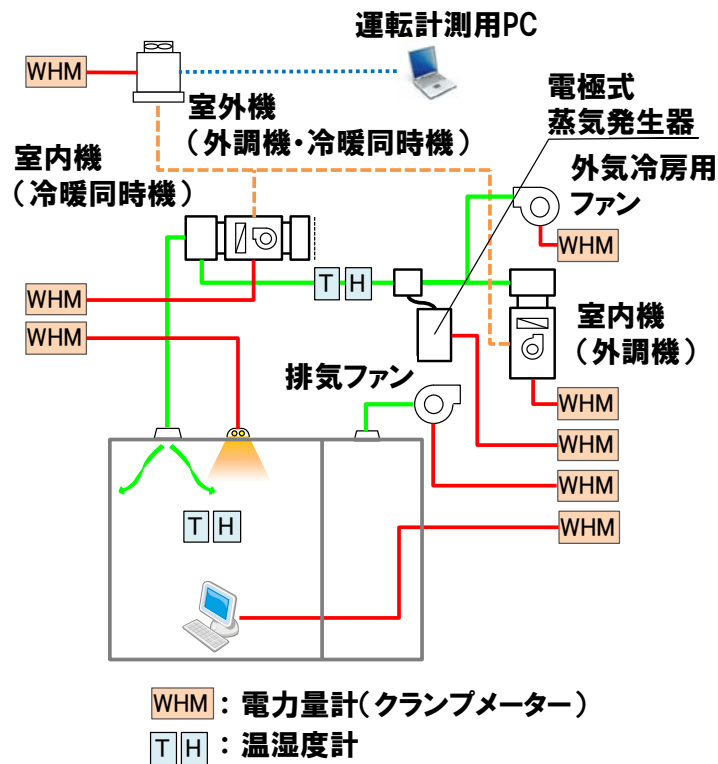
		従来制御	新制御
外調機	年間平均 COP	2.52	2.99
	年間平均 COP 向上率	基準	18%
	通年エネルギー消費量削減率	基準	23%
冷暖同時機	年間平均 COP	2.01	4.22
	年間平均 COP 向上率	基準	110%
	通年エネルギー消費量削減率	基準	52%
合計	年間平均 COP	2.15	3.74
	年間平均 COP 向上率	基準	74%
	通年エネルギー消費量削減率	基準	44%



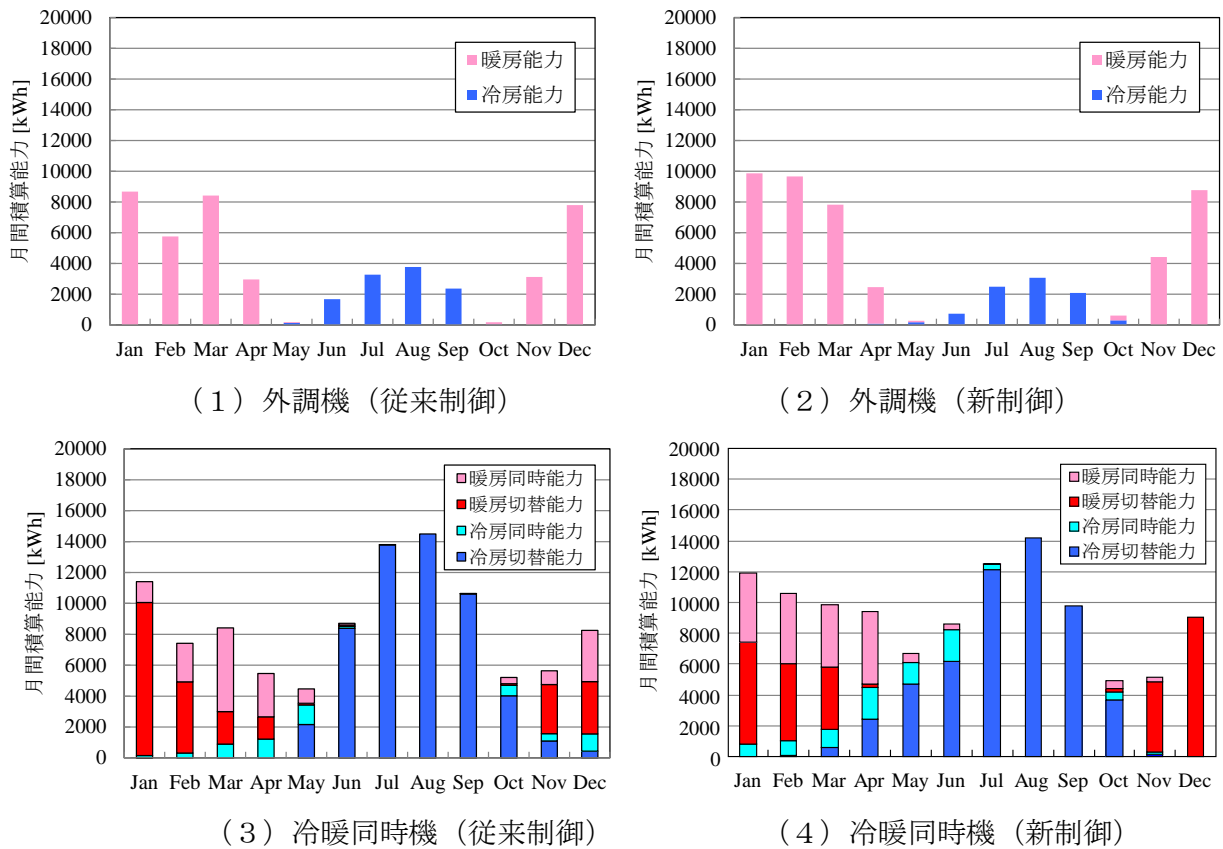
添付図 19 空調試験室で得た機器性能データに基づく新制御の省エネ効果試算結果



添付図 20 コンプレッサ・カーブ法の計測精度検証結果  
(AE法：空気エンタルピ (Air Enthalpy) 法。空調試験室での能力計測方法)

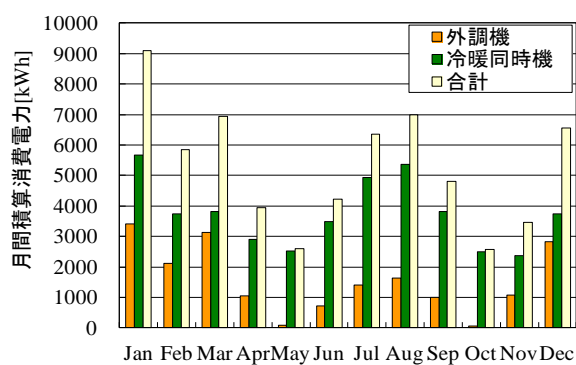


添付図 21 実証ビルでの計測概要

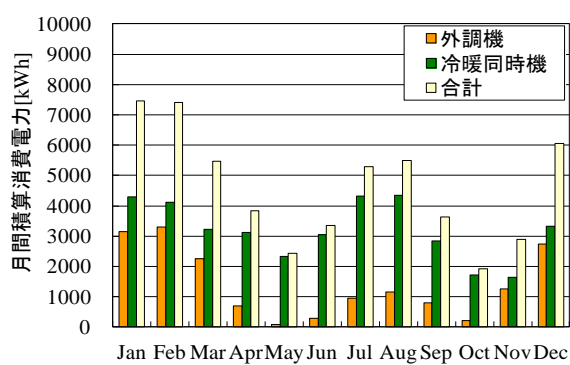


添付図 22 実証ビルの実測データ (各エアコンの月別能力積算値)

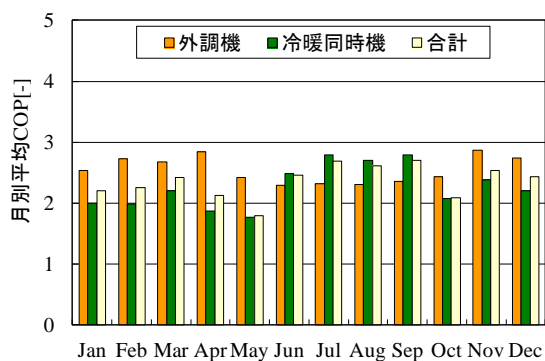




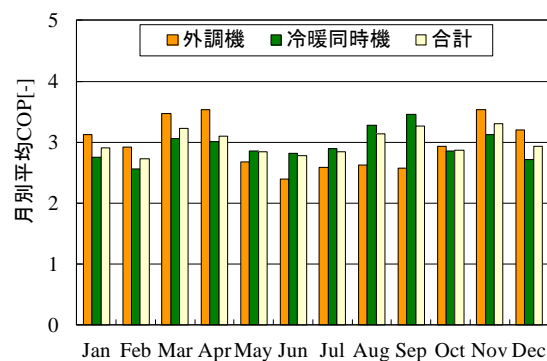
(1) 従来制御



(2) 新制御

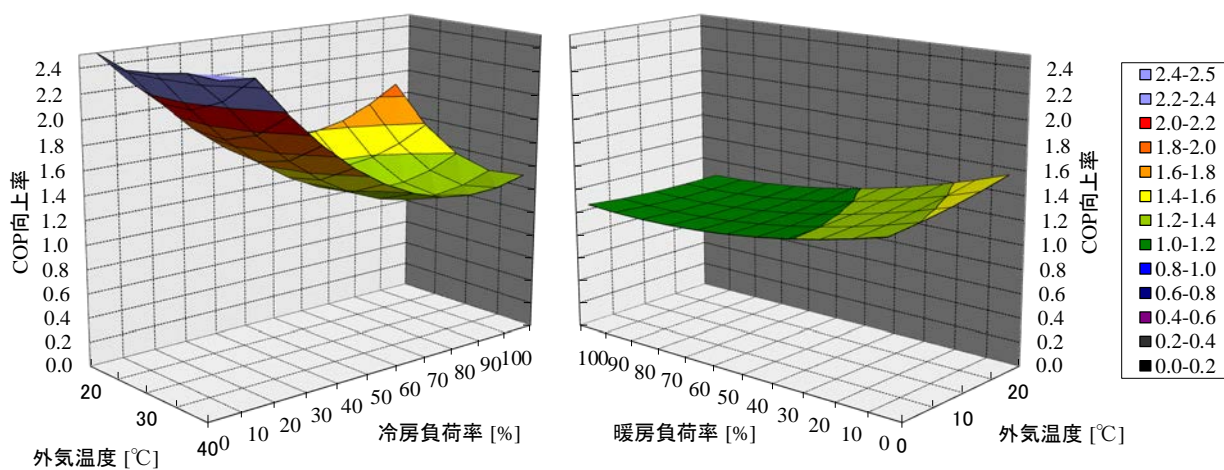


(3) 従来制御



(4) 新制御

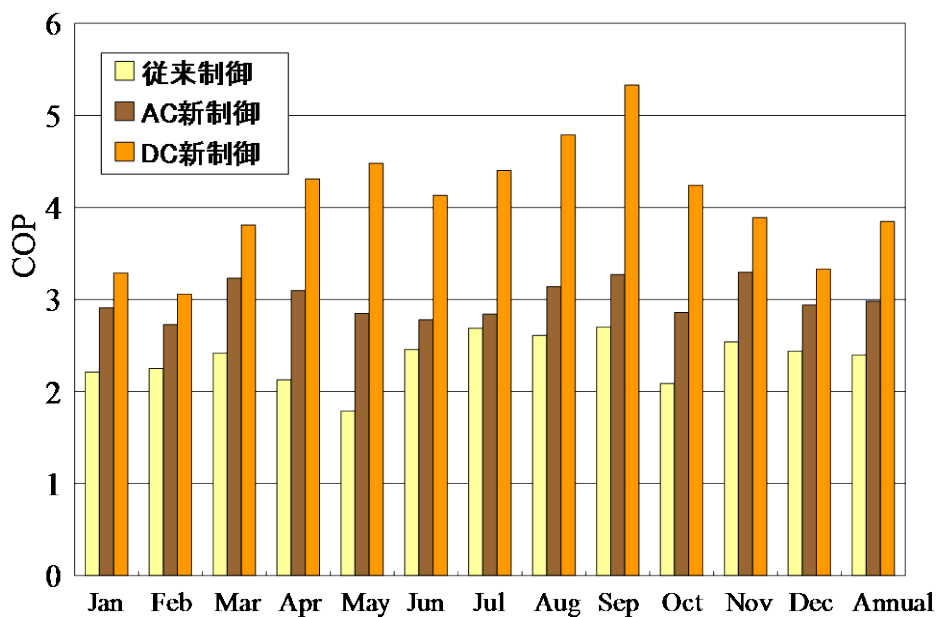
添付図 23 実証ビルの実測データ (各エアコンの月別積算消費電力量、平均 COP)



(a) 冷房切替運転

(b) 暖房切替運転

添付図 24 AC ファン室内機から DC ファン室内機への COP 変換特性 (冷暖同時機の場合)

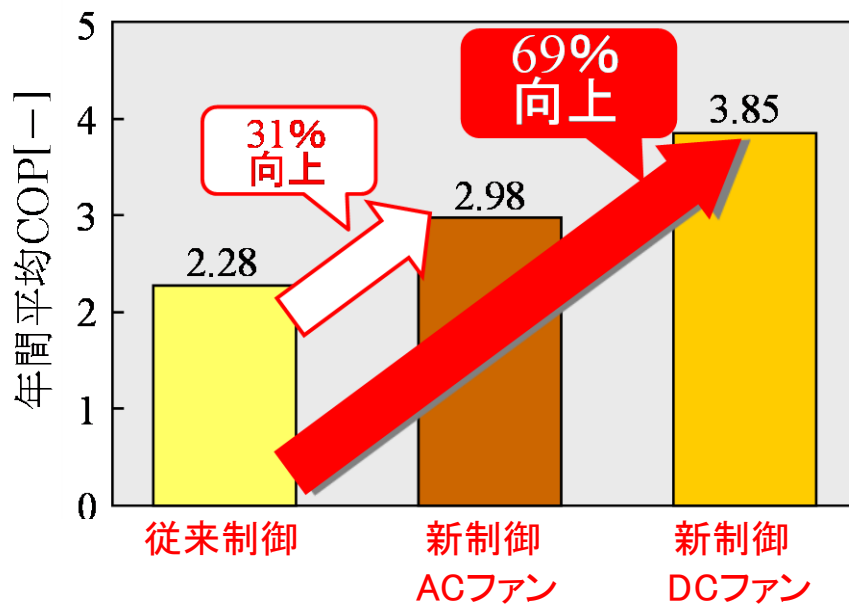


添付図 25 従来制御、AC ファン新制御、DC ファン新制御の月平均 COP の比較

添付表 4 従来制御と新制御の年間平均 COP の比較

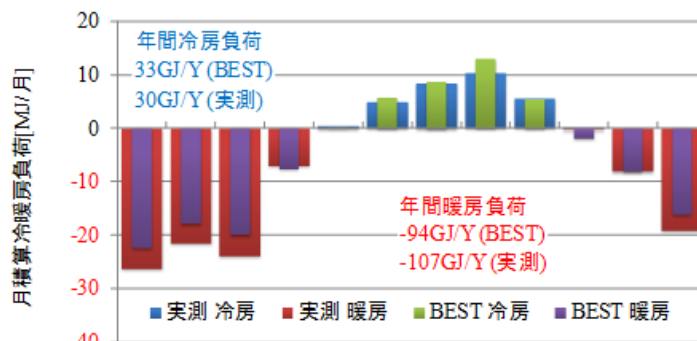
		従来制御 ※1	新制御	
			AC ファン※2	DC ファン※3
外調機	年間平均 COP	2.58	3.08	3.23
	年間平均 COP 向上率	基準	19%	25%
	通年エネルギー消費量削減率	基準	16%	20%
冷暖同時機	年間平均 COP	2.16	2.94	4.23
	年間平均 COP 向上率	基準	36%	96%
	通年エネルギー消費量削減率	基準	28%	50%
合計	年間平均 COP	2.28	2.98	3.85
	年間平均 COP 向上率	基準	31%	69%
	通年エネルギー消費量削減率	基準	25%	42%

※1 運転条件補正後の値 ※2 実証ビルにおける実測値 ※3 AC ファン実測値に基づく予測値

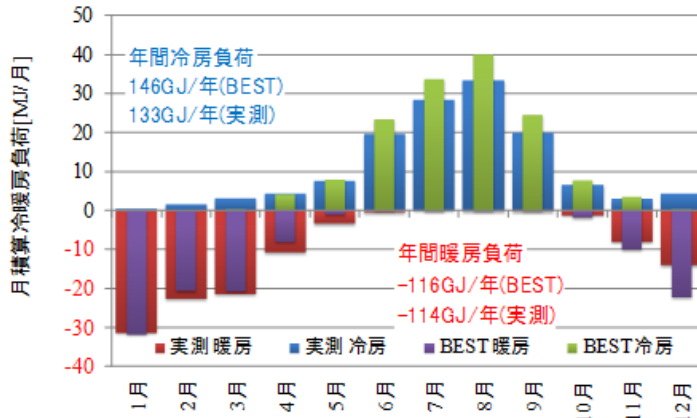


添付図 26 実証試験データに基づく新制御の省エネ効果試算結果

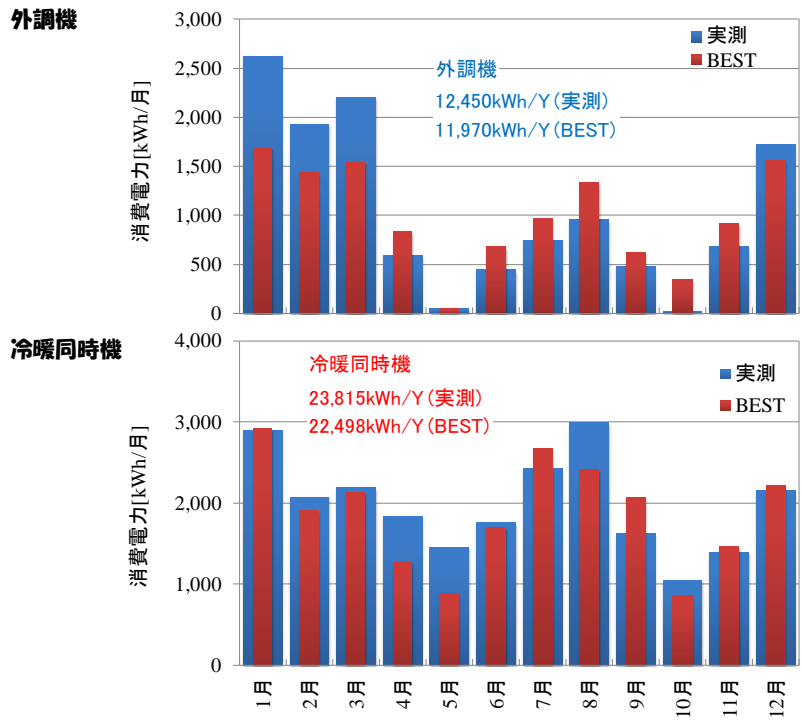
外調機



冷暖同時機



添付図 27 BEST による計算結果と実証試験結果の比較 (月別積算冷暖房負荷)



添付図 28 BEST による計算結果と実証試験結果の比較 (月別積算消費電力量)

## 2.3 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

### 1. テーマの目的（必要性）

日本において業務用の冷房、暖房、給湯に費やすエネルギーは日本のエネルギー消費全体の1割弱と非常に多く、これらのエネルギー消費量を低減する事が日本全体のエネルギー消費量を低減させる事に大いに貢献出来ると考えられる。

そこで、店舗やオフィスビルに多く用いられている業務用ヒートポンプシステムの効率向上を目的とし、年間効率向上を図る技術開発を実施した。

### 2. テーマの要旨

本研究はヒートポンプシステムの年間効率向上を達成するものであり、ヒートポンプシステムと要素技術(圧縮機)の両方について、低負荷時の効率向上を図る技術開発を実施した。対象としては業務用ヒートポンプシステムであり、(1)空調機の負荷の特性を考慮した最適な動作を行うヒートポンプ制御システム、(2)低負荷時における発停防止対応技術と低負荷時の効率向上を図った高効率ワイドレンジスクロール圧縮機の開発を行い、実負荷に合わせたヒートポンプシステムを研究開発した。最終的には、現状システムに対して開発システムの年間効率は、東京の標準事務所負荷モデルで 1.55 倍となり、当初の目標である現状システム比 1.5 倍を達成した。

### 3. テーマの目標

全体目標(主目標)	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
現状システム比 1.5 倍の効率を 有する、ワイド レンジ圧縮機及び 制御システムを 搭載するヒート ポンプシステムの 開発	実機検証で年間を通したヒート ポンプシステム全体での効率が 現状システムの 1.5 倍  Cool Earth-エネルギー革新技術 ロードマップにて 2030 年の 効率が現状比 1.5 倍となる 目標のため	最小能力 30~40%で 発停する蒸気圧縮式 ヒートポンプ
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
(1) ヒートポンプ システムの 研究開発	・蒸気圧縮方式と自然循環方式を 組み合わせたヒートポンプ システムの開発  ・適応制御の採用	・蒸気圧縮式 ヒートポンプ  ・PID 制御

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・φ5 細径室内熱交換器の採用 (設定理由:ヒートポンプシステム全体での1.5倍効率向上のため)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・φ7 室内熱交換器</li> </ul>
(2) 高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低負荷条件での圧縮機効率 1.2倍向上</li> <li>・負荷比率3~100%の運転実現 (設定理由:ヒートポンプシステム全体での1.5倍効率向上のため)</li> </ul>	定格効率重視の仕様であり、運転範囲は圧縮機単体で20~100%

#### 4. テーマの計画、研究内容

ヒートポンプは効率が低い事から空調機に広く採用されている。従来のヒートポンプは、能力が定格の100%から減少していくと効率が向上していき、能力50%付近で最高効率を示す。さらに低下すると効率が急激に低下する。その後、最低能力以下では起動と停止(これを発停と呼ぶ)を繰り返して能力調整する。この発停時に損失が発生し(発停ロス)、ヒートポンプの効率がさらに低下する。

一方、空調負荷の出現頻度は低負荷領域が多く、年間省エネを達成するためには、ヒートポンプ能力50%以下でのヒートポンプ効率向上とヒートポンプ最低能力以下での発停ロスの低減が課題となる。更に、最近のビル空調で見られるように外気温度が低い場合でも冷房運転が必要になる場合がある。このような場合には、圧縮機を運転するとシステム効率が低下するので、圧縮機を停止して空調を行う冷媒自然循環方式(注記1)の開発が課題となる。

このような実負荷に合わせた年間効率向上ヒートポンプシステムを開発するために、システムと要素技術(圧縮機)の両方で低負荷時の効率向上を図る技術開発を実施した。具体的には、次の2つである。

(1) 「ヒートポンプシステムの研究開発」(日立アプライアンス株式会社)

- ・空調場の負荷と空調機器の特性を考慮した最適な動作を行うヒートポンプ制御システム

(2) 「高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発」(株式会社日立製作所日立研究所)

- ・低負荷時における発停防止対応技術と低負荷時の効率向上

「ヒートポンプシステムの研究開発」では、「高効率ワイドレンジスクロール圧縮機」を採用し、より低速回転まで用いる事によって発停を抑制し、かつ非線形性が強いヒートポンプに対して、空調負荷を推定する事で、低負荷時のヒートポンプの能力過剰による発停を抑制した。加えて冷房低負荷時には外気温度の方が室内温度より低い事を利用して、冷媒自然循環方式に切替える動作を行い、ヒートポンプ機器単体の効率向上のみならず、運転制御も

含めた効率向上を検討した。

これらの効率向上効果について、初年度は、ヒートポンプシステムと空調負荷のモデルを作成し、圧力、温度、能力といった運転状態を時系列で計算解析し、現状システムと開発システムの年間効率をシミュレーションにより比較検討した。

続いて、省エネ効果の高いヒートポンプシステムを試作し、性能特性を実験確認した。従来の年間効率 APF は JIS(注記 2)を用いて求めるが、実負荷特性を明確にするために、本研究では外気温度ごとのヒートポンプ効率を算出した。

(注記 1)…冷媒自然循環方式とは、室外機にて外気温度で冷媒を凝縮、液化させ、室内機との高低差を利用して、液冷媒を室内機に搬送し、室内温度で冷媒を蒸発、気化(室内冷房の場合)させ、ガス化した冷媒を室外機まで搬送させる循環方式である。本システムは、高低差利用による搬送動力不要なシステムである。

(注記 2)…JIS B 8616「パッケージエアコンディショナ」。冷房性能は外気温度 35℃、暖房性能は外気温度 7℃と 2℃における性能を用いて年間効率を算出する。

年間効率の実証確認については、ステップ 1、ステップ 2 の二段階にて実施した。先ずステップ 1 には、環境試験室にて調べたい外気温度及び空調負荷を発生させ、同時に空調負荷に合致するヒートポンプ能力を発生させた。次にその時の消費電力を求めて、外気温度の発生頻度から年間効率を求めて評価した。本内容を、現状システムと開発システムに対して行い、それぞれを比較検討した。ステップ 2 には、現状システムと開発システムを、実際に使用している実験室や事務所に設営した。そしてそれぞれを適宜交互運転し、年間を通じて空調機能力と消費電力を計測し、ヒートポンプ効率を比較検討した。

本方式は今後冷媒が現在主流の R410A から変更になったとしても、基本的な考え方は同じで、応用可能である。

次に年間効率 1.5 倍とする考え方を図 1.1 に示す。後に示す「高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機」を用いる事によって、図 1.1 に示すヒートポンプシステムの効率を「現状システム」から「開発システム」に引き上げる。また、連続運転範囲を広げる事により、発停による効率低下を防止する。図 1.1 の「出現時間」に示す通り、外気温度は外気が低い低負荷領域の出現時間が多いので、低負荷側の効率をより向上させる事で年間の効率向上を行う。また外気温度が低下した際、冷媒自然循環方式の能力が向上するのでこれを利用出来る。加えて現状制御では空調負荷が小さい場合、相対的に制御ゲインが大きく、能力を出力し過ぎて本来ハードウェアが持っている最小能力まで絞れずに不要な発停を行う事がある。これに対し、適応制御を採用する事で解消し、低負荷時の効率向上を図る。

「高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発」では低負荷領域での効率向上を図るためにスクロール圧縮機の高速度について検討した。スクロール圧縮機はある回転速度にてピーク効率を示すが、現状の圧縮機では定格回転近傍にて効率がピークとなっている。効率

のピーク点を定格領域から低負荷領域にシフトすることがスクロール圧縮機の高速度化の狙いである。具体的には、低負荷領域にてピーク効率を示すように圧縮機の行程容積を小さくし、行程容積を小さくした分だけ回転速度を大きく設定することにより、定格領域での効率低下を抑え、低負荷領域での効率向上を図る。そのためにスクロール圧縮機効率シミュレータを活用したスクロールラップ諸元の最適化等の検討を行った。また、このような高効率・ワイドレンジ圧縮機では、軸受等の摺動部の信頼性と摺動損失低減、可動部の軽量化が技術課題となる。そこで、軸受部や固定スクロールと旋回スクロールの鏡板摺動部に DLC 膜 (Diamond-like Carbon) 等を採用して、その摺動部の信頼性向上と低摩擦化を図った。

一方、低負荷時(低速回転)には、モータ効率やインバータ効率が急激に低下すると言った問題があり、この問題を解決するために圧縮機の機械式容量制御の検討を行った。この機械式容量制御方法として、低速回転状態においてアンロード運転(注記 3)とフルロード運転(注記 4)の比率を電磁弁のデューティ制御を用いて変えることにより容量制御の範囲を拡大する方式の検討を行った。このような容量制御では、アンロード運転時の損失を小さくすること、並びにアンロード運転からフルロード運転に切替えた場合のモータ回転速度の安定化確保があり、これらが技術課題となる。また、一方で一般的に行われているモータ回転数制御にても、より高効率かつワイドレンジに駆動するための技術開発を行った。

現状の圧縮機の効率は図 2.1 に示す破線のような特性になっていると考えられる。上に記した研究開発内容により、図中の実線に示すような、定格負荷点での効率低下を抑制し、低負荷領域の効率が向上する特性をもつスクロール圧縮機の開発を図った。

(注記 3)…アンロード運転：圧縮機で吸入したガスを圧縮することなく吸入側に戻すことにより、吐出量をゼロにする。圧縮機は回転しているので機械損失が発生するものの、ガスの圧縮動力がないので、モータ入力小さくなる。

(注記 4)…フルロード運転：通常の運転状態であり、吸入したガスを圧縮してそのまま吐出する。

以下に開発項目を示す。

#### 「ヒートポンプシステムの研究開発」

- ①シミュレータ開発
- ②省エネ効果の評価
- ③ヒートポンプシステム試作
- ④ヒートポンプシステムの実証(ステップ 1 及びステップ 2)
- ⑨空調場に対する実使用条件の妥当性の評価
- ⑩ヒートポンプシステムの年間効率向上効果の検証

#### 「高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発」

- ⑤高速化、容量制御、効率予測、評価
- ⑥DLC 摺動特性要素試験、評価



- ⑦プロトタイプ機的设计、试作
- ⑧プロトタイプ機による効率の実証
- ⑪高効率・ワイドレンジモータ駆動技術開発

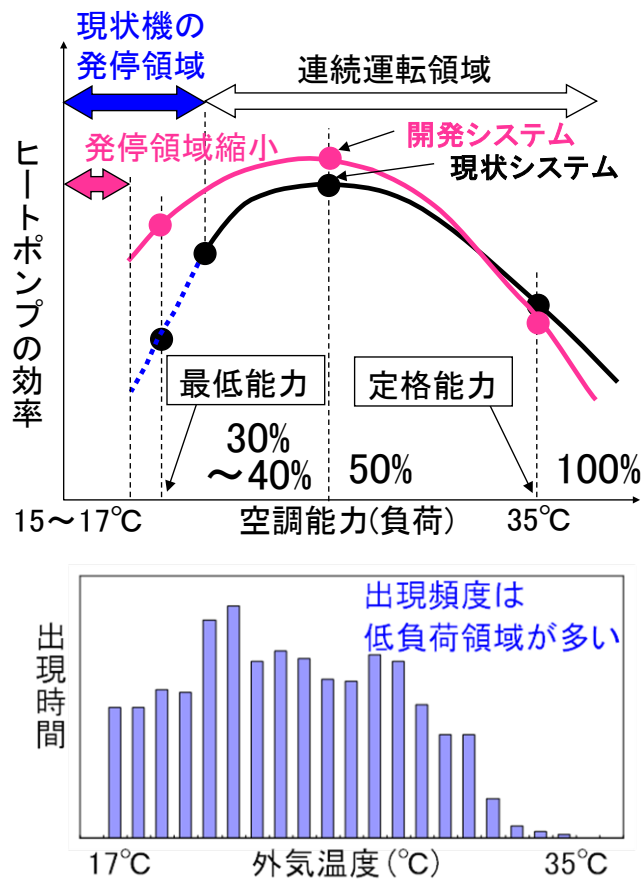


図 1.1 空調能力(外気温度)とヒートポンプの効率及び外気温度出現時間

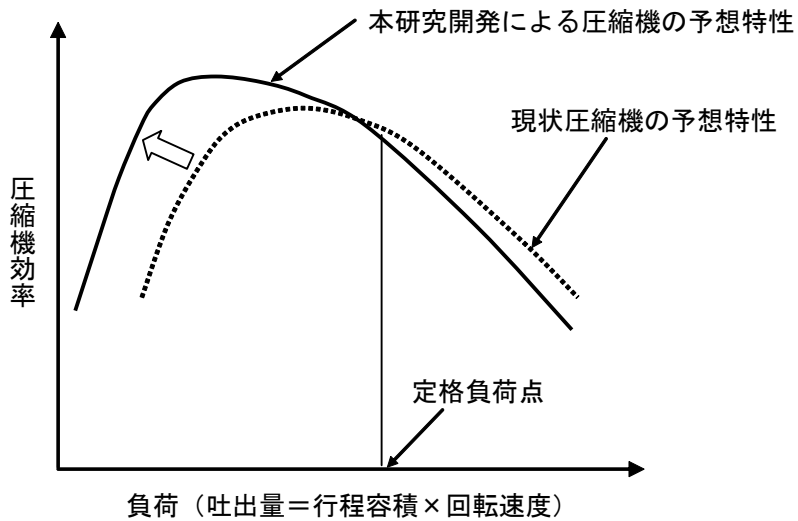


図 2.1 圧縮機効率の特性のイメージ

## 5. 研究開発成果

「ヒートポンプシステムの研究開発」では、以下6項目について研究開発を行った。

- ①シミュレータ開発
- ②省エネ効果の評価
- ③ヒートポンプシステム試作
- ④ヒートポンプシステムの実証(ステップ1及びステップ2)
- ⑨空調場に対する実使用条件の妥当性の評価
- ⑩ヒートポンプシステムの年間効率向上効果の検証

### ①シミュレータ開発

次世代型ヒートポンプシステムを構成するヒートポンプシステムについて効率向上を実施するために、各種シミュレータを開発した。

#### (ア)冷凍サイクルシミュレータ

低負荷時のヒートポンプの動的な動きを検討するため、熱交換器仕様、室内機と室外機を接続する配管長さや高低差、圧縮機容量や内臓タンク容量、冷媒量等のハードウェア仕様を入力し、圧縮機運転速度や送風機風量、膨張弁開度等の運転状態を入力すれば、ヒートポンプに各部の圧力や温度、冷房能力や消費電力の時間的変化を計算するシミュレータを開発した。

#### (イ)冷媒自然循環方式シミュレータ

熱交換器仕様、蒸発器と凝縮器を接続する配管の長さや高低差、送風機風量や封入冷媒量、室内外空気条件等を入力する事で、静的な冷房能力及び消費電力、COPを算出するシミュレータを開発した。

#### (ウ)簡易空調シミュレータ

空調場の熱容量や熱通過係数を予め計算して入力すれば、空調機の出力する冷媒、暖房能力に応じて空調場の室内温度を時系列に計算するシミュレータを開発し、(ア)の冷凍サイクルシミュレータと連動して作動するシステムとした。

#### (エ)適応コントローラの開発

空調負荷に関わる熱パラメータをオンラインで推定し、同時に操作量をヒートポンプ効率の良好な運転点に調整する適応制御コントローラを開発し、(ア)の冷凍サイクルシミュレータと組み合わせて作動するシミュレータを開発した。

### ②省エネ効果の評価

前記の各種シミュレータを用いて省エネ効果の評価を行った。提案した開発システムと現状システム(パッケージエアコン)に対し、東京の一般的な事務所における負荷において年間の消費電力がそれぞれどの程度になるかを計算した。事務所の床面積は 100m<sup>2</sup>、居住人員は 10 名とし、この空調場に対し、冷房定格能力 12.5kW(5HP相当)機が 2 台設置されていると仮定した。外気温度の発生頻度や冷房期間、暖房期間はJIS B8616 と同じとし、運転時間は朝 8 時から夜 20 時までとした。図 3.1 に空調負荷モデルを示す。

以上の負荷モデルに対して、開発システムと現状システムの年間運転効率を示したのが図 3.2 である。運転効率は、同じ空調負荷を発生させた場合、年間の消費電力量がどの程度になるかを計算して求めたものである。これにより、開発システムは現状システムと比較して、効率が年間 1.52 倍となった。また開発システムのそれぞれの寄与率は、高効率ワイドレンジ圧縮機で 16%、ヒートポンプシステムで 36%となった。

### ③ヒートポンプシステム試作

提案した開発システムの具体的な設計を開始し、ヒートポンプシステムの設計、試作を行った。

#### (ア)冷媒自然循環方式熱交換器設計、試作

ヒートポンプシステムでは、冷媒自然循環方式と蒸気圧縮方式を切替える方式としているため、熱交換器を別々の使用とする方法も考えられる。しかし、据付の利便性や今後事業化をする点も考慮し、共用する事とした。パス配列は図 4.1 に示す様に、冷媒自然循環方式における冷媒低循環を考慮して液冷媒が下方に流れる様にした。加えて、冷房運転時だけでなく暖房運転時にも配慮をし、年間で効率が良好となる設計とした。

#### (イ)蒸気圧縮方式と冷媒自然循環方式を組み合わせたヒートポンプの設計、試作

冷媒自然循環方式への切替時の冷媒供給・回収制御や、ユニット取扱い時の利便性を考慮して、図 4.2 に示す通り、共用とした。

蒸気圧縮方式⇔冷媒自然循環方式への切替え運転制御に関しては、冷媒自然循環方式への切替え負荷判断(切替要求)、冷媒自然循環方式へのヒートポンプ状態量判断(温度や圧力)、冷媒量調整操作をシリーズに実行する制御設計とした。

#### (ウ)適応制御コントローラの実機用制御設計

空調機の特性に合わせてチューニングする機構と、空調場の特性に合わせてチューニングする適応機構を採用する予定であったが、制御系の安定性を優先し、ヒートポンプ 1 次試作機では、空調機の特性を調整する機構のみを組み込んだ。図 4.3 にそのブロック線図を示す。

### ④ヒートポンプシステムの実証(ステップ 1 及びステップ 2)

表 4.1 現状システムの仕様

項目	冷房	暖房
システム容量(馬力)	5	5
定格能力 (kW)	12.5	14.0
定格COP	2.91	3.39
定格消費電力(kW)	4.30	4.13

ヒートポンプシステムの1次試作機と2次試作機を用いて、環境試験室における実証試験(ステップ1)及び実使用場所でのモニタ実証試験(ステップ2)を行った。

(ア)ステップ1

ヒートポンプシステムの1次試作機を用いて、環境試験室における実機検証を行った。表4.1に比較する現状システムの仕様を、表4.2に施工した配管条件を示す。環境試験室の室外側、室内側にそれぞれ開発したヒートポンプシステムの室外機と室内機を設置して、所定の空調負荷を発生させる。空調負荷は、②で仮定した東京の一般的な事務所を想定した。

表 4.2 ステップ1 実証試験での配管条件

項目	現状システム	開発システム
配管長(m)	5.0	5.0
高低差(m)	1.8 (室内機下)	1.8 (室内機下)

次に算出された空調負荷に対し、現状システムと開発システムを、それぞれ同じ条件で稼働させ、消費電力を計測した。どちらのシステムも、空調負荷に対して同等の能力を発揮する様に調整する事で、同じ快適度、発生能力の下で、消費電力を測定し、効率の比較が出来る。以上を、代表的な空調負荷に対して実施した。また代表的な空調負荷以外の負荷に対しては、全て試験データを取得

するには膨大な時間が掛かり効率的では無いため、数式を用いて近似した。また試験と計算の差異を確認した上で、シミュレーションを用いて補

表 4.3 現状システムに対する開発システムの効率向上率

開発/現状比	冷房期間	暖房期間	年間
シミュレーション	1.69	1.30	1.52
ステップ1試験	1.90	1.18	1.51

完了した。この様に、環境試験室での試験とシミュレーションを利用して、現状システムと開発システムの年間効率を算出し、比較した。これをステップ1の実証とする。図5.1から図5.4に現状システムと開発システムの試験結果を、また表4.3に年間の効率計算結果を示す。

これより、シミュレーションによる評価②では、開発システムは現状システムに対し、年間で1.52倍の効率となる結果であったが、ステップ1実証試験を行った結果、1.51倍となった。原因としては、冷房期間においては圧縮機の効率向上分とヒートポンプ制御により向上したが、暖房期間中の起動時効率が低下したためであり、年間ではほぼ計算と同じ効率向上率となった。

この後は、ステップ2実証試験において、制御のチューニングも含めて改善を図った。

(イ)ステップ2 実証試験

環境試験室での評価によって実証された現状システムと開発システムを、それぞれ実際に使用している事務所に据付けて実証した。但し、ステップ1での1次試作機は、ヒートポンプ要素部だけのものであり、電気部品の水浸入防止等、実使用に耐え得る物では無いため、新

たに 2 次試作機を製作した。また 2 次試作機においては、空調場の熱パラメータを推定して制御定数をチューニングする適応機構が組み込まれている。

2 次試作機を据え付ける事務所としては、札幌の国立大学法人北海道大学構内、及び静岡にある日立アプライアンス株式会社清水事業所内の事務所の二か所とした。この二か所に対して、現状システムと開発システムのセットをそれぞれ設営した。またステップ 1 と同じ様に、高低差をつけた。

また設置された 2 次試作機からは、外気による空調負荷と内部による空調負荷が共に異なるデータが取得出来るが、これらの 2 次試作機の試験結果の違いがどちらに起因するかが明確に出来ない。しかし、外気による空調負荷を固定すれば、内部空調負荷が異なる場合の試験結果の違いが明確化出来る。そこで、外気による空調負荷を同じとするため、加速資金を用いて、日立アプライアンス株式会社清水事業所内の異なる事務所にもう一台 2 次試作機を設置した(これを 2 次試作機(b)と表記し、先の 2 次試作機を(a)と表記する)。こうする事で、内部空調負荷が異なる場合に、試験結果がどう変化するかを実機検証した。

設営場所の具体的な場所は、札幌については国立大学法人北海道大学の工学部 D 棟にある共同実験室、静岡については日立アプライアンス清水事業所のシミュレーションルームとした。共同実験室は、熱負荷の多い実験装置が並び、シミュレーションルームは、ワークステーションやパソコンと言った OA 機器が並んでいる。これらの場所を選定したのは、次世代ヒートポンプが普及する 2030 年頃には、現在よりも更に OA 機器等の顕熱負荷が増え、共同実験室やシミュレーションルームの様な負荷となる事務所が多いと推定したためである。設置したモニタ機の場所と台数を表 5.1 に、計測期間を表 5.2 に示す。また代表して、札幌の設営状態を図 5.5 に示す。

表 5.1 ステップ2 実証試験モニタ機

		札幌 (北海道大学)	静岡 (日立アプライアンス)	
現状 システム	設営場所	共同実験室	シミュレーション ルーム	
	配管長	15m	15m	
	高低差	-1.7m (室内機上)	2m (室内機下)	
	台数	1台	1台	
	運転方法	24時間運転	24時間毎 交互運転	
開発 システム	設営場所	共同実験室	(a) シミュレー ション ルーム	(b) 事務所
	配管長	15m	15m	15m
	高低差	5m (室内機下)	2m (室内機下)	
	台数	1台	1台	1台
	運転方法	24時間運転	24時間毎 交互運転	使用時 運転

表 5.2 ステップ2 実証試験の計測期間

		札幌 (北海道大学)	静岡 (日立アプライアンス)	
現状 システム	設営場所	共同実験室	シミュレーション ルーム	
	計測期間	平成24年2月12日 ～平成25年1月5日	平成24年5月6日 ～平成25年1月5日	
開発 システム	設営場所	共同実験室	(a) シミュレー ション ルーム	(b) 事務所
	計測期間	平成24年2月12日 ～平成25年1月5日	平成24年5月6日 ～平成25年1月5日	

運転パターンの詳細は、空調負荷と空調システム能力との関係から、以下条件で運転する事とした。

(1) 国立大学法人北海道大学のケース

室内に各種実験機器があり、これらの機器が運転された場合、運転パターンは当初計画していた開発システムと現状システムの交互運転では空調システム冷房能力が不足する事から、

2 台同時運転とした。さらに、暖房時における外気低温時においても空調システム暖房能力が不足すると予想されたため、暖房時も開発システムと現状システムとの 2 台同時運転とした。

また、室内設定温度は 2 月～4 月においては居室者の自由設定とし、11 月以降は日立アプライアンス株式会社清水事業所(a)と同じ 24℃に一致させる事で外気温度等による空調負荷を把握出来るようにした。

### (2) 日立アプライアンス株式会社清水事業所(静岡(a)システム)のケース

室内にパソコン、ワークステーション、サーバ等の発熱機器が常に稼動しており、サーバ等の機器の使用条件を満足させるため、室内設定温度 24℃の年間冷房運転とした。

また、運転パターンは当初計画した通りの開発システムと現状システムの交互運転とし、外気温度が高温となり空調冷房能力が不足した場合においては 2 台同時運転を実施する事とした。

### (3) 日立アプライアンス株式会社清水事業所(静岡(b)システム)のケース

日立アプライアンス株式会社清水事業所(静岡(a)システム)で不足するデータを補完する事を目的として、運転計測するものである。

運転パターンは居室者の希望する運転モード(冷房/暖房)で運転し、勤務時間は空調運転を行い、帰宅時には空調を停止した。また、外気温度が上昇し空調負荷が増加したときは、既設の空調機を追加運転する事とした。

以上の運転条件で実証運転した結果を表 5.3 に記す。

表 5.3 ステップ 2 実証試験結果

設置場所	システム区分	運転モード	期間(開始～終了)	外気温度平均(°C)	室内温度平均(°C)	室内相対湿度平均(%)	SWオフ合計(h)	SWオン合計(h)	サーモオフ合計(h)	サーモオン合計(h)	能力合計(冷房/暖房)(MJ)	消費電力量合計(MJ)	SWオン平均(kW)	サーモオン平均(kW)	総合COP(ー)	総合COP現状比(ー)
札幌	現状	暖房	2/12～4/30	0.8	28.6	15.5	158	1,957	152	1,805	37,164	17,639	5.3	5.7	2.11	-
		冷房	6/1～10/20	23.6	23.7	60.9	1,023	2,249	1,152	1,097	36,100	8,672	4.5	9.1	4.16	-
		暖房	11/1～1/5	0.7	26.6	17.0	168	1,242	421	821	18,336	7,756	4.1	6.2	2.36	-
		合計(2012/2/12～2013/1/5)					1,349	5,448	1,725	3,723	91,600	34,067	4.7	6.8	2.69	1.00
	開発	暖房	2/12～4/30	2.4	30.2	14.8	127	1,443	19	1,424	17,297	5,284	3.3	3.4	3.27	-
		冷房	6/1～10/20	23.1	23.5	57.6	546	2,440	900	1,540	41,403	7,497	4.7	7.5	5.52	-
		暖房	11/1～1/5	-1.1	25.9	14.3	24	1,224	80	1,144	11,365	3,732	2.6	2.8	3.04	-
		合計(2012/2/12～2013/1/5)					697	5,107	999	4,108	70,065	16,513	3.8	4.7	4.24	1.58
静岡(a)	現状	冷房	5/6～1/5	22.8	23.2	47.6	3,267	2,360	465	1,895	49,891	13,289	5.9	7.3	3.75	1.00
	開発	冷房	5/6～1/5	23.0	24.5	45.0	2,694	2,734	256	2,478	51,367	8,195	5.2	5.8	6.27	1.67
静岡(b)	開発	冷房	5/6～11/13	26.7	25.6	51.8	3,076	946	4	942	23,978	5,777	7.0	7.1	4.15	-
		暖房	11/14～1/5	9.8	26.1	22.7	269	307	0	307	5,696	1,614	5.2	5.2	3.53	-
	合計(2012/5/6～2013/1/5)					3,345	1,253	4	1,249	29,674	7,391	6.6	6.6	4.02	-	

これより、ステップ 2 である実使用場所における実証試験では、負荷の違いや個体差を無



視した結果として、開発システムは、現状システムに対し、札幌においては年間 1.58 倍、静岡においては年間 1.67 倍となった。

「高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発」では、下記 5 項目について開発を行った。

- ⑤高速化、容量制御、効率予測、評価
  - ⑥DLC 摺動特性要素試験、評価
  - ⑦プロトタイプ機的设计、試作
  - ⑧プロトタイプ機による効率の実証
  - ⑩高効率・ワイドレンジモータ駆動技術開発
- 以下、項目ごとに研究開発成果をまとめる。

#### ⑤高速化、容量制御、効率予測、評価

次世代型ヒートポンプシステムに搭載するスクロール圧縮機について、その低負荷運転域における圧縮機効率の大幅な効率向上を図るためのスクロール圧縮機の基本仕様について机上検討するとともに、運転範囲等について検討した。

まず、現状機の効率特性を実測およびシミュレーションにて把握するとともに、図 6.1 に示すようなスクロールラップ諸元について、シミュレータを用いた最適化検討を行った。結果の一部を図 6.2 に示すが、この結果、低負荷運転域への対応のために、現状機の構造に対して行程容積を約 70%に減少する等の仕様を決定した。

更に、上記検討仕様に基づいて圧縮機効率シミュレータにより効率計算した結果を図 6.3 に示す。これにより、回転数 10rps 以下となる運転範囲にて圧縮機の効率を現状比 1.2 倍が実現可能となる予測結果を得た。

また、図 6.4 に示す電磁弁の ON-OFF による容量制御(バイパス容量制御)運転の効率特性を検討した結果、図 6.5 に示す効率特性を示すことが分かった。この結果より、バイパス容量制御では、圧縮機効率は低下するが、負荷比率 10%以下での運転が可能となる見込みが得られた。

#### ⑥DLC 摺動特性要素試験、評価

次世代型ヒートポンプシステムに搭載するスクロール圧縮機について、低負荷運転域における圧縮機効率の大幅な効率向上を図るため、図 7.1 に示すスクロール鏡板部及び滑り軸受を対象に、摺動損失低減効果が期待出来る DLC 処理の要素実験を実施した。

鏡板部を対象とした DLC 膜の摩擦特性を図 7.2 に示す。この結果、摩擦低減の大きな効果は確認できず、現行の化成処理と同等であることが分かった。このため、実機への適用を考える場合に、コスト面で有利な化成処理が最適な処理であることが分かった。

滑り軸受を対象とした DLC 膜の摩擦特性を図 7.3 に示す。DLC 膜では現行のものに対し、混合潤滑域(ゾンマーフェルト数：0.005)において摩擦係数を最大 1/2 に低減出来ることを明らかにした。図中に示した DLC 膜の水素含有量を図 7.4 に示すが、水素を含有する DLC が摩擦係数の低減効果が最も大きく、実機組込信頼性試験において、この DLC を処理した旋回軸には剥離・摩擦・線状傷等の損傷が発生しないことが分かり、信頼性を確保出来る見通し

が得られた。

#### ⑦プロトタイプ機的设计、試作

低負荷運転域における圧縮機効率の大幅な効率向上を図るため、現状機に対し 1.2 倍の効率向上、及び負荷比率 3%までの超低負荷運転の実現を目標に設定した次世代型ヒートポンプシステム用スクロール圧縮機について 1 次試作機の開発を行い、圧縮機単体での効率測定、シミュレーションとの比較評価、及びバイパス容量制御方式によるワイドレンジ化の検討を行った。

開発機の構造および外観を図 8.1 に示す。また、開発機の効率特性の実測結果を図 8.2 に示す。開発機の効率は負荷比率 50%以下の低負荷運転条件で現状機を大きく上回る効率を示すものの、負荷比率 50%以上の高負荷運転条件では現状機以下となる特性を示す。この結果より、負荷比率 10%での開発機の圧縮機効率は現状機実測値に対し 1.26 倍となり、目標である 1.2 倍以上の効率向上を達成した。また、開発機の効率測定結果は概ね予測計算結果の傾向に沿うものであったが、高回転数域では予測計算を下回り、低負荷域では予測計算を上回る結果が得られた。

また、図 8.3 に示す構造のバイパス容量制御の検討を行った。電磁弁を用いて圧縮室内のガスを吸込パイプに戻すバイパス容量制御方式にて、圧縮機の運転特性および効率について測定を行い、負荷比率 3%までの超低負荷運転が可能であることを確認した。結果を図 8.4 に示すが、バイパス容量制御での圧縮機効率についてはシミュレーション及び実測にて検討を行い、モータ回転数制御に比べ効率の低下が大きいことを明らかにした。また、開発機の圧縮機効率は負荷比率 50%以下の低負荷運転条件ではバイパス容量制御を用いた場合でも現状機を上回る効率を示す結果が得られた。

#### ⑧プロトタイプ機による効率の実証

ヒートポンプシステムでの低負荷運転域における更なる効率向上を図るため、次世代型ヒートポンプシステム用スクロール圧縮機について、モータ巻数を変更、中間室への圧力導入方式の変更、容量制御バイパス通路の容積縮小等の変更を行った 2 次試作機の試作を行い、効率測定及びシミュレーションとの比較評価を行った。

図 9.1 に 2 次試作機の構造を示す。2 次試作機では低速域での効率が高い巻線仕様モータへの変更等により、低負荷域での効率が更に向上した。図 9.2 に 2 次試作機の効率特性を示す。(a)は次項で説明する極低速ワイドレンジ駆動インバータを用いた場合であり、負荷比率 50%以下の低負荷領域での圧縮機効率は 1 次試作機に対し約 2%向上した。また、目標である 10%負荷条件での効率は 1.27 倍の向上を達成した。また、極低速ワイドレンジ駆動インバータを用いたモータ回転数制御により、最低回転数 4rps での運転を実現した。これにより先に説明した機械式バイパス容量制御と、いずれの方式でも負荷比率 3%条件までの超低負荷運転が可能であることを確認した。

一方、(b)はバイパス容量制御運転時の効率特性を示す。10rps 以下の領域ではモータ回転数制御に比べ、機械式バイパス容量制御では効率の低下が大きいことが確認された。

#### ⑩高効率・ワイドレンジモータ駆動技術開発

高効率・ワイドレンジモータ駆動技術開発では、圧縮機モータのワイドレンジ駆動を実現するために、極低速位置センサレス制御と、高速高負荷対応昇圧回路等の検討を行った。図 10.1 に試作したモータ駆動装置回路構成を示す。

磁気飽和起電圧利用型の位置センサレス制御をベースにして、位相・速度検出処理と速度制御系を検討し、試作圧縮機で回転速度が 3rps(要求目標 4rps)までの安定駆動を実現した。

DC/DC 変換器を用いた昇圧回路で、昇圧型インバータ装置の実機検証を行い、昇圧目標(電圧：280V～380V、最大出力 7kW)を達成し、圧縮機的高速側では現状機に比べ約 1.4 倍(100rps→140rps)の高速駆動を実現した。また、表 10.1 に示すように、昇圧動作しない場合、従来インバータ並みの回路効率を実現し、低速域での効率が高い巻線仕様モータを使用することにより、圧縮機の高効率運転を実現した。

表 10.1 モータ駆動装置(昇圧回路とインバータ)の回路効率測定

番号	昇圧回路動作	負荷条件	回路効率	備考
1	停止	冷房定格条件	97.1%	現状機同等性能
2	昇圧(出力 370V)	最大負荷(6kW)	95.4%	モータ効率アップ

「ヒートポンプシステムの研究開発」における実施内容の続きと結果を記す。

#### ⑨空調場に対する実使用条件の妥当性の評価

前記④においてステップ2実証試験を実施したが、

(ア)計測年度における外気温度条件が平年外気温度条件レベルとなっているか

(イ)空調場の実使用条件が一般事務所想定負荷レベルとなっているか

(ウ)供試システムの性能バラツキが適正か

(エ)空調場の面積が適切か

について検討を加え、妥当性の評価を実施した。

まず、計測年の外気温度に関しては、気象庁年報データ(1991年～1998年)の平均値を平年外気条件として評価した。

次に、一般事務所想定負荷に関しては、一般社団法人公共建築協会平成21年度発行の建築設備設計基準に基づき、実証試験を行った空調場の建築仕様・実証試験時の内部負荷等を入力し、計測された空調負荷とほぼ一致する事を確認後、一般事務所に装備されていないサーバ等の内部負荷を除外して求めたもので評価した。

また、供試システムの性能のバラツキに関しては、開発システム3セット、現状システム2セットであるため、開発システム/現状システムの各々のCOP(成績係数)特性の平均値を求め、本平均COP特性で運転したときの値を比較する事で評価した。最後に、ステップ2実証試験における空調場の面積に関しては、札幌システム、静岡(a)システムとも図3.1の床面積と同じ100m<sup>2</sup>の場所に現状システム、開発システムの各1台設置し、ステップ1との比較が出来るようにした。静岡(b)システムは、計測データの補完を目的とし、既設空調機と併用運転可能な空調場に設置し運転する事とした。

ここで、一般事務所の想定地域として札幌、静岡(a)以外に東京、那覇(a)を加える事とした。システム空調能力が最大空調負荷より約5%上回る程度に空調場の床面積を調整し、極力ヒートポンプシステムの年間効率向上効果の検証に影響を与えないように配慮した。

また、静岡(b)、那覇(b)においては、冷房、暖房時の設定温度の変更による影響の程度を把握出来るような選定とした。

以上の事を纏めて表11.1空調場一覧表に記す。

札幌におけるステップ2実証試験計測年と一般事務所想定平年とにおける外気出現時間比較を行うと、計測年における冷房外気温度のピークが平年20℃から24℃まで4℃上昇しており、ピークの出現時間も平年141時間から246時間と1.7倍以上と暑い夏となっていた。一方、計測年における暖房外気温度のピークは平年1℃から0℃まで低下しており、出現時間全体も低温側に2℃程度低下の傾向でピーク出現時間も平年148時間から304時間と2倍以上寒い冬となっていた。

この結果、空調負荷が計測年において過大となっている事から、この点を考慮してヒートポンプシステムの年間効率向上を再評価する必要がある。

表 11.1 空調場一覧表

地域 (システム)	用途	シス テム (台数)	設定室内温度		空調 床面積 (m <sup>2</sup> )	備考
			冷房 (°C)	暖房 (°C)		
札幌	共同実験室	2	24	24	100	既設設備と併用暖房運転
	一般事務所 想定	1	26	22	115	空調時刻、休日設定、外気条件、 左記以外は上記条件と同一
静岡 (a)	シミュレー ションルーム	2	24	—	100	年間冷房負荷
	一般事務所 想定	1	26	22	80	空調時刻、休日設定、外気条件、 左記以外は上記条件と同一
東京	一般事務所 想定	1	26	22	80	平年外気条件以外は 静岡(a)と同一
静岡(b)	事務所	1	28	20	80	冷房外気 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 、暖房外気 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 既設設備と併用空調運転
	一般事務所 想定	1	28	20	80	空調時刻、休日設定、外気条件、 既設設備併用空調運転以外は 静岡(b)と同一
那覇 (a)	一般事務所 想定	1	26	22	100	外気条件、左記以外は 静岡(a)と同一
那覇 (b)	一般事務所 想定	1	28	20	80	外気条件以外は 静岡(b)条件と同一

静岡(a)におけるステップ 2 実証試験計測年と一般事務所想定平年とにおける外気出現時間比較を行うと、計測年における冷房外気温度のピークが平年 24°Cから 26°Cまで 2°C上昇しており、ピークの出現時間は平年 154 時間から 172 時間と 1.1 倍で全体が 1°C程度暑い夏となっている。一方、内部負荷が年間冷房負荷のため、暖房負荷については静岡(b)システムに準じて妥当性を評価する事とする。

従って、静岡(a)システムにおける冷房空調負荷は、冷房に関しては概略近似しているものの、静岡(b)システムに準じて暖房空調負荷を想定し、ヒートポンプシステムの年間効率向上を再評価する必要がある。

静岡(b)のステップ 2 実証試験計測年と一般事務所想定平年とにおける外気出現時間比較を行うと、冷房の傾向は静岡(a)システムと同様に平年より 2°C~4°C程度上昇しているが、冷房運転時間が少ない事から外気出現時間が平年合計 1820 時間に対し 776 時間と 40%程度となっている。また、暖房の傾向は計測年と平年が類似の傾向となっているものの、冷房同様暖房運転時間が少ない事から、外気出現時間が平年合計 1820 時間に対し 378 時間と 20%程度となっている。

この結果、静岡(b)システムにおける空調負荷は計測年において過小となっている事から、この点を考慮してヒートポンプシステムの年間効率向上を再評価する必要がある。以上より、(1)外気温度条件を平年並み外気温度として再評価する。(2)空調場に対する実使用条件として空調場面積の適正化を図り、一般事務所想定負荷として再評価する。(3)供試システムの COP 特性を平均化し、再評価する。という追加検討が必要である事が分かった。

#### ⑩ヒートポンプシステムの年間効率向上効果の検証

⑨の妥当性評価に基づき、(ア)外気温度条件、(イ)空調負荷条件(空調場面積の適正化等含む)、(ウ)供試システム性能バラツキ、(エ)空調場面積条件の適正化を図り、計画時目標の東京、静岡地区におけるヒートポンプシステムの年間効率向上効果(総合 COP 現状比)1.5倍が達成されているかどうかの検証を行った。

地域別ヒートポンプシステムの年間効率向上効果の比較検討結果を表 12.1 に示す。

表 12.1 年間総合 COP 一覧表(その 1)

地区	システム	総合 COP			
		冷房	暖房	年間	現状比(—)
札幌	現状システム	2.41	2.16	2.21	—
	開発システム	5.25	3.28	3.57	1.62
静岡 (a)	現状システム	3.63	2.37	3.03	—
	開発システム	5.50	3.80	4.71	1.56
東京	現状システム	3.55	2.38	2.96	—
	開発システム	5.41	3.75	4.59	1.55
那覇 (a)	現状システム	3.55	2.59	3.50	—
	開発システム	5.37	4.16	5.32	1.52

表 12.1 に記す通り静岡(a)、東京において、開発システムのヒートポンプの年間効率向上効果(総合 COP 現状比)は 1.5 倍をクリアしている。札幌、那覇(a)を含めてもヒートポンプの年間効率向上効果(総合 COP 現状比)は 1.5 倍以上となった。東京の一般事務所では 1.55 倍となった。

表 12.1 は冷房設定温度 26℃、暖房設定温度 22℃と快適性優先の温度設定であったが、次に冷房設定温度 28℃、暖房設定温度 20℃の省エネ性優先として運転比較した。ここで、那覇(b)における空調床面積を静岡(b)と同一とする事で、那覇(a)に対し空調床面積を 20%縮減したときの影響をも評価出来るようにした。

以上を纏めたものを表 12.2 に示す。

表 12.2 年間総合 COP 一覧表(その 2)

地区	システム	総合 COP			
		冷房	暖房	年間	現状比(－)
静岡 (b)	現状システム	3.81	2.25	3.08	—
	開発システム	5.72	3.72	4.83	1.57
那覇 (b)	現状システム	3.92	2.33	3.86	—
	開発システム	5.99	3.95	5.93	1.53

更に札幌システムと静岡(a)システムの開発システムにおいて、冷媒自然循環方式を作動させた場合と作動させない場合とにおける冷房年間効率向上効果について比較検討した結果を、表 12.3 に示す。

表 12.3 冷媒自然循環方式作動による年間効率向上効果

地区	システム	冷媒自然 循環方式	総合 COP			
			冷房	暖房	年間	現状比(－)
札幌	現状システム	なし	2.41	2.16	2.21	—
	開発システム	なし	5.17	3.28	3.56	1.61
		作動	5.25	3.28	3.57	1.62
静岡 (a)	現状システム	なし	3.63	2.37	3.03	—
	開発システム	なし	5.48	3.80	4.70	1.55
		作動	5.50	3.80	4.71	1.56

表 12.3 より冷媒自然循環方式作動による高効率運転を確認出来たが、  
 (ア) 開発システムによる低負荷運転時の圧縮機効率向上効果により冷媒自然循環方式時の効率差の縮減  
 (イ) 一般事務所想定負荷のケースにおいて冷媒自然循環方式運転時間が少なく、年間におけるエネルギー消費量が少ない  
 等のため、表 12.3 に記すように総合 COP 現状比の差で 0.01 程度のアップに止まったものと推定する。

また⑪で記した高効率ワイドレンジモータ駆動インバータと⑧で記す 2 次試作圧縮機を組み合わせたときの圧縮効率等は⑧で述べた通り実測済みである。この結果を開発システムに反映させたときの年間効率向上効果について表 12.4 に示す。



表 12.4 年間総合 COP 一覧表(その 3)

地区	システム	総合 COP			
		冷房	暖房	年間	現状比(—)
札幌	現状システム	2.41	2.16	2.21	—
	開発システム	5.32	3.60	3.87	1.75
静岡 (a)	現状システム	3.63	2.37	3.03	—
	開発システム	5.41	4.22	4.90	1.62
静岡 (b)	現状システム	3.81	2.25	3.08	—
	開発システム	5.71	3.95	4.96	1.61
東京	現状システム	3.55	2.38	2.96	—
	開発システム	5.31	4.26	4.83	1.63
那覇 (a)	現状システム	3.55	2.59	3.50	—
	開発システム	5.28	4.47	5.24	1.50
那覇 (b)	現状システム	3.92	2.33	3.86	—
	開発システム	6.06	3.82	5.98	1.55

以上のように、表 12.1、表 12.2 と表 12.4 とを比較する通り、那覇以外において高効率ワイドレンジモータ駆動インバータと 2 次試作圧縮機を組み合わせ搭載する事により、総合 COP 現状比の差が 0.04~0.13 程度アップする見通しが得られた。

全体計画（研究項目）	目標（値）	成果詳細
現状システム比 1.5倍の効率を有する、ワイドレンジ圧縮機及び制御システムを搭載するヒートポンプシステムの開発	実機検証で年間を通したヒートポンプシステム全体での効率が現状システムの1.5倍	負荷に応じ蒸気圧縮方式と自然循環方式を切り替える事で、現状システムに対し <ul style="list-style-type: none"> <li>・ステップ1試験： 1.51倍</li> <li>・ステップ2試験： 1.58倍(札幌)</li> <li>1.67倍(静岡)</li> <li>1.55倍(東京推定)</li> </ul> の効率を達成
個別研究項目	目標（値）	成果詳細
(1) ヒートポンプシステムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸気圧縮方式と自然循環方式を組合わせたヒートポンプシステムの開発</li> <li>・適応制御の採用</li> <li>・φ5細径室内熱交換器の採用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸気圧縮方式と自然循環方式を共用したヒートポンプシステムの開発 →達成</li> <li>・適応制御の採用 →達成</li> <li>・φ5細径室内熱交換器の採用 →達成</li> </ul>
(2) 高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率1.2倍</li> <li>・負荷比率3～100%運転</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・負荷比率10%条件にて効率1.26倍 →達成</li> <li>・機械式容量制御で3～100%運転実現 →達成</li> </ul>

内部発熱

- ・ 人員 : 10 名
- ・ 照明 : 1.2 (kW)
- ・ 機器 : 1.4 (kW)

壁熱容量 : 53.8 (kJ/m<sup>3</sup>K)

熱通過率

- ・ 外壁 : 0.46 (W/m<sup>2</sup>K)
- ・ 内壁 : 1.35 (W/m<sup>2</sup>K)

添付図

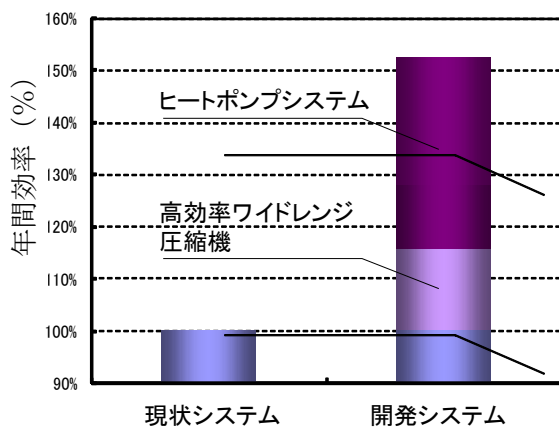
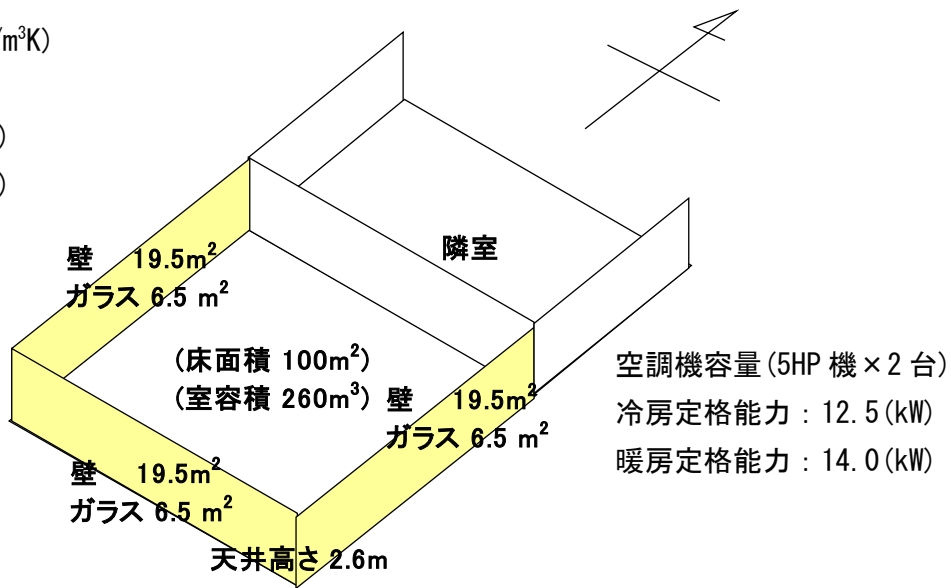
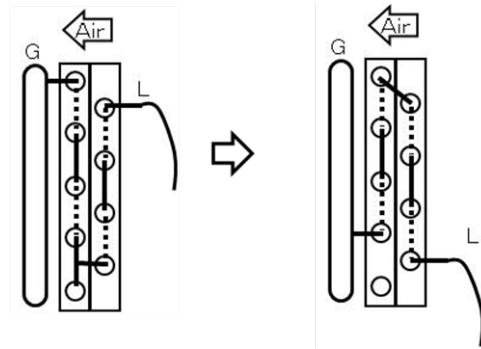


図 3.2 現状システムと開発システムの年間効率



蒸気圧縮方式      冷媒自然循環方式

図 4.1 冷媒自然循環方式熱交換器

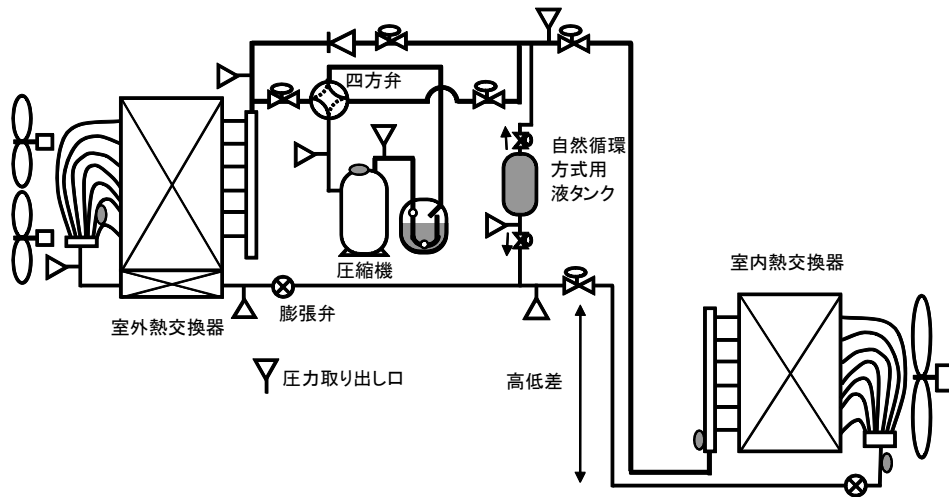


図 4.2 蒸気圧縮方式と冷媒自然循環方式を組み合わせたヒートポンプ

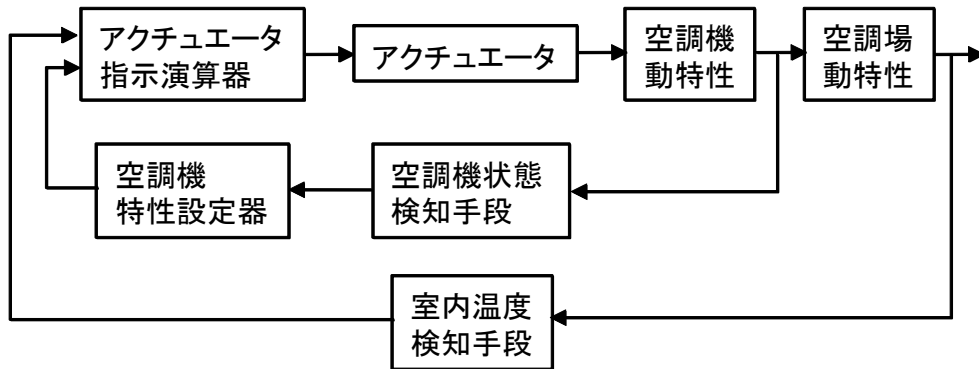


図 4.3 適応制御コントローラ

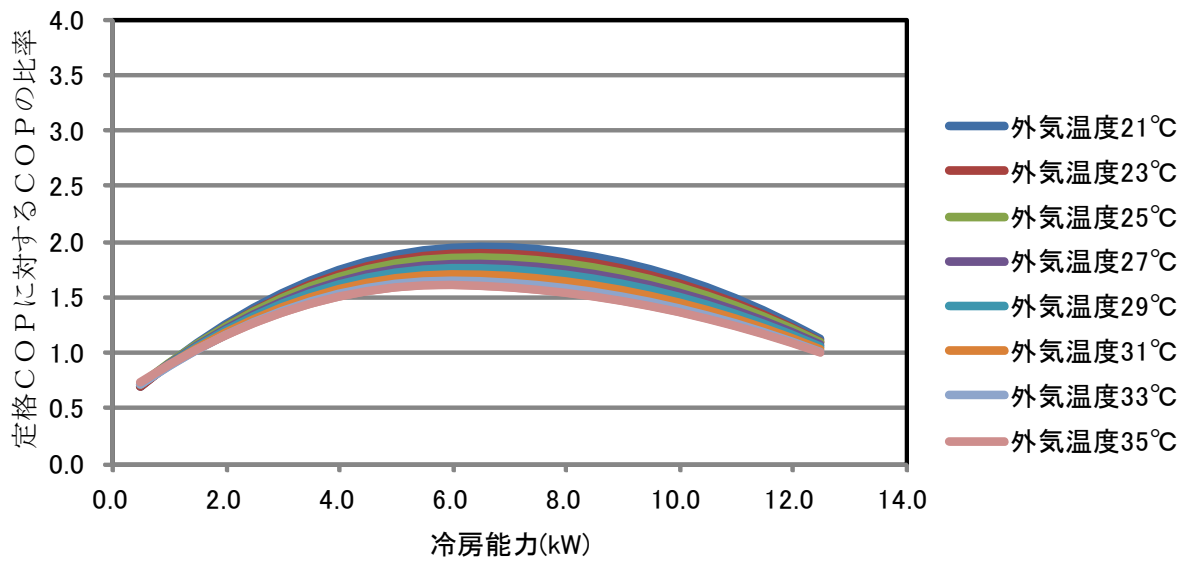


図 5.1 現状システムの冷房 COP の変化

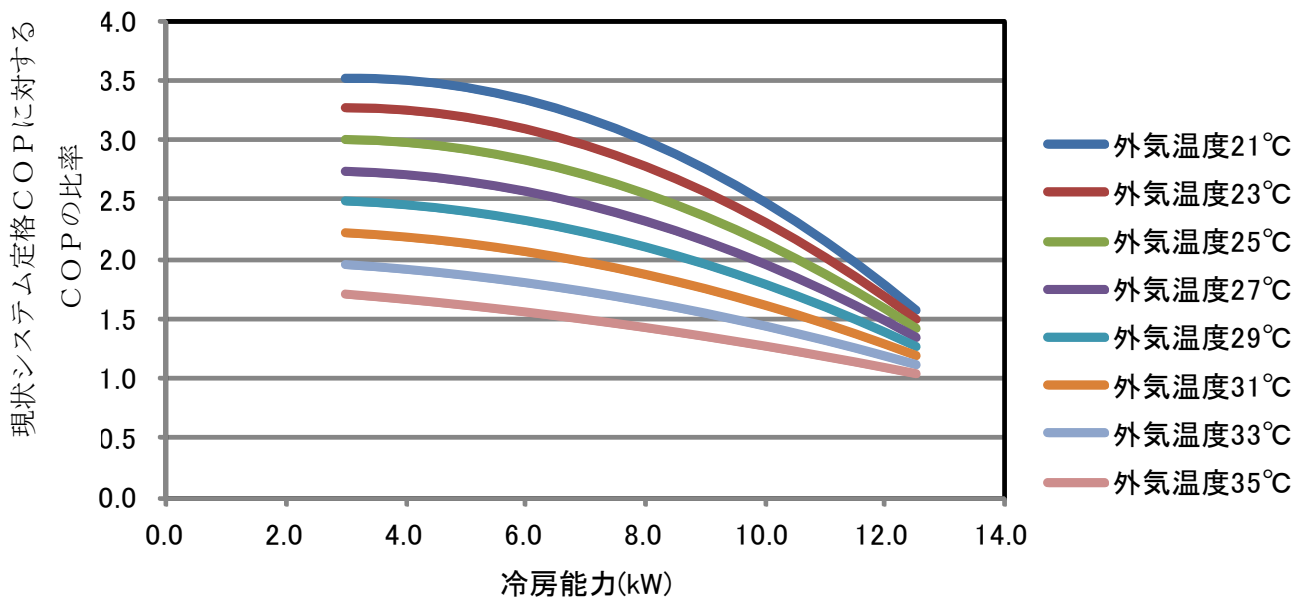


図 5.2 開発システムの冷房 COP の変化

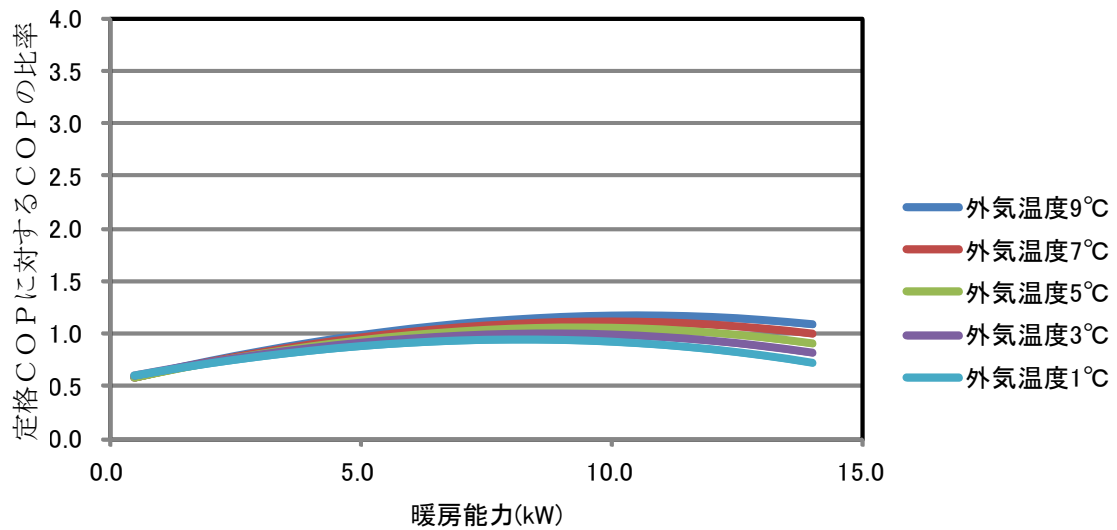


図 5.3 現状システムの暖房 COP の変化

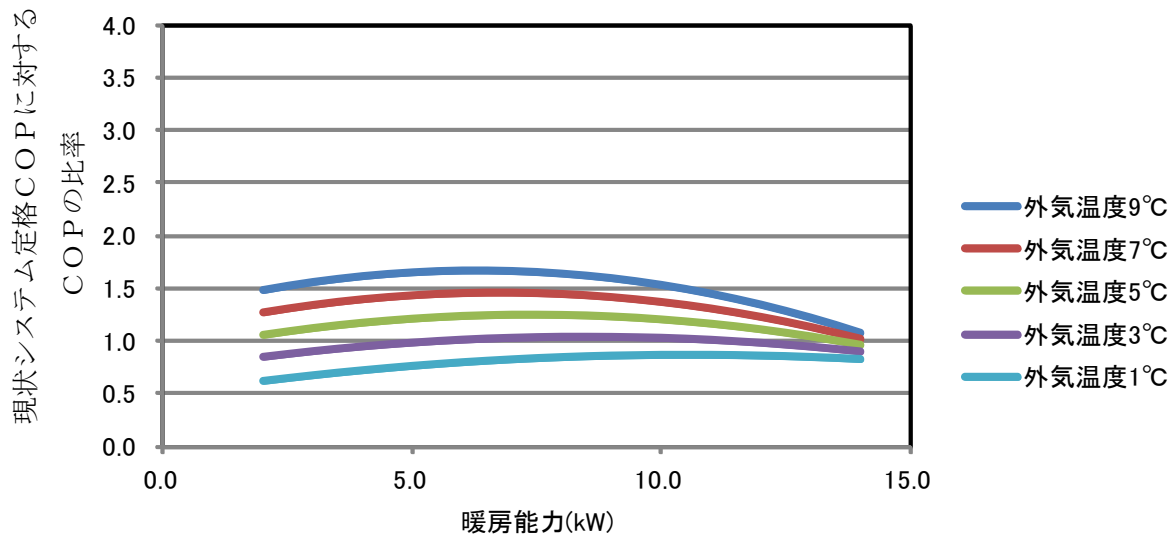


図 5.4 開発システムの暖房 COP の変化



札幌 現状システム 室外機



札幌 現状システム 室内機



札幌 開発システム 室外機



札幌 開発システム 室内機

図 5.5 札幌の設営状況

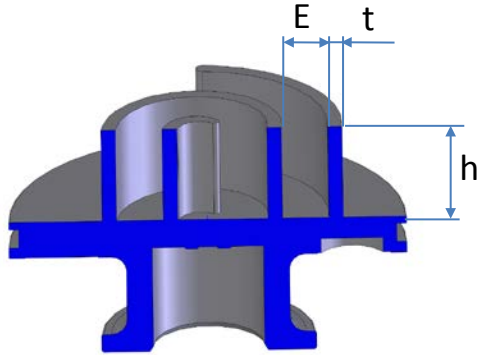


図 6.1 最適化設計パラメータ

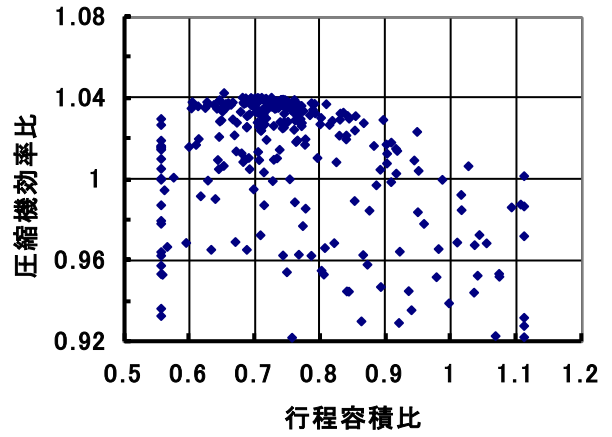


図 6.2 行程容積と圧縮機効率の関係

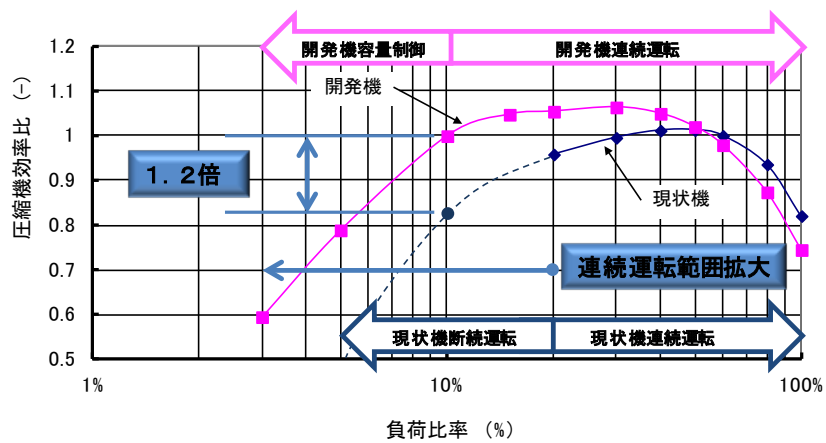
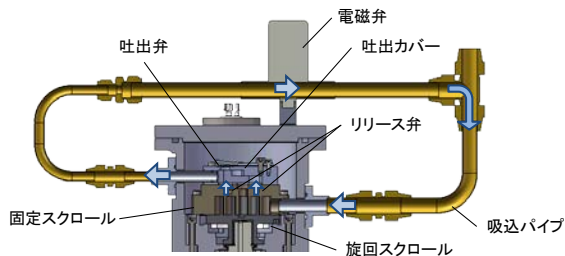


図 6.3 現状機及び開発機の圧縮機効率予測結果





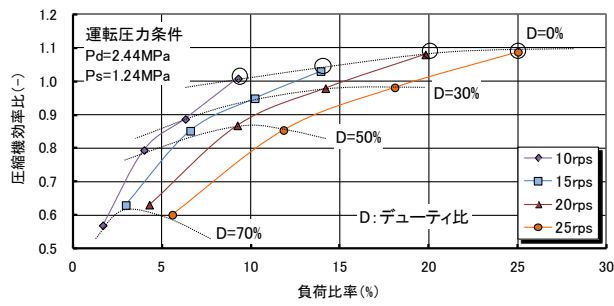


図 6.4 バイパス容量制御構造 図 6.5 容量制御時の圧縮機効率特性(計算値)

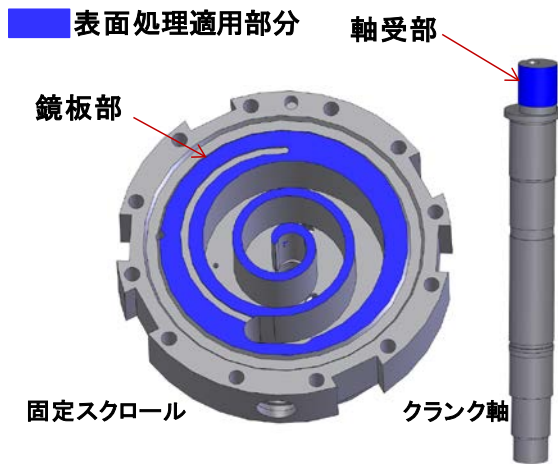


図 7.1 圧縮機摺動部への表面処理適用部分

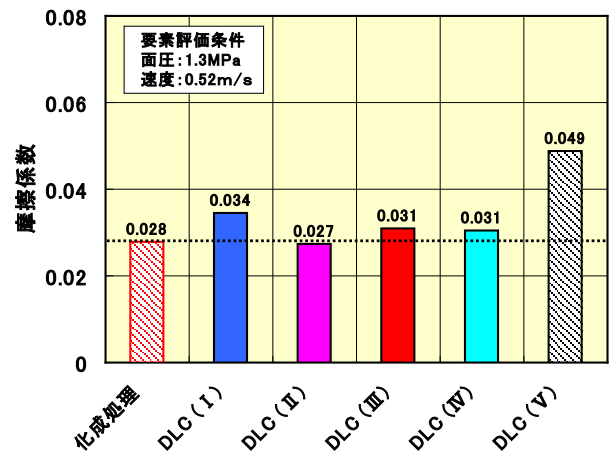


図 7.2 DLC 処理の摩擦特性

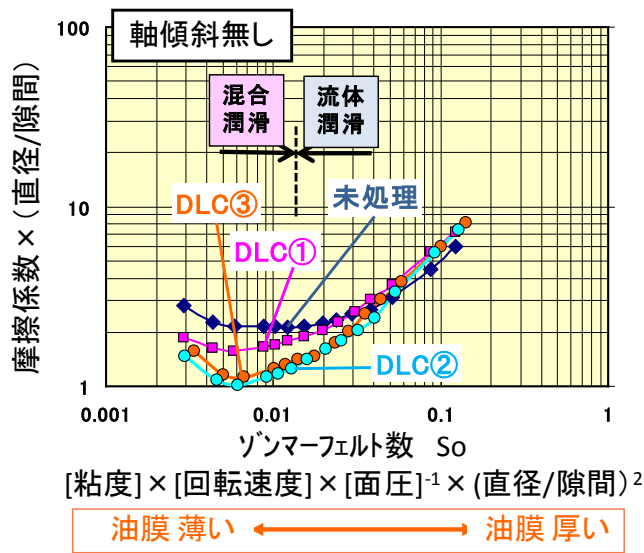


図 7.3 DLC 膜による軸受特性

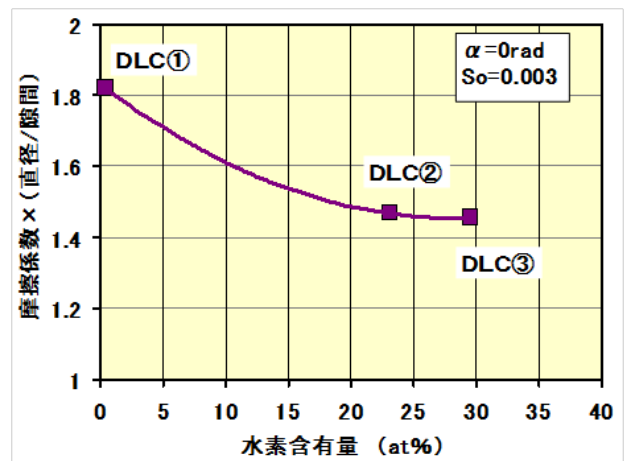


図 7.4 DLC 膜の水素含有量と摩擦係数

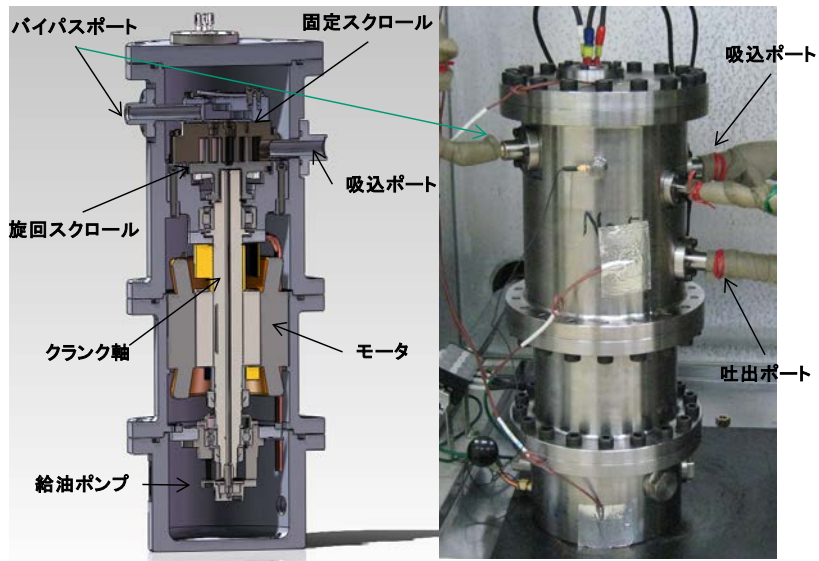


図 8.1 1次試作機の構造及び外観

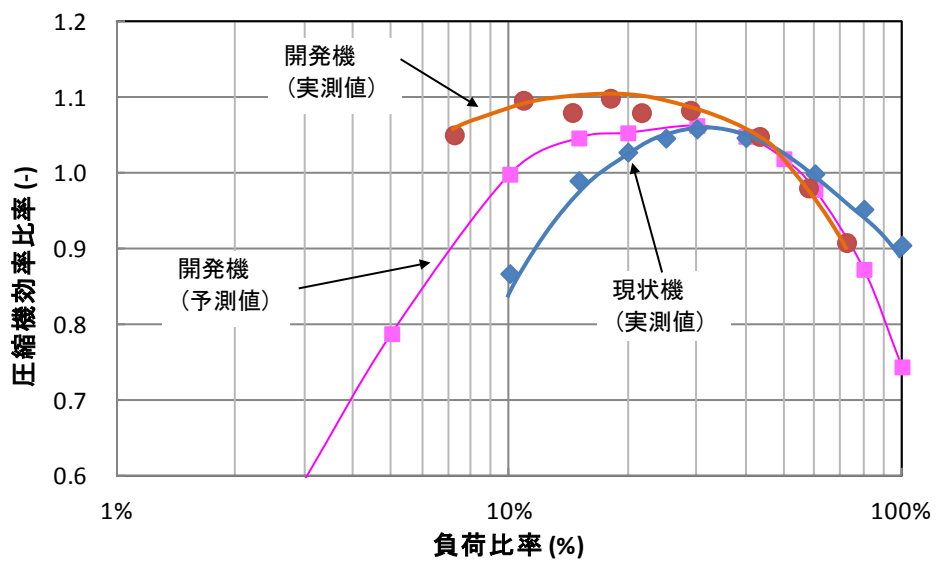


図 8.2 現状機及び開発機の圧縮機効率測定結果

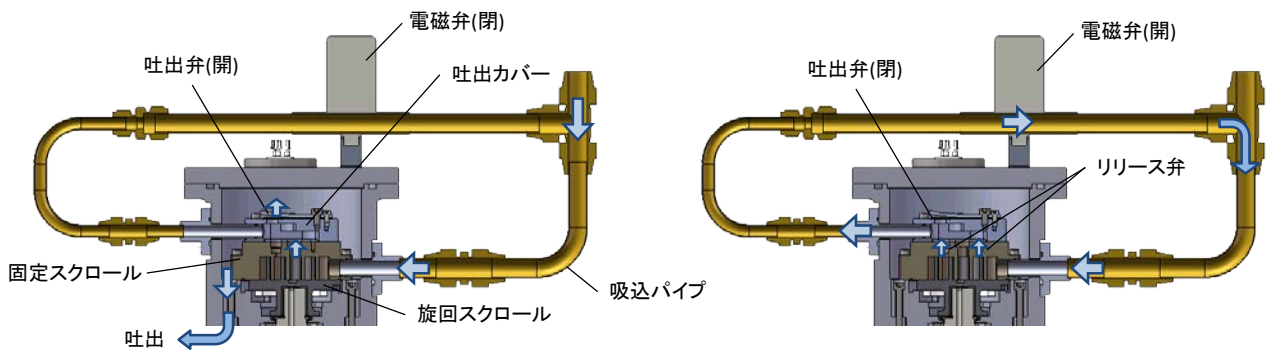


図 8.3 バイパス容量制御の構造とガスの流れ

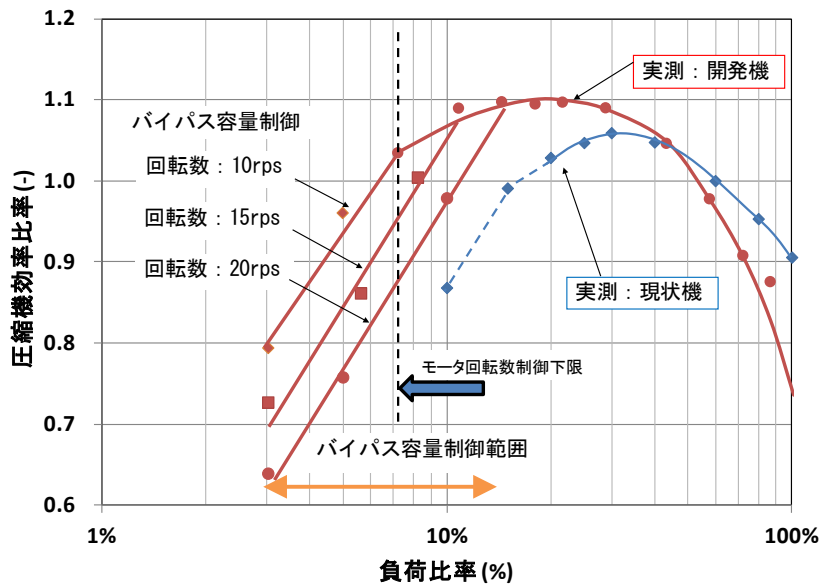


図 8.4 現状機及び開発機の圧縮機効率測定結果

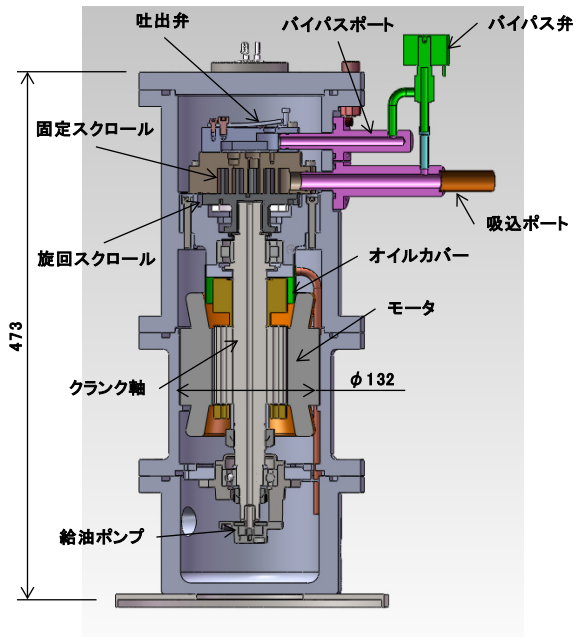
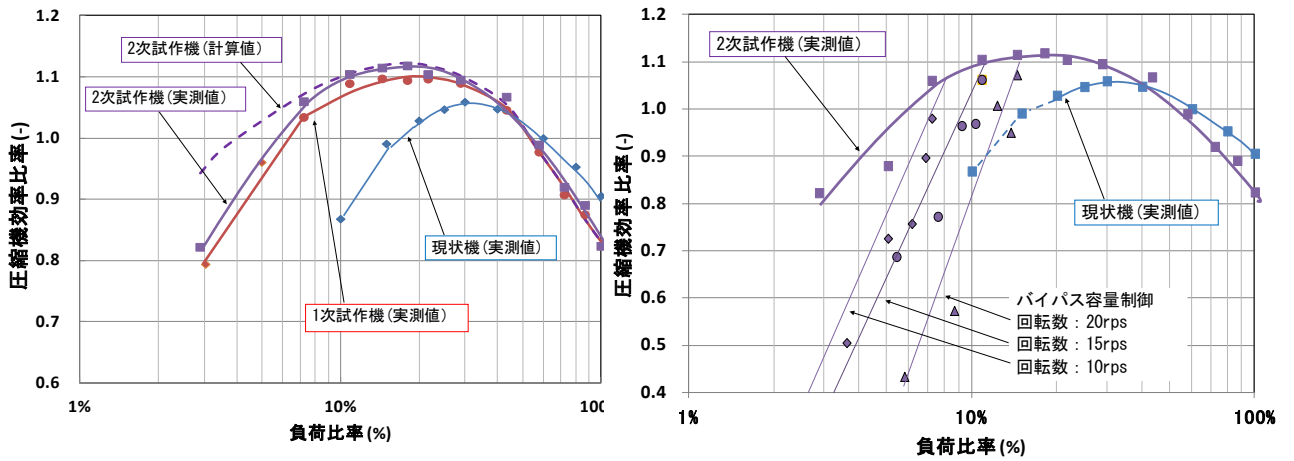


図 9.1 開発機(2次試作機)の構造



(a) 極低速ワイドレンジモータ駆動方式

(b) バイパス容量制御方式

図 9.2 圧縮機効率測定結果

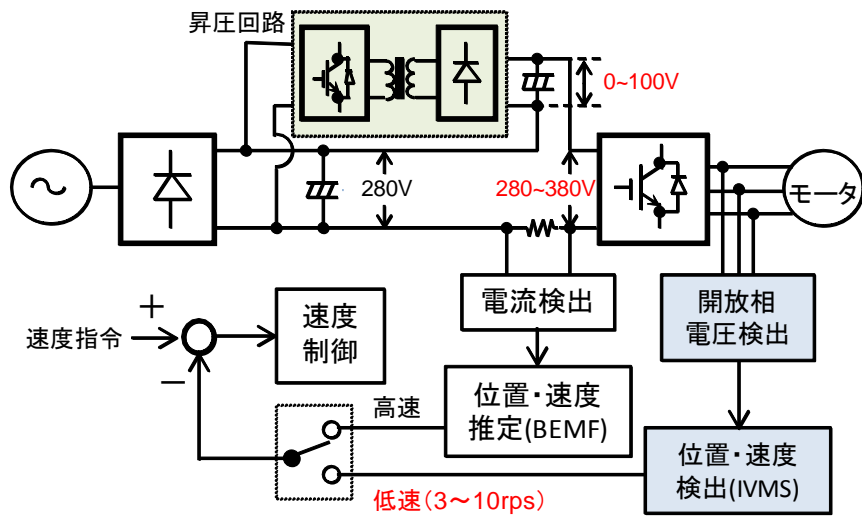


図 10.1 試作モータ駆動装置回路構成

付表

研究項目 \ 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	備考
①シミュレータの開発	机上検討で開発システムの年間効率が現状システムの	—	—	
②省エネ効果の評価	1.5 倍	—	—	
③ヒートポンプシステム試作	—	環境試験室での実機試験で開発システムの年間効率が	実機検証で、開発システムの年間効率が現状システムの	
④ヒートポンプシステムの実証	● —	現状システムの 1.5 倍	の 1.5 倍	
⑤高速化、容量制御	机上検討及び要素試験で低負荷領域にて現状圧縮機の	—	—	
⑥DLC 摺動特性評価	1.2 倍	圧縮機試験装置で効率向上 1.2 倍を実現する設計条件の確立、試作	—	
⑦プロトタイプ試作	—	—	—	
⑧プロトタイプ実証	—	—	システム組込み試験で年間効率 1.5 倍	
⑨ワイドレンジモータ駆動技術開発	—	—	—	
				総計(百円)
総研究開発費(百円)	38,773,0 百円	109,982,0 百円	105,031,0 百円	253,787,0 百円

## 2.4 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発

### 1. テーマの目的（必要性）

ヒートポンプシステムの普及展開を推進していくためには、高効率化に加えて、経済性に優れ、適用可能地域が大きいシステムを開発することが重要と考えられる。そこで本研究では、地下水を循環利用して、地下水熱を熱源としたヒートポンプと二次側空調システムを有機的に結合し、システム全体として高効率化すると共に、経済性および適用性に優れた地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムを開発する。また、本システムの長期連続運転を可能にすることも目的とする。なお開発に際しては、新規性の高いヒートポンプの開発も視野に入れているが、このような特殊機器の将来的なコストダウンも普及展開に影響するため留意して開発を進める必要がある。

### 2. テーマの要旨

適用対象は“業務用”，利用熱源は“地下水熱(地下水循環利用)”とした研究開発を行う。高効率化は，地下水制御，2次側空調システム制御およびヒートポンプ性能向上の3項目で目標達成を目指す。また，長期安定運転を目的とした水質制御による目詰まり防止等も研究開発する。これら，基盤技術は実機で実証する。更に，商用ベースの実機的设计を行って性能・経済性を検討する。最終目標は，高効率化，連続運転性及び経済性で設定しており，高効率化は従来システムの1.7倍以上とした。終了時に目標を達成した。

### 3. テーマの目標

本提案テーマは，熱源が“地下水熱”，適用対象が“業務用”であり，高効率化の比較対象とする現状システムは，現在，床面積が数百㎡から数万㎡の事務所ビルにおいて最も普及している「空気熱源ヒートポンプによるビルマル式空調システム」である。

最終目標は以下の三項目である。

#### (A) 高効率化：

実証実験で，従来のシステム1.7倍以上の高効率化性能を実証すること

#### (B) 水質制御技術：

実証実験にて，6ヶ月間に目詰まり発生がないことを実証すること  
実証実験にて，6ヶ月間にヒートポンプへの悪影響がないことを実証すること

#### (C) 商用実機の性能・経済性：

商用実機で従来のシステム1.7倍以上の高効率化性能が可能なこと  
商用実機で単純回収年数が10年以内であること



全体目標	最終目標(値)	現状レベル
地下水制御型高効率 HP 空調システムの開発	従来システムに比べ、1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率 HP 空調システムの実現	未達成
研究課題目標	最終目標(値)	現状レベル
水質制御技術の開発	目づまり防止を確実にできる技術レベルに達成していることを明示 (6月以上の目詰まりの発生がない状況)	室内実験で可能性が確認
実証実験による基盤技術の実証	実証実験機的设计・運転による環境性能 1.5 倍の達成	簡易シミュレーションで可能性が把握される
商用実機の性能・経済性検討	現状システムの 1.7 倍及び単純回収年数が10年以内を明示	未達成

#### 4. テーマの計画、研究内容

以下、「研究開発の対象とするヒートポンプシステム」、「研究開発提案テーマの概要」、「個別技術課題の研究開発内容」の順に研究開発内容を具体的に記述する。

##### 【研究開発の対象とするヒートポンプシステム】

ヒートポンプシステムの適用対象は“業務用”とし、比較対象とする現状システムは、現在、床面積が数百㎡から数万㎡の事務所ビルにおいて最も普及している「空気熱源ヒートポンプによるビルマル式空調システム」を想定する。

利用する熱源については、地表水熱、地中熱および地下水熱以外に、代表的な未利用熱として、下水熱と太陽熱がある。ここでは、これらの熱源を、「システムの高効率化寄与への可能性」、「普及のための経済性の確保の可能性」、「適用地域の大きさ」、を評価項目として、表-1に纏めた。また、熱源の利用方法として複数熱源を活用する方法も考えられるが、全体システムが複雑化して高効率化・経済性・適用範囲のいずれかがマイナスになる場合を想定し、単一熱源利用を前提とした。このため、本研究開発では、表-1の検討結果を基に、利用熱源を“地下水熱”とした。

表-1 利用熱源の検討結果（可能性大 ◎→○→△→× 可能性小）

熱源	高効率化寄与の可能性	経済性の確保可能性	適用地域の大きさ
地表水熱	△：外気温に依存	○	△：地表水近傍に限定
地中熱	△：多数の坑井が必要	×：坑井の建設費	◎：適用制限なし
地下水熱	○：年間一定水温，蓄熱効果等	○：井戸本数の削減	○：揚水規制地域以外に適用
下水熱	○：年間安定した水温	○	△：下水処理場近傍に限定
太陽熱	△：気象に依存，冷熱利用に課題	△	○：温暖地域が有利

### 【研究開発提案テーマの概要】

本応募では，熱源としては「地下水熱」，利用先としては比較的大規模な熱供給が想定される「業務用」を対象に，「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」を提案する．研究開発テーマの概念図を図-1 に示しているが，地下水の揚水と注水を行う地下水循環利用を前提としている．また，「地下水制御型」の定義は，次の通りである．

#### 1)地下水制御：揚水井・注水井の最適配置による地下水利用の有効性の確保

- ・地下水の水温特性活用（年間一定，外気温との温度差，水温の深度分布），蓄熱活用
- ・自然地下水流の制御による蓄熱効果保持
- ・揚水による水頭低下に起因した地盤沈下防止

#### 2)(利用地下水)水質制御：利用地下水の水質改善による高効率化への寄与と長期安定運転の実現

- ・揚水の水質改善によるヒートポンプでの直接熱交換による効率化
- ・注入水の水質改善による目詰まり発生防止（注水量確保）

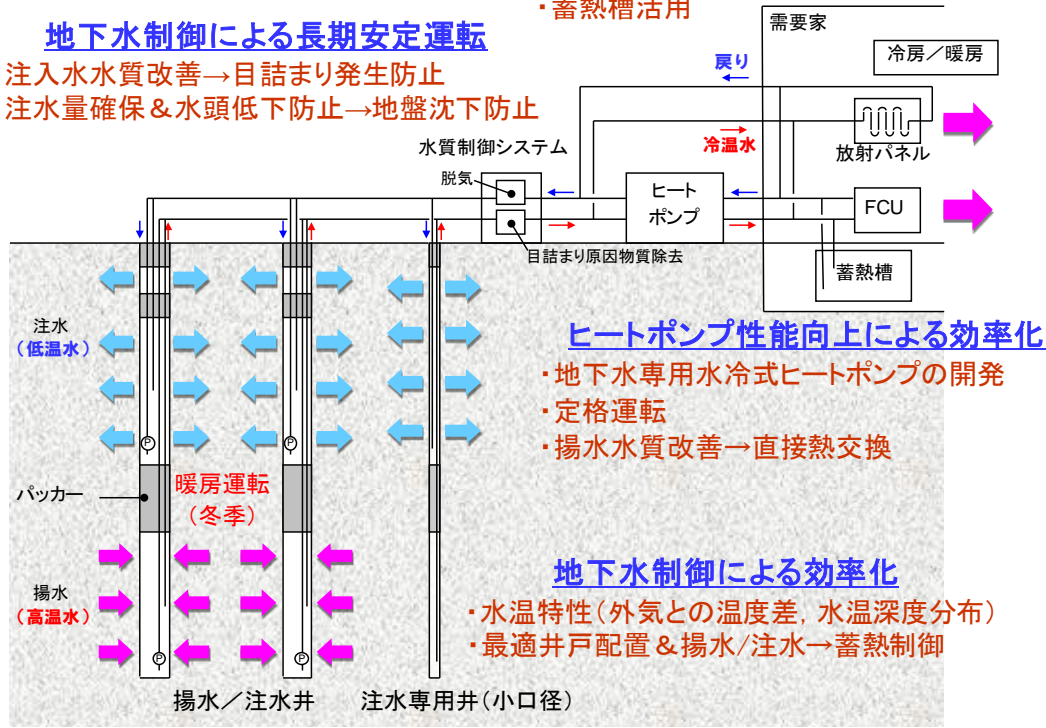
→水頭低下防止による地盤沈下防止

## 2次側空調システム最適制御による効率化

- ・対流式空調システム
- ・放射式空調システム
- ・蓄熱槽活用

## 地下水制御による長期安定運転

- ・注入水水質改善→目詰まり発生防止
- ・注水量確保 & 水頭低下防止→地盤沈下防止



## ヒートポンプ性能向上による効率化

- ・地下水専用水冷式ヒートポンプの開発
- ・定格運転
- ・揚水水質改善→直接熱交換

## 地下水制御による効率化

- ・水温特性 (外気との温度差, 水温深度分布)
- ・最適井戸配置 & 揚水/注水→蓄熱制御

図-1 「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」の概念  
(帯水層が厚く、図左から自然地下水流がある条件での冬季暖房運転の場合)

本提案テーマでは、ヒートポンプ空調システムの高効率化を、次の3項目で目標達成を目指す。

- 1)地下水制御による高効率化
- 2)2次側空調システムの最適制御による高効率化
- 3)ヒートポンプの性能向上による高効率化

また、ヒートポンプ空調システムの利用期間が十数年に及ぶことを念頭に、地下水循環利用に要求される“地盤沈下防止”に対しても、注入水の水質制御（地下水制御）による目詰まり発生防止機能を備えることにより、水頭低下に起因した地盤沈下を回避した「長期連続運転」を可能とする考えである。

これらの研究開発内容は実証実験で評価するが、国内の各種自然条件や各種利用規模への適用性に課題が残る。そこで、国内の各種の地盤・地下水・水質条件、利用規模に対する商用ベースの実機の設計による高効率化等の性能評価を行うと共に、普及展開の検討に資する経済性評価も行う計画である。

## 【個別技術課題の研究開発内容】

本提案テーマでは、基盤技術として、(1)全体システムの COP 高効率化技術、(2)長期連続運転のための水質制御技術、の 2 項目の研究開発を行う。また、(3) 実証実験による基盤技術の実証、および普及展開上の課題として、(4)商用実機レベルの性能・経済性検討、を行う。個別技術課題に対する研究開発項目は(1)～(4)であり、その研究開発内容、研究方法・手順等の概要を記す。

### (1) 全体システムの高効率化技術の研究開発

全体システムの高効率化については、「(1-1)地下水制御による高効率化」、「(1-2) 2 次側空調システムの最適制御による高効率化」、「(1-3) ヒートポンプの性能向上による高効率化」の 3 項目の研究開発を行う。

#### (1-1)地下水制御による高効率化【担当：清水建設，信州大学】

地下水制御における高効率化については、以下の項目を活用する地下水制御が重要である。

- ・ 地下水温特性の活用：年間ほぼ一定水温→外気温との温度差活用  
水温の深度分布活用(平均的には深度増大で 3°C/100m の勾配で水温上昇)
- ・ 注水熱（夏季：高温水，冬季：低温水）の帯水層での蓄熱制御による活用

これらの項目の活用を目指した地下水制御技術を開発する場合、各種の水理地質構造が関係するが、本書では簡単のため“帯水層の厚さ”，“自然地下水流の有無”，で地盤条件を分類し、井戸平面配置の概念を図-2 に示す。地下水制御の基本コンセプトは、帯水層の薄い(50m 程度)地盤条件 1,2 では、揚水井と注水井を冬季・夏季の季別入替による蓄熱効果の利用、帯水層の厚い(100m 程度) 地盤条件 3,4 では区間区分した揚水/注水井とし、浅部と深部の季別入替による蓄熱効果の利用と自然地下水温度の深度分布の活用を図る。また、自然地下水流が卓越する場合は、下流側に小口径の注水井を設置し、蓄熱制御用のウォーターカーテン機能を持たせる。この考え方を具体的に例示するため、地盤条件 1,3 を対象に、地下水制御の概念を図-3,4 に示す。両図とも、基本コンセプトとして、水頭低下による地盤沈下の防止の観点から、揚水井戸の極浅部は年間注水としており、この考え方は図-2 の全ての地盤条件に共通である。

上記の地下水制御方法の開発は、以下の手順で研究開発を行う。

- 1) 地盤条件の詳細検討による地盤モデルの分類と地盤モデル設定および地下水制御案の設定
- 2) 3 次元熱-地下水連成解析による蓄熱効果、水頭低下防止機能等の定量的な評価
- 3) 1)2)の検討結果による合理的な井戸配置・地下水制御方法の概要設定と地下水制御効果の把握

本研究内容と既往の研究との関係については、以下の通りである。

- 1) 蓄熱効果の研究は海外でも行われてきたが、地下水流れが卓越する条件では成功していない。これに対し、本研究は地下水制御で蓄熱効果を確保するものであり、新たな視点をもつ。
- 2) 井戸の上下区間を区切り、揚水・注水を行う研究事例はあるが、地下水温深度分布と上下区間の蓄熱効果を同時に対象とした地下水制御の研究はない。
- 3) 本研究は最新の数値解析手法を用いた定量評価に基づくものであること、地盤沈下の要因となる水頭低下防止機能も研究対象とすること等、既往の研究とは異なる。

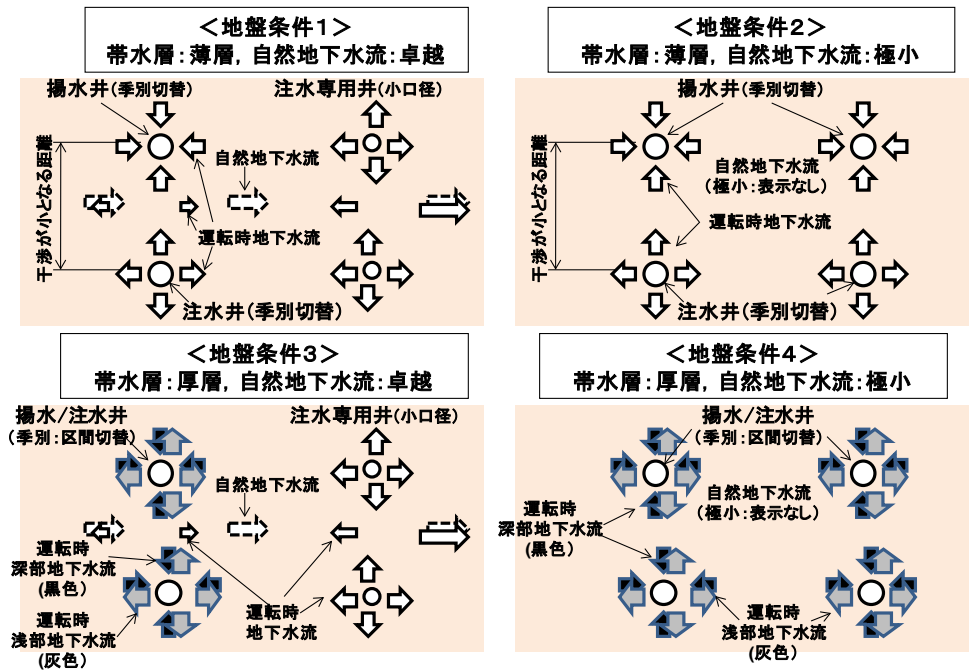


図-2 地盤条件分類別の井戸平面配置概念図（4井での例示：井戸数は利用規模で増減）

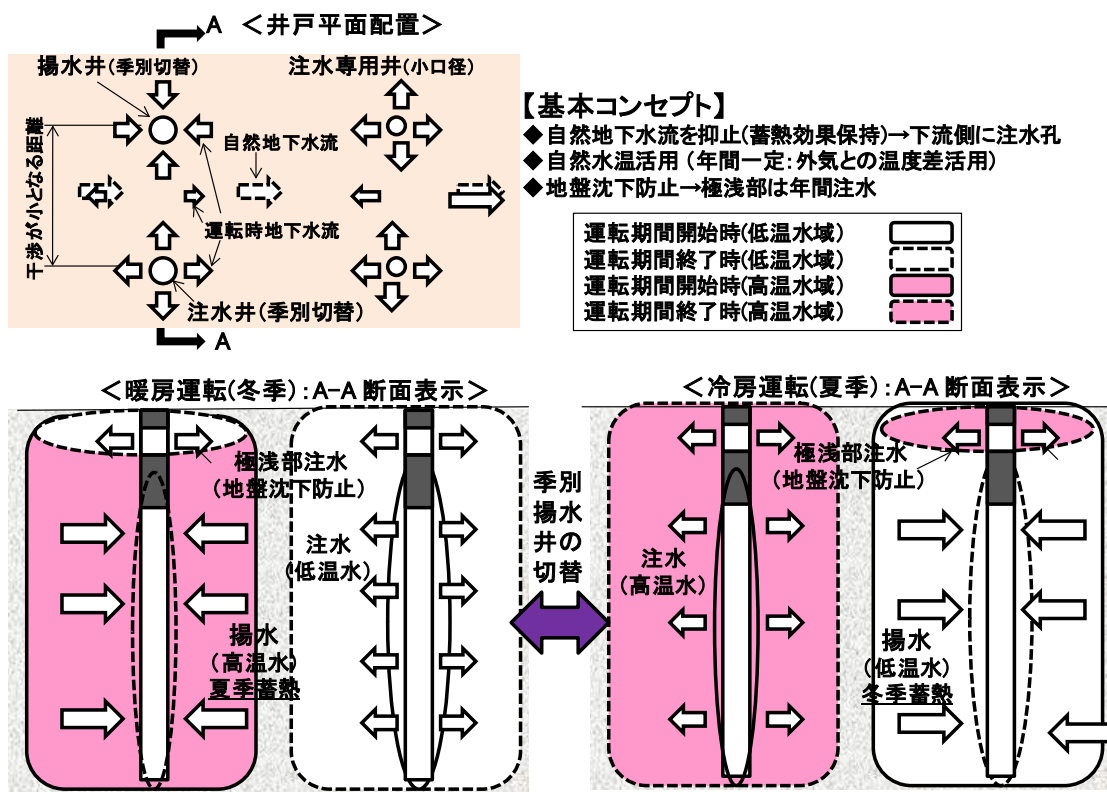


図-3 地盤条件1 (帯水層: 薄層, 自然地下水流: 卓越) の地下水制御の概念

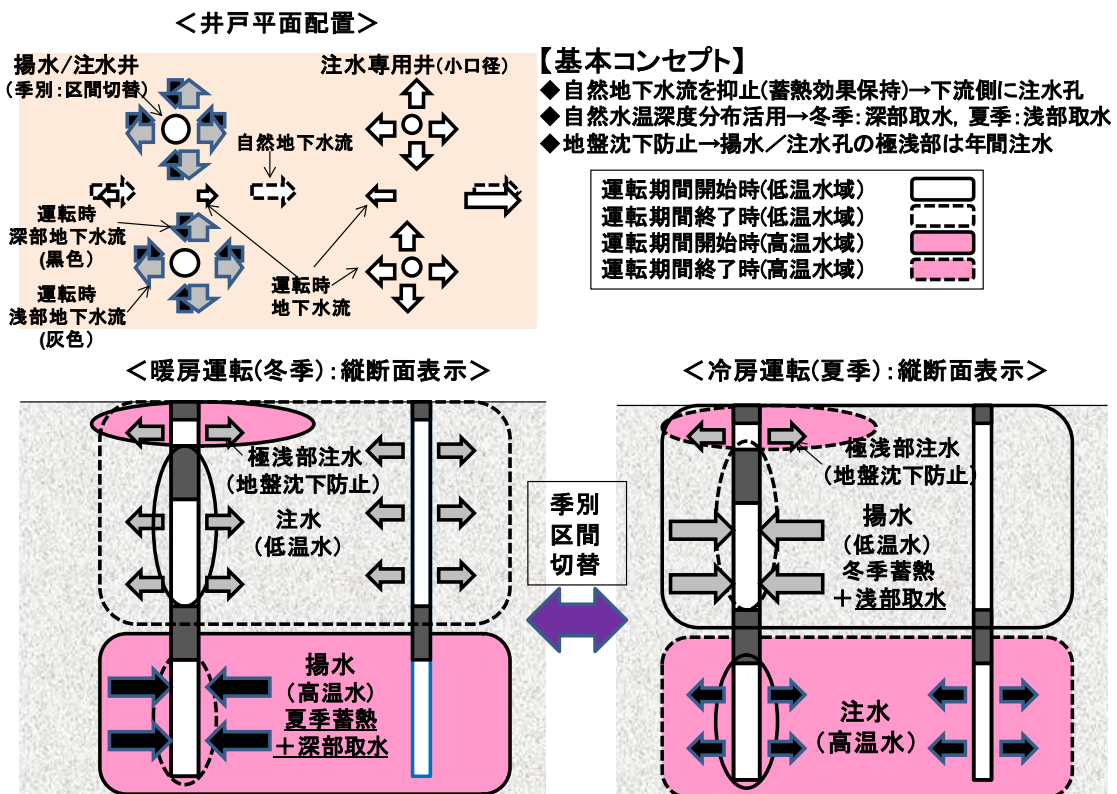


図-4 地盤条件3 (帯水層: 厚層, 自然地下水流: 卓越) の地下水制御の概念

**(1-2) 2次側空調システムの最適制御による高効率化【担当：清水建設】**

2次側空調システムの最適制御による高効率化の研究開発内容は、図-1で概念を示したように、下記の3項目から構成される。3項目の研究開発は平成22年度実施予定であり、内容を順に説明する。

- a) 2次側空調システムの最適化の検討
- b) 蓄熱槽の活用による効果
- c) 2次側空調システムの最適制御方法の検討

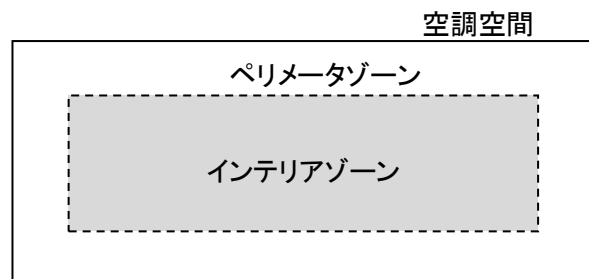


図-5 空調対象の平面スペースの概念

a) 2次側空調システムの最適化の検討

地下水制御型ヒートポンプ空調システムの研究開発において、システム全体での効率向上を図るために、2次側空調システムでは、従来の対流式空調システムと併用して放射式空調システムを採用する。一般に空

調システム的设计では、空調対象となるスペースを図-5のように建物外皮に面した空間（ペリメータゾーン）と建物中央の空間（インテリアゾーン）に分けて設計する。

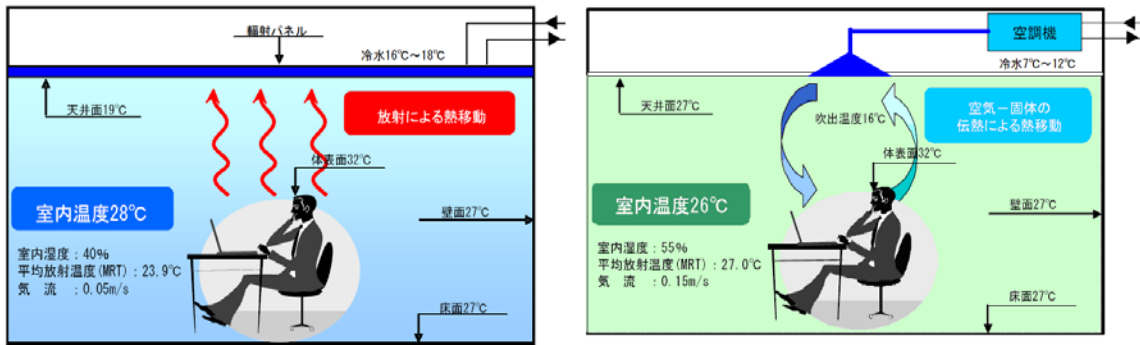
今回の提案では、このうちインテリアゾーンへ放射式冷暖房システムを採用する。現在、2次側空調システムとして一般的な対流式空調システムと比べて、放射式空調システムでは表-2に示すように冷房時は高い供給水温で、暖房時には低い供給水温で、同等の冷房および暖房効果を得ることができる（放射式の室温28℃で湿度40%は、対流式の25℃で55%と同じ快適性となる）。このため熱源機であるヒートポンプの運転エネルギーが少なく済み、省エネルギー効果が期待できる。

表-2 空調に必要な熱源温度

熱源温度	冷房時	暖房時
放射式空調システム	17℃	35℃
対流式空調システム	7℃	45℃
ヒートポンプの効率向上効果	20%	20%

一方、ペリメータゾーンは外気に面した部分で窓や出入口など開口部があり、また日射の影響を受けるため、インテリアゾーンに比べて単位面積当たりの空調負荷が大きく、一日の変化幅も大きい。このため、ペリメータゾーンへは放射空調に比べて応答性の良い対流式空調システムであるFCU空調システムを採用する。なお、この対流式空調システムにおいても室内温度を28℃となるよう制御するため従来の空調システム（室温25℃）と比べて省エネ化が図れる。

図-6に冷房の場合を例として、放射空調方式と対流空調方式の違いを示す。



A 放射空調方式

B 対流空調方式

図-6 空調方式の違い（冷房の場合） <出典：清水建設 HP より>

b) 蓄熱槽の活用による効果(ヒートポンプの定格運転による効率向上)

蓄熱槽を採用しないヒートポンプシステムでは、負荷の変動に合わせてヒートポンプを運転するため部分負荷の効率の悪い条件での運転時間が長くなるが、これと比べて蓄熱槽を利用することによりヒートポンプの定格運転が可能になり、ヒートポンプの運転効率が向上し、蓄熱槽からの熱損失を考慮しても全体システムとしての運転効率が向上する。

一般に、年間の空調運転時間における平均負荷率は 50%以下であることから、図-7 に一例として示すヒートポンプの負荷率と消費電力の関係から、蓄熱によるヒートポンプの運転効率の向上は 25%程度と見込まれ、蓄熱損失を 10%と仮定しても、全体で 15%程度の効率向上が見込まれる。

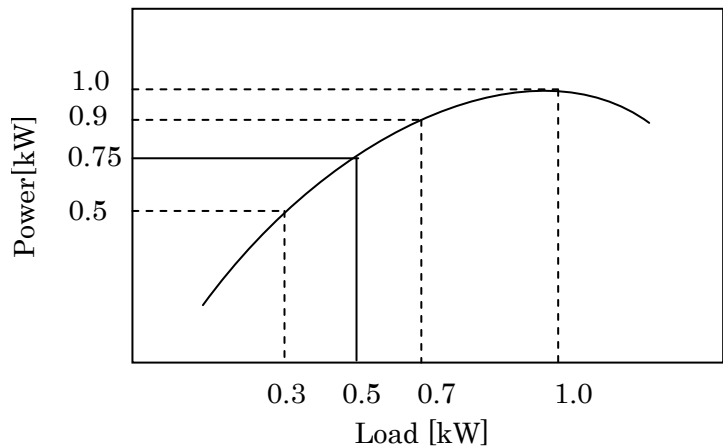


図-7 ヒートポンプの負荷率と消費電力の関係

c) 2次側空調システムの最適制御方法の検討

次世代型ヒートポンプ空調システムの年間の冷暖房運転方法を、熱源となる地下水温度、ヒートポンプの運転の有無、冷水/温水の製造温度、2次側空調システムの運転方法などとの関係で下表のように想定し、年間を通した最適運転方法について地下水の水温変動と連動したシミュレーションを行い、提案するヒートポンプ空調システムの最適運転制御方法を確立する。なお、表-3、表-4 に運転条件の一例を示すが、最適化制御方法の研究の過程で修正していくことになる。

最適制御方法を検討する手段としては、提案システムと従来システムの年間エネルギー消費量



を,清水建設が開発した図-8 に示す「建物運用時 CO2 評価システム “Sim-Peace”」を用いて 1 時間間隔で年間 (8760 時間) 計算し, この結果を比較することによって評価する.

計算に当たっては地下水温度の 1 日の時間変動も反映する. また, 1 時間間隔での計算を行うことによって, ヒートポンプの部分負荷特性や外気温度特性なども考慮することができる. 評価地域は日本を数地区 (5~9 地区) に分けて評価する.

表-3 冷房運転方法の一例

インテリア (放射冷房)

地下水取水温度	ヒートポンプの運転	2 次側空調システムの運転
17°C以下	運転しない	地下水直接利用のフリークーリングによる放射冷房
17°C超え	冷却水として利用 17°Cの冷水を蓄熱	蓄熱槽の冷水を利用した放射冷房

ペリメータ (FCU による冷房)

地下水取水温度	ヒートポンプの運転	2 次側空調システムの運転
17°C超え	冷却水として利用 7°Cの冷水を蓄熱	蓄熱槽の冷水を利用した FCU による冷房

表-4 暖房運転方法の一例

インテリア (放射暖房)

地下水取水温度	ヒートポンプの運転	2 次側空調システムの運転
35°C以上	運転しない (機会極小)	地下水直接利用のフリーヒーティングによる放射暖房
35°C未満	熱原水として利用 35°Cの温水を蓄熱	蓄熱槽の温水を利用した放射暖房

ペリメータ (FCU による暖房)

地下水取水温度	ヒートポンプの運転	2 次側空調システムの運転
35°C未満	熱原水として利用 45°Cの温水を蓄熱	蓄熱槽の温水を利用した FCU による暖房

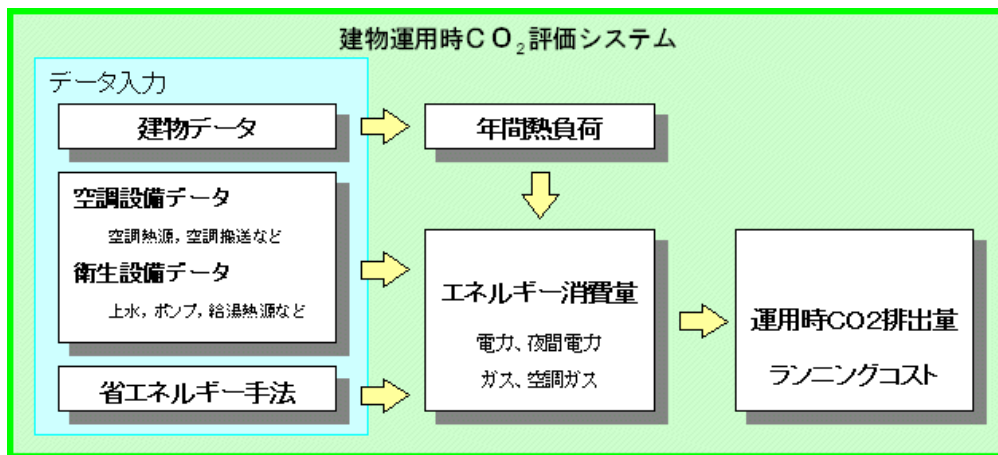


図-8 「建物運用時 CO2 評価システム “Sim-Peace”」の概要

以上，平成 22 年度に実施予定の「2 次側空調システムの最適制御による高効率化の研究開発内容」について，研究開発内容および手順等を説明した。

ここで提案する本研究内容と既往の研究との関係については，以下の通りである。

- 1) 2 次側空調システムとして採用する放射空調システムは，近年，本格的に開発が進められている技術であり，わが国においてはまだ実際の建物での本格的な採用事例は少ない。
- 2) 放射空調システムは未利用エネルギーなど比較的ポテンシャルの低いエネルギーの利用に適した技術であるが，これまで地中熱利用と結びつけた応用例はなく，新規な視点を有している。

### **【(1-3) ヒートポンプの性能向上による高効率化【担当：清水建設】】**

ヒートポンプの性能向上による高効率化の研究開発内容は，図-1 で概念を示したように，下記の3 項目から構成され，平成22 年度実施予定である。このうち，1), 3)の2 項目の内容を順に説明する。

- a)地下水専用水冷式ヒートポンプの開発
- b)定格運転（「1-2. 蓄熱槽の活用による効果」で説明済み）
- c) 地下水の直接利用によるヒートポンプ性能の向上

#### **【地下水専用水冷式ヒートポンプの開発】**

ヒートポンプの理論効率は， $T_h$  を高温側温度(K)， $T_l$  を低温側温度(K) とすると， $\eta = T_h / (T_h - T_l)$  で表され，冷房時には製造温度と冷却水温度の差が，暖房時には製造温度と熱原水温度の差が小さい方が，効率が良くなる。本提案の 2 次側空調システムでは放射式空調システムと FCU による対流式空調システムを採用するが，これにより 2 次側空調用水として表-5 に示す温度の冷水，温水が必要になる。

表-5 空調に必要な2次側送水温度

2次側送水温度	冷房時	暖房時
放射式空調システム	17℃	35℃
対流式空調システム	7℃	45℃

表-5 あるいは図-6 に示したように放射式空調システムでは、従来の対流式空調システムと比べて、冷房時には高送水温度、暖房時には低送水温度で、対流式空調システムと同じグレードの空調を実現することが可能である。

放射式空調システムの採用によってヒートポンプが製造する冷水と温水の温度が、従来の対流式空調システムと比べて冷房時には高水温、暖房時には低水温となり、製造側の温度条件緩和によってヒートポンプの効率が向上する。また、地下水を利用することにより、従来の空気熱源式ヒートポンプと比べて、冷房時には低い温度の冷却源を、暖房時には高い温度の熱源を利用できることから、熱源側の温度条件も緩和され、上記製造側の温度条件緩和と合わせて大幅なヒートポンプ効率の向上が期待される。

このほか、冷凍サイクルの工夫による高効率化、圧縮機とポンプの運転に対するインバータの採用による高効率化についても採用を検討する。

地下水専用水冷式ヒートポンプの開発は、設計仕様を詳細検討し、清水建設から設計方針を提示してメーカーとの技術検討を行って設計仕様を策定する。その後、平成23年度に実証実験用の実機を外注で製作する計画であり、同実機のヒートポンプの容量は、空調面積400m<sup>2</sup>程度を対象として、圧縮機10馬力程度を想定している。

a) 地下水の直接利用によるヒートポンプ性能の向上

地下水を利用する場合、水質が良くない場合は熱源機へ直接地下水を送水できないため、熱交換器を介して熱源として利用するが、この場合は熱交換器で2℃程度の損失が発生しヒートポンプの運転効率が低下する要因となる。後述の研究開発項目「水質制御技術（地下水制御技術）の研究開発」で地下水を直接利用する水質制御も行える計画となっている。このため、ヒートポンプの熱原水として直接利用することにより、熱交換器における損失が無くなり、その効果は約4%の効率改善に相当するものと推定される。

以上、平成22年度に実施予定の「ヒートポンプの性能向上による高効率化の研究開発内容」について、研究開発内容および手順等を説明した。

ここで提案する本研究内容と既往の研究との関係については、以下の通りである。

従来のヒートポンプでは、給湯利用が可能な60℃以上の高温出力、あるいは7℃程度の低温出力での性能向上を目指した機器開発が行われてきており、本提案のような地下水熱源利用専用機として冷水17℃、温水35℃のような製造温度を出力するヒートポンプ開発の構想はこれまでない。

また、本提案では、蓄熱槽を介した定格運転でのヒートポンプ運転効率の改善、地下水の直接利用によるヒートポンプ性能の向上などの方策についても検討する計画であり、ヒートポンプ本体性能の高効率化以外に、これらの観点を含めたヒートポンプ空調システムとしての総合的な性能向上に関して検討を進める点で、新たな視点を有している。

(2) 長期連続運転のための水質制御技術（地下水制御技術）の研究開発【担当：清水建設】

地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの利用期間は十数年であり、機器のトラブルや環境への悪影響を防止して、長期連続運転を可能にする技術を開発することが、不可欠である。対象は、地下水の通水に対するヒートポンプへの悪影響の回避と、注水時の目詰まり発生による水圧低下・地盤沈下の防止であり、共に揚水した地下水の水質に起因する。このため、次の2項目の水質制御技術の研究開発を行う。

- 1) ヒートポンプへの直接通水を可能にする水質制御技術→ヒートポンプの高効率化に寄与
- 2) 目詰まり発生防止のための水質制御技術→注水性能確保による水圧低下・地盤沈下の防止

本研究の水質制御技術のシステム構成を図-9に示す。同図は、上記2)の水質制御が1)より厳しい条件であるため、2)に力点をおいたシステム構成であり、目詰まり発生防止の観点から概念を記す。

目詰まり発生の原因は種々考えられているが、砂や濁質成分の混入により閉塞する他に、次の目詰まり発生を防止することが重要である。

- A) 揚水中に存在する溶存性の鉄やマンガンおよび有機性のフミン鉄などの物質が地下水利用過程で酸化され、井戸スクリーンや井戸フィルター層に付着することで閉塞。
- B) 揚水中に空気が混入し、溶存酸素の多い地下水を注入することで、地層中に含有する鉄・マンガン酸化し、地層の透水性を低下。

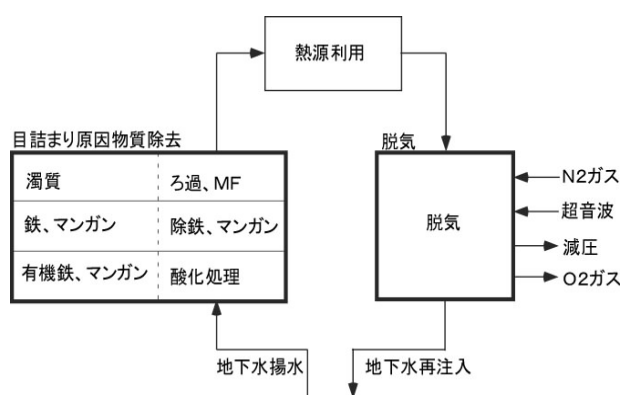


図-9 水質制御技術のシステム構成

図-9の熱源利用前（ヒートポンプ通水前）のシステム構成が、上記A)に対処する水質制御技術であり、揚水中に含まれる懸濁物等の除去も当然行う。また、熱源利用後の脱気に関する水質制御技術が、B)に対処するものであり、注水に際しては、地盤中の土粒子細粒分の再配列による透水性低下を防止するため、減圧注入を合わせて行うものである。

水質制御技術の研究開発は、次の手順で行う。

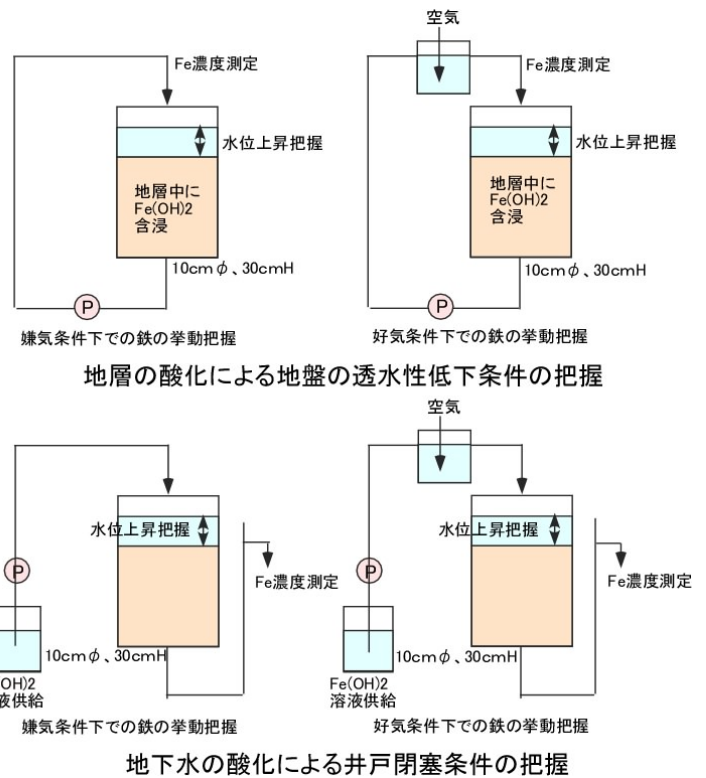
### 1) 室内実験による目詰まり発生条件の把握

- ・ 図-10の基礎実験から、水質条件と井戸の閉塞および地盤の透水性低下の関係把握。（図中の水位上昇が目詰まり発生）

### 2) 室内実験による目詰まり防止方法の選定

- ・ 図-10の装置構成に、各種目詰まり発生防止装置を組み込み、1)の目詰まり発生条件下で、目詰まり発生防止に対する効果を確認。

### 3) 水質制御用の水質分類と水質分類ごとの水質制御技術・システム概要設定



本研究開発と既往の研究の関係を纏めると、次の通りである。

- 1) 従来が目詰まり対策は、空気等の遮断、逆洗浄等が目詰まり発生後の目詰まり回復法であり、本研究のような目詰まり発生要因を除去する考え方ではない。地下水の循環利用の場合、日光や空気等の完全遮断は困難であり、目詰まり回復法を使用しても次第に目詰まりは進行する。
- 2) 本研究は目詰まりの発生そのものを防止して、数十年の利用を目指したものであること、水質制御を行ってヒートポンプへの直接通水を目指した点、等は既往の研究に見られないものである。また、脱気機能を加えた目詰まり防止技術は既往の研究に見られないものである。

### (3) 実証実験による基盤技術の実証

下記の基盤技術の実証を目的とした原位置実証実験を行う。

- (1) 全体システムの高効率化技術
- (2) 長期連続運転のための水質制御技術

実証実験サイトは信州大学工学部内で、研究開発の手順は以下の通りである。

1) 平成22年度：原位置調査・実証実験計画案の策定

【担当：信州大学，清水建設】

- ・実験装置の設計用データ取得，及び実証目的達成のための実証実験計画案の策定.
- ・基盤技術の研究開発成果に基づく実証実験装置の概略設計に基づく COP 等の推定.

2) 平成23年度：実証実験装置の設計・試作【担当：清水建設，信州大学】

- ・井戸，ヒートポンプ，水質制御装置，2次側空調システムの設計および試作.

3) 平成23, 24年度：実証実験および評価【担当：信州大学，清水建設】

- ・1年半程度の実証実験を行い，高効率化技術と水質制御技術の性能評価.  
(信州大学の教室または施設に対する実空調運転を行う)

以下，上記の研究開発項目のうち，平成 22 年度実施の「1)原位置調査・実証実験計画案の策定」の研究開発内容を具体的に記す.

### 第一段階：原位置調査

長野市近傍を表層地質図で概略調査すると，信州大学工学部近傍は砂礫主体の地層構造（一部粘土層を挟む）である．既存ボーリングデータは深度 100m 以下であるが，帯水層が厚く，自然地下水流れが存在する条件と想定した．今後，実負荷運転の実施場所も考慮して，ボーリング位置を決定し，下記の原位置調査を行う．

◆調査ボーリング：オールコアリングΦ76 or 86mm×掘進長 100m . 1 孔

◆調査ボーリング仕上げ：区間毎の間隙水圧，水温，主要水質項目の採水を確実にを行い，間隙水圧と水温の連続観測を行うため，全長掘削後，観測孔仕上げ（MP38 のBackfill方式：図-11 参照）.

◆調査方法：調査は原位置試験または試料を用いた室内実験により行う．

◆調査項目：実証実験計画に必要な物理特性調査とした．表-6 参照.

### 第二段階：実証実験計画案の策定

実負荷運転実施場所を仮設定し，原位置調査結果に基づいて，地下水制御方法（井戸配置・構造），ヒートポンプ，2次側空調システムの概略設計・解析を行う．これにより，基盤技術の目標達成の評価を可能にする計測計画・実験方法等を取り纏めた実証実験計画案を策定する．また，概略設計・解析結果に基づいて，基盤技術の目標性能を試算し，中間目標値に対する評価を行う．

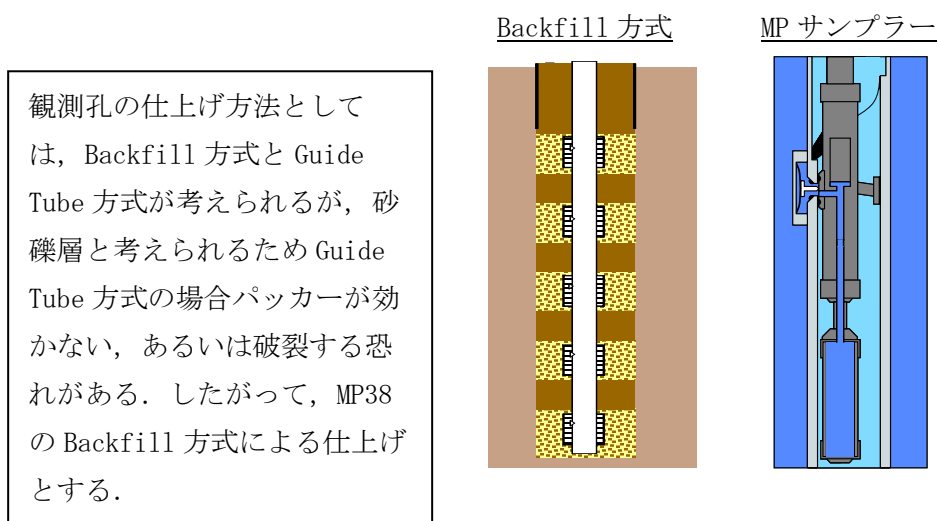


図-11 調査ボーリング孔の観測孔仕上げ

表-6 原位置調査における調査項目と試験方法

調査項目	物理特性	試験方法等
地質構造		オールコアボーリング→コア観察.
地盤特性	単位体積重量	密度検層
	空隙率	空隙率は地層密度，土粒子密度から推定
水理特性	透水係数	MP システムによる区間透水試験（回復法）
	限界注水量	MP システムによる区間毎の段階注水試験. 注）実施の是非を今後検討
地下水 状況	間隙水圧	MP システムによる区間毎の水圧測定・半年間程度の観測実施.
	流向流速	実施の是非を今後検討.
熱特性	比熱	試料による室内試験.
	熱伝導率	（MP システムによる区間毎の原位置試験の実施可能性を今後検討）
水質	水温	MP システムによる区間毎の水圧測定・半年間程度の観測実施.
	主要水質項目	MPシステムによる区間毎の採水（2回）→下記水質項目の室内水質分析 pH, 電気伝導度, TDS, 色度, 濁度, ORP, DO, 過マンガン酸カリウム消費量 （化学的酸素要求量）, TOC（全有機炭素）, IC（全無機炭素） 陽イオン K, Na, Mg, Fe (T-Fe), Fe (溶解性 Fe), Mn (T-Mn), Mn (溶解性 Mn), NH4 陰イオン <N02, N03, S04, S2-, C1, P04>

#### (4) 商用実機レベルの性能・経済性検討

基盤技術の実証は「(4) 実証実験による基盤技術の実証」にて行うが、一条件での実証である。今後の普及展開（実用化）の可能性を明確にするため、商用ベースの実機を(1)～(3)の成果を踏まえて設計し、提案技術の適用範囲、基盤技術の性能および経済性を検討することが重要と考える。

そこで、以下の手順で研究開発を行う。

- 1) 平成22年度：我が国の適用可能地域の調査・研究【担当：産業技術総合研究所（再委託）】
- 2) 平成23年度：商用実機検討条件設定【担当：清水建設，信州大学】
  - ・例えば，寒冷地・温暖地・標準の3地域の地盤構造モデル，外気温・地下水温条件，水理特性・熱特性・水質特性，利用規模別（大，中，小）の必要エネルギーの設定。
- 3) 商用実機の設計【担当：清水建設】
- 4) 商用実機の性能・経済性評価【担当：清水建設，信州大学】
  - 注）「建物運用時CO2評価システム“Sim-Peace”」を用いた性能評価も実施。

以下，上記の研究開発項目のうち，平成22年度実施の「1）我が国の適用可能地域の調査・研究」について，研究開発内容を記す。

本システムの普及展開上の課題である，（4）商用実機レベルの性能・経済性の確保，については，地下水制御型ヒートポンプシステムの今後の普及展開策を具体化することを目的とする。そこで，我が国の代表的な都市域における水文地質・水理条件の調査・解析を行い，地下水制御型ヒートポンプシステムを適用できる地域を検討することになる。これまで，産総研・地下水研究グループでは，日本全国の平野や盆地を対象とした地下水賦存量調査を行い，また，代表的な都市域における詳細な地下水調査を実施し，「水文環境図」を作成しており，多くの知見とデータを有している。このため，これらのデータを利活用し，地下水制御型ヒートポンプシステムが必要する地下水環境の条件（地下水賦存量，地下水位，流速等）に適応できる地域の抽出を行う。さらに，抽出した地域の地質，水質，水理特性などの水文環境を分析しコンパイルする。

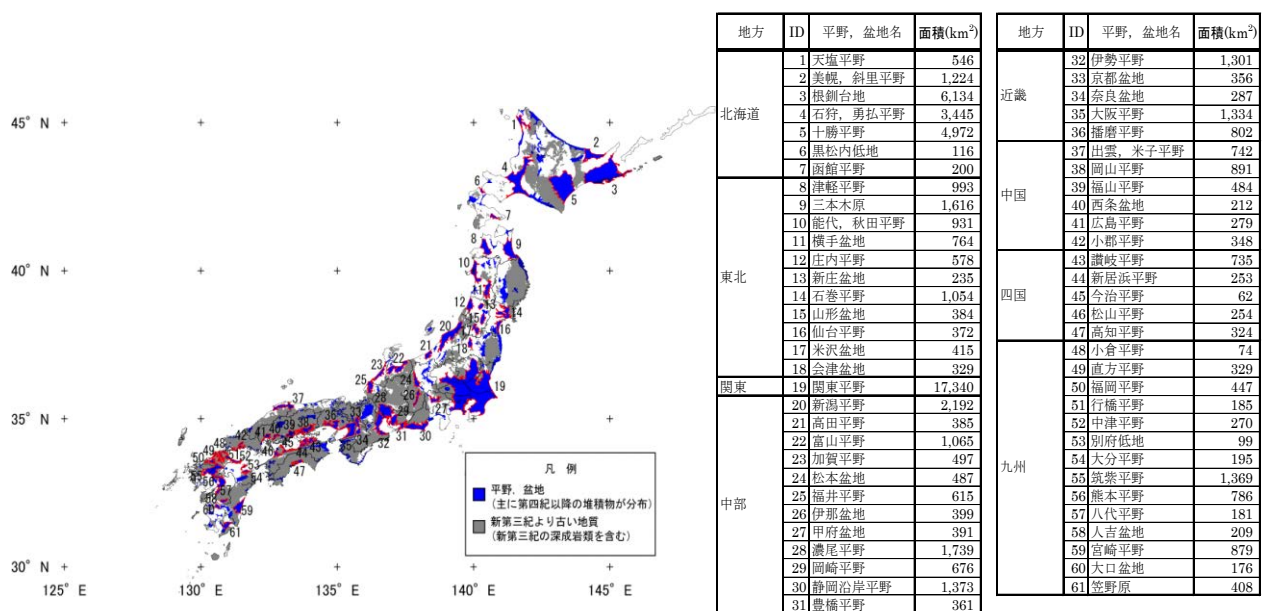


図-12 全国の地下水盆の範囲（平成21年度 地下水賦存量調査報告書，産業技術総合研究所より）



以上、研究内容を記述したが、共同提案であるため、各共同提案者の役割分担を表-7にまとめる。

表-7 各共同提案者の役割分担(◎:主担当, ○:担当, 再委託は清水建設より)

研究開発項目	提案機関		再委託
	清水建設	信州大学	産業技術 総合研究所
1. 全体システムの高効率化技術の研究開発			
1-1. 地下水制御による高効率化	◎	○	
1-2. 2次側空調システムの最適制御による高効率化	◎		
1-3. ヒートポンプの性能向上による高効率化	◎		
2. 長期連続運転のための水質制御技術の研究開発	◎		
3. 実証実験による基盤技術の実証			
3-1. 原位置調査・実証実験計画策定	○	◎	
3-2. 実証実験装置の設計・試作	◎	○	
3-3. 実証実験および評価	○	◎	
4. 商用実機レベルの性能・経済性検討			
4-1. 我が国の適用可能地域の調査・研究			◎
4-2. 商用実機検討条件設定	◎	○	
4-3. 商用実機の設計	◎		
4-4. 商用実機の性能・経済性評価	◎	○	

## **5. 研究開発成果**

### **1) 全体システムの高効率化技術の開発**

本研究では、地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムを提案し、次世代型ヒートポンプシステム研究開発で要求される「従来システムに対して 1.5 倍以上の高効率化」に対して、提案システムで従来システム（ビルマル式空調システム）の 1.7 倍以上の高効率化を目標に設定している。

このため、平成 22 年度実施した「全体システムの高効率化技術の開発」では、2 次側空調システム、ヒートポンプおよび地下水制御技術を有機的に結合した全体システムの高効率化技術の開発の可能性を検討した。また、提案システムの長期連続運転を可能にするため、地下水利用型に必要な目詰まり等に対処する目詰まり制御技術の基礎的検討を行った。

#### **【2 次側空調システムの検討】**

2 次側空調システムとして外気処理と実証実験に採用するドライコイル型ファンコイルユニットを組み合わせた「顕熱潜熱分離空調システム」を想定し、計算対象建物の設定、年間熱負荷の計算、2 次側空調システムの最適制御方法（冷房運転、暖房運転）の検討を行い、総合的に高効率化に資する全体システムを構築した。

#### **【ヒートポンプの開発】**

システムの高効率化に資する地下水専用水冷式ヒートポンプの検討を行い、地下水温度に応じて自動的にバイパス制御を行うことにより最高効率運転を実現する「フリークーリング＋ヒートポンプハイブリッドシステム」を提案し、システムの実装を実施した。

#### **【地下水制御技術の開発】**

地下水の恒温性、および、季節切替による地盤の蓄熱効果を有効に活用でき、さらに、揚水による水頭低下防止を可能にすることができる揚水井・注水井の配置構造を検討し、井戸構造・揚水ポンプなどの概念設計を実施した。また、3 次元熱-地下水連成解析による予測シミュレーションにより、熱源としての地下水温度、水頭低下防止機能などを定量的に評価した。

#### **【総合評価】**

上記の構築したシステムについて、国内 3 地域（札幌、長野、福岡）を対象にシミュレーションモデルによる総合性能評価を実施し、開発システムが従来システム（ビルマル式空調システム）と比較して札幌市は 1.81 倍、長野市は 1.72 倍、福岡市は 1.71 倍の効率を有することを提示した。これにより、提案システムは、従来システム（ビルマル式空調システム）の 1.7 倍以上の高効率化目標を達成できる可能性があるものと考えた。

## 2) 水質制御技術の開発

ヒートポンプへの直接通水を想定し、地下水の水質による目詰まり発生条件、および、目詰まり要因除去方法の効果を室内実験により把握した。また、目詰まりの発生条件に基づいて地下水の水質区分を作成し、水質区分に対応した水質制御装置の概念設計を実施した。

地下水利用型では、揚水した熱原水を地盤に還元する必要があるが、目詰まり発生課題がある。従来の対策は目詰まり発生後の井戸の逆洗浄等であるが、本研究の水質制御システムは要因の除去によって目詰まりの発生そのものを防止する独自方式であり、確実に長期連続運転を可能にすることが狙いである。

目詰まりの主要因である地下水中の鉄の除去方法に、鉄 1 mg/L 以下の条件では軟水機 (Na 型イオン交換樹脂) を採用することとした。これにより鉄、マンガに加え、熱交換器のスケール発生原因であるカルシウムを同時に除去可能である。また、地下水再注入前に脱気装置を採用し、地盤の透水性低下を防止することとした。

軟水機による鉄およびカルシウムの除去試験結果を図 5-1~5-2 に示す。また実証実験に用いられた水質制御装置の写真を写真 5-1 に示す。また実証実験に用いられた水質制御装置のシステム構成を図 5-3 に示す。

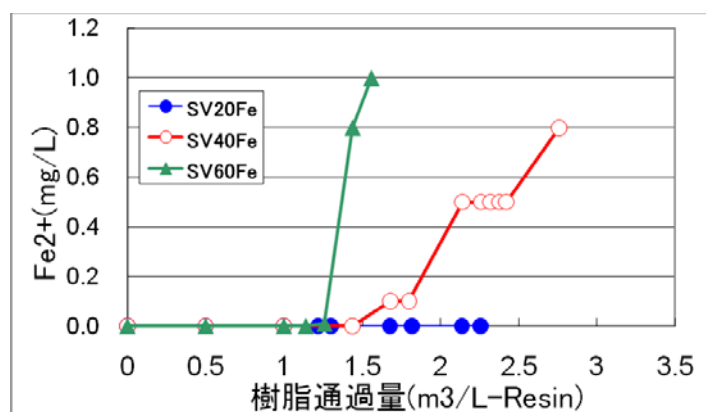


図 5-1 Fe イオンに関する 1 再生あたり樹脂通水量

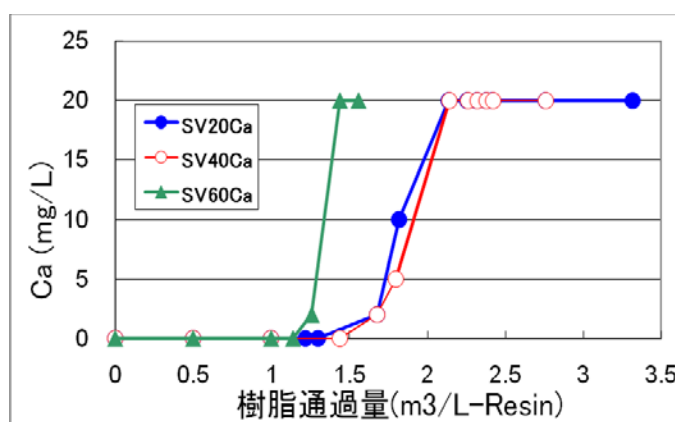


図 5-2 Ca イオンに関する 1 再生あたり樹脂通水量



写真 5-1 水質制御装置

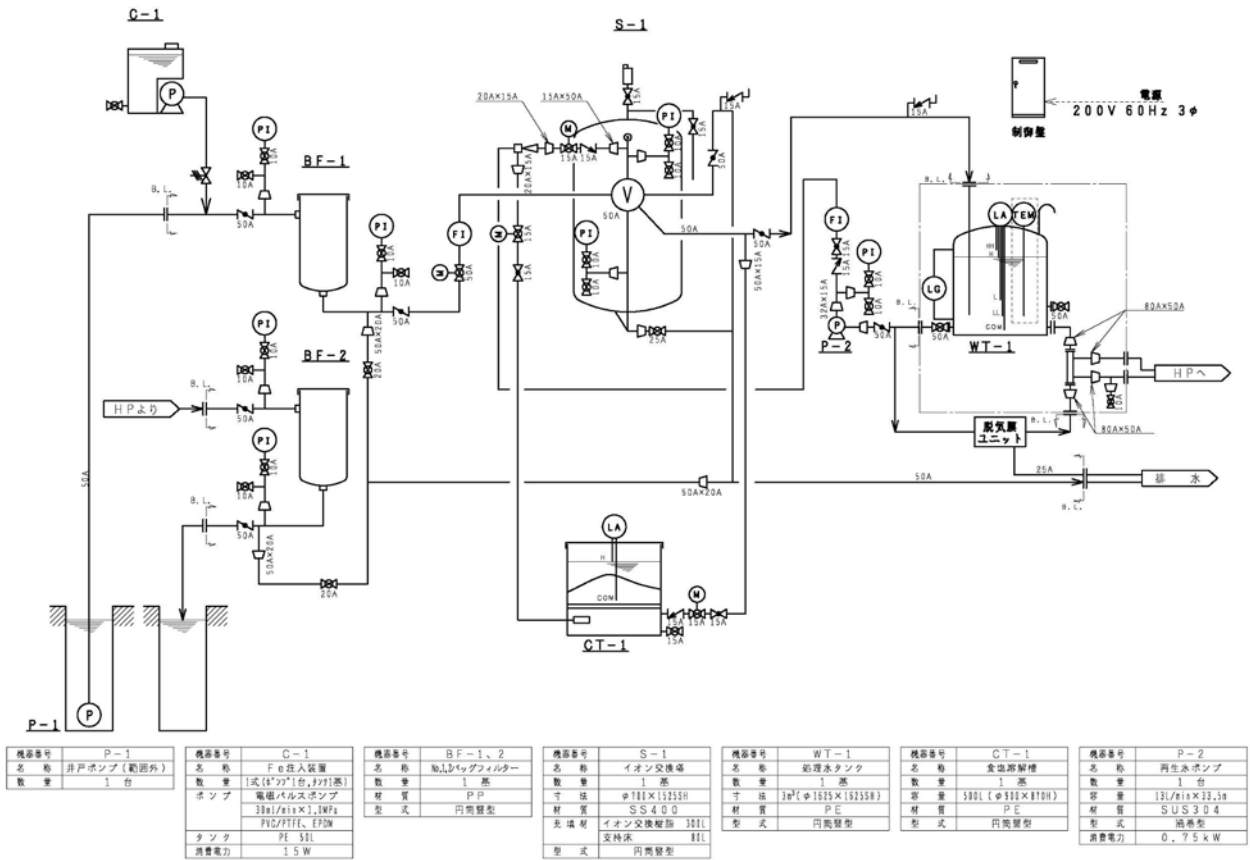


図 5-3 システム構成

結果として、1Lのイオン交換樹脂で約 1m<sup>3</sup> (1m<sup>3</sup>の樹脂で 1000m<sup>3</sup>) のCa, Feフリーの地下水が得られることがわかった。また、処理速度はSV40 で運転が可能であり、除鉄・除マンガン装置に比べ、約 1/8 にコンパクト化が可能である。これらの結果を水質制御装置の設計に反映させて最終的には目詰まりの生じない水質制御装置が確立された。

### 3) 実証実験による基盤技術の実証

信州大学工学部講義棟に実証実験用の空調を行う対象室を設定し、2010 年度に地下水に関する原位置調査を実施し、この結果に基づいて実証実験装置 (2次側空調システム, ヒートポンプ, 水質制御装置) の検討を行い、効率 1.5 倍以上を達成しうる実証システムの概略設計を完了した。また、2011 年度には概略設計結果より実施設計を行い、実証施設の建設、試運転を経て、実証試験を開始した。

実施設計された本システムのシステム系統図と全景を以下に示す。

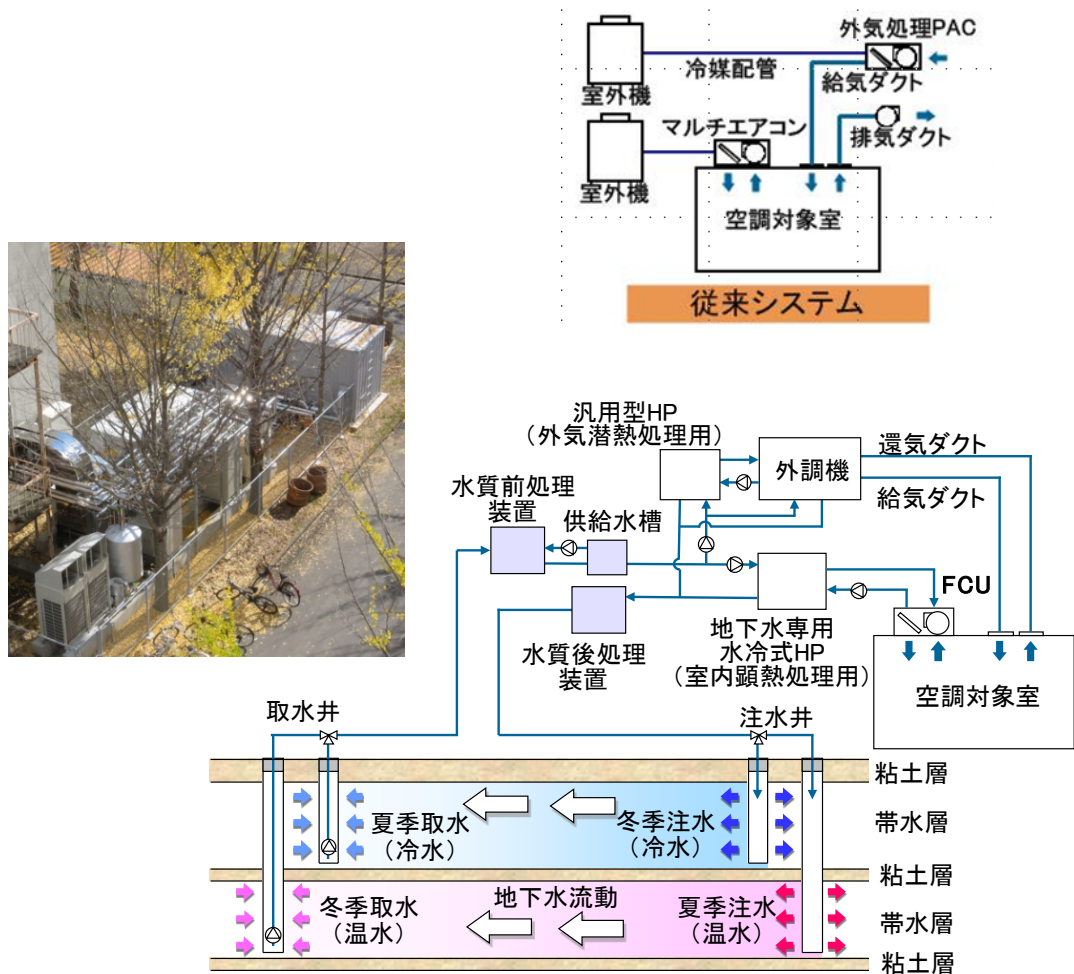


図 5-3 システム系統図とシステム全景

実証期間中にはいくつかのシステムチューニングや軽微な改良を行い実際の負荷にマッチするシステムに改善を行っていった。

図 5-4 は冬季運転時の凡例に示すいくつかのチューニングや軽微な改良による COP の向上を外気温別にプロットしたものである。

また、図 5-4 は、2012 年夏季の冷房運転時の COP をフリークーリングモードとヒートポンプ運転モードを分けて示したものである。

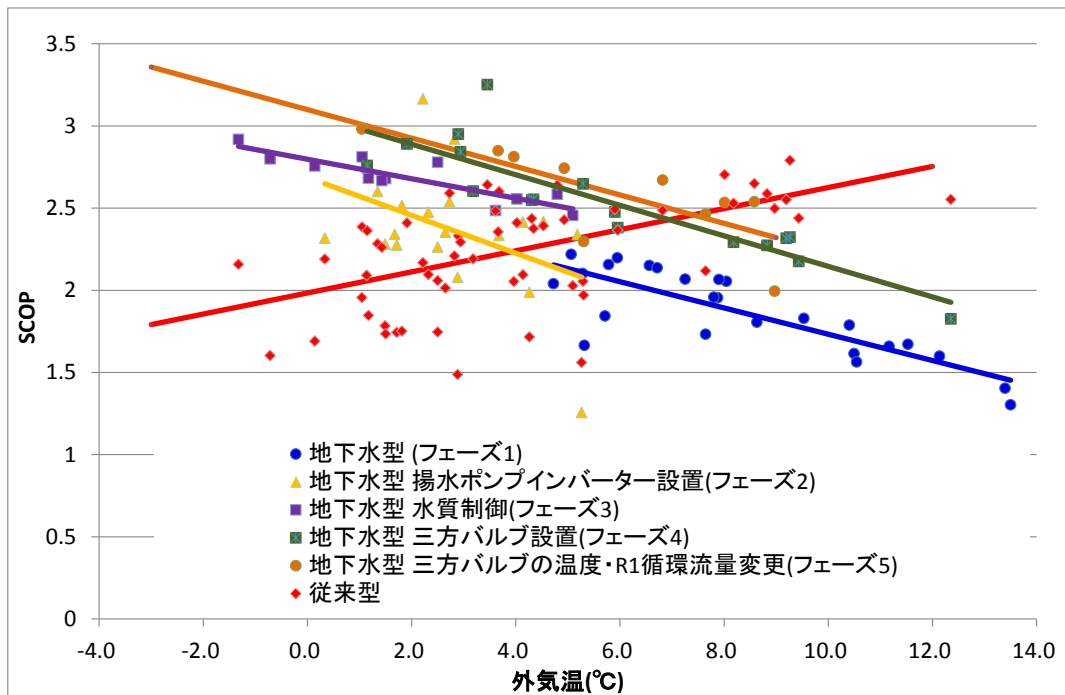


図 5-4 冬季運転におけるチューニング・改良による COP の向上

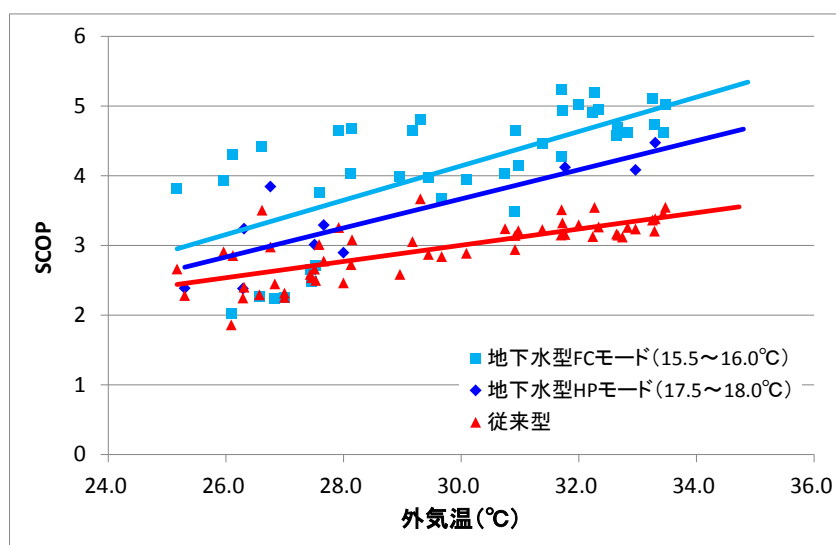


図 5-5 夏季運転における運転モード別 COP の変化

冬期、夏期の運転結果を従来システムと比較する形で以下に表 5-1 にまとめた。なお表中の SPF は季節平均成績係数、APF は年間平均成績係数を意味し、それぞれの従来型との比率を SPF 比、APF 比として示している。

最下段の[補正]地下水・通年の欄はシステムチューニングや軽微な改良が当初より実施されていた場合の運転結果の補正值である。本システムの従来システムに対する効率向上は 1.36 倍であり、この結果自体は目標値に届いていない。この要因は様々考えられるがもっとも大きい要因は 2 年目以降の地中の蓄熱効果の利用が反映されていないこと起因する。

表 5-1 年間の運転結果と効率比 (APF 比)

		SPF APF	SPF比 APF比	CO2 削減率
地下水型	暖房 (2011/12/21~2012/3/6)	2.53	1.08	47%
	冷房 (2012/7/2~2012/8/31)	4.17	1.35	28%
	通年	3.11	1.21	41%
従来型	暖房 (2011/12/21~2012/3/6)	2.35		
	冷房 (2012/7/2~2012/8/31)	3.10		
	通年	2.57		
【補正】 地下水型	暖房 (2011/12/21~2012/3/6)	2.99	1.27	54%
	冷房 (2012/7/2~2012/8/31)	4.30	1.39	30%
	通年	3.50	1.36	48%

地中の 2 年目以降の蓄熱効果を勘案するためシミュレーションを実施した。まず実測値とシミュレーションを比較することでシミュレーションの精度を検証し、問題がないことを確認した。

さらにこのシミュレーションを用いて 2 年目、3 年目の計算を行った結果、3 年目の効率比は 1.53 を得た。したがって蓄熱効果を加味すると、十分に目標達成は可能であることが示された。

また、本実証実験では予算、スケジュール等の関係で実施できていなかったシステム改善策が提示されており、これの有効性の概算結果ではシステムの効率比が初年度でも 1.52 となることが示されており 1 年目においても実証運転での目標値をクリアできたことになる。

また、実証実験の確認事項であった水質制御装置の有効性の確認に関しては、冬期、夏期を通じて一度も目詰まりが生じなく、有効性が確認された。また試験的に鉄イオン濃度を上げた試験

でも問題がないことが確認され、地下水質が異なる鉄の高濃度地域においても有効であることが確認された。

さらに、今回、開発されたヒートポンプに関しても、設定温度を上回る熱源水温度（地下水温度）となるとフリークーリングモードからヒートポンプモードに切り替わることが実験運転で確認されシステムの有効性が検証された。



#### 4) 商用実機の性能・経済性検討

我が国における提案システムの適用可能地域を調査することを目的に、国内の水理地質情報（地質、水理特性、地下水位など）を収集・整理し、適地評価指標の検討により定量的評価に基づく本システムの全国適マップを作成した。なお、本項目については、独立行政法人産業技術総合研究所に再委託した。

以下に成果の一部である地下水制御型ヒートポンプ空調システムの適地マップを示す。これは既往文献やデータより透水係数、地下水面深度、水面勾配などのデータを基に評価したものである。

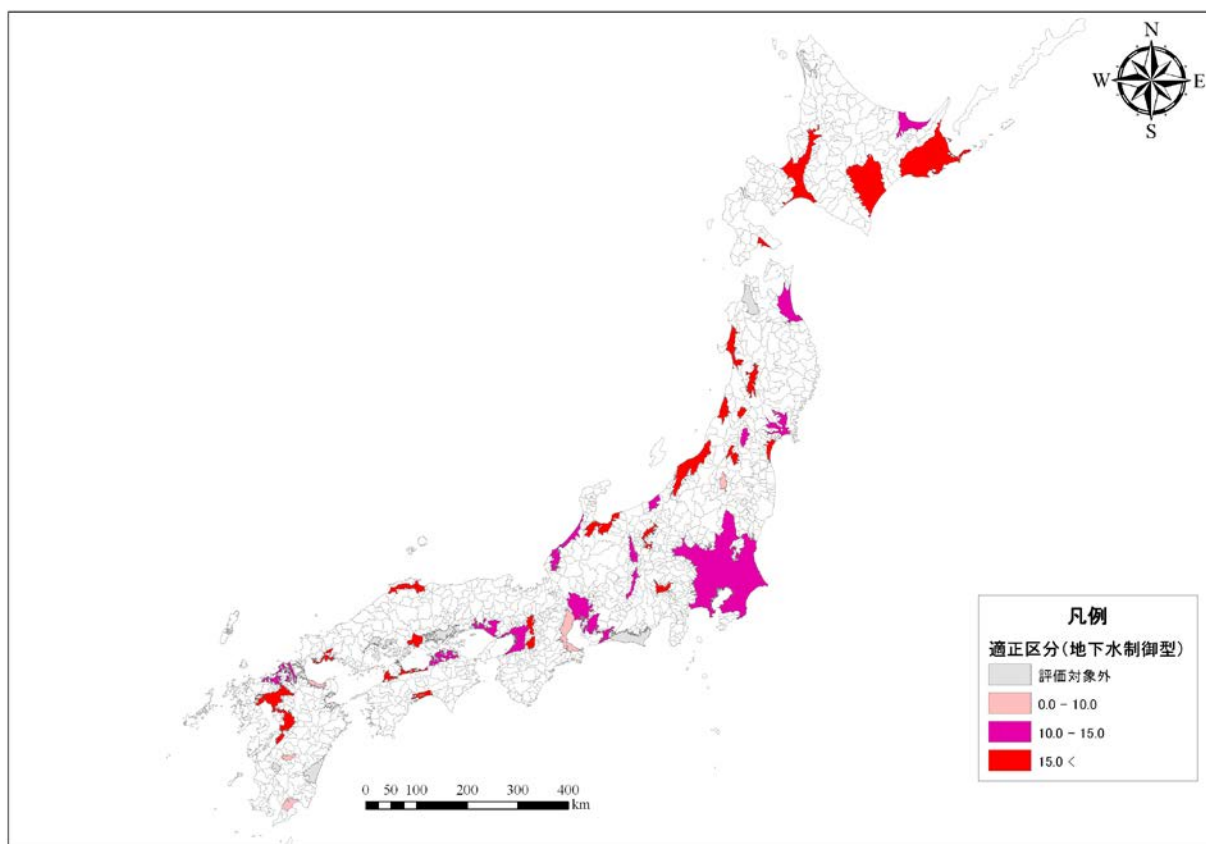


図 5-6 適地マップ

日本海側の秋田、山形、新潟、富山、鳥取などが適地として示されている。また北海道では札幌周辺なども適地としてあげられており、ある程度の市場が期待できると思われる。

また、全国の気候区分別の3地域（札幌、長野、熊本）を対象として事務所ビルに本システムを導入した場合のイニシャルコスト、ランニングコストの検討を行い、最終的には単純回収年数として整理して、本検討の目標である効率 1.7 倍および単純回収年数 10 年以内が達成可能か判断を行った。

効率比に関しては表 5-2 に示されるように熊本以外では 1.7 倍が達成できることが示された。

表 5-2 実証実機の各地域での効率比

地域	札幌	長野	熊本
開発システムのエネルギー消費量 MWh/年	99.2	96.7	119.1
従来システムのエネルギー消費量 MWh/年	170.9	164.0	182.1
比率 b/a	1.72	1.70	1.53

また、単純回収年数に関しては、補助金を考慮しないと達成できないことが分かったが、補助比率 1/2 を設定すると表 5-3 のように札幌、長野、熊本それぞれで達成可能であることが示された。

表 5-3 開発システムの経済性の評価

**商用実機熱源方式別比較(蓄熱効果考慮、補助率:1/2)**

地域		長野			
システム構成		地下水熱利用システム		空冷マルチHPシステム	
延べ床面積		3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>	3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>
イニシャルコスト	建築設備	70,000,000	26,800,000	95,520,000	32,960,000
	井戸・水質制御装置	37,725,000	18,945,000	-	-
	合計	107,725,000	45,745,000	95,520,000	32,960,000
ランニングコスト減		1,650,250	550,083	基準	基準
単純回収年数		7.4	23.2	基準	基準

地域		札幌			
システム構成		地下水熱利用システム		空冷マルチHPシステム	
延べ床面積		3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>	3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>
イニシャルコスト	建築設備	68,800,000	26,800,000	98,560,000	34,320,000
	井戸・水質制御装置	30,350,000	15,675,000	-	-
	合計	99,150,000	42,475,000	98,560,000	34,320,000
ランニングコスト減		1,742,000	580,667	基準	基準
単純回収年数		0.3	14.0	基準	基準

**商用実機熱源方式別比較(蓄熱効果考慮、補助率:1/2)**

地域		熊本			
システム構成		地下水熱利用システム		空冷マルチHPシステム	
延べ床面積		3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>	3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>
イニシャル コスト	建築設備	70,000,000	27,000,000	87,440,000	30,480,000
	井戸・水質制御装置	28,000,000	14,625,000	-	-
	合計	98,000,000	41,625,000	87,440,000	30,480,000
ランニングコスト減		1,530,000	510,000.0	基準	基準
単純回収年数		6.9	21.9	基準	基準

5) まとめ

従来システムに比べ、1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率 HP 空調システムが実現できた。また、長期運転に際して懸念となる水質制御に関しても実証実験機の運転を通じて一切、目詰まりがなかったことが確認され、成功裏に開発が完了している。従って、高性能な地下水利用ヒートポンプの安定的な運転が実現できたことにより将来的な省エネシステムの普及展開の道筋が明確となった。

経済性に関しては補助金を考慮すると全地域で単純回数年数がそれぞれ 10 年以内を達成し、市場展開の目処がついている。しかし補助金を考慮しないと市場競争力が十分ではなく更なる機器、システムのコストダウンが必要と考えられる。

全体開発成果と個別成果

【 開 発 目 標 】			
全体計画	最終目標(値)	達成/未達	主な内容
地下水制御型高効率 HP 空調システムの研究開発	従来システムに比べ、1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率 HP 空調システムの実現	達成	商用実機の検討結果より 1.7 倍の性能を達成。
個別開発項目	最終目標(値)	達成/未達	主な内容
水質制御技術の開発	目づまり防止を確実にける技術レベルに達成している可能性を明示	達成	実証実験機の運転を通じて一切、目詰まりがなかったことが確認され、成功裏に開発完了。
実証実験による基盤技術の実証	実証実験機の設計・運転による環境性能 1.5 倍の達成	達成	実証実験機の運転データとさらなるシステム改善、蓄熱効果を考慮に入れ、さらに 2 年目以降の蓄熱効果を含めた計算で 1.5 倍以上を達成
商用実機の性能・経済性検討	現状システムの 1.7 倍及び単純回収年数が 10 年以内を明示	達成	温暖地域を除く 2 地域でシステム効率が 1.7 倍以上になることを確認。 また補助金を考慮すると全地域で単純回数年数がそれぞれ 10 年以内を達成。

## 2.5 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

### 1. テーマの目的（必要性）

都市排熱の有効利用を考える場合、課題となるのは下水処理場またはポンプ場、あるいはゴミ焼却場や年間冷房施設などの排熱源と、給湯や冷暖房用の熱源水需要施設との空間的なギャップである。本研究開発は単なる下水熱利用に留まらず、この空間的なギャップを克服するため、都市インフラである下水管路を熱幹線として活用し、離れた地点間の熱融通を可能とするもので、エネルギーの面的な有効利用と CO2 削減、加えて都市域のヒートアイランド現象の緩和なども期待できる。

下水熱利用の一般的な形態としては、単純に夏期における冷却水、冬季におけるヒートポンプ熱源水としての利用が考えられる。しかし下水管路に流入する熱は給湯負荷の 30～50% であり、熱利用の普及段階では熱が不足するようになる。また、夏季夜間には外気温より高くなることもあり、冷却熱源としての価値は加熱源に比べ小さい。そこで、下水は一方方向に流れることから、図 1 に示すように、上流側で排熱を処理した後、下流側で給湯用ヒートポンプ熱源として利用することや、上流側でヒートポンプ熱源として採熱し、温度の低下した下水へ冷凍機の排熱を放出することが必要である。さらに後者のように夏期に下水の上流側で給湯用熱源として熱回収すれば、下水温度の上昇抑制により管腐食、硫化ガス生成などの副作用を抑制する効用も期待できる。

本事業では、下水管路における下水熱利用・熱融通の企画・計画に資するソフト開発、下水熱利用・熱融通の実現に資するハード開発、ヒートポンプ性能を含めたシステム性能を改善するためのシステム開発を行う。

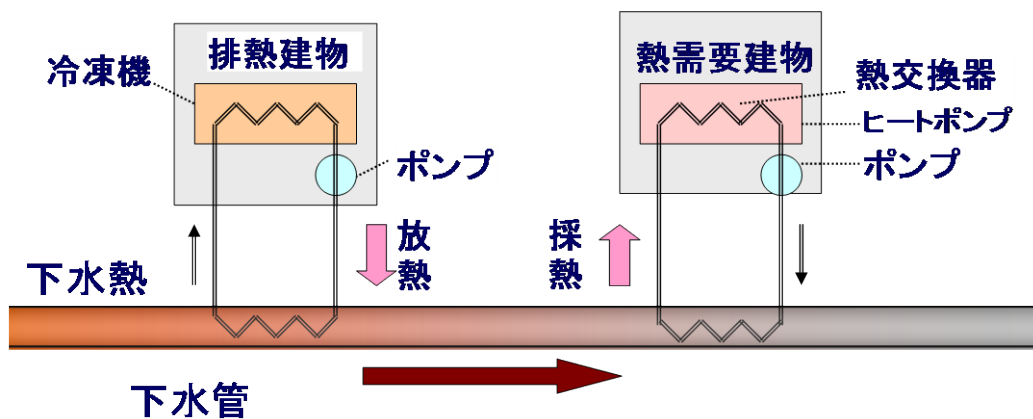


図 1 下水管路における排熱処理（放熱）・熱回収（採熱）による熱融通イメージ

### 2. テーマの要旨

下水熱の有効利用を考える上で、下水処理場と熱需要施設との空間的なギャップが重要な課題である。下水管路網を活用した下水熱利用は、熱需要施設と下水管路の距離が短いために、この空間的なギャップを克服することができる。本受託事業では、下水管路において下水熱を利用するのに必要な機器開発とともに、下水熱利用を推進するための企画手法の開発も併せて行うもの

である。以下に得られた知見の概要を示す。

#### 1) 下水管路流量・温度実測と推定法

大阪市内において、下水の流量と温度の実測を行った。また、下水処理場など既知の流量から集水域（下水を収集するエリア）内にある建物群の延床面積を用いて、任意のマンホールでの流量推定を行う手法の開発を行った。この推定法によると、晴天日の下水道の日積算流量の推定値は、実測値の 70% から 110% であった。また、下水温度推定法として、集水域内の住宅の比率に応じて分類することで時刻変動を推定する手法を得た。

#### 2) 熱交換器の開発

設置条件に応じた様々な導入シナリオに対応する熱交換器を試作し、実際の下水を用いて効果を検証した。開発した熱交換器の一つである流下液膜式熱交換器の熱通過率はバイオフィーム成長後で  $400[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であった。また、洗浄により性能が回復する効果も実証試験の中で明らかにした。

また、管路内に設置する、金属製管内露出型等の熱交換器を試験した。金属製管内露出型熱交換器では、バイオフィーム付着後の性能が  $300[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であった。なお、金属製管内露出型熱交換器は管更生併用型熱交換器としても使用可能である。

#### 3) スクリーンの開発

設置条件に応じた様々な取水能力の夾雑物除去用スクリーンを試作し、性能を検証した。小容量タイプでは、取水能力は  $14[\text{L}/\text{s}]$  あることを、中容量タイプの取水能力は  $50[\text{L}/\text{s}]$  以上あることを実証した。

#### 4) 下水熱利用・熱融通適応エリアの抽出

開発した下水流量と温度の推定手法により、大阪市全域の下水熱ポテンシャルマップを作成した。また、この下水熱ポテンシャルと建物の熱需要量の地理情報を比較して下水熱利用の適地を調べる手法を得た。上流側でヒートポンプ熱源として採熱し、温度の低下した下水へ冷却システムの排熱を放出することも可能であり、これを熱融通と呼ぶ。この熱融通により、採熱だけの利用より、熱利用量を増やすことが可能となる。

#### 5) 実証試験設備の構築と実測

下水管路の上流側に採熱システムを、管路の下流側中間位置に排熱システムを、さらに下流に採熱システムを構築した。この試験設備において、年間の各季節の代表的な水温条件を設定して、各季節における下水熱システムの性能を把握した。採熱システムにおいては、 $65^\circ\text{C}$  出湯の場合、冬期に COP が 4.5、SCOP が 3.5 となることを確認した。排熱システムにおいては、冬期に COP が 4.5、SCOP が 3.2 となることを確認した。

#### 6) システム評価

宿泊客数 300 人のホテル（熱源 120kW 程度）において、下水熱利用システムの導入可能性について、工事費、メンテナンス費、エネルギー費を考慮して試算を行った。なお、エネルギー費は実証試験結果を用いて算出した。試算の結果、燃焼式ボイラに対するコストの増分は約 10 年間で回収でき、補助金（再生可能エネルギー熱利用高度複合システム実証事業費補助金（補助率 1/2））を活用することで、約 4~5 年間で回収可能であることを示した。

### 3. テーマの目標

下水管路における熱利用のため、経済的な採熱・放熱装置として管路内設置型と管路外設置型の熱交換装置を開発する。また、熱融通のため、下水管路の熱輸送性能を明らかにする。さらに、各施設に応じた下水採熱または排熱のための熱源システム構成、システム制御の検討を進めるとともに、下水温度条件に適したヒートポンプの性能や制御方法を得る。また、研究開発成果の実証のための試験設備を構築し、一定期間の実証を行う。システムシミュレーションによる省エネルギー効果評価法を研究するとともに、試験設備を用いて評価法を検証する。

具体的には、開発研究を、調査、個別技術の研究開発、個別技術の性能試験、実証試験、システム評価に分類し参加メンバーの相互協力により、より高いレベルでの開発を目指す。

システム全体での効率向上効果が、現状システム（ボイラによる加熱システム）に対して1.5倍以上であることを実証することが目標である。

個別研究項目として、下水管理における流量・温度推定を目標とした調査、下水の採熱に必要なハード開発とヒートポンプの構成検討からなる個別技術の研究開発、実証システムの性能評価および普及へ向けた下水熱利用・熱融通適応エリア抽出手法からなるシステム評価手法の検討がある。

全体目標(主目標)	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
システム全体での効率向上効果が、現状システムに対して1.5倍以上	・従来システムと比較して総合効率1.5倍以上の達成。	試算上は1.5倍をクリア
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
(1)調査 ア. 熱融通適応可能エリアの下水管路流量・温度実測 イ. 実証建物の既存熱源システム調査 ウ. 国内外下水熱利用・技術動向調査 エ. 全国下水管路調査 オ. 下水温度情報収集調査の拡張 カ. 見学講演会の実施	ア. 温度10ヶ所, 流量7ヶ所 イ. ホテル, データセンター調査 ウ. 比較評価 エ. 適用対象把握 オ. 3都市以上ヒアリング調査. 導入モデルケースを検討. カ. 見学会と, 開発成果の講演会を実施. (設定理由) 従来から一般的に行われている伝熱計算法は, 時間変動が考慮されていない定常計算による計算法によるものであり, 計算精度が問題であった.	ア. 知見なし イ. 原単位での試算 ウ. Web程度での知見 エ. 知見なし オ. 下水温度は文献程度の知見, モデルケースは未検討 カ. 実績なし
(2) 個別技術の研究開発 ア. 管路内設置型と管路外設置型の熱交換装置の開発 イ. 下水管路の排熱条件に適した給湯・冷温	ア. 海外製品より優位 イ. 海外システムに優位 (設定理由) 国内においての管路途中からのシステムが存在したいため, 既に導入事例がある海外を比較対象としたため.	ア. 国内技術なし イ. 未検討

水ヒートポンプシステムの構成検討		
(3)実証試験 ア.個別技術の性能試験 イ.小規模試験装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱交換器の開発を1つ以上行う</li> <li>・試験装置の構築 (設定理由)</li> </ul> 未処理水を用いた実環境下での実証試験により性能検討を行う必要があったため。	ア.実績なし イ.実績なし
(4)システム評価 ア.下水熱利用・熱融通適応エリア抽出手法の開発 イ.下水熱利用・熱融通システムシミュレーション手法の研究 ウ.下水熱利用・熱融通システムシミュレーションによる効果の計算 エ.下水熱利用・熱融通設備の試設計・コスト分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・下水流量推定手法、下水熱利用可能量と熱需要量の比較検討手法の開発。</li> <li>・下水熱利用・熱融通に有望な場所を3箇所以上見つける。</li> <li>・従来システムと比較して総合効率1.5倍以上の達成。 (設定理由)</li> </ul> ハード的な開発だけではなく、普及を考えると、導入場所の検討のためのソフト面的な開発事項や、システム導入による効果の検証などシステム面での評価も必要であると考えたため。	ア.下水を対象とした場合の手法の知見はなし イ.下水熱源でのシステムシミュレーションは知見なし ウ.概算試算上は1.5倍あり エ.未検討

#### 4. テーマの計画，研究内容

##### 1) 調査

##### ア. 熱融通適応可能エリアの下水管路流量・温度実測

下水管路上での下水温度流量の特性を把握する必要がある。これは、下水流量・温度推定法を検討する際にも有用な情報となるものであるため、大阪市内において長期的に下水流量・温度を実測する。

##### イ. 実証建物の既存熱源システム調査

実証試験対象地域の建物について現状システムの熱負荷と熱源のシステム構成、および、熱源の運用状況の調査を行う。

##### ウ. 国内外下水熱利用・技術動向調査

既に導入されている国内外の既存の下水熱利用システムの基礎調査を行う。バイオフィルム対策を有した下水熱利用熱交換器の海外メーカーと、下水熱利用熱交換器へのバイオフィルム生成・剥離に関する研究をしているスイスの研究者に技術ヒアリングを行う。本事業で開発した熱交換器と海外（ドイツ・スイス）メーカー製の下水熱利用熱交換器を比較して、本事業で開発した熱交換器の熱交換性能と夾雑物の影響への対策性能を含めたベンチマークを行う。

##### エ. 全国下水管路調査

管路内設置型の熱交換装置については、老朽化した下水管や耐震化が必要な下水管に対す



る管更生事業と一体となって整備することが効率的である。その実現性を確認するための基礎調査として、平成 23 年度に全国の下水管路の劣化・整備状況および整備手法を調査する。

下水管の不具合の状況や管更生事業の考え方を調査し、管更生事業と一体となった管路内設置型熱交換装置の設置の可能性、自治体ニーズを見極めるとともに、本研究開発で提案する熱利用・熱融通システムの特徴、優位性を明確に示す。

#### オ. 下水温度情報収集調査の拡張

寒冷地であるほど、気温と下水温度の差が大きく、下水熱利用の効果が大きいと考えられる。しかし、特にシステム導入の可能性の高い寒冷地や都市部への実用化を見越した時に、他地域での下水温度情報がない。そのため、寒冷地を中心に都市部において下水温度の情報把握を行う。

#### カ. 見学講演会の実施

技術開発後の実用化モデルとして公共建築物をターゲットとし、実建物でのシステム導入を目指す。システムの実用化を目的とした PR 活動や成果の開示が必要であるため、システム導入側のニーズ調査にむけた開発成果の講演会を実施する。

### 2) 個別技術の研究開発

#### ア. 管路内設置型と管路外設置型の熱交換装置の開発

下水管路熱交換器の研究開発を狙いとし、管路内に直接熱交換器を設置する方式と管路から夾雑物を除去した未処理下水を取水した後に熱交換を行う管路外型熱交換方式の二つが考えられる。その概念を図 2、図 3 に示す。それぞれの方式について適した熱交換器及びスクリーンを開発する。

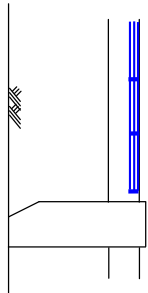
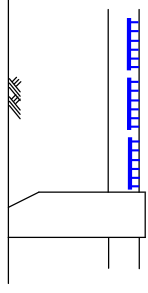
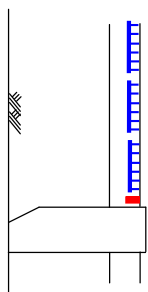
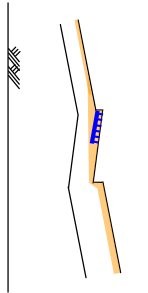
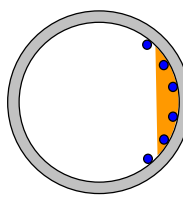
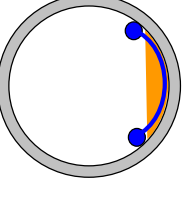
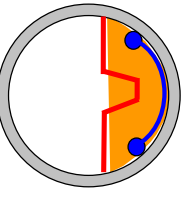
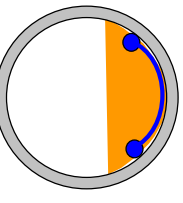
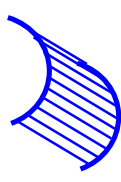

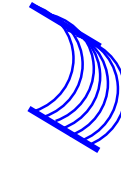

	① 管路途中 (工作なし：順方向設置)	② 管路途中 (工作なし：直角方向設置)	③ 管路途中 (堰方式)	④ 管路途中 (逆勾配区間の利用)
管路 縦断方向				
管路 横断方向				
コイル				
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 汚水の流れ方向に対して、コイル細径部が順方向になるため、し渣の引っかけりは、②案に比べ小さいと推測される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 現在の製品を大きく加工することなく、適用が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水深は確保されるため、比較的安定して熱交換が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水深は確保されるため、比較的安定して熱交換が可能である。</li> </ul>
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 太径部が曲線となり、製品の製造上、課題がある。(製造上の問題と、管径ごとに製品寸法が異なる。)</li> <li>• 水深が小さいため、熱交換効率が悪い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• し渣が引っかけり易いと推測される。</li> <li>• 水深が小さいため、熱交換効率が悪い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• し渣が引っかけり易いと推測される。</li> <li>• 降雨時に、浸水の原因とならないように工夫が必要である。(=転倒堰の適用など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 管路に逆勾配があることが前提であるため、計画論上、問題がある。</li> <li>• 逆勾配区間は、流下能力が不足しており、そこにコイルを設置すれば、流下能力の不足を助長することになる。</li> </ul>

図 2 管路内設置型熱交換器の検討イメージ

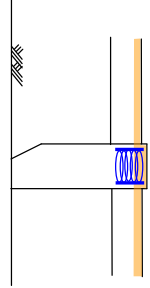
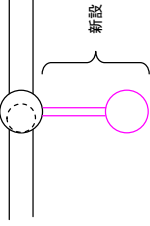
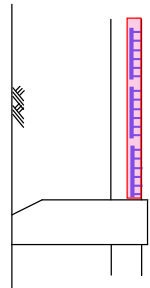
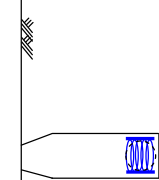
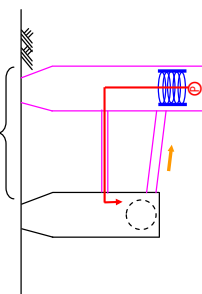
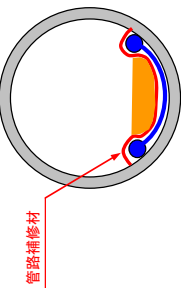
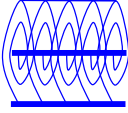
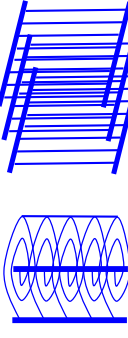

	⑤ マンホール部 浸漬	⑥ マンホール部横に水槽を設置し浸漬 (平面)	⑦ 管路修繕工法との併用
管路 縦断方向			
管路 横断方向			
コイル			
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 比較的設置し易い。</li> <li>• 安定した水深を得るのは困難である。</li> <li>• し渣がひっかかり、管路が閉塞する恐れがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 安定した水深が得られ、熱交換効率は比較的高い。</li> <li>• 現在の製品形状を適用し易い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• し渣の引っかかりは低減する。</li> </ul>
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>• マンホールの新設など設置費用が嵩む。</li> <li>• ポンプを併用するため、イニシャルコスト、ランニングコストが嵩む。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 熱交換効率は低下する。</li> <li>• コストは高くなる。</li> </ul>	

図 3 管路外設置型熱交換器の検討イメージ

イ. 下水管路の排熱条件に適した給湯・暖房ヒートポンプシステムの構成検討

国内外の既存の下水熱利用システムの基礎調査と基本構成の整理を行う。また、既存施設の空調・給湯システムへの下水熱利用システムの付加方式を提示する。

さらに、調査・計測した下水の流量・温度変化実績などのデータに基づき、給湯ヒートポンプの熱源水（下水）の温度帯を設定する。また、設定した温度帯に適応したヒートポンプの性能を提示する。

また、国内外のヒートポンプの比較評価を行い、平成22年度に設定した条件に適したヒートポンプを用いた熱源システム構成及び機器表を示す。さらに、設定した熱源システムにバックアップ機能を加え、熱融通を想定した制御手法を1つ以上示す。得られた知見から下水熱利用に重点を置いたヒートポンプの設計を行う。

その他として、下水熱利用に重点を置いたヒートポンプの試製作を行う。

3) 小規模実証試験設備

開発した個別技術および開発目標である下水熱利用・熱融通技術の実環境下での実証試験設備を行う。実証試験装置の概念図及び構築計画を図4に示す。システムの基本概念については、図5に示す通り、上流からホテル、データセンター、ホテルという並びに30kWの加熱能力が必要な施設が建っていると想定し、下水管路から取水または管路内から直接熱交換を行い、熱源機の熱源として下水を利用するシステムである。この実証試験では、各個別建物想定熱源機のCOPと建物毎のシステムCOPを実験にて得られるデータより求める。

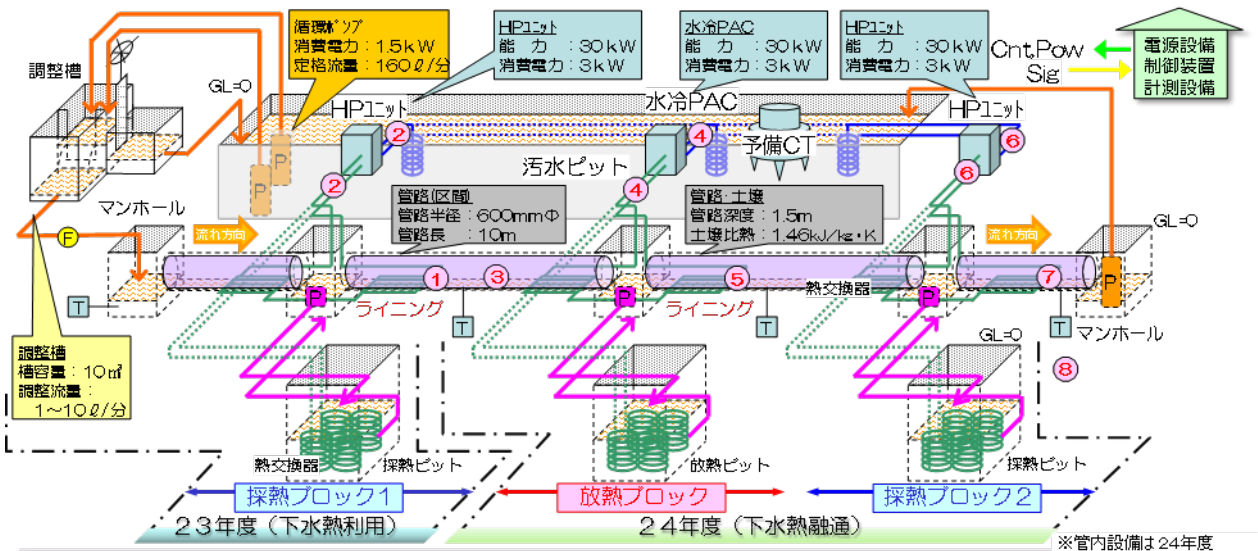


図4 実証試験設備概念図

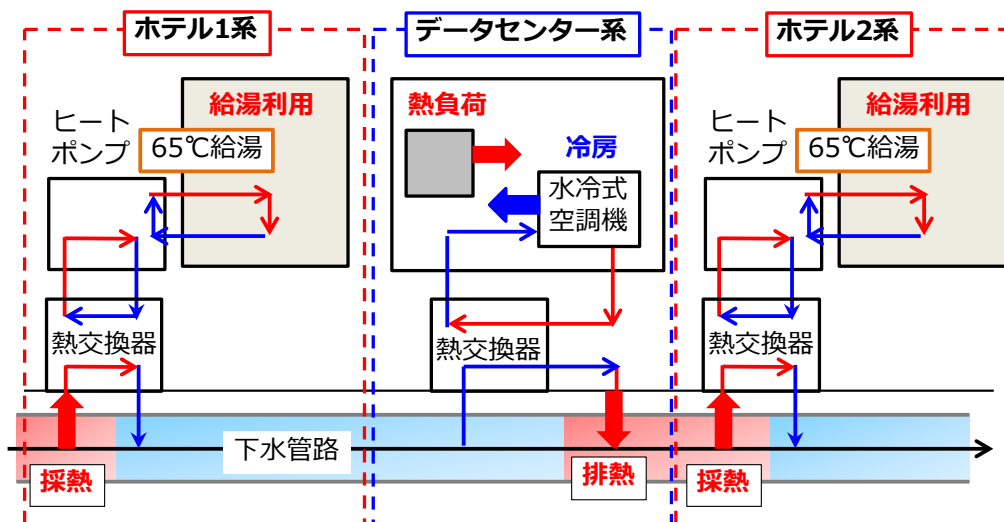


図 5 実証試験装置概要図

#### 4) システム評価

##### ア. 下水熱利用・熱融通適応エリア抽出手法の開発

下水熱利用・熱融通システムの導入先検討を行う際に必要な適用有望箇所について、その抽出手法の開発を行う。具体的には、下水流量や温度はポンプ場や処理場で計測されているが管路では計測値が無い。構想段階や基本計画段階などで熱需要施設での下水熱利用可能量を把握するために下水流量・温度が必要となる。そこで、実測により特性を把握した結果から、流量・温度を簡便に推定する下水流量・温度推定法を検討する。

推定手法が開発された後、システム導入適応有望箇所の抽出を行う。手法としては、流量推定手法を用いて各マンホールを流れる下水流量を推定し、下水熱賦存量を求める。そして、熱需要の高い建物をピックアップし、マッチング検討を行う。マッチング検討では、建物の熱需要と下水熱賦存量の比を取り、熱需給比率を求める。熱需給比率が 1.0 以上となる建物では、下水熱を用いて熱需要の全量を賄うことが可能であると考えられるため、これらの建物を下水熱利用有望箇所として抽出する。

##### イ. 下水熱利用・熱融通システムシミュレーション手法の研究

下水熱融通利用システムと現行システム（ガスボイラ）の年間一次エネルギー消費量、一次エネルギー換算年間平均 COP の比較を行なうことを目標として、エネルギーシミュレーションモデルを作成する。その際、下水管路の吸放熱特性を動特性まで含める必要性を明らかにする。

##### ウ. 下水熱利用・熱融通システムシミュレーションによる効果の計算

下水熱利用融通システムと現行システム（ガスボイラ）のシミュレーションを行ない、年間一次エネルギー消費量、一次エネルギー換算年間平均 COP の比較を行なう。

##### エ. 下水熱利用・熱融通設備の試設計・コスト分析

下水を利用した最適な熱融通システム構成を検討するために、都市内部に存在する年間排熱施設として考えられるデータセンターなどの施設について、システム構成と排熱方式を調査し、下水を活用した熱融通システムを示す。

また、新設・既設改修の手法について検討し、熱利用・熱融通システムの導入コストを分

析する。構成システムの適用条件、イニシャル・ランニングコスト、ならびに採算性について2パターン以上のケーススタディを行う。

## 5. 研究開発成果

本研究開発により得られた成果を示す。

### 1) 調査

#### 1) - 1 下水流量・温度の実測

管路における下水流量・温度の推定手法を得ることを目標に、大阪市を対象として、図6に示す特徴を持つエリアにおいて、下水流量・温度の実測を行った。流量に関しては、図7に示す様に、住宅地域（住宅の延べ床面積比率72%）の下水管路流量は早朝に流量が著しく低下することが分かった。また、業務・商業地域の下水管路流量は日変動が住宅地域に比べて小さいことが分かった。流量変動は住宅の延べ床面積比率に大きく依存することが分かった。

また、札幌、仙台、東京、新潟、大阪、神戸において下水処理場における温度調査を行った結果、図8に示す様な結果となった。新潟市は、他の都市と変動パターンがことなるのは、下水温度は法定検査時に取水した後の温度である可能性があるためである。多雪地域における冬期下水温度低下の可能性も示唆している。東京、大阪、神戸における下水温度は殆ど変わらない。緯度経度に比例して温度変化が生じていることが分かった。

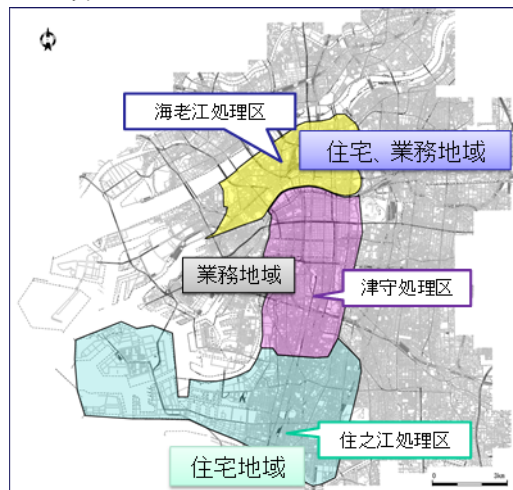


図6 実測対象エリア

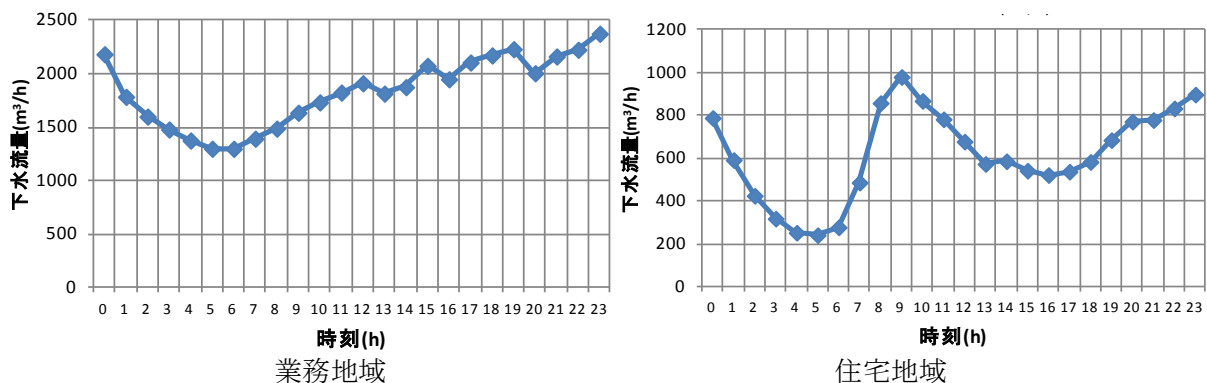


図7 下水流量測定結果

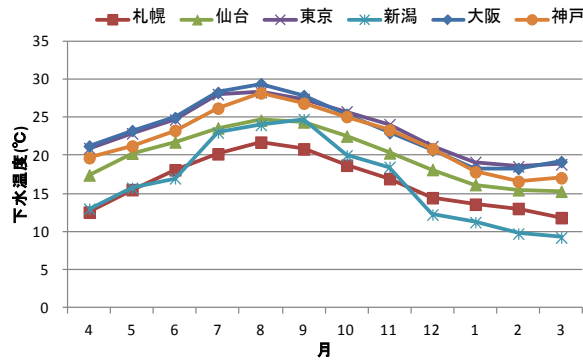


図 8 各都市の下水温度調査結果

### 1) - 2 国内外下水熱利用に関する動向

調査の結果、ドイツとスイスにおいて管路における下水熱利用システムが開発されていることを確認した。ドイツにおける下水熱利用カンファレンスに2回、国土交通省との下水熱利用に関する合同調査1回、ドイツの大学、スイスの研究機関の研究者との情報交換を行ない、中国東北地方の導入状況を1回調査した。これらの調査結果をシステム設計のコンセプトをまとめる上での参考とした。海外の事例では、熱交換器は機械的にバイオフィルムを除去する方式であり、高性能であるが高価であった。また、夾雑物対策装置は夾雑物を含めて取水した後に分離する方式で高価であった。そのため、本研究開発では、実導入へ向けて、より低コスト化、コンパクト化することに注力する方針とした。また、本調査を通じ、下水熱利用の推進を進める国土交通省にも情報提供を行なうことで、下水熱利用に係わる法的枠組み整備にもつなげることができた。

### 2) 個別技術の開発

#### 2) - 1 熱交換器の開発

設置条件を考慮した様々な導入シナリオに対応する熱交換器を試作し、未処理下水試験により初期性能および汚れによる性能低下を計測し、水温・水質・流速などと性能低下との関係を明らかにした。下水管路外に設置するタイプとして流下液膜式熱交換器、二重管式熱交換器の試験を行い、実環境下での性能を把握した。流下液膜式熱交換器は初期の熱通過率が約  $1000[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であり、バイオフィルム付着後の性能が約  $400[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であった。二重管式熱交換器では、初期の熱通過率が約  $700[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であり、バイオフィルム付着後の性能は約  $300[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  まで低下した。洗浄により性能回復効果も実証試験の中で明らかにした。

また、管路内に設置するタイプとして、金属製管内露出型熱交換器、管路一体型熱交換器の試験を行った。金属製管内露出型熱交換器では、初期の熱通過率が約  $600[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であり、バイオフィルム付着後の性能が約  $300[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  であった。なお、金属製管内露出型熱交換器は管更生併用型熱交換器としても使用可能である。管路一体型熱交換器では、熱通過率が約  $30\sim 50[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  と低いレベルであるが、汚れによる性能低下は小さかった。

導入検討するシステムにおいて、最適な方式を選択する必要があるが、管路外設置型では流下液膜式熱交換器、管路内設置型では管路底部設置型（並列型）の性能（熱通過率）が高い。

分類	管路外設置型			管路内設置型			
熱交換器方式	樹脂+アルミ	流下液膜式	二重管式	管路底部設置型		管路一体型(樹脂)	
外観写真							
流速条件	熱源水側:0.25m/s 下水側 :0.10m/s	熱源水側:2.7 m/s 下水側 :0.52 kg/(m <sup>2</sup> ・s) 	熱源水側:0.75 m/s 下水側 :1.0 m/s 	下水断面流速:0.3m/s 熱源水流速: 並列型 2.8m/s 直列型 1.4m/s 	熱源水側:0.24m/s 下水側 :0.13m/s		
熱通過率 (W/m <sup>2</sup> ・K) ①初期性能 ②生物膜成長後 ③洗浄対策後	①	180	2000	800	850	800	120
	②	120	1300(120h経過時)	350(120h経過時)	350	280	100
	③	180	1700	650	600	400	—
洗浄方法	散水・配管単位長さ当りの流量0.52(L/min・m)	流量1.0 kg/(m <sup>2</sup> ・s)の下水により3分間継続	流速1.5m/sの工業用水により5分間継続	約1分間流速を0.9m/sに上昇させる		洗浄しない	
熱通過率用伝熱面積の定義	熱交換コイル外径基準(下水との接触面)	熱源水伝熱管外径基準(下水との接触面)	下水管内径基準(下水との接触面)	熱交換器と下水との接触面(外径の上半分)		熱源水が流れているリブ部分の下水接触面	

図 9 熱交換器の開発成果

## 2) - 2 スクリーンの開発

平成 24 年度までに夾雑物除去用スクリーン 4 ケース (小容量タイプ: クランク式・横型スリット型, 逆洗浄式・多孔型, スプレー式・多孔型, 中容量タイプ: レーキ式・縦型スリット型) を試作し, 性能検証を行った. 25 年度は, 実用化に向けた改良として, 洗浄効果の向上を期待したスプレー式の改良 (ノズル固定型への変更), 洗浄効率向上を期待した洗浄インターバル変更等を実施し試験した. これにより, 小容量タイプでは, 夾雑物を管路内に残す低コストのスクリーン方式を 2 号人孔内にある下水流路の底面全体に設けると, 取水能力は 30L/s あることを, 中容量タイプの取水能力は 50L/s 以上あることを実証し, 底面からの取水の実用性を確認した.



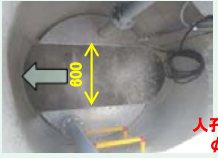

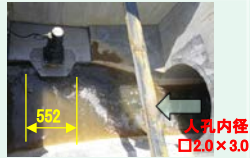
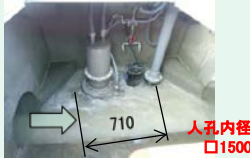
洗浄方法	油圧駆動移動式スプレー洗浄	電動モーター回転レーキ掻き取り	電動モーター回転レーキ掻き取り	電動モーター回転レーキ掻き取り
取水スクリーン	底部φ3mm/パンチングメタル	底部2.5mm縦型水流平行スリット	側部2.5mm横型水流平行スリット	側部2.5mm横型水流平行スリット
適用対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作器取水能力=14L/s(水深14cm)</li> <li>・最小人孔幅=ポンプ、配管スペース600mm(本管径により異なる)+下水道管径</li> <li>・油圧スプレー設置スペースとして管底高-100mm必要</li> <li>・一般的には直線状の中間マンホールに限定される</li> <li>・強度面から維持管理用人孔としての使用頻度は少ない方がよい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作器取水能力=50L/s(入口水深19cm、長さ55cm)</li> <li>・最小人孔幅=減速機スペース600mm(本管径により異なる)+本管径+片側余裕</li> <li>・レーキ設置スペースとして管底高-400mm必要</li> <li>・繊維質やシート状の夾雑物を許容できる熱交換に適用可</li> <li>・一般的には直線状の中間マンホールに限定される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作器取水能力=14L/s(水深11cm)</li> <li>・最小人孔幅=スクリーン設置幅500mm+下水道本管径+片側余裕</li> <li>・据え付け高さ=管底高</li> <li>・スクリーンは片側のインバート部分に設置する</li> <li>・スクリーン設置側から流入下水管がないこと</li> <li>・スクリーン設置側から流入下水管がないこと</li> <li>・繊維質やシート状の夾雑物を許容できる熱交換に適用可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作器取水能力=10L/s(水深9cm)</li> <li>・最小人孔幅=機器設置幅500mm+本管径+片側余裕</li> <li>・スクリーン据え付け高さ=管底高(一体型ポンプ高さ=管底高-50mm)</li> <li>・スクリーンは片側のインバート部分に設置する</li> <li>・スクリーン設置側から流入下水管がないこと</li> <li>・機器が大きいので円形人孔より矩形人孔の方が取扱いがよい</li> <li>・繊維質やシート状の夾雑物を許容できる熱交換に適用可</li> </ul>
給湯負荷*	500世帯	1,900世帯以上	500世帯	350世帯
機器外観				
構造概要	インバートと同じ形状のスクリーンで損失は少ない。管軸方向に移動するノズルから出るスプレー洗浄水で目穴の夾雑物を吹上げ、下水で排出。	管底に設置したレーキにより除塵しながら落下取水。管底下部に、排水管に導水するための取水室と減速機設置スペースが必要。	水平に回転するレーキにより固定スクリーン板スリットを除塵しながら取水する。	水平に回転するレーキにより固定スクリーン板スリットを除塵しながらポンプ(本体と一体型)にて取水する。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドライ化施工(据え付けは1日)</li> <li>・常時水没している油圧シリンダの耐食、短命化リスクがある</li> <li>・人孔内で点検を行う際は、洗浄スプレーを停止する必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドライ化施工(据え付けは1日)</li> <li>・レーキの真上を流体が通過するので歯やスリットの損傷リスクが大きい</li> <li>・取水中であっても点検は可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・片側通水しながらの施工・点検が可能(据え付けは1日)</li> <li>・捕捉夾雑物が乾燥すると回転レーキ損傷の原因になる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・片側通水しながらの施工・点検が可能(据え付けは1日)</li> <li>・掻き出された夾雑物が堆積し、歯の移動障害や変形の原因になる</li> </ul>
維持管理性				
評価	○: 夾雑物除去効果に優れ、安定取水が可能	△: 熱交換器への夾雑物流入が許容できるシステムなら適用可	△: 既製品の応用のため、故障リスクは少ない	△: 他機種と同等の取水量を得るための機器設置スペースが、他機種に比べて大きい

図 10 スクリーンの開発成果

## 2) - 3 ヒートポンプの開発

本研究では、給湯需要が大きく化石燃料の利用も多い宿泊施設や集合住宅での下水熱利用システムの普及を目指し、ヒートポンプ(容量約30kW)の開発を行った。

下水は18℃(冬)~28℃(夏)と、外気の0℃(冬)~35℃(夏)より温度が高く変動幅が小さいため、外気温が低い地域でも温度は外気ほど低下せず、下水熱利用システムの導入は寒冷地ほど利用価値が高い。また、給湯温度は約65℃と高いため、空気熱源では従来、比較的効率のよい45℃程度までをヒートポンプで加温し、その後65℃までボイラで昇温するカスケード利用が行われている。一方、下水熱利用では通年の一次エネルギー効率からみると、ヒートポンプの熱源水入口温度(≒下水温度)が上がることにより、シンプルな熱源システム構成が可能なヒートポンプのみでの昇温の方が、カスケード利用より効率が良い。この傾向は、重みづけ※通年熱源水入口温度(≒下水温度)が高くなるほど顕著となり、一方、札幌より熱源水入口温度が下がる地域では、カスケード利用が有利である。

※年間給湯負荷に対する季節ごとの給湯負荷の割合

### ヒートポンプのみ

ヒートポンプで給水温度から貯湯温度に加温

### ヒートポンプ+ボイラ(カスケード利用)

ヒートポンプとボイラを直列配置

ヒートポンプ: 給水→45℃まで加温

ボイラ: 45℃→65℃まで昇温

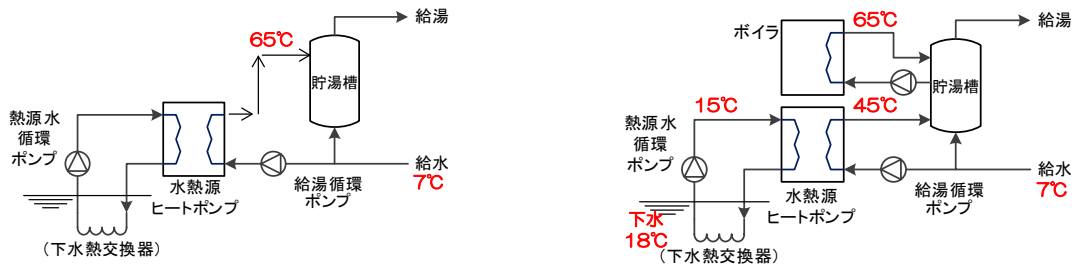


図 11 検討システム概要

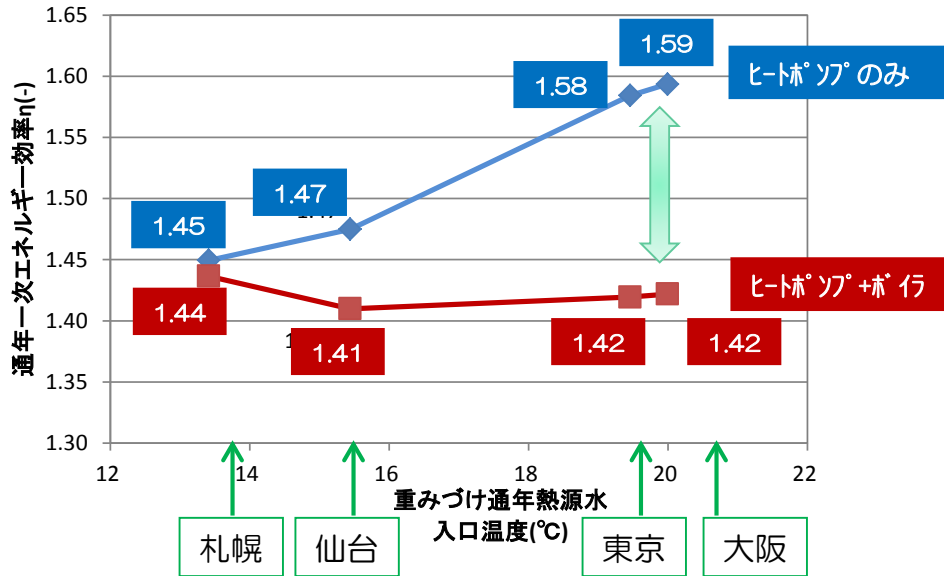


図 12 通年一次エネルギー効率

### 3) 実証試験

下水熱利用による効果の検証のために、図 13 に示す実証試験設備を構築した。実証試験設備における熱源機器を表 1 に示す。構築した実証試験設備において、季節性を考慮した試験を行い、各季節における下水熱システムの性能として表 2 に示す結果が得られた。実証試験設備において、ホテル想定システムにおいては、65°C出湯の場合、冬期に COP が約 4.1、SCOP が約 3.1~3.3 となることを確認した。データセンタ想定システムにおいては、冬期に COP が約 6.2、SCOP が約 3.7 となることを確認した。下記の表 3 に実証試験における COP と SCOP の結果を示す。

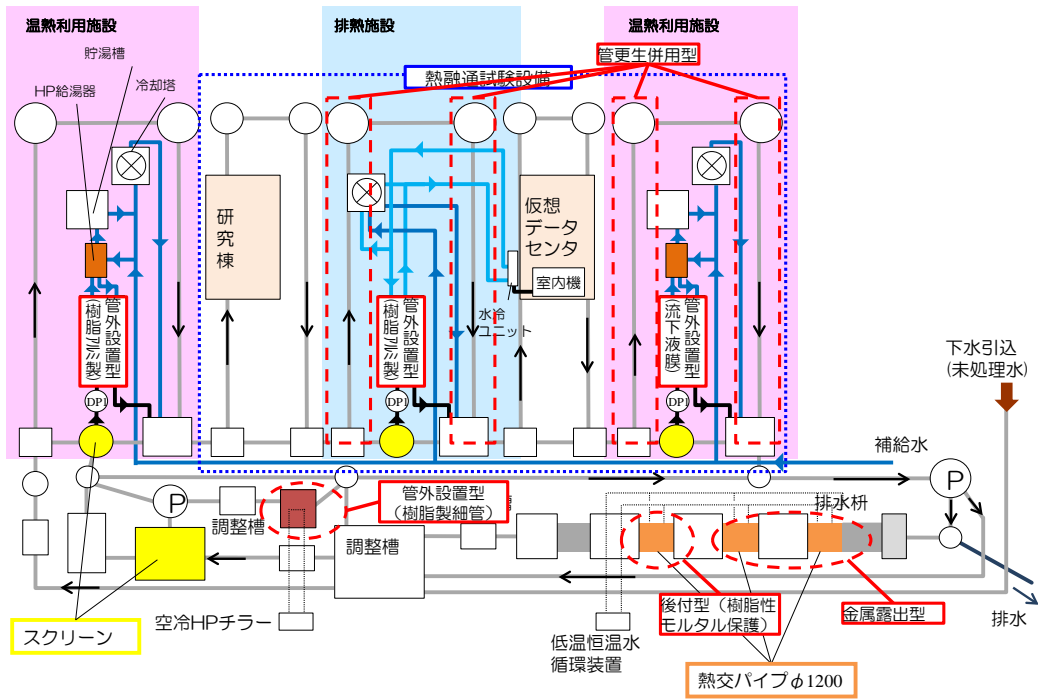


図 13 実証試験設備概要図

表 1 実証試験での熱源機器仕様

		ホテル I 系	ホテル II 系
能力	kW	39	30
温水出口温度	°C	60	65
温水入口温度	°C	15	9
温水流量	L/min	12.4	8.3
熱源水出口温度	°C	10	12.3
熱源水入口温度	°C	15	15.0
熱源水流量	L/min	85.1	125
定格 COP	-	3.98	4.01
定格消費電力	kW	9.8	7.48
運転モード	-	瞬間給湯	貯湯

表 2 各季節を想定した実証試験結果

季節	下水温度 (°C)	上水温度 (°C)		ホテル 1 系	データセンタ系	ホテル 2 系
夏期	30	25	COP	4.64	3.13	4.50
			SCOP	3.77	2.47	3.34
中間期	25	20	COP	4.58	3.37	4.60
			SCOP	3.73	2.67	3.10
冬期	15	10	COP	4.10	6.21	4.17[6.4]
			SCOP	3.32	3.70	3.11[3.6]

※65°C出湯の場合 ([ ]内は 45°C出湯の部分負荷運転)

※ホテル 2 系は試製作した HP であり、熱源と温水の温度差が小さい場合に運転可能で、温水温度が低い場合に効率が良い仕様。

4) システム評価

4) - 1 下水熱利用適用箇所を検討

外気温、住宅比率などの地域特性と下水処理場、ポンプ場における下水流量・温度計測値、気象データから流量・温度を推定する手法を作成した。大阪市域での検証により、温度推定誤差は 0.4~1.0[K]、流量推定誤差は 4~10%であり、下水熱利用の企画段階で使用できる推定手法であることを明らかにした。この推定手法は下水熱利用・熱融通システム企画時の与条件として使用できる。さらに、これらの流量推定手法を GIS に組み込むことで、下水熱と建物側給湯暖房負荷との関係を分析する手法を開発した(図 14 参照)。開発した手法により、大阪市全域の下水熱ポテンシャルマップを作成し、大阪市内全域において合計 10 か所の熱利用有望箇所を抽出した(表 3)。

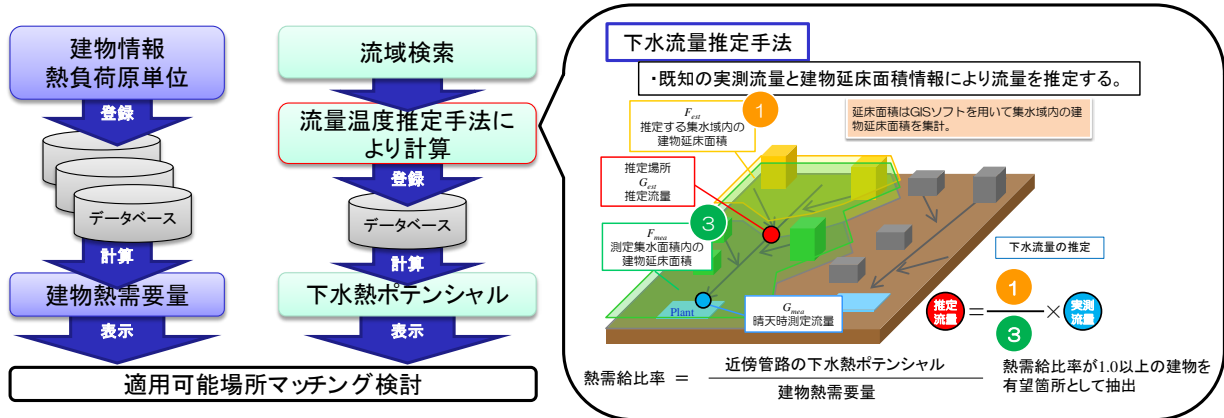


図 14 下水熱利用適用可能場所のマッチング

表 3 熱利用有望箇所の抽出結果

No	1	2	3	4	5
処理区	海老江	海老江	海老江	海老江	海老江
施設名	A ホテル	O ビル	H 百貨店	SH ホテル	U ビル
建物用途	宿泊施設	業務施設	業務施設	宿泊施設	業務施設
延床面積(m <sup>2</sup> )	85,338	105,588	75,710	45,706	78,174
給湯熱需要(GJ/年) ※1	28,578	972	697	15,306	720
下水熱ポテンシャル (GJ/年) ※2	345,189	68,083	13,504	139,474	135,088
熱需給比率(-)	12.08	70.02	19.37	9.11	187.64
評価	○	○	○	○	○
No	6	7	8	9	10
処理区	津守	津守	津守	住之江	住之江
施設名	市立老健施設	N ターマンション	X ホテル	F マンション	カフェK
建物用途	医療施設	住宅施設	宿泊施設	住宅施設	商業施設
延床面積(m <sup>2</sup> )	6,846	75,015	19,973	19,001	15,619
給湯熱需要(GJ/年) ※1	2,293	9,420	6,689	2,386	1,504
下水熱ポテンシャル (GJ/年) ※2	83,845	15,869	60,705	218,403	6,564
熱需給比率(-)	36.57	1.68	9.08	91.53	4.36
評価	○	○	○	○	○

また、実証試験設備規模の建物を想定し、システムシミュレーションを行い、導入効果を試算した。現状システムとしてガスボイラまたは空冷ヒートポンプにて給湯を行っている2つの場合を想定して比較する。表 4 に試算条件を、表 5 に検討に用いた電力・ガス料金単価を、図 15 に月別と年間の比較結果を示す。下水熱利用システムでは補機類の消費エネルギーが増加するが、ガスボイラシステムと比較した場合、一次エネルギー削減量は年間で約 330GJ となった。月別の結果を見ると、ガスボイラシステムに対する効率向上効果は 1.8~2.1 倍となり、年間で見ると、約 1.9 倍となった。ガスボイラシステムに対して、下水熱利用システムを導入した際の効率向上効果を 1.5 倍とすることが開発目標であったため、目標は達成しているといえる。

また、現状システムと下水熱利用システムにおけるランニングコストの比較検討を行った。図 16 に月別と年間のランニングコストの試算結果を示す。現状システム（ガスボイラ）に比べてランニングコストが約 120 万円/年削減できる見込みである。

表 4 計算条件

想定建物条件	建物用途	宿泊施設
	延床面積	1800(m <sup>2</sup> )
	使用用途	給湯利用
熱源機条件	温水出口温度	65(°C)
	温水入口温度	負荷の大きさで変動
	温水流量	12 (L/min)
	熱源水流量	100 (L/min)
下水条件	下水温度	時刻別下水温度
	下水流量	100(L/min)

表 5 電力・ガス料金単価

電力料金(高圧電力AS-TOU)		適用期間	料金区分	ガス料金	
基本料金	1,685.25 円/kW	夏期 5月～12月	定額基本料金	22,730.00	円/月
重負荷時間	17.29 円/kWh		流量基本料金	1,077.30	円/m <sup>3</sup>
昼間時間	12.21 円/kWh		単位料金	86.06	円/m <sup>3</sup>
夜間時間	8.05 円/kWh	冬期 1月～4月	定額基本料金	22,730.00	円/月
			流量基本料金	1,077.30	円/m <sup>3</sup>
			単位料金	98.36	円/m <sup>3</sup>

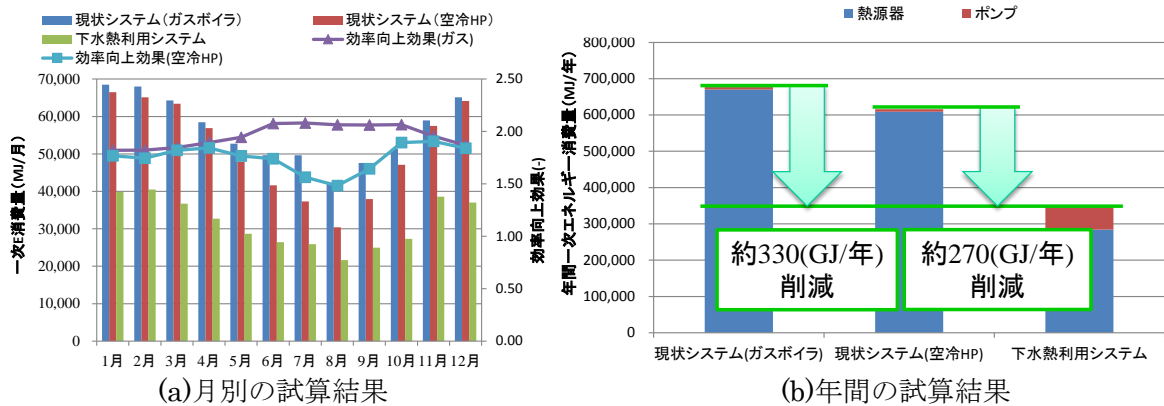


図 15 一次エネルギー消費量試算結果

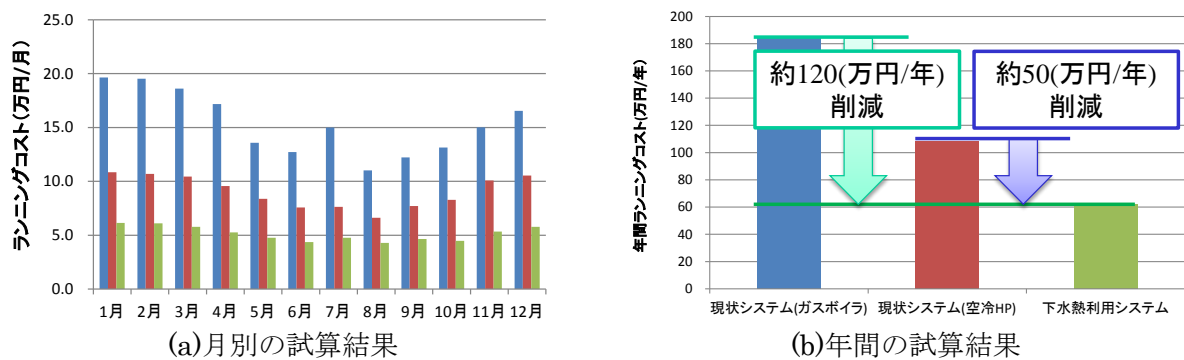


図 16 ランニングコスト試算結果

全体計画（研究項目）	目 標（値）	成 果 詳 細
システム全体での効率向上効果が、現状システムに対して1.5倍以上	・従来システムと比較して総合効率1.5倍以上の達成.	下水熱利用システムでは、1.9倍を達成.
個別研究項目	目 標（値）	成 果 詳 細
(1)調査 ア. 熱融通適応可能エリアの下水管路流量・温度実測 イ. 実証建物の既存熱源システム調査 ウ. 国内外下水熱利用・技術動向調査 エ. 全国下水管路調査 オ. 下水温度情報収集調査の拡張 カ. 見学講演会の実施	ア. 温度10ヶ所, 流量7ヶ所 イ. ホテル, データセンター調査 ウ. 比較評価 エ. 適用対象把握 オ. 3都市以上ヒアリング調査. 導入モデルケースを検討. カ. 見学会と, 開発成果の講演会を実施. <b>(設定理由)</b> 従来から一般的に行われている伝熱計算法は, 時間変動が考慮されていない定常計算による計算法によるものであり, 計算精度が問題であった.	ア. 達成 イ. 達成 ウ. 達成 エ. 達成 オ. 達成 カ. 達成
(2) 個別技術の研究開発 ア. 管路内設置型と管路外設置型の熱交換装置の開発 イ. 下水管路の排熱条件に適した給湯・冷温水ヒートポンプシステムの構成検討	ア. 海外製品より優位 イ. 海外システムに優位	ア. 達成 イ. 達成
(3)実証試験 ア. 個別技術の性能試験 イ. 小規模試験装置	・熱交換器の開発を1つ以上行う ・試験装置の構築	ア. 達成 イ. 達成
(4)システム評価 ア. 下水熱利用・熱融通適応エリア抽出手法の開発 イ. 下水熱利用・熱融通システムシミュレーション手法の研究 ウ. 下水熱利用・熱融通システムシミュレーションによる効果の計算 エ. 下水熱利用・熱融通設備の試設計・コスト分析	・下水流量推定手法, 下水熱利用可能量と熱需要量の比較検討手法 ・下水熱利用・熱融通に有望な場所を3箇所以上見つける. ・従来システムと比較して総合効率1.5倍以上の達成.	ア. 達成 イ. 達成 ウ. 1.9倍を達成 エ. 達成

事業項目	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	備考	
①調査 ア. 熱融通適可能エリアの下水管路流量・温度実測 イ. 実証建物の既存熱源システム調査 ウ. 国内外下水熱利用・技術動向調査 エ. 全国下水管路調査 オ. 下水温度情報収集調査の拡張 カ. 見学講演会の実施  ②個別技術の開発 ア. 管路内設置型と管路外設置型の熱交換装置の開発 イ. 下水管路の排熱条件に適した給湯・暖房ヒートポンプシステムの構成検討		準備・実測 調査・計測 整理 国内調査・整理 資料収集・ヒアリング 調査結果の統計整理 管更生工法の 実態調査 比較評価 資料の作成 基本仕様 検討整理	国外調査・整理 国外調査・整理 国外調査・整理 考察 管更生対応熱交換器の 設計・仕様検討 機器の 選定 熱源システム構 成の検討・機器 表の作成 下水熱利用に適したヒートポンプを含めた システム構成の検討	国外調査・整理 調査 見学会 講演会 設置・試験 検討・評価・リファイン 制御手法のシミュレーションを用いた 制御手法の性能評価 検討・試作 試験	国外調査・整理 導入普及のための出 口戦略の検討 見学会 講演会	

事業項目	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	備考
③実証試験 ア. 個別技術の性能試験	試験・評価方法検討	詳細設計 監理 仕様作成・施工 管理 実測	管理	調整・監理	
イ. 小規模試験装置		詳細設計 監理 仕様作成・施工 管理 実測	詳細設計 監理 仕様作成・施工 管理 実測 設計・監理 管理	調整・監理 試験・検証	
⑤システム評価 ア. 下水熱利用・熱融通適応エリア抽出手法の開発		流量温度推定手法の開発	ポテンシャルの算出	適応エリアの抽出	
イ. 下水熱利用・熱融通システムシミュレーション手法の研究		システムシミュレーション手法の開発の開発	効果試算	効果試算	
ウ. 下水熱利用・熱融通効果システムシミュレーションによる効果の計算	下水の採熱・放熱計算と管路放熱計算モデルを接続したモデルの作成 下水熱融通利用システムのエネルギーシミュレーション 下水による熱融通効果の試算		試設計	コスト分析 維持管理分析	
エ. 下水熱利用・熱融通設備の試設計・コスト分析					
研究開発費 (千円)	45,618	237,009	498,577	79,308	総計： 860,512



## 2.6 高密度冷熱ネットワークの研究開発

### 1. テーマの目的（必要性）

CO2 排出量の 1/3 は建築業界起源であり、GDP の 8-10%(約 40~50 兆円規模)を占めている。また建設行為のみならず、材料調達・不動産までの業態を含むと、国民の 1/3 が建築業界と関与している。したがって非常に広範であるがゆえに、建築に関与する業態は非常に複雑となり、ステークホルダーが多種多様かつマネーフローが複雑であるのが特徴である。

このように建築業界は広義でインパクトの大きい「社会資本」であるがゆえに、この高効率化は民間活動の枠を超えた「高い公共性」が求められ、この解決方法には「国益確保」と「国際貢献」が期待される。そこで本テーマは、この社会資本の高効率化に資することを目的とし、建築物のエネルギー使用量の多くを占める空気調和全般を対象とした技術開発を提案した。

図 1 に現状の東京都内における地域冷暖房(以下、DHC : District Heating and Cooling)適用地区における業務用空調エネルギー全般の一般的なエネルギー消費構造(図中①)を示す。多くの DHC 適用地区において搬送動力は 50%以上を占めるため、熱源(ヒートポンプ)の効率を 1.5 倍にしたとしてもシステム全体では 1.2 倍程度(図中②)に留まり、システム全体で 1.5 倍の効率向上を目指すためには、搬送動力も 1.5 倍以上の効率とする必要(図中③)がある。すなわち DHC 適用地区(プラント+建物側熱媒搬送)における業務用空調エネルギーの効率は搬送系の動力も含むため、熱源機効率 1.5 倍のみでは DHC プラント適用地区全体の効率 1.5 倍を見込むことは出来ない。これは DHC プラントが適用されていない業務用建物の空調熱源も同様であり、多くの場合、冷温熱の搬送動力は空調用エネルギー消費量の 50%以上を占めることから、ヒートポンプの効率向上のみではシステム効率の大幅な向上を図ることは難しい。

従って、実行力のある業務用空調用途の次世代ヒートポンプシステムを開発するためには、熱源機以外の省エネルギー化が不可欠である。そこで本提案においては、現状システムに比べて、1.5 倍以上の効率を有するヒートポンプシステムを実現するための基盤技術開発として、“冷熱の効率的な搬送に特化した”「高密度冷熱ネットワーク」の研究開発を提案した。

具体的には、搬送流体の体積あたりの熱量を高密度化するために氷を使用し、配管ネットワーク内に氷と水を混入して搬送するシステムの提案であり、さらに搬送する氷の低温を利活用することで建物側熱媒搬送動力を削減するシステムである。説明は以降とするが、コスト削減による普及性の担保も含んだシステムの提案である。

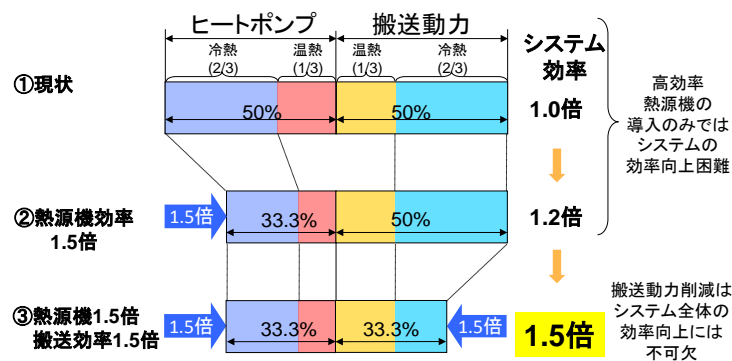


図 1 東京都内における地域冷暖房適用地区の業務用空調全体エネルギー消費構造

## 2. テーマの要旨

本研究開発の目標は、高密度冷熱ネットワークの開発であり、(1)システム成立条件と効果予測、(2)氷混入装置の開発、(3)配管システムの開発、(4)高密度冷熱ネットワーク全体の実証の4つの研究内容を軸にシステム開発を行う。さらに、システム機構上の「信頼性の向上」を目的として(5)氷充填率の計測と制御手法の確立を、また開発終了後の「事業化の推進」を目的として(6)普及促進および市場競争力強化の計画策定を実施した。

結果として(1)システム成立条件の検討と効果予測においては、作成したシミュレーションプログラムにより従来比 1.5 倍の効率を達成できることを確認し、さらにイニシャルコストに関しても導入メリットが担保できることから実用化に向けた競争力を提示することができた。

(2)(3)(4)(5)の要素技術の開発および高密度冷熱ネットワーク全体の実証においては、各要素技術および高密度冷熱ネットワークの網羅的統合ソフトウェアを開発し、従来比 1.5 倍以上の効率を実証した。なお主要な要素技術として、配管内氷充填率の計測方法を確立し、実運用にも適応可能であることを、さらに配管内氷充填率の制御方法の開発を実施し、広範囲の熱量が搬送可能かつ十分な制御性であることを確認した。

(6)は事業終了後の事業化のために、成果の「市場競争力向上」と「普及促進」を推し進めることを目的とし、開発技術および既存技術の整理を行い各技術の導入効果および設計に係る留意点を取りまとめた。また、国内および諸外国の動向調査結果より、提案（開発）システムの普及促進の可能性を示した。

## 3. テーマの目標

テーマの最終目標(全体開発主目標)を下表に示す。目標設定に際しては、実用時に、「可能とする技術ではなく”効く”技術」であることを目指した。

全体目標(主目標)	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
地域の業務用空調負荷に関与する全てのエネルギー消費効率改善	従来比1.5倍以上の効率を実証	机上検討レベル 構想のみで実施・実証例ともになし
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	現状レベル(開発開始時)
(1)システム成立条件の検討と効果予測	従来比1.5倍以上の効率提示	机上検討レベル
(2)要素技術開発と信頼性の向上	信頼性・耐久性を兼ね備え、なおかつ施工面・コスト面で従来方式と遜色無い要素技術の開発と実証	実験室レベル
(3)高密度冷熱ネットワーク全体の実証	システム構築(一部縮小モデル)と設計手法の確立	机上検討レベル

## 4. テーマの計画、研究内容

### 4.1 システムの成立条件の検討と効果予測

#### (1) フィジビリティスタディによる省エネ効果の確認

実証結果と既知の知見を用いたフィジビリティスタディを通して、冷熱の搬送効率が、現状の搬送システムの一般的値と比べて2倍以上になることを確認したうえで、システム全体(需要家側における氷の低温利用も含む)の効率を1.5倍以上とするために必要な条件を提示した。以下にモデルの詳細を示す。

##### ① 地域モデルについて

本検討においては、社団法人日本熱事業協会発行の熱供給事業便覧にある全国の地域冷暖房(以下 DHC)のうち、冷水供給がある全国 DHC 地区(n=113)と、そのうち関東にある DHC 地区(n=71)を対象とした統計処理を行い用途・規模などを設定した。なお処理結果をそのまま用いるのではなく、例えば住宅や病院施設など統計的に母集団が少なくなる用途や、特別に大きい超高層を有する地区などに関しては、適宜除外するかどうかを判断した。また今後は過去の事例にあるような超大規模開発は難しいことも勘案して、統計の中央値よりもやや小規模側で地域モデル設定を行った。その結果、需要家件数は4~8件程度、供給延床面積は20~30万m<sup>2</sup>、用途はオフィス用途のみ、導管延長は2管式(往還分)で1,500~2,000mが妥当であるとした。この結果を受けて設定した、従来方式の地域熱搬送モデル概念図を図2左に、同様の提案方式を図2右に示す。需要家規模を各50,000m<sup>2</sup>、需要家件数は5件、合計250,000m<sup>2</sup>を対象とした熱供給とした。また地域導管長は従来方式を片道700m(往復1,400m)、提案方式はループ状のため840mとした。なお地域導管径に関しては、後述する建物設定に基づく負荷計算結果より、従来システムを800mm、提案方式をその半分の400mmとした。



図2 フィジビリティスタディの地域モデル概要(左:従来モデル、右:提案モデル)

## ②プラントモデル概要

図3に従来方式と提案方式のプラントモデルを概念図で示す。表1に、後述する建物側仕様も含めた主要設定項目比較表を、従来方式と提案方式に加え、将来的に製氷システム COP が 1.5 倍を実現できた場合と共に示す。

従来方式のプラントにおいては、熱媒および熱源種に依存することなく、プラント全体の一次エネルギー換算 COP は冷水を供給している全国 DHC の平均値が 0.72(搬送動力含む)であるとして、プラントのエネルギー消費を逆算した。提案方式のプラントについては、ハーベスト(板状)製氷装置にブラインを使用するとし、製氷システム COP として別途検討により得られた製氷 COP2.49(実験値)を熱源として使用した。製氷後は氷蓄熱槽(10,000m<sup>3</sup>、最大蓄氷 IPF40%)を経由し需要家群へと搬送することになるが、その間の熱輸送に係る搬送動力も計上した。結果として、これら搬送も含めた提案方式のプラント COP は 0.87 であった。参考までに、将来的に製氷システムが 1.5 倍に向上した場合のプラント COP 算出結果は 1.04 であった。

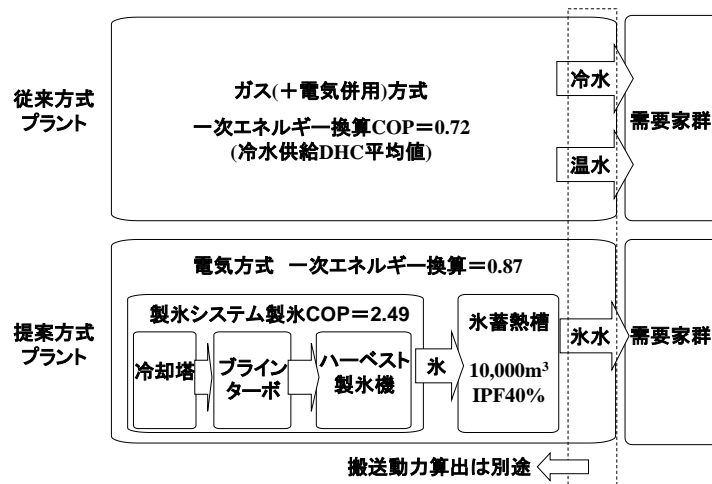


図3 プラントモデル概要 (上：従来方式プラント、下：提案方式プラント)

表1 主要設定項目

		参照モデル	従来方式	提案方式	将来モデル
建物側仕様	用途	*1	オフィス(99%)+サーバールーム(1%: 700W/m <sup>2</sup> )		
	空調面積		250,000m <sup>2</sup>		
	面積内訳		50,000m <sup>2</sup> (基準階1,450m <sup>2</sup> ×33階)×5棟		
	窓仕様		ペアガラス	エアフローウィンドウ	
	空調方式		VAV	VAV(大温度差送風)+変動微風	
	送風温度		16°C	10°C	
	送水方式		VWV	VWV(大温度差送水)	
	送水温度差		5°C(7°C-12°C)	11°C(1°C-12°C)	
	暖房方式		中央集中式(DHC)	個別ヒーター(COP=1、ヒートポンプも可)	
	夏期室内環境		オフィス: 26°C、50%RH、 サーバールーム: 22°C、50%RH	オフィス: 28°C、40%RH、 サーバールーム: 22°C、50%RH	
	冬期室内環境		22°C、50%RH	22°C、50%RH	
	DHC側仕様		熱源方式	電力+ガス	電力
蓄熱容量		非蓄熱	氷蓄熱(3100m <sup>3</sup> 、蓄氷IPF40%)		
熱媒方式		冷水+温水(ポンプ台数制御)	氷水(最大IPF40%)		
地域導管最大径		800A(0.8m)	400A(0.4m)		
最大流速		4.0m/s	4.0m/s		
往還温度差		Δt=5°C	Δt=1°C最大IPF40%氷水搬送>1°Cの還水		
DHC総合効率 (一次エネルギー換算COP)		0.72	0.87 (既存製氷方式COP2.49より)	1.04 (製氷COP: 3.7 >既存方式の1.5倍)	

### ③建物・室内モデル概要

従来方式の建物・室内モデル概念図(冷房時のみ)を図4上に、同様の提案方式を図4下に示す。両者の主要な相違点としては、提案モデルでは、大温度差送水(1-12℃)としている点、エアフローウィンドウ導入によるペリメータレス化に伴って、例えば温熱は窓際ヒータなどで賄うため、建物内は冷熱のみの2管式である点、低温送風+変動微風空調の採用による大温度差送風(10℃送風)である点、変動微風による室温緩和でオフィス空間が28℃、40%RHの条件である点などが挙げられる。なお、全てオフィス用途を想定したため、両者ともにサーバールームを全面積の1%、700W/m<sup>2</sup>で見込んだ。これらの条件設定に基づいた負荷計算結果を用いて、建物内における熱搬送エネルギー、プラントのエネルギー消費量、搬送動力の算出を行った。

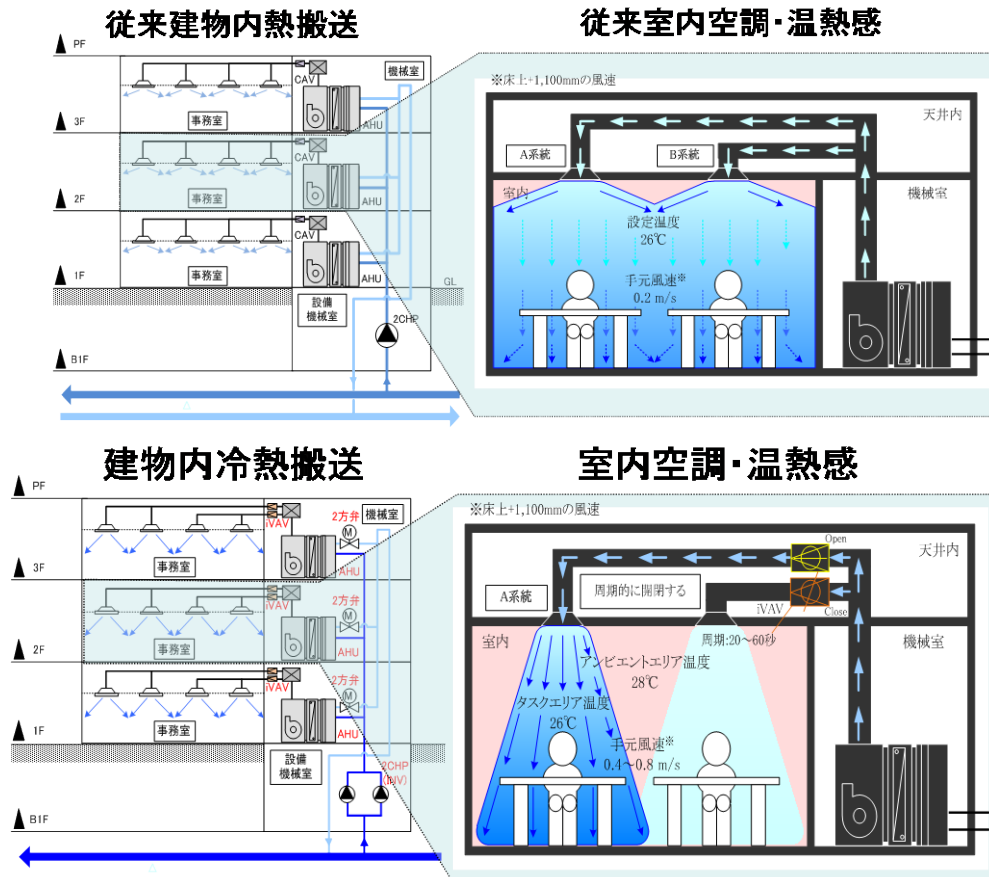


図4 建物・室内モデル概要 (上：従来モデル、下：提案モデル)

## (2) システムシミュレーションによる導入条件に関する検討

実用化に向けた事前の導入効果検証のツールの開発を目標とし、シミュレーションソフトを作成し、効率向上 1.5 倍の根拠を示す。さらに実負荷を用いてのシミュレーションを行い、技術導入の境界条件の検討を行った。以下に詳細を示す。

### ① シミュレーションソフトについて

図 5 にシミュレーションプログラムの全体概要を、図 6 に DHC 側の熱源シミュレーションの概要を示す。本プログラムは、空調負荷計算（動的熱負荷計算ソフト：NewHASP/ACLD）、建物側シミュレーション、DHC 側シミュレーション、この 3 つのフェーズを表計算ソフトの Excel 上で行えるように作成し、一次エネルギー量の算出からグラフ化に至るまで統合することにより、最適システムの判断の容易化および一覧性の向上を図った。また、熱源シミュレーションは蓄熱槽容量や熱源容量などの条件を設定し、1 時間データによる各需要家の実績負荷を用いた 8760 時間の計算を行うことで、熱源や補機類毎の詳細なエネルギー消費量が算出できるものとした。なお、建物側シミュレーションにおいても、文献調査に基づく省エネ空調システムをデフォルトとして選択できるよう考慮しつつ、利用温度差や機器能力などの設定変更に対して柔軟に対応できるよう作成した。

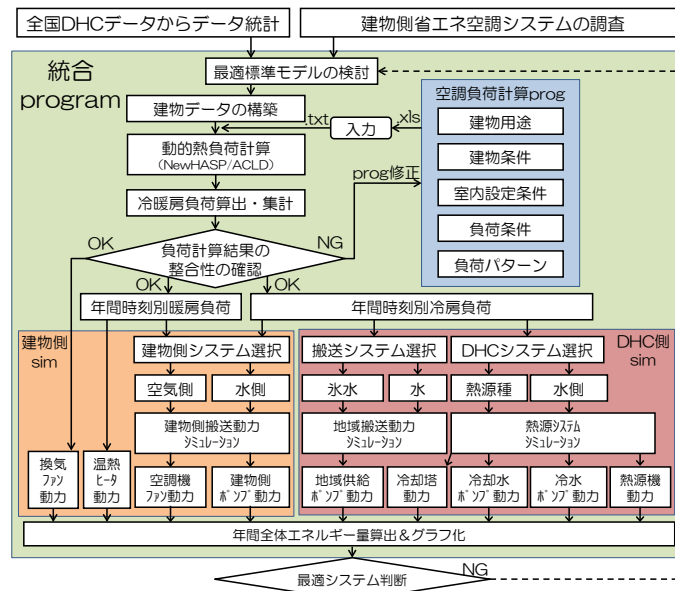


図 5 プログラム概要

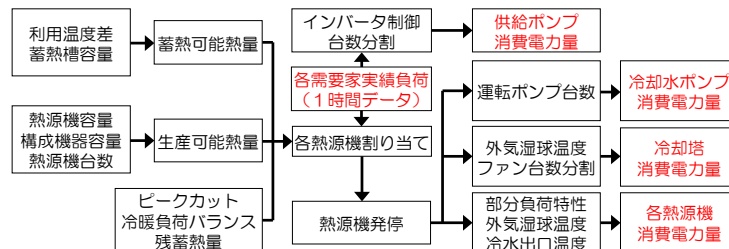


図 6 熱源シミュレーション概要

## ②シミュレーションモデル概要

本検討における地域冷暖房モデルは、フィジビリティスタディを引用し統計の中央値よりもやや小規模側で地域モデル設定を行った。その結果、需要家件数は4～8件程度、供給延床面積は20～30万m<sup>2</sup>、用途はオフィス用途のみ、導管延長は2管式(往還分)で1,500～2,000mが妥当であるとした。需要家規模を各50,000m<sup>2</sup>、需要家件数は5件、合計250,000m<sup>2</sup>を対象とした熱供給とした。また地域導管長は需要家間の距離を200mとし、従来方式が片道1,000m(往復2,000m)、提案システムはループ状のため1,200mとした。なお、地域導管径に関しては、既報による知見により、従来システムを800mm、提案方式をその半分の400mmとした。

表2の条件設定に基づいた負荷計算結果を基準として、提案方式のDHC側の設定条件、または二次側負荷形態の変更に伴う熱搬送エネルギー、プラントのエネルギー消費量、搬送動力を算出し比較を行った。

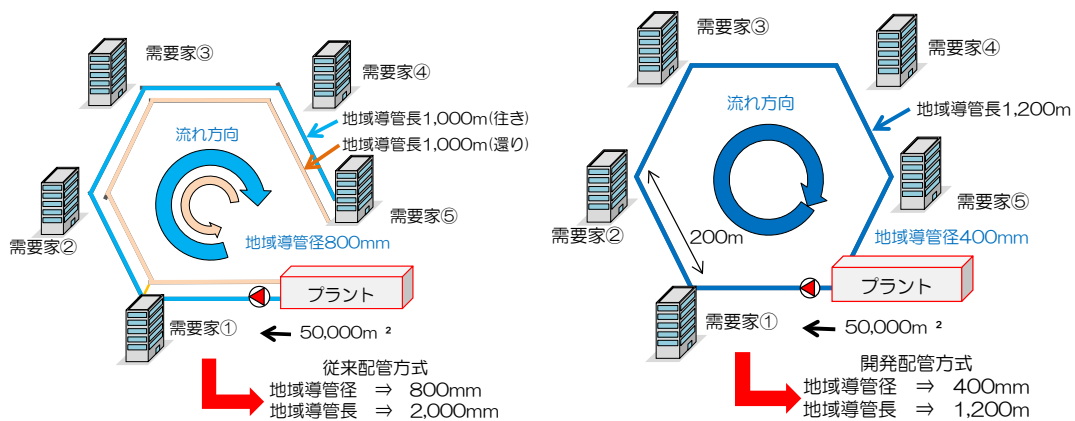


図7 シミュレーションモデル概要（左：従来システム、右：提案システム）

表2 シミュレーション条件

		従来システム	提案システム
地 域 様	用途	オフィス(99%) + サバールーム(1% : 700m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) + α	
	空調面積		250,000m <sup>2</sup>
	面積内訳		50,000m <sup>2</sup> (基準階1,450m <sup>2</sup> × 33階) × 5棟
建 物 側 仕 様	窓仕様	ペアガラス	エアフローウィンドウ
	空調方式	VAV	VAV (大温度差送風) + 変動微風
	送風温度	16℃	10℃
	送水方式	VWV	VWV (大温度差送水)
	送水温度差	5℃ (7℃ - 12℃)	11℃ (1℃ - 9℃ - 12℃ : カスケード利用)
D H C 側 仕 様	暖房方式	中央集中式(DHC)	個別ヒーター (COP=1、ヒートポンプも可)
	夏期室内環境	オフィス: 26℃, 50%RH サバールーム: 22℃, 50%RH	オフィス: 28℃, 40%RH サバールーム: 22℃, 50%RH
	冬期室内環境	22℃, 50%RH	22℃, 50%RH
	熱源方式	ヒートポンプ	ヒートポンプ
D H C 側 仕 様	蓄熱容量	非蓄熱	氷蓄熱(3,100m <sup>3</sup> 、蓄氷IPF40%)
	熱媒方式	冷水+温水 (ポンプ台数制御)	氷水(最大IPF40%)
	地域導管最大径	800A(0.8m)	400A(0.4m)
	最大流速	3.0m/s	3.0m/s
	往還温度差	Δt=5℃	Δt=1℃最大IPF40%氷水搬送 >1℃の還水
	DHC総合効率 (一次エネルギー換算COP)	0.72	0.87 (既存製氷方式COP2.49より)

## 4.2 要素技術開発と信頼性の向上

本開発においては、バッチ式の混入装置を含む実験装置を作成し、高圧側の主配管(地域導管を想定)に低圧側の氷蓄熱槽からの混入を試み、機能性の確認を行った。なお高密度冷熱ネットワークにおいては、一管ループ方式を採用するが、従来とは異なり配管内で氷と水の直接熱交換を行う。そこで本開発においては一管ループ配管を作成し、氷の配管内における熱交換速度に関する検討を行い、実設計に資する資料の編纂を行った。また、実証試験装置を用い、要素技術別の装置等の改善と、反復実証試験によるバックデータ充実を通して、「信頼性の向上」を図った。

### (1) 氷混入装置の開発

#### ① バッチ式氷混入方法の開発

図8にバッチ式混入方法の概念図を示す。バッチ式混入装置は、低圧力の氷混入用のスラリーポンプにてバッチ内に氷水を混入し、清水だけを抜き取り貯氷槽に戻すことによって配管内の氷充填率配管内の氷充填率(以下IPF、Ice Packing Factor/氷の占める体積比での割合)を高め、バルブを切り替え高効率のラインポンプにて主配管内へ氷水を搬送する。これを連続で行うことにより主配管に連続的に氷混入する方式である。実験方法は、貯氷槽より配管内へ氷を混入し流量計・超音波濃度計を用い計測し比較検討を行った。実験ケースは流速0.6m/s、0.86m/s、1.4m/sの3ケースとし氷はチップアイスを使用した。

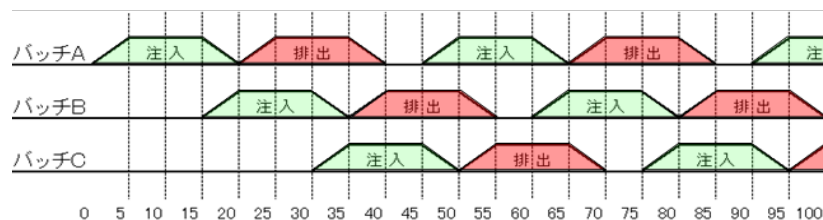


図8 バッチ式混入方法の概念図

#### ② 逆ホッパー型氷混入方法の開発

逆ホッパー型氷混入装置は、氷の浮力を利用し上部に取り付けた逆ホッパー型の吸込み口から主配管へ氷混入を行う方法である。浮力を用いることで連続的に氷の吸込みを促すことを期待した。実験方法は逆ホッパー吸込側よりスラリーポンプを用いて主配管へ貯氷槽内から氷の混入を行った。流量計・超音波濃度計を用い計測し比較検討を行った。配管内の流速は常時1.0m/sになるように設定し、氷はハーベストアイスを使用した。

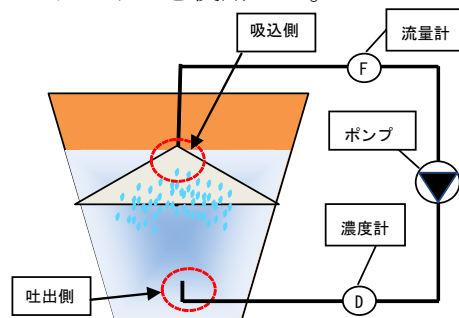


図9 逆ホッパー型混入装置概要図



## (2)配管内氷充填率計測手法に関する検討

配管内 IPF の計測技術は、運転及び搬送熱量管理に際して必要不可欠である。特に物理的干渉が起因となる閉塞を極力割けるため、オンライン計測可能な非接触式の計測法が望まれる。以上より、水質や流速の影響が少なく、設置が容易であり簡易でありつつ長期安定的な計測が可能である超音波濃度計を用いて検証を行った。また、高 IPF 領域の計測手法が必要不可欠であり排水による IPF 計測手法を用い、高 IPF 時の計測手法に関する検討を行った。以下に詳細を示す。

### ①超音波濃度計による配管内 IPF の計測

超音波濃度計は上部の送信子から放射された超音波と下部の受信子に到達した超音波の強度の変化を検知し、減衰量を測定することで濃度を算出する。なお、プローブで検出した値(15回/sec)を変換器にて1秒間の移動平均し、その出力を1秒周期でデータロガーにてデータ収集した。

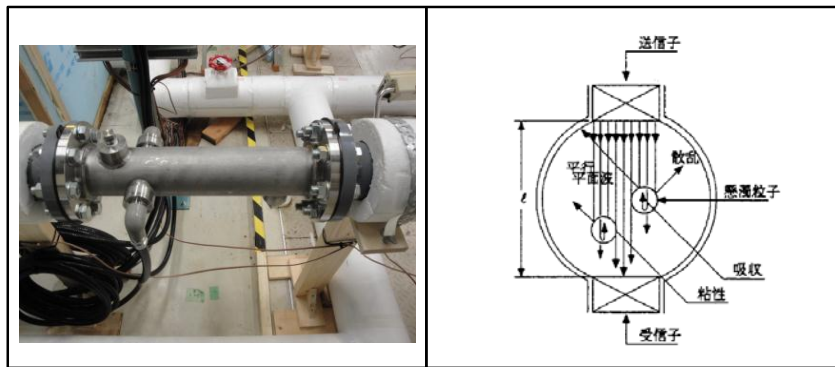


図 10 超音波濃度計 (左:計測器 右:機構)

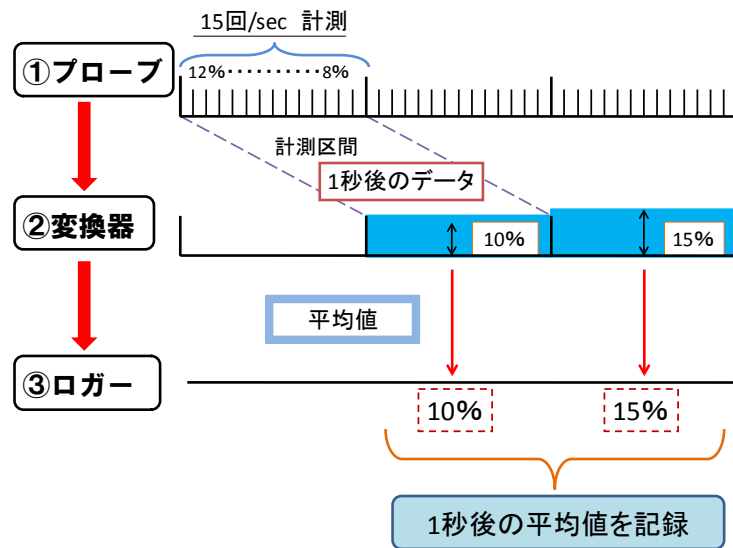


図 11 超音波濃度計測定原理

## ②排水による氷充填率計測手法の検討

本実験はタンクから主配管（75A）へ向け氷水を搬送し、IPF 計測を行った。図 12 に排水による IPF 計測手法を示す。具体的には、IPF 計測地点で一定量の氷水の流れを確認後、バルブを閉め氷水を配管内に停滞させる。その後ポンプにて水のみを抜き取り、排水量から氷量を算出した。その上で算出した氷量の IPF 計測区間配管内容積に対する割合を配管内 IPF とした。なお、排水量の計測には羽根車（フローメータ）の回転数によって水量を検知する小型流量センサを用いた。

本実験方法は、排水量の計測値と実測値がどの程度合致するかを確認し実運用に値するか検討した。計測値については、フローメータを用い上記した計測方法で計測を行い、実測値については、バルブを閉め配管内に清水を閉じ込めその後ポンプにて水をバケツに排水させた。排水された水をメスシリンダーとビーカーにより実測した。

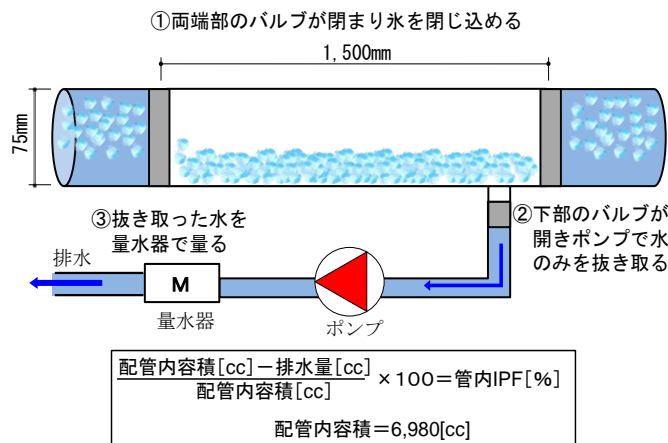


図 12 排水による IPF 計測手法概念図

## (3)配管内直接熱交換に関する検討

図 13 に直接熱交換実験概念図を示す。配管内に氷が浮流・循環しているところに、需要家からの負荷が還水として混入する実験において、温水槽で温めた水を還水と見立てて投入した。なお、温水槽の往水は主配管の上流側から抜き取り、還水を主配管の下流側から戻した。温水槽の還水温度は 15℃とし、温度計測点は、主配管に温水槽の還水地点から 2.8m、5.6m、8.4m、11.2m (T-1,2,3,4) の 4 点に配置した。主配管内の流速は過去の研究により 1.4m/s とし、主配管内 IPF は 5,10,15%、需要家を想定した負荷流量（負荷熱量）は、5,10,15% (62,128,218MJ・h) とする。

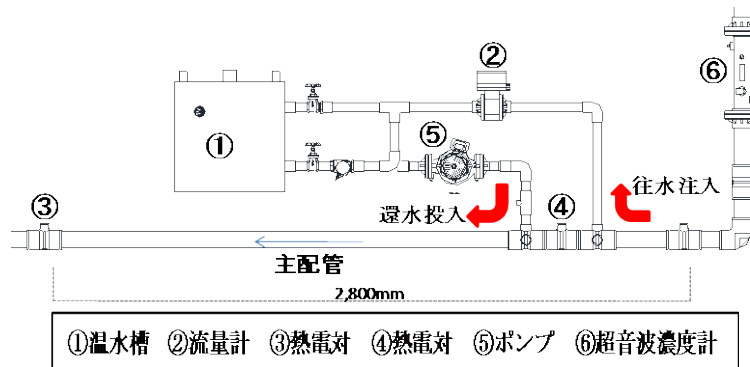


図 13 直接熱交換実験装置

## (4)配管内圧力損失に関する検討

本検討では、実験データの充実を図り、設計資料としての信頼性を高めるため、低 IPF 時における水平直管部、高 IPF 時における水平直管部及び水平曲管部の圧力損失特性を対象とした。また地域冷房としての実運用を想定した配管径である 400A 配管を用いた圧力損失特性についての実験も行った。さらに実運用時における搬送熱量制御方法の検討をし、制御ロジックの開発を行った。以下に詳細を示す。

①低 IPF 時における圧力損失特性の検討

図 14 に圧力損失特性実験概念図を示す。配管内流速は 0.7~1.7m/s の 4 段階とした。配管内 IPF は計測エリア前の超音波濃度計にて計測を行い 0% から 15% の範囲を対象とした。実験は配管内に氷を混入後、超音波濃度計の指示値を目視で確認し、定常状態を確認して計測を開始した。インターバルは 1 秒設定で 1 分間計測し、その平均値を 1 ケースとした。なお、長時間の連続実験を行うと氷の融解により粒子径が変化してしまうため、ケース毎に新しい氷を入れ替えて実験を行った。

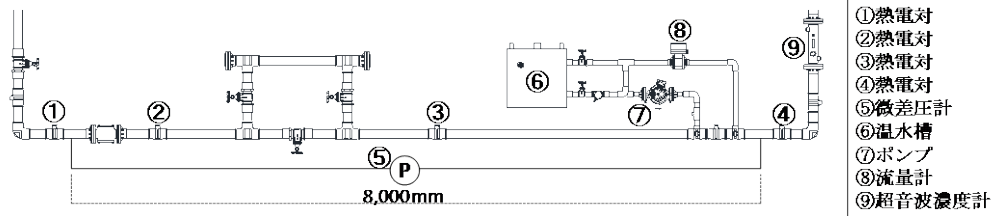


図 14 低 IPF 時の圧力損失特性実験装置

## ②高氷充填率時における圧力損失特性の検討

図 15 に実験装置系統図を示す。本研究では過去の知見による要素技術を包含した高密度冷熱ネットワーク実証実験装置を構築し実験を行った。実験装置は、配管径 75A で構成されており、開放系統の製氷部と密閉系統の地域導管部はバッチ槽にて縁切りされている。また、貯水槽から配管への氷混入は逆ホッパー型の氷混入方式を用い IPF40%超の氷水を主配管へ送り出すことが可能である。本実験では高 IPF 時の検討においては氷水搬送経路を用いた。

実験は貯水槽から 75A 主配管へ向け氷水を搬送し圧力損失を計測後、IPF 計測を行った。圧力損失の計測は、主配管の直管部に 5,000mm スパン、曲管部に 500mm スパンで設置した微差圧計を用いた。IPF 計測地点において一定量の氷水の搬送を確認後、計測部両端のバルブを閉じ氷水を停滞させる。その後、水のみを抜き取り量水器を用いて排水量の計測を行い、氷の量を算出した。その上で、算出した氷量の配管内容積に対する割合を配管内 IPF とした。

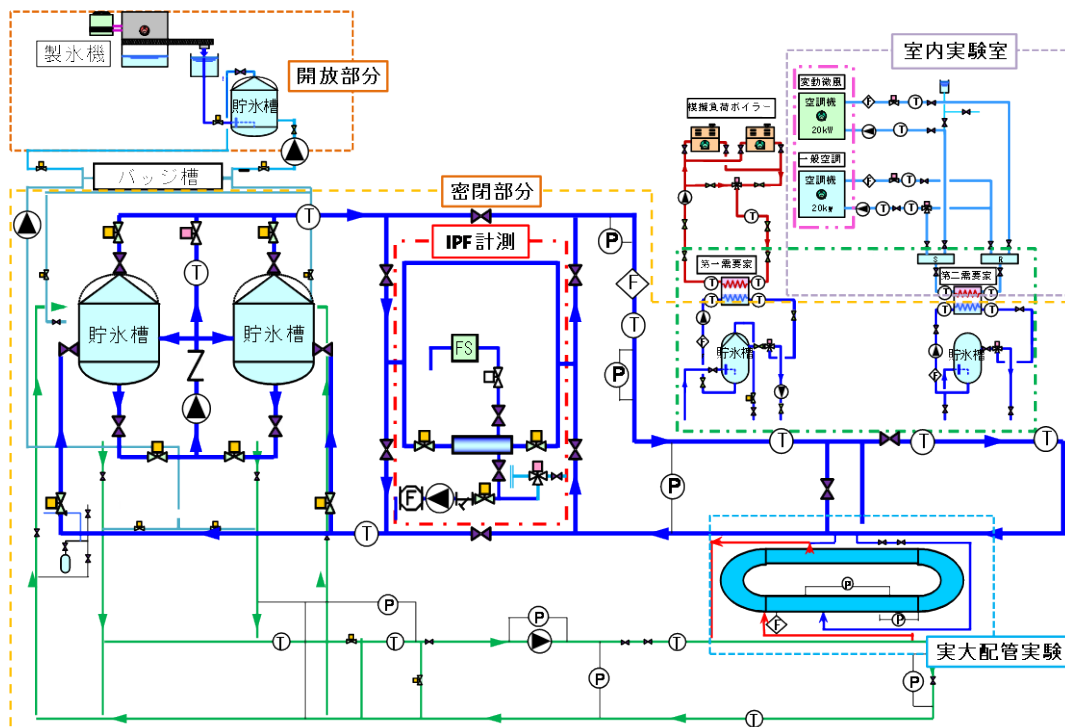


図 15 高 IPF 時の圧力損失特性実験装置

③実物大配管における圧力損失特性の検討

図 16 に実物大配管実験装置概要を示し、図 17 に水頭圧計概念図を示す。冷水系統の流速加速用ポンプにより実物大配管内に冷水の流れを発生後、氷を混入し圧力損失の計測を行った。計測終了後、温水を投入し、投入熱量から IPF を逆算する方法を用いた。また圧力損失の計測には、実物大配管での圧力損失は微小であり、かつ微差圧計では始動時などの圧力変化で破損が懸念されたため、水頭圧計を直管部に 5,000mm、曲管部に 1,200mm のスパンで作製し、水頭圧を計測することで圧力損失の算出を行った。実験はポンプの仕様上、搬送可能な流速 1.2m/s、IPF15% (氷量 480kg 程度) までの範囲で行った。

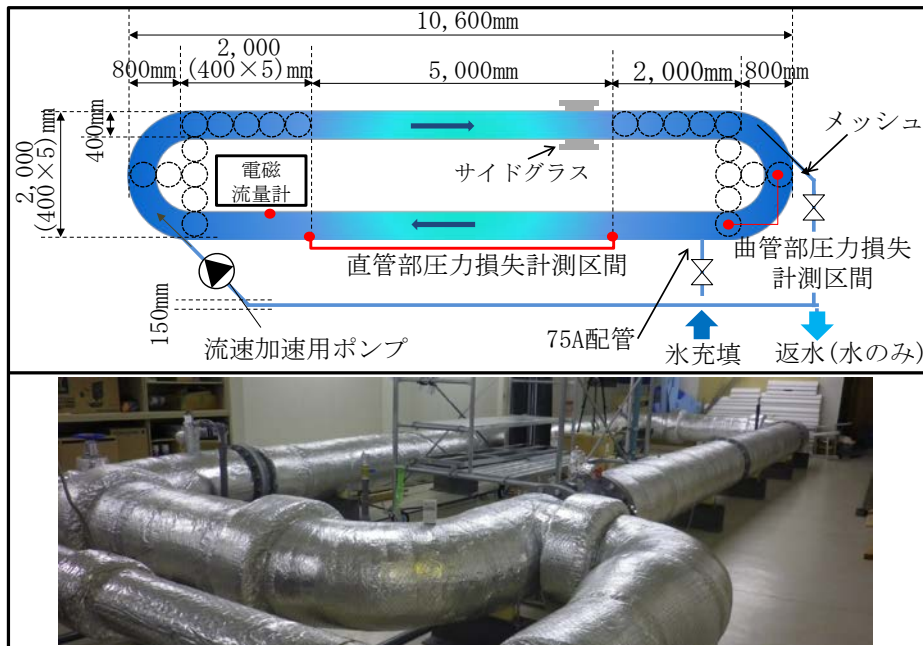


図 16 実物大配管実験装置概要 (上：詳細図 下：実写真)

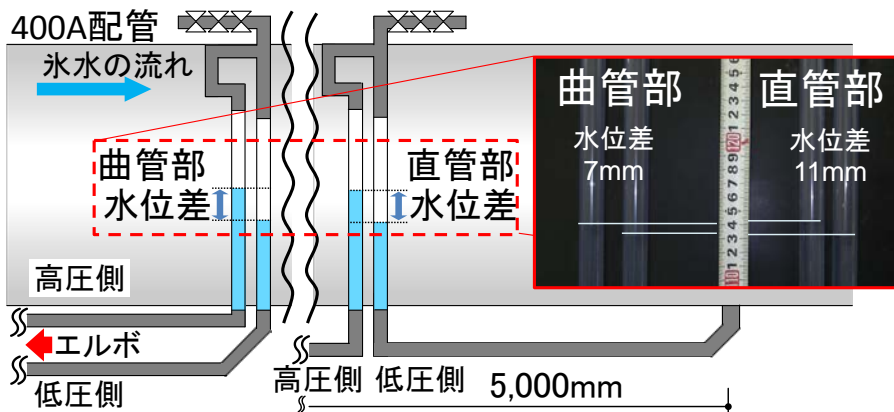


図 17 水頭圧計概念図

### 4.3 高密度冷熱ネットワーク全体の実証

#### (1) 建物側システムの実証試験

本検討では、両空調方式の同時比較実験を目的として、ほぼ同一条件となる実験室(120m<sup>2</sup>×2 室)を同建物内に作成し、省エネルギー性・快適性の検証を行った。図 18 に建物側システムの実証試験装置概要図を示す。実験装置はプラントおよび需要家で構成されており、プラントで製造した冷熱を屋外配管により室内の実験室へ供給した。変動微風空調は氷水を利用する低温送水・送風方式による大温度差空調を採用し、一般空調は従来の水搬送方式と同様に、3 方弁制御により送水温度制御を行った。実験は、実験室内に各計測機器を設置し、制御動作確認及び室内環境のデータ収集・分析、被験者実験によるアンケート申告調査を行った。室内設定温度は、変動微風空調が 28℃、一般空調が 26℃、28℃の計 3 ケースで実施した。

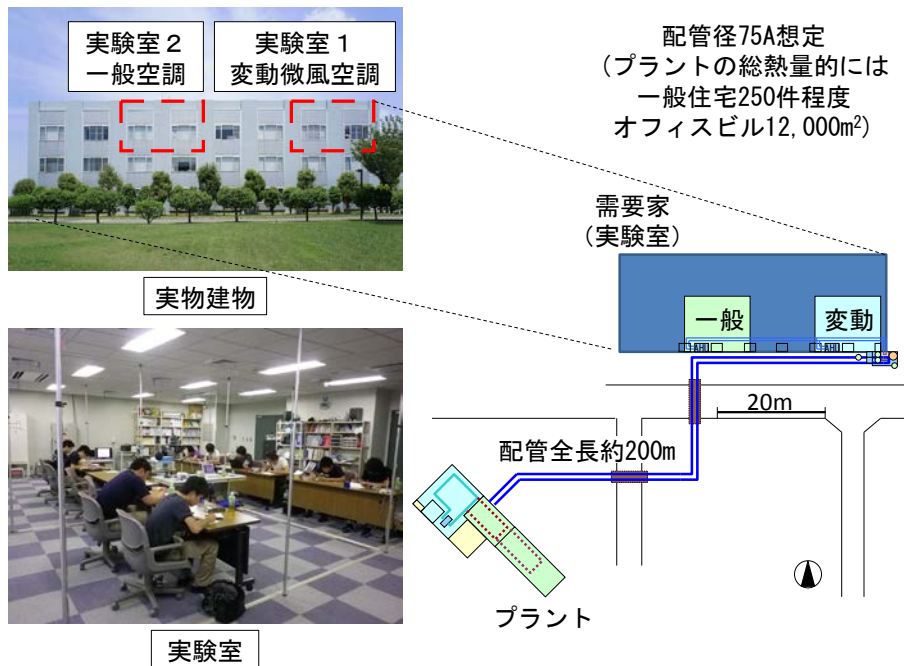


図 18 建物側システム実証実験装置

## (2) 網羅的統合制御ソフトウェアの開発および実証試験

本検討では、地域冷房側装置と建物側装置の網羅的統合制御に資する情報の整備を行った。さらに得られた知見より地域冷房側装置と建物側装置全てを網羅的に統合制御するソフトウェアを開発し、実証試験を行った。

図 19 に高密度冷熱ネットワーク実証実験装置の配管系統図と写真を示す。氷混入装置と配管システムと建物側を統合した高密度冷熱ネットワークの実証試験に向けて、システム全体を実施設計同様の手法で設計・構築した。実験装置は、従来空調方式と変動微風空調方式を同時に比較できるように、建物側の室内実験室を2室設けた。また配管システムは、従来方式である水搬送方式と、提案方式である氷水を利用した搬送方式とを比較検討できるように両者の搬送経路を配した。さらに、内径400mmの配管を用いた実大実証試験装置をプラント内に併設し、氷水の搬送時における圧力損失特性を把握する。なお、実大実証試験装置や従来方式の配管を追加したため、系統図は複雑なものとなっているが、実導入における配管経路はより簡略化されたシステムとなる。

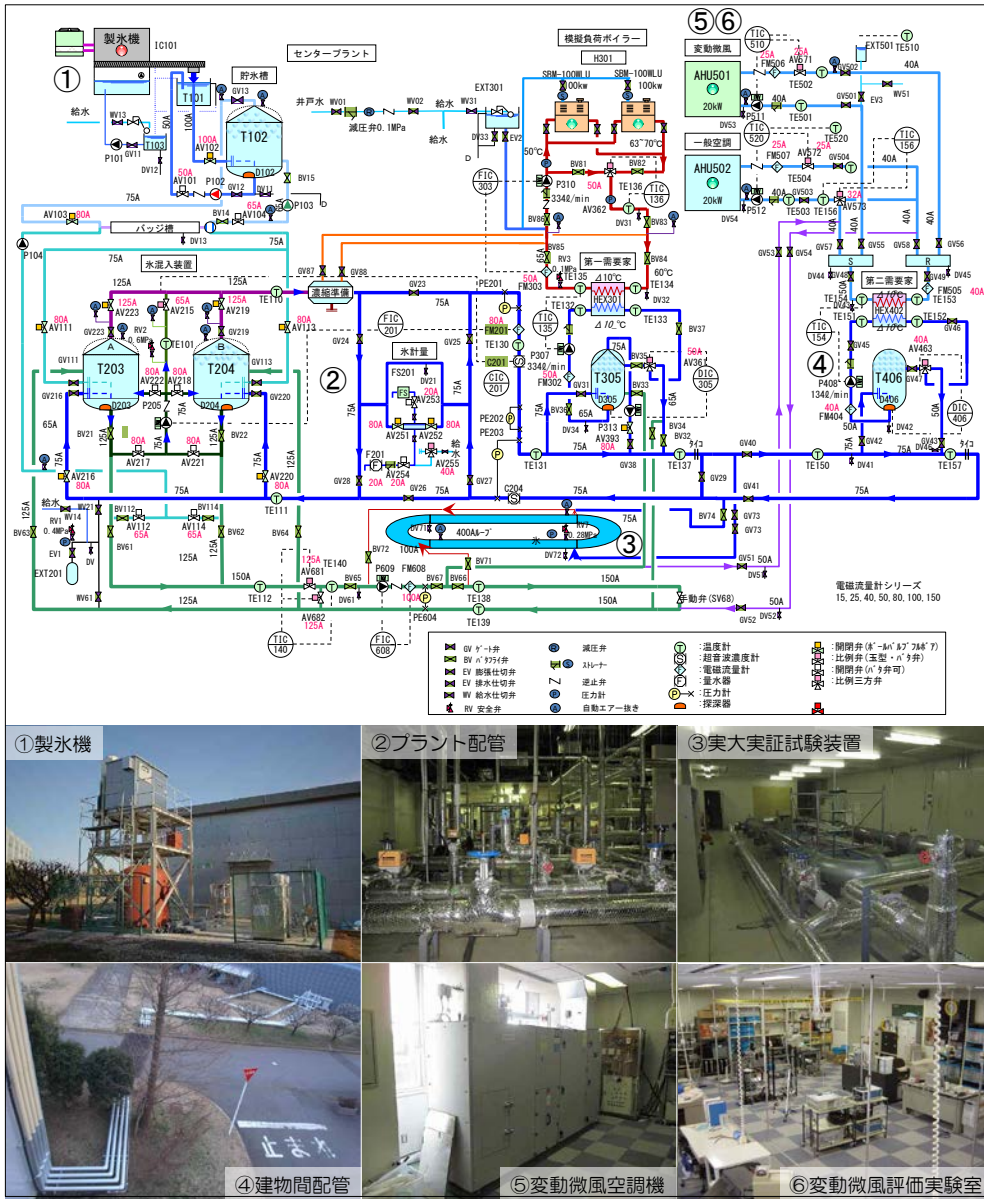


図 19 実験装置系統図

#### **4.4 普及促進および市場競争力強化の計画策定**

本開発内容を物件毎にシステム設計するには、かなりの専門性を必要とするため、設計工数が嵩んでしまう。そのため、設計時の人件費を削減することは普及において非常に重要となる。そこで専門性をできるだけ排除すべく、設計手法（思想）の共有を目的としたシステム設計手法の取りまとめを行った。

また、氷水搬送技術を除けば、ほぼ提案システムに近い設計思想を有する地点を対象とし、導入効果に着目した実規模システムの調査から実運用時の課題を収集した。さらに、提案システムの関連技術と要素技術を対象として動向調査を行い、その対応策も併せた情報をとりまとめた。



## 5. 研究開発成果

### 5. 1 プラントの構築と氷水搬送の実証

#### (1) プラントの構築

プラントから建物側までを網羅した実証実験装置を構築し、各要素の検証を行い本システムの設計手法の確立を行った。



図 20 開発した高密度冷熱ネットワークのプラント

#### (2) 氷水搬送システムの制御ロジックの開発

実証実験装置を用いて、本システムの制御ロジックを確立した。制御パラメータおよび制御方法を以下に示す。

##### ① 制御パラメータ

配管内氷充填率・流速・圧力損失をパラメータとし、搬送熱量への要求に対し、最低動力で駆動する

##### ② 制御方法

流速約 1m/s までは IPF を上限まで増加させ、その後流速を上昇させて熱需要に対応する

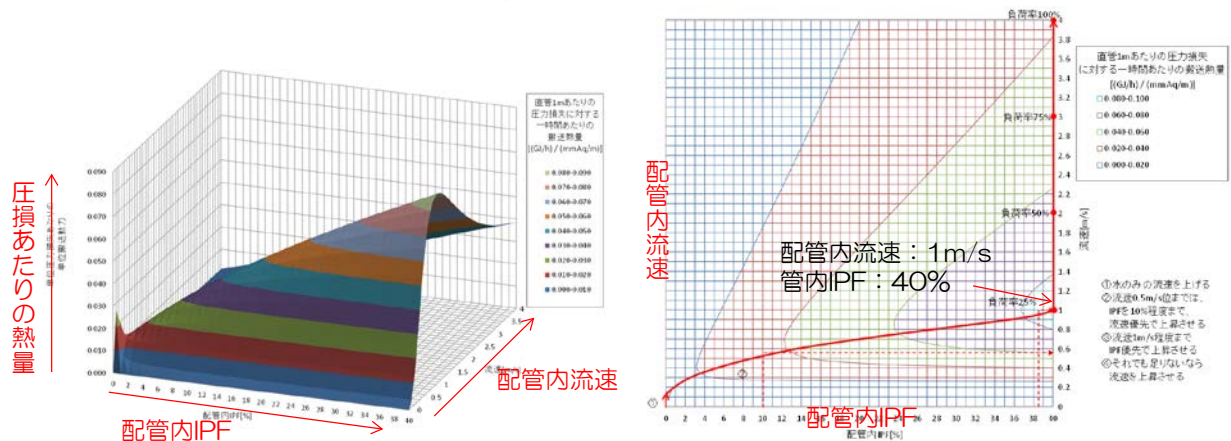


図 21 単位圧力損失あたりの搬送熱量と配管内 IPF と流速の関係

## 5. 2 室内環境の実証

### (1) 被験者実験による快適性の検証結果

図 22 にアンケートによる温冷感申告割合を示す。両ケースともタスク域の気温は約 26°C と同等な値になっているにもかかわらず、変動微風空調では「涼しい」側申告が増加した。これはタスク域に到達した気流による放熱効果であると考えられる。これより、室温緩和をしながらも気流感を与えることで温冷感の向上が図れることを実証できた。

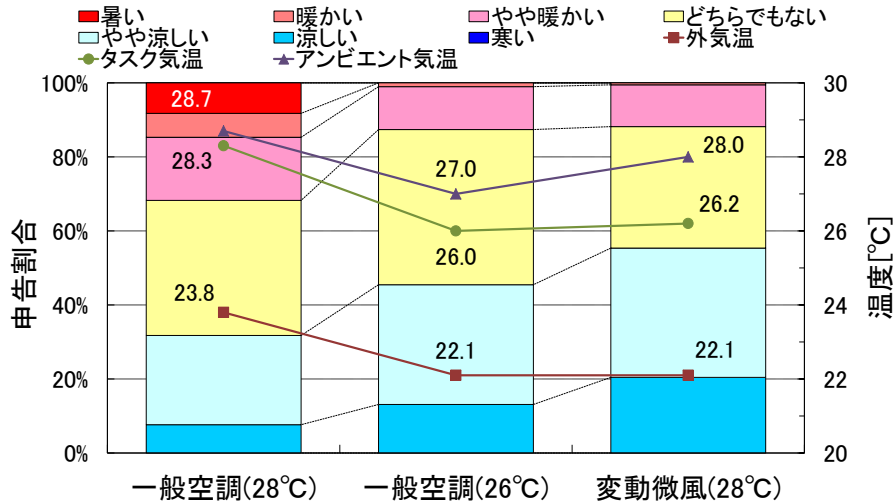


図 22 被験者の温冷感申告結果

### (2) 省エネルギー性の検証結果

図 23 に変動微風空調 (28°C) と一般空調 (26°C) の処理熱量および空調機出入口温度を示す。一般空調 (26°C) の処理熱量が一時間あたり 6.8kWh であるのに対して、変動微風空調 (28°C) は一時間あたり 4.7kWh となり、約 30% 低い結果となった。また、冷水の出入口温度差は一般空調 (26°C) が 8°C に対して、変動微風空調 (28°C) が 12°C となった。これらより設定通りに制御が行えており、かつ大温度差空調+変動微風の高い省エネルギー性を確認した。

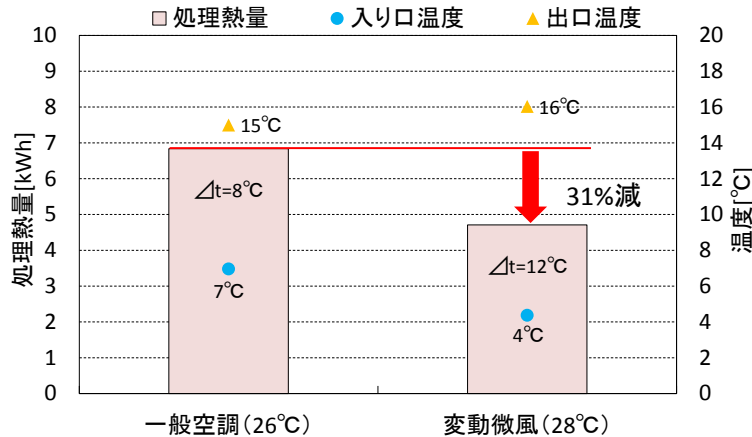


図 23 両方式における空調処理熱量の結果

## 5. 3 網羅的統合制御の実証

### (1) 他要素技術との網羅的統合制御システムを開発

システム全体の網羅的統合制御ソフトウェアを開発した。機能を以下に示す。

#### ① 中央監視機能

経路全体の機器と熱の動きを画面にてグラフィカルに監視が可能

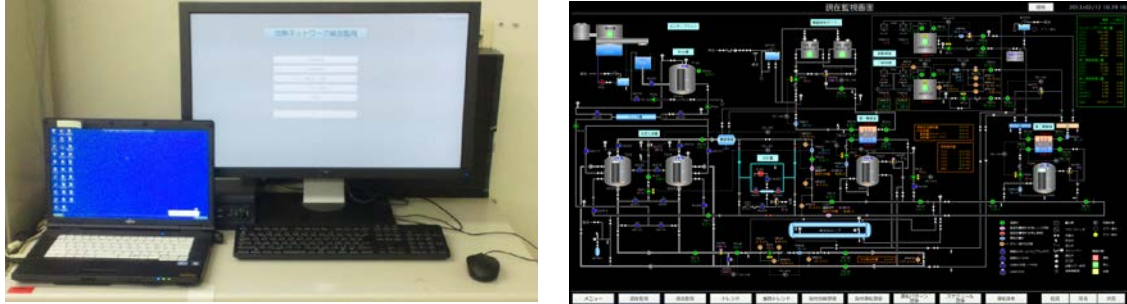


図 24 監視用 PC と監視画面

#### ② スケジュール設定機能

製氷・蓄熱・搬送・負荷運転等のスケジュールや運転条件を設定が可能



図 25 スケジュール・負荷パターンの登録

#### ③ スケジュール運転機能

設定したスケジュールをカレンダーに登録し自動運転が可能

#### ④ データ収集・保存・出力機能

運転中のデータを収集し、随時画面で確認が可能であり過去データも確認可

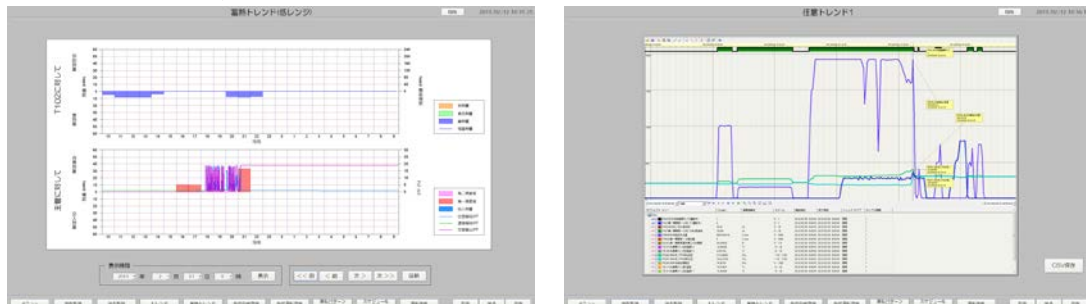


図 26 収集データの表示

## (2)制御方法と制御性に関する検討

### ①圧力損失からの配管内氷充填率算出方法の提案

配管内圧力損失から IPF を逆算する手法を提案した。なお配管内圧力損失は配管内 IPF が一様に制御することは困難であるため移動平均値で均整化を試みた。図 27 左に圧力損失から算出した IPF のデータ処理方法別(移動平均のスパン別)の経時変化を示す。移動平均時間を長くとるにつれデータの均整化を図ることができることがわかる。図 27 右にサンプリング IPF と圧力損失から算出した IPF のまとめを示す。IPF40%程度までの範囲においても IPF の誤差は±5%以内に収まっていることを確認した。これらより、圧力損失からの配管内氷充填率の把握が可能であると確認した。

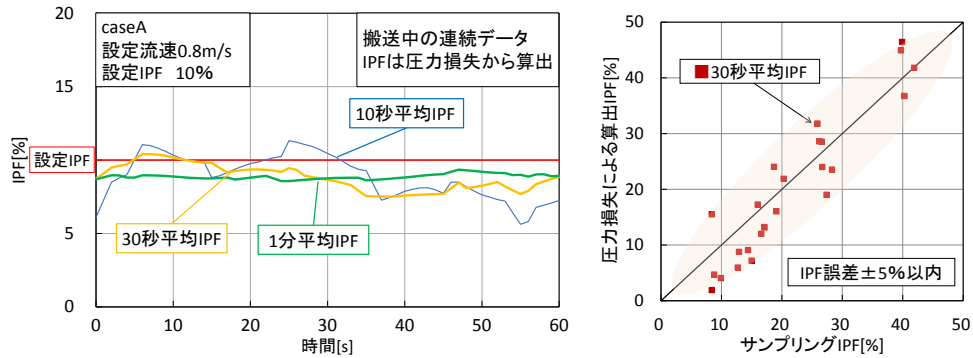


図 27 圧力損失からの配管内氷充填率の算出

### ②提案システムにおける制御精度

図-28 に全ケースの流速、IPF、熱量それぞれの制御の結果を箱ひげグラフで示す。全ケースにおいて流速は他の項目より設定値に対する差異が少なく、十分な精度で流速制御が行えていることが確認できた。一方、IPF 制御は設定に対しての上下幅が大きく設定値と離れる結果となった。しかし、流速の制御精度と比較して IPF 制御は需要家にバッファタンクを有するためさほど精度を必要しないことから、ある程度の成り行き制御でも柔軟に対応が可能であると考えられる。搬送熱量においては、実験装置規模でも低負荷から高負荷までの広範囲を制御可能であることを実証した。以上より、制御精度はシステムの時定数を考慮すると十分な制御性であることを確認した。

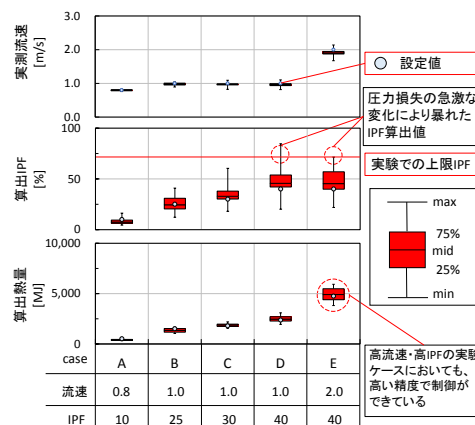


図 28 制御性まとめ

③制御性および繰り返し実験による信頼性の向上

長時間運転(累計 12 時間分)を実施した結果を図 29 に示す。なお切り換え時の IPF については淡色で表示してある。運転状況については、実用上は不必要なタンク切り換えを繰り返しているが、複数実験間の差異はなく安定した熱量の搬送が可能であった。また長時間のデータを平均することで、所望の IPF を送出できることを確認した。

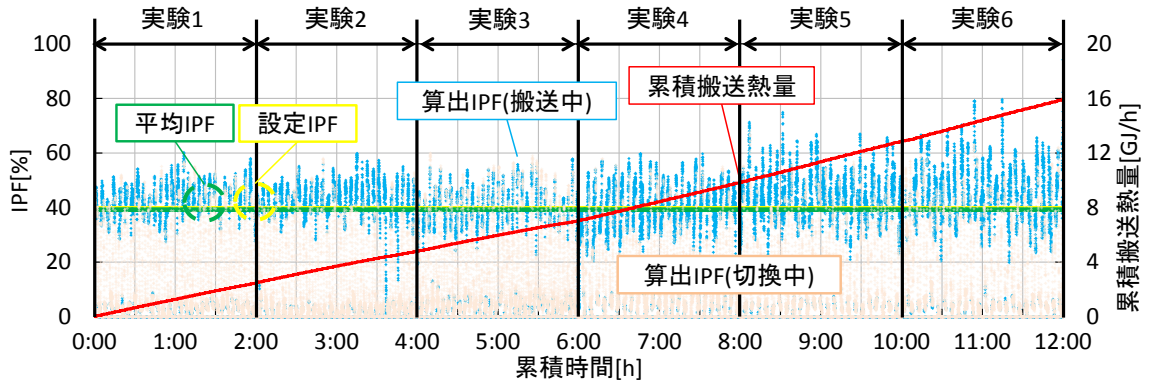


図 29

長時間定常運転における IPF と累積搬送熱量

## 5. 4 シミュレーションの実施

### (1) 地域全体の業務用空調エネルギーの算出

図 30 に地域業務用空調エネルギーに関するフィジビリティスタディ結果を示す。なお一般値との比較には文献 6) を使用した。一般値と従来方式モデルとはほぼ同値となり、これらと比較した提案方式モデルは効率 1.52 倍(65.6%)という結果となった。また将来的に製氷効率 1.5 倍を達成すると仮定した将来モデルでは 1.73 倍(57.8%)という結果となった。なお、仮に従来方式のプラント側のみが効率 2 倍(1 エネ換算 COP1.44)であったとしても、それ以上に効果が見込める結果であった。

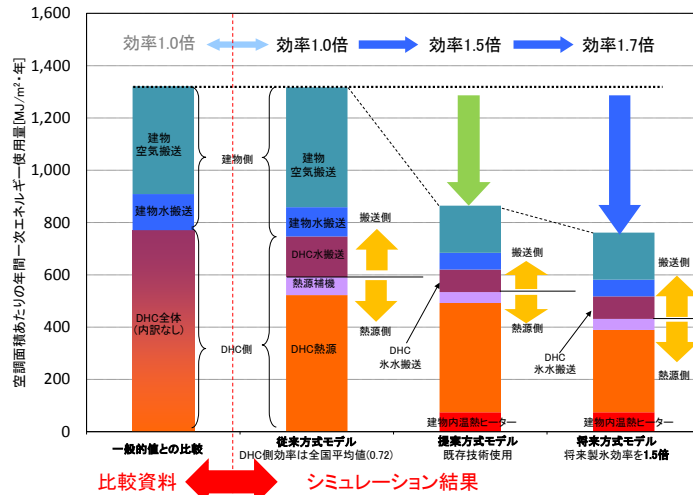


図 30 地域業務用空調エネルギーのシミュレーション結果

### (2) イニシャルコストの試算結果

図 31 にイニシャルコストの検討結果を示す。結果として、従来方式と比較して熱源設備費は増加するが、その他の費用はコンパクト化によるコスト削減が可能である結果となった。総額では 13% の導入コスト削減効果があると考えられ、実用化に向けた競争力を確認した。なお、メンテナンスコストに関する検討については、1) 従来方式の構成機器とほぼ同様であること、2) 特殊な機器はごく一部であること、3) むしろ構成機器点数が減ることでメンテナンス工数が削減可能なことから、提案方式の優位性が明確であるため、検討の必要性が低いと判断し実施するに至っていない。

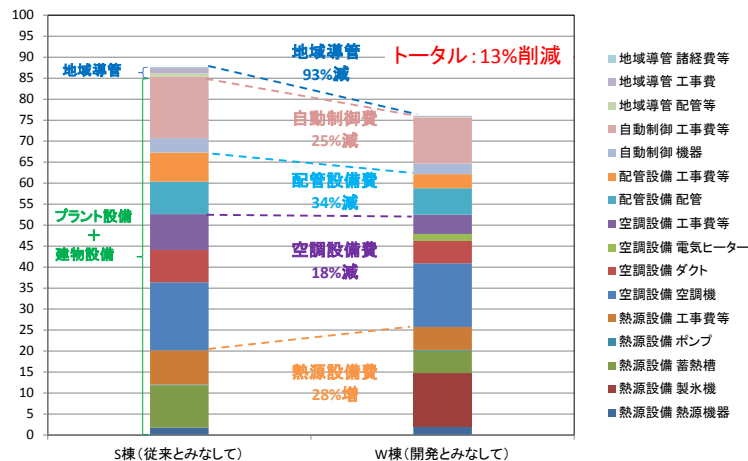


図 31 イニシャルコストの検討結果

## 5.5 研究開発結果のまとめ

### (1) 達成した技術開発の内容

- ・「氷」を「高密度」に搬送する技術全般を開発/実用化
- ・「氷」の低温を利活用した統合システムとしてパッケージ化

### (2) 競合技術との関連性と成果に対する考え方

- ・高密度冷熱搬送の競合技術では化学系物質利用が中心  
⇒安定性/安全性とコスト/普及の側面から「水」の競争力は大  
⇒高密度で搬送しやすい「物質開発ではなく」  
高密度で搬送しにくい水(氷)の「搬送技術を開発」
- ・広範に影響する技術は、寡占による普及阻害策が必要  
⇒高密度冷熱ネットワークの構想自体をオープン化  
コア技術を知財化していく普及戦略

### (3) 設定された目標以外の成果

- ・要素技術の他分野転用による「普及面での優位性」
- ・世界初の「話題性」が他産業につながる可能性

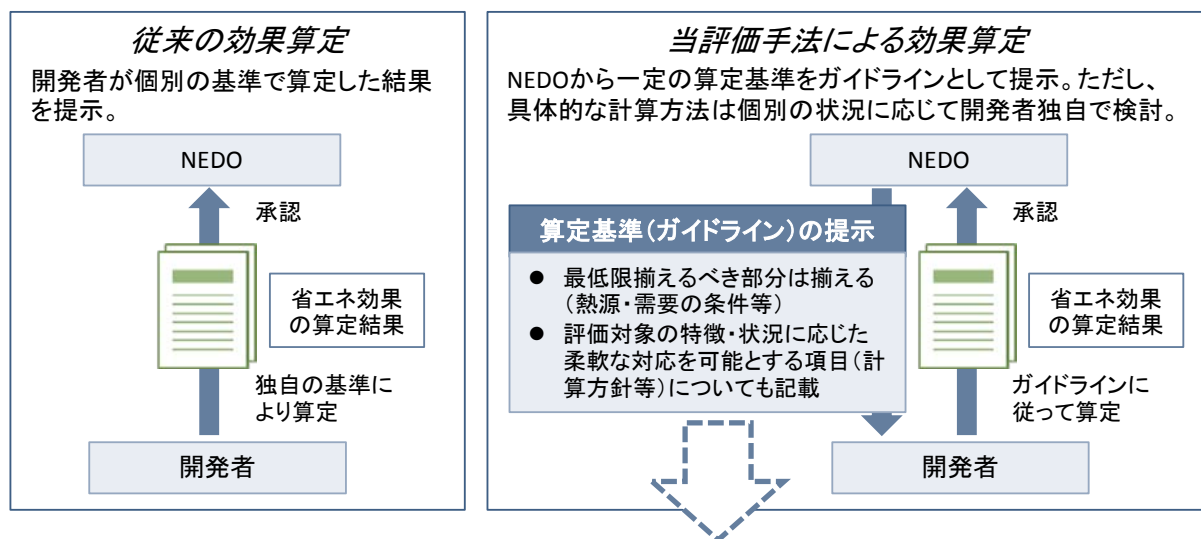
## 2.7 次世代型ヒートポンプシステムの性能評価ガイドライン策定と運用に関する検討

### 1. テーマの目的（必要性）

我が国は世界トップレベルの高効率ヒートポンプ技術を有しているが、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」では更なる効率向上が必要であるとして、2030年に効率を1.5倍、2050年には2倍まで向上させることとしている。同目標を達成するためには、機器単体の開発ばかりではなく、システム全体としての総合的な効率向上が重要であるとの課題意識の下、平成22年度に「次世代型ヒートポンプシステム研究開発」事業が開始された。

ヒートポンプシステムの技術開発を実施して行く上では、システムの性能を評価するための指標が必要であるが、現状はAPFなど「機器単体」の指標は存在するものの、システム全体を評価する仕組みは統一されていない。このため、現実に運用されているシステムとしての性能が明らかにならず、ヒートポンプの実際の効果が把握されていないのが現状である。今後、ヒートポンプシステムとしての開発を推進していくためには、機器単体としての要素技術のみならずシステムとしての技術等も含めてヒートポンプ全体の技術開発のあるべき方向性を見定めた上で戦略的な開発計画を立案していく必要がある。

そこで本事業では、今後NEDOの実施する技術開発事業において用いるヒートポンプシステムの評価手法の整備を目的として、ヒートポンプシステムの省エネルギー性能評価手法の検討を行い、実証データを利用した評価手法の試用と課題検証を通じて、評価ガイドラインを策定した。



将来的に国際標準のモデルとして提示することを見据える



## 2. テーマの要旨

ヒートポンプは機器単体としての性能評価指標は存在するが、システム全体を評価する指標や方法が存在しない。そこで本事業では、NEDO を事務局とした「次世代型ヒートポンプシステム研究委員会」における有識者による議論を通じて、ヒートポンプシステムの省エネルギー性能評価手法の検討を行い、また実証データを利用した評価手法の試用と課題検証を行った。これらの検討結果に基づき、評価ガイドラインを策定した。

表 性能評価ガイドラインの主な内容

項目	主な内容
評価範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 二次側も含めたシステムとして評価を行う。実用上、開発品に不可欠な周辺設備は評価範囲に含める。</li> </ul>
評価用ベース負荷条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ガイドラインで整理した空調負荷パターン（建物用途・断熱性、地域別）を、評価用のベース負荷条件として設定する。</li> <li>● ただし、合理的理由がある場合には、これと異なるパターンの利用を許容。</li> </ul>
評価用ベース熱源条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ガイドラインで整理した熱源パターン（熱源種類・地域別）を、評価用のベース熱源条件として設定する。</li> <li>● ただし、合理的理由がある場合には、これと異なるパターンの利用を許容する。</li> </ul>
評価対象システムの機器仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 熱源機の特性は、JIS で定める部分負荷の計測点をベースに設定する。ただし、技術開発目的に照らして必要であれば、追加的に計測を行い機器特性に反映することは許容する。</li> <li>● 開発品以外の周辺機器については、標準的な機器構成、機器特性を設定する。</li> </ul>
従来型システムの考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 比較対象とする従来型システムのシステム構成は、想定する導入先の建物用途・規模における市販の一般的なシステム構成とする。</li> <li>● 従来型システムとして設定した機器の型番や性能等を明記する。</li> </ul>
エネルギー消費量の計算方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 原則として通年での性能評価を行う。</li> </ul>

### 3. テーマの計画、研究内容

本事業で策定したヒートポンプシステム性能評価ガイドライン案の主な内容は下記のとおり。

#### (1) 評価対象とするヒートポンプシステム

ヒートポンプの利用される分野や用途は、家庭用の空調・給湯用途、業務用空調・給湯用途、産業プロセス用途、倉庫・ショーケース等冷蔵・冷凍用途など非常に幅広い。

このうち、次世代型ヒートポンプシステム研究開発においては家庭用・業務用の空調用途での開発が多いことから、今回検討する評価手法の対象は家庭用・業務用の空調用途のヒートポンプシステムを中心とする。

#### (2) 評価範囲

従来行われていた機器単体を中心とした評価に加え、二次側も考慮したシステムとしての評価を行う。システム評価の際には、実用上、開発品に不可欠な周辺設備（例：低質水利用時における水質処理装置等）は評価範囲に含めることとする。

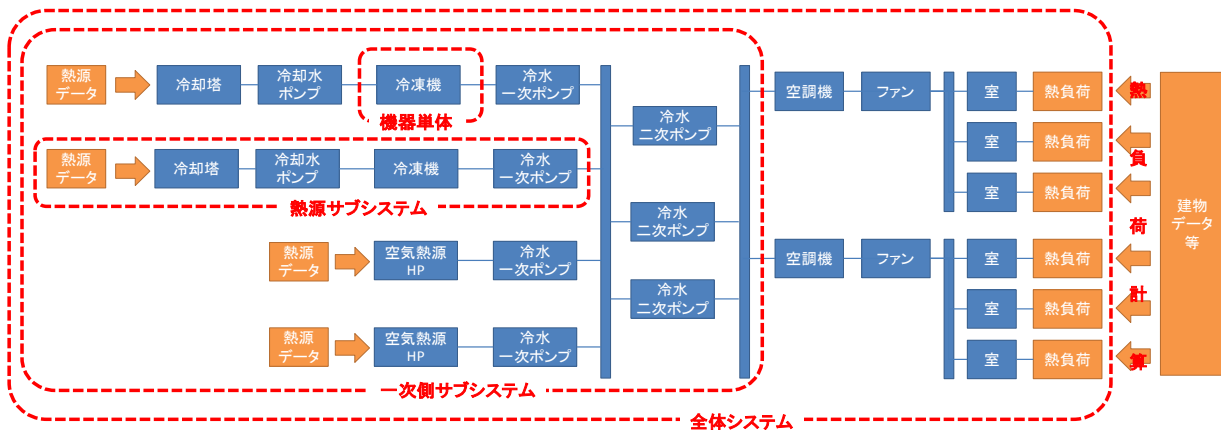


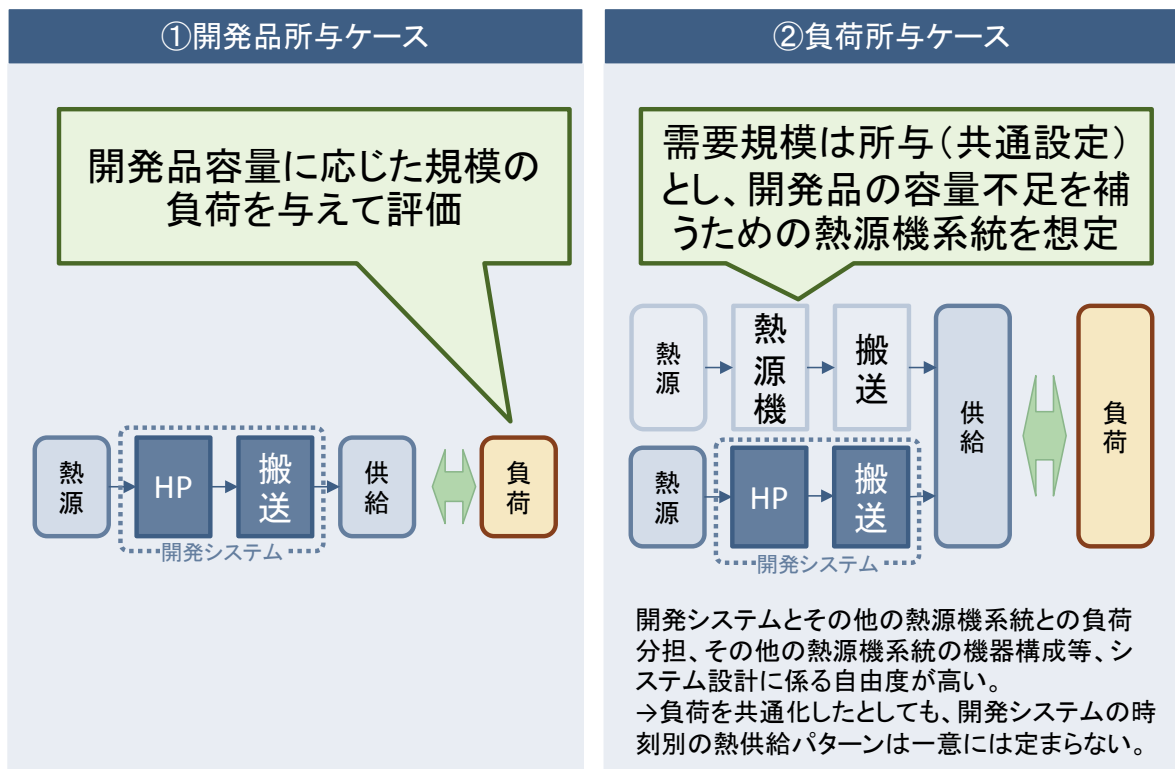
図 システムの範囲

#### (3) 評価用ベース負荷条件・負荷パターン

開発品容量と建物熱負荷との容量バランスの設定の考え方については、図 3 2 に示すとおり、開発品を所与とし、開発品の容量に応じた規模の負荷を想定して評価を行う方法と、負荷を所与とし、開発品の容量が不足する場合には、これを補うための熱源機系統を想定して評価を行う方法の 2 通りに大別される。

しかしながら、後者については設計の自由度が高く、負荷が共通化されても、開発システムの熱供給パターンは一意には定まらない。このため、異なる開発品同士を共通的な前提条件の下で評価することが困難となる。

そこで、開発品を所与とし、開発品の容量に応じた規模の負荷を想定して評価を行うこととする。すなわち、単位規模あたりの負荷パターンを設定し、これを開発品容量に応じて拡大することにより、負荷パターンを与える。



### 「①開発品所与ケース」を前提として、負荷パターンを設定

※開発システム:HP単体開発の場合と、HPの組合せや搬送等を含めたシステム開発の場合の両者が想定される

図 開発品容量と建物熱負荷との容量バランスの関係

一般に、建物における空調や給湯の負荷は建物形状や空調設備、運用条件などによって千差万別であり、一律にパターンを設定することは難しい。ここで定めるベース負荷パターンは、この点を認識した上で、開発品評価における前提条件を一定レベルで揃えることを目的に提示するものである。

具体的には、下表に示した国や業界内でオーソライズされたデータや業界内で共通で使用されている時刻別の建物熱負荷データに基づき、単位規模あたりのベース負荷パターン（365日×24時間）を設定することを基本とする。表に示す各種パターンのうち、開発システムが想定するセグメント（建物用途、建物断熱性、地域）に最も合致するパターンを用いて評価を行うことを基本とする。

ただし、蓄熱を含むシステム等の経時的な評価が必要なシステムでない場合においては、JISに基づく負荷パターン（外気温別の年間負荷分布）を採用してもよいこととする。

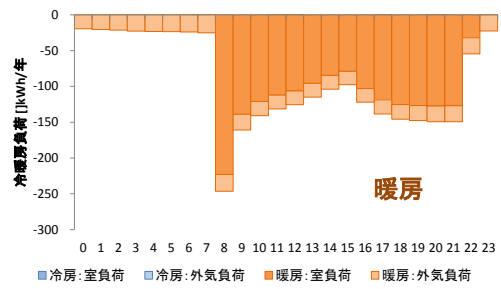
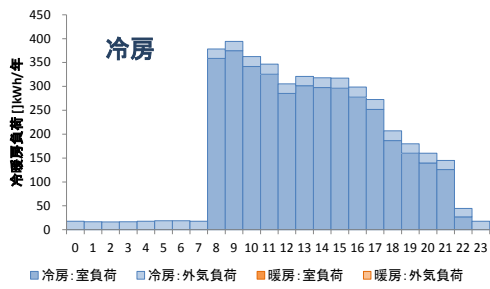
また、追加的にこれらとは異なる負荷パターンを開発者が独自に設定しようとする場合は、予め、システムの開発目的や将来の想定市場等と照らし合わせた際の当該負荷パターンの採用の必然性および当該負荷の具体的パターンを、NEDOに対して提示することとする。

表 ベース負荷パターンの想定

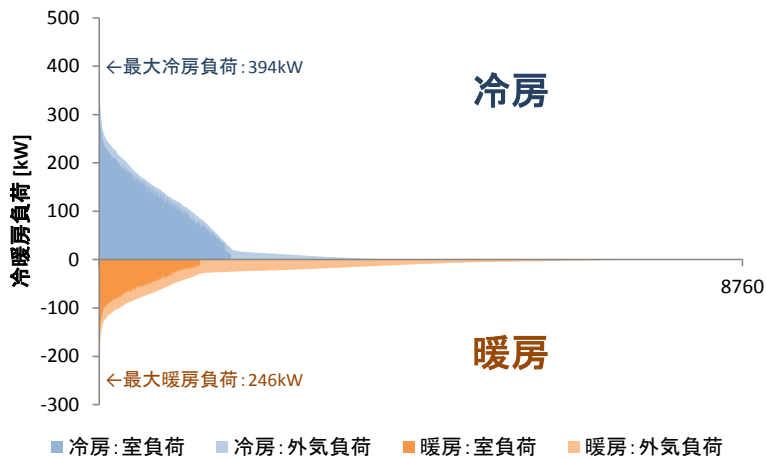
負荷パターン	建物用途	建物の断熱性	地域	採用したベース負荷データ	備考	
1	戸建住宅	標準	寒冷	住宅事業建築主の判断基準における戸建住宅モデルの熱負荷計算結果	標準断熱住宅の負荷データとして、省エネ法 H4 年断熱基準のモデルの計算結果を採用	
2			標準			
3			暑熱			
4		高断熱	寒冷			高断熱住宅の負荷データとして、省エネ法 H11 年断熱基準のモデルの計算結果を採用
5			標準			
6			暑熱			
7	集合住宅	標準	寒冷	省エネ法の改正に関連して検討されている集合住宅モデルの熱負荷計算結果		
8			標準			
9			暑熱			
10		高断熱	寒冷			
11			標準			
12			暑熱			
13	事務所	標準	寒冷	BEST ( Building Energy Simulation Tool ) <sup>1</sup> によるオフィス用標準問題 (基準階) の熱負荷計算データ		
14			標準			
15			暑熱			
16	商業	標準	寒冷	ESUM ( Energy Specific Unit Management tool ) <sup>2</sup> によるデフォルトモデルの熱負荷計算データ	百貨店モデルを採用	
17			標準			
18			暑熱			

<sup>1</sup> IBEC (Institute for Building Environment and Energy Conservation, (一財) 建築環境・省エネルギー機構) 内に設立された「BEST コンソーシアム」において検討・開発された、建築物の総合的なエネルギーシミュレーションツール。

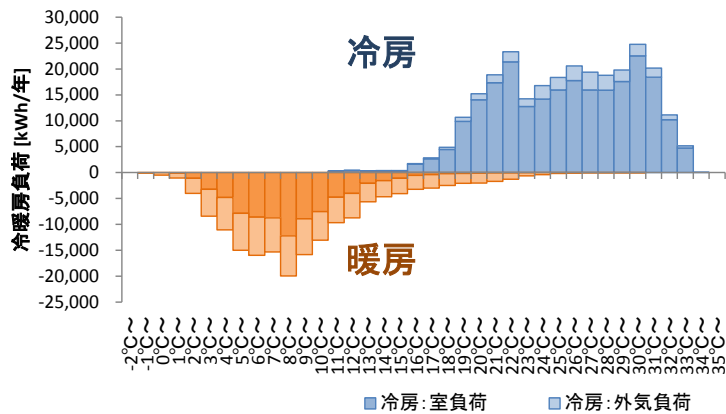
<sup>2</sup> (一財) 省エネルギーセンター内に設立された「ビルの省エネルギー対策検討委員会」において検討・開発された、業務ビルを対象とした消費エネルギー原単位ツール



冷房負荷ピーク日 (7/18)                      暖房負荷ピーク日 (1/4)  
 ※データは 365 日×24 時間で作成したが、ここでは例として代表日のみ掲載  
 時刻別負荷パターン

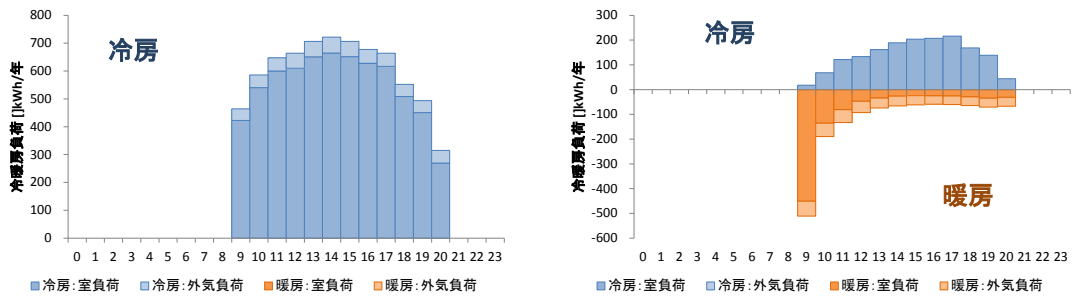


負荷持続曲線



外気温別の負荷分布

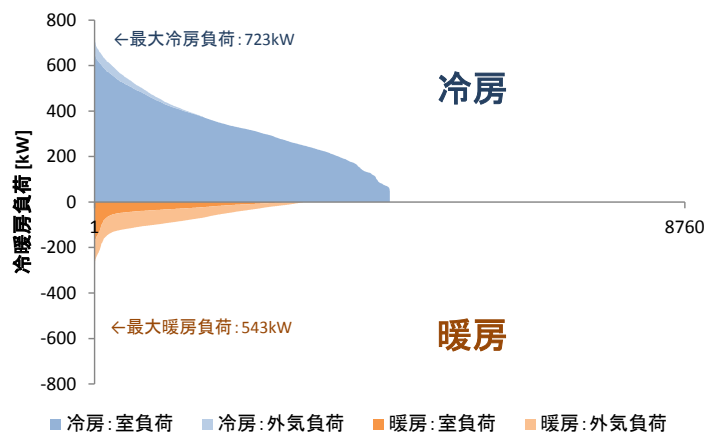
図 事務所：空調負荷パターン（東京）



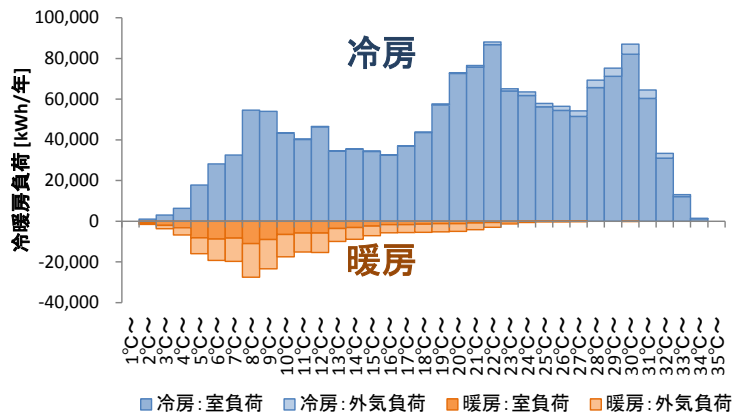
冷房負荷ピーク日 (7/19)

暖房負荷ピーク日 (3/21)

※データは 365 日×24 時間で作成したが、ここでは例として代表日のみ掲載  
時刻別負荷パターン



負荷持続曲線



外気温別の負荷分布

図 商業ビル：空調負荷パターン（東京）

#### (4) 評価用のベース熱源条件・変動パターン

原則として、全国の各地点における各月（あるいは季節）の時刻変動データが体系的に整備されている統計資料・データベースを中心にデータ整理を行い、評価に用いるべきベース熱源パターンを設定した。これに基づき、評価用のベースパターンを作成する。

ただし、評価対象システムが本ガイドラインで設定するベースパターンとは異なる熱源パターンを想定して開発されている場合には、設定したパターンが評価に適さない可能性もある。特に、地中熱・地下水、河川水、下水は立地条件や規制等の点から無制限に採熱できるわけではなく、また案件に応じて利用条件は異なることが想定されるため、具体的な利用可能量を一概に設定することは難しい。このような場合には、より適切な評価をするために開発者が望ましいと考えるパターンを別途使用できることとする。ただしその場合には、評価に用いた熱源パターンとその設定根拠を明記することとする。

また、地中熱や地下水熱等、採熱や放熱により熱源の温度環境が変化するものについては、その影響を考慮することとする。

表 ベース熱源パターンの想定

熱源パターン	熱源種類	地域	標準パターン作成に使用するデータ			データの作成方法
			データソース	地域	期間	
1	空気熱	寒冷	・日本建築学会「拡張アメダス気象データ」(2005)	札幌	標準年	各地点における標準年のデータを引用 日別時刻別（365日×24時間）データとして作成
2		標準		東京		
3		暑熱		那覇		
4	地中熱・地下水	寒冷	・日本建築学会「拡張アメダス気象データ」(2005)	札幌	標準年	地中深さ15m以深を利用することを想定して、各地点における標準年の「年平均気温(℃)+3℃(年一定)」として作成
5		標準		東京		
6		暑熱		那覇		
7	河川水	寒冷	・環境省「公共用水域水質検体値データ」(2011) ・日本建築学会「拡張アメダス気象データ」(2005)	札幌 <sup>3</sup>	標準年	札幌市内の15地点における1981-2009年のデータを基に気温との回帰式を作成し、標準年の「気温(℃)」を代入して作成 東京都内の109地点における1981-2009年のデータを基に気温との回帰式を作成し、標準年の「気温(℃)」を代入して作成
8		標準		東京 <sup>4</sup>		

<sup>3</sup> 札幌市内にある河川水の環境基準点15地点の河川水温データ

<sup>4</sup> 東京都内にある河川水の環境基準点109地点の河川水温データ

熱源パターン	熱源種類	地域	標準パターン作成に使用するデータ			データの作成方法
			データソース	地域	期間	
9	下水	寒冷	・札幌市「札幌市下水道維持管理年報」(2010)	札幌市 <sup>5</sup>	2010	札幌市内の下水処理場 13 施設の平均値として作成
10		標準	・横浜市「水質試験年報」(2010)	東京都 <sup>6</sup>	2010	横浜市内の下水処理場 11 施設の平均値として作成
11	太陽熱	寒冷	・日本建築学会「拡張アメダス気象データ(2005)」	札幌	標準年	「全天日射量[MJ/(m <sup>2</sup> ・h)]」を用いて、直散分離計算、斜面日射量計算を行い、作成
12		標準		東京		
13		暑熱		那覇		

表 空気熱

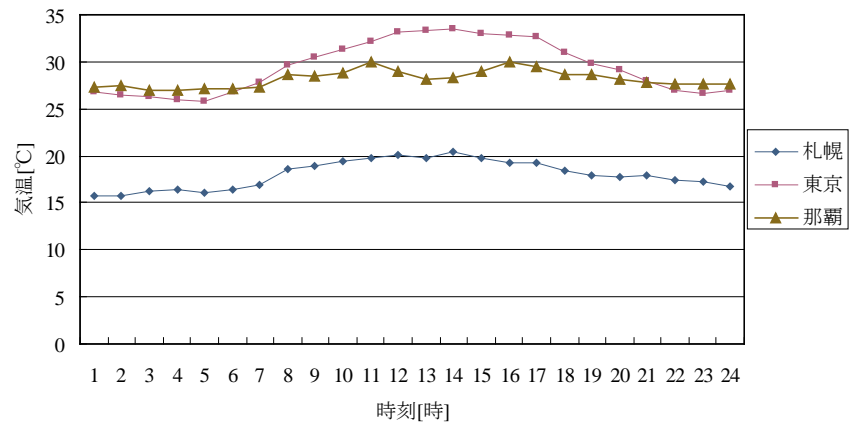
空気熱 (気温[°C])																																																												
データソース	日本建築学会「拡張アメダス気象データ」の「気温 (°C)」																																																											
地域パターン	寒冷 (札幌)、標準 (東京)、暑熱 (那覇) の 3 パターン																																																											
年度	標準年 (1995 年版)、標準年 (2000 年版) の 2 パターン																																																											
データ整備方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>各地点における標準年の「気温 (°C)」のデータを引用</li> <li>日別時刻別 (365 日×24 時間) データとして整備</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">月</th> <th rowspan="2">日</th> <th rowspan="2">時刻</th> <th colspan="3">気温[°C]</th> </tr> <tr> <th>寒冷 (札幌)</th> <th>標準 (東京)</th> <th>暑熱 (那覇)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">1 月</td> <td rowspan="4">1 日</td> <td>1:00</td> <td>-3.5</td> <td>4.6</td> <td>16.7</td> </tr> <tr> <td>2:00</td> <td>-4.0</td> <td>4.8</td> <td>16.6</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>24:00</td> <td>-10.1</td> <td>5.9</td> <td>17.1</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">⋮</td> <td rowspan="3">⋮</td> <td rowspan="3">⋮</td> <td rowspan="3">⋮</td> <td rowspan="3">⋮</td> <td rowspan="3">⋮</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2 日</td> <td>1:00</td> <td>-10.1</td> <td>5.2</td> <td>16.8</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>12 月</td> <td>31 日</td> <td>24:00</td> <td>-3.3</td> <td>4.7</td> <td>16.7</td> </tr> </tbody> </table>						月	日	時刻	気温[°C]			寒冷 (札幌)	標準 (東京)	暑熱 (那覇)	1 月	1 日	1:00	-3.5	4.6	16.7	2:00	-4.0	4.8	16.6	⋮	⋮	⋮	⋮	24:00	-10.1	5.9	17.1	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	2 日	1:00	-10.1	5.2	16.8	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	12 月	31 日	24:00	-3.3	4.7	16.7
月	日	時刻	気温[°C]																																																									
			寒冷 (札幌)	標準 (東京)	暑熱 (那覇)																																																							
1 月	1 日	1:00	-3.5	4.6	16.7																																																							
		2:00	-4.0	4.8	16.6																																																							
		⋮	⋮	⋮	⋮																																																							
		24:00	-10.1	5.9	17.1																																																							
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮																																																							
						2 日	1:00	-10.1	5.2	16.8																																																		
							⋮	⋮	⋮	⋮																																																		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮																																																							
12 月	31 日	24:00	-3.3	4.7	16.7																																																							
標準パターンのデータ (例)	夏季、中間期、冬期のある 1 日における時刻変動データを示す。 ① 夏季 (8/2 の例)																																																											

<sup>5</sup> 札幌市内の下水処理場 13 施設における下水温データ

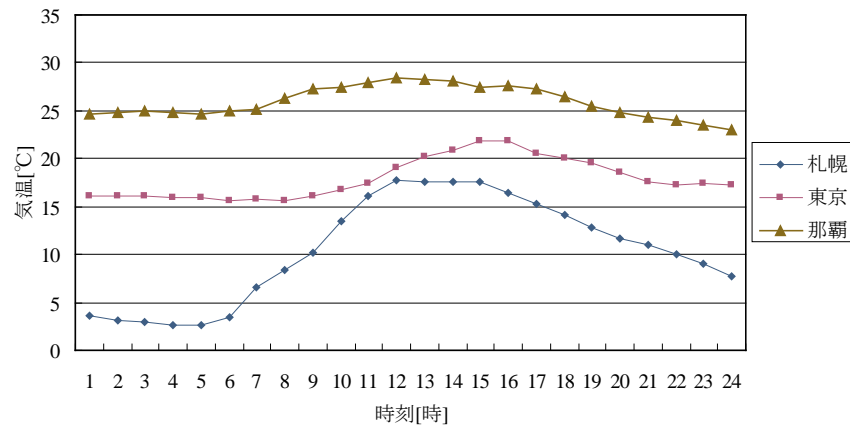
<sup>6</sup> 横浜市内の下水処理場 11 施設における下水温データ



空気熱 (気温[°C])



② 中間期 (4/30 の例)



③ 冬季 (2/1 の例)

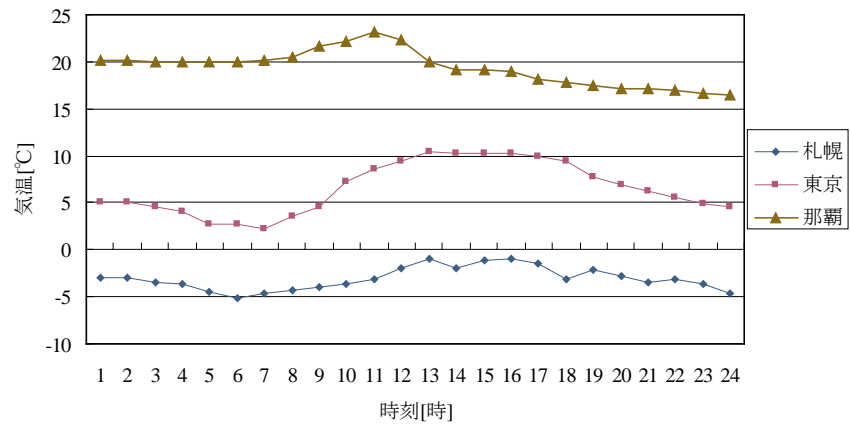


表 地中熱・地下水熱

地中熱（地中温度[°C]）・地下水（地下水温度[°C]）										
データソース	日本建築学会「拡張アメダス気象データ」の「年平均気温（°C）」									
地域パターン	寒冷：札幌、標準：東京、暑熱：那覇の3パターン									
年度	標準年（1995年版）、標準年（2000年版）の2パターン									
データ整備方法	<p>・地中深さ 15m以深を利用することを想定して、各地点における標準年の「年平均気温（°C）」+3°Cとして算出（一般的に、同じ地点の地中温度と地下水温度はほぼ等しく、地中深さが 15m以深では、その地点の年平均気温+3～5°Cであることが知られている。）</p> <p>・年一定値として、各地域で以下のとおり設定</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">地中温度・地下水温度[°C]</th> </tr> <tr> <th>寒冷（札幌）</th> <th>標準（東京）</th> <th>暑熱（那覇）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">11.8</td> <td style="text-align: center;">19.6</td> <td style="text-align: center;">26.3</td> </tr> </tbody> </table>	地中温度・地下水温度[°C]			寒冷（札幌）	標準（東京）	暑熱（那覇）	11.8	19.6	26.3
地中温度・地下水温度[°C]										
寒冷（札幌）	標準（東京）	暑熱（那覇）								
11.8	19.6	26.3								

表 河川水熱

河川水熱（河川水温[°C]）																																								
データソース	環境省「全国公共用水域水質検体値データファイル（1981-2009）」の「河川水温（°C）」 日本建築学会「拡張アメダス気象データ」の「気温（°C）」																																							
地域パターン	寒冷：札幌、標準：東京の2パターン																																							
年度	標準年（1995年版）、標準年（2000年版）の2パターン																																							
データ整備方法	<p>・河川水温は気温との相関が強いことから、下記の手順で作成</p> <p>①気温を説明変数とした回帰式の同定 各地域において下記のデータを利用して単回帰分析を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 寒冷：札幌市内の 15 地点における 1981-2009 年のデータ</li> <li>➤ 標準：東京都内の 109 地点における 1981-2009 年のデータ</li> </ul> <p>①回帰式より、河川水温の算出</p> <p>①で得た回帰式に、各地点の標準年の気温データを代入することで河川水温を算出</p> <p>・日別時刻別（365 日×24 時間）データとして整備</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">月</th> <th rowspan="2">日</th> <th rowspan="2">時刻</th> <th colspan="2">河川水温[°C]</th> </tr> <tr> <th>寒冷（札幌）</th> <th>標準（東京）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">1 月</td> <td rowspan="4">1 日</td> <td>1:00</td> <td style="text-align: center;">0.2</td> <td style="text-align: center;">7.0</td> </tr> <tr> <td>2:00</td> <td style="text-align: center;">-0.1</td> <td style="text-align: center;">7.1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">⋮</td> <td style="text-align: center;">⋮</td> <td style="text-align: center;">⋮</td> </tr> <tr> <td>24:00</td> <td style="text-align: center;">-4.0</td> <td style="text-align: center;">7.9</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">⋮</td> <td rowspan="2">⋮</td> <td rowspan="2">⋮</td> <td style="text-align: center;">-4.0</td> <td style="text-align: center;">7.4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">⋮</td> <td style="text-align: center;">⋮</td> <td style="text-align: center;">⋮</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td style="text-align: center;">⋮</td> <td style="text-align: center;">⋮</td> </tr> <tr> <td>12 月</td> <td>31 日</td> <td>24:00</td> <td style="text-align: center;">0.4</td> <td style="text-align: center;">7.0</td> </tr> </tbody> </table>	月	日	時刻	河川水温[°C]		寒冷（札幌）	標準（東京）	1 月	1 日	1:00	0.2	7.0	2:00	-0.1	7.1	⋮	⋮	⋮	24:00	-4.0	7.9	⋮	⋮	⋮	-4.0	7.4	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	12 月	31 日	24:00	0.4	7.0
月	日				時刻	河川水温[°C]																																		
		寒冷（札幌）	標準（東京）																																					
1 月	1 日	1:00	0.2	7.0																																				
		2:00	-0.1	7.1																																				
		⋮	⋮	⋮																																				
		24:00	-4.0	7.9																																				
⋮	⋮	⋮	-4.0	7.4																																				
			⋮	⋮	⋮																																			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮																																				
12 月	31 日	24:00	0.4	7.0																																				
標準パターン	① 夏季（8月の例）																																							

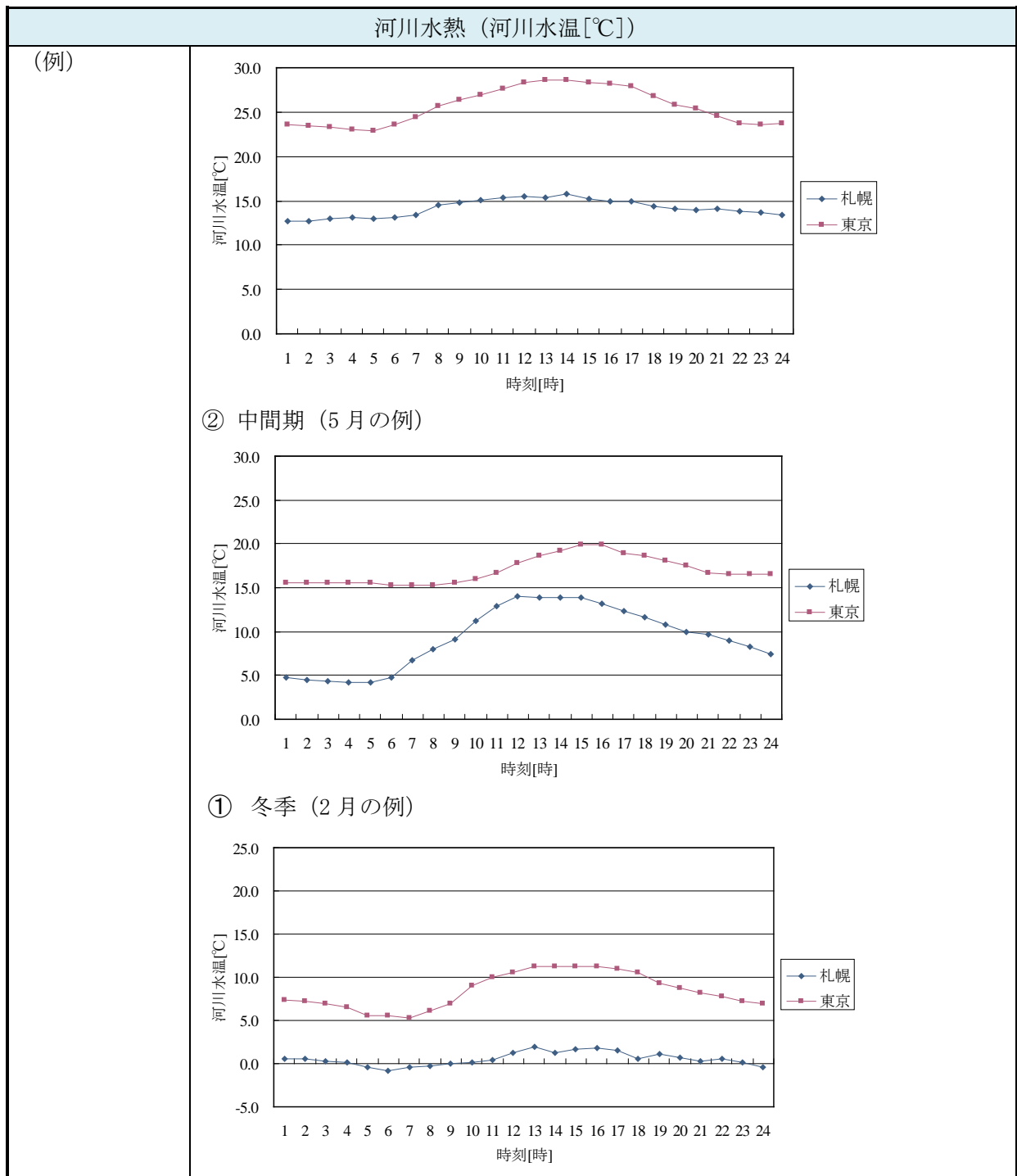


表 下水熱

下水熱 (下水温[°C])	
データソース	寒冷：札幌市「札幌市下水道維持管理年報（平成 22 年度版）」、標準：横浜市環境創造局「水質試験年報（平成 22 年度）」の「下水温（°C）」
地域パターン	寒冷：札幌、標準：横浜*の 2 パターン ※東京都の下水温は年間値しか公表されていないため、横浜とした。
年度	2010 年度

データ整備方法

- ・各地域について、下記のデータを用いて作成
  - 寒冷：札幌市内の下水処理場 13 施設の平均値
  - 標準：横浜市内下水処理場 11 施設の平均値
- ・月別データ（12ヶ月、月一定）として、各地域で以下のとおり設定

月	下水温[°C]			
	寒冷（札幌）		標準（横浜）	
	未処理水	処理水	未処理水	処理水
1月	15.7	16.1	16.9	18.1
2月	15.1	15.6	15.8	17.1
3月	14.1	14.4	16.5	17.1
4月	14.2	14.5	18.4	19.0
5月	17.0	17.6	20.9	21.9
6月	20.2	20.7	23.0	24.3
7月	22.3	22.8	25.8	27.1
8月	22.5	23.2	27.3	28.6
9月	22.9	23.5	26.3	27.3
10月	21.1	21.6	23.3	24.4
11月	17.3	17.7	20.5	21.2
12月	16.2	16.4	19.0	20.0

標準パターン

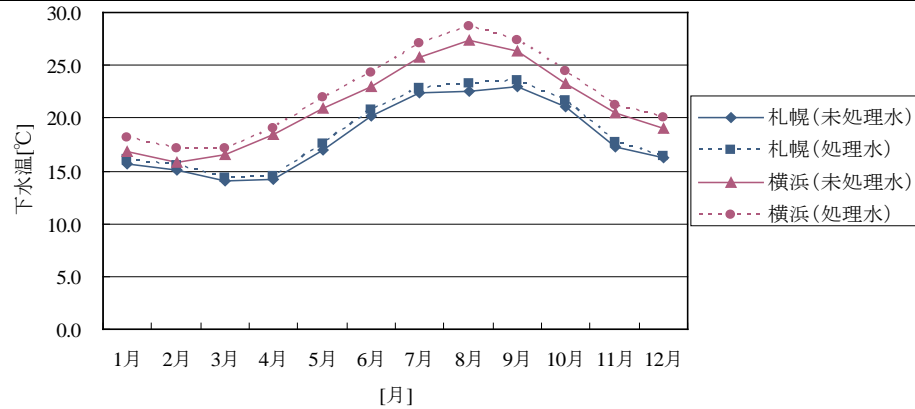
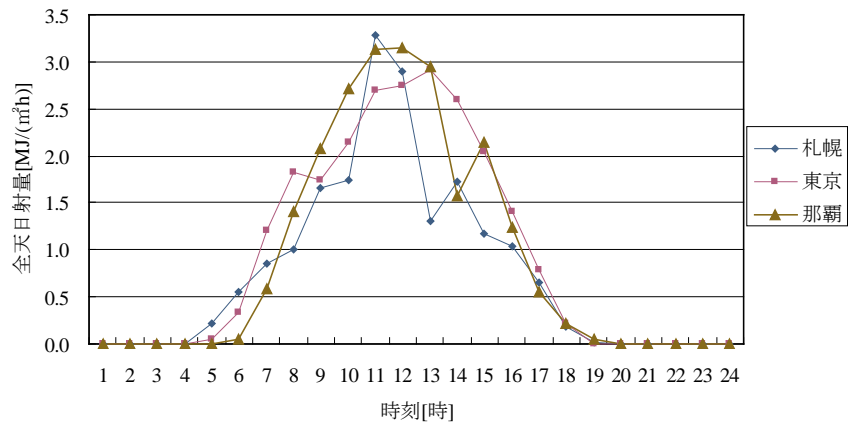


表 太陽熱

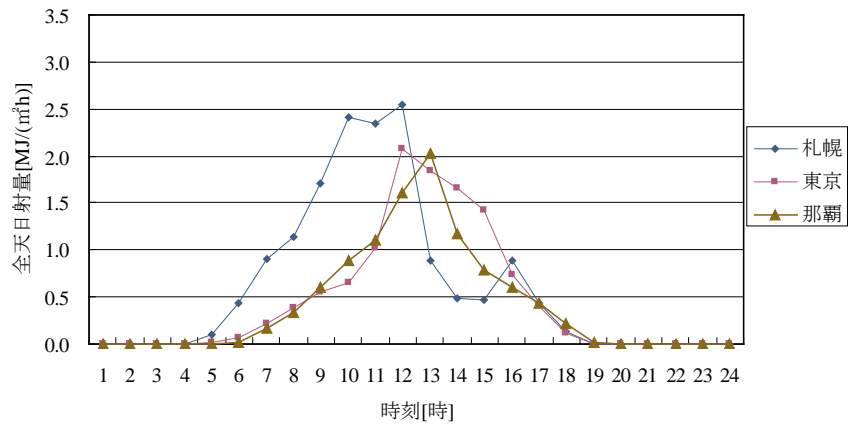
太陽熱 (全天日射量[MJ/(m <sup>2</sup> ・h)])																																																										
データソース	日本建築学会「拡張アメダス気象データ」の「全天日射量[MJ/(m <sup>2</sup> ・h)]」の「全天日射量[MJ/(m <sup>2</sup> ・h)]」																																																									
地域	寒冷：札幌、標準：東京、標準：那覇の3パターン																																																									
年度	標準年 (1995年版)、標準年 (2000年版) の2パターン																																																									
データ整備方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>各地点における標準年の「気温 (°C)」のデータを引用</li> <li>日別時刻別 (365日×24時間) データとして整備</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">月</th> <th rowspan="2">日</th> <th rowspan="2">時刻</th> <th colspan="3">斜面日射量[MJ/(m<sup>2</sup>・h)]</th> </tr> <tr> <th>寒冷 (札幌)</th> <th>標準 (東京)</th> <th>暑熱 (那覇)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">1月</td> <td rowspan="4">1日</td> <td>1:00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>2:00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>24:00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">⋮</td> <td rowspan="3">⋮</td> <td>1:00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>12月</td> <td>31日</td> <td>24:00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>※この「全天日射量[MJ/(m<sup>2</sup>・h)]」を基に、「SpilitG」<sup>7</sup>を用いて直散分離計算して求めた「直達日射量 [MJ/(m<sup>2</sup>・h)]」、「天空日射量[MJ/(m<sup>2</sup>・h)]」の結果も併せて整備する。但し、直散分離計算にはUdagawaモデルを用いる。</p>					月	日	時刻	斜面日射量[MJ/(m <sup>2</sup> ・h)]			寒冷 (札幌)	標準 (東京)	暑熱 (那覇)	1月	1日	1:00	0.00	0.00	0.00	2:00	0.00	0.00	0.00	⋮	⋮	⋮	⋮	24:00	0.00	0.00	0.00	⋮	⋮	1:00	0.00	0.00	0.00	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	12月	31日	24:00	0.00	0.00	0.00
月	日	時刻	斜面日射量[MJ/(m <sup>2</sup> ・h)]																																																							
			寒冷 (札幌)	標準 (東京)	暑熱 (那覇)																																																					
1月	1日	1:00	0.00	0.00	0.00																																																					
		2:00	0.00	0.00	0.00																																																					
		⋮	⋮	⋮	⋮																																																					
		24:00	0.00	0.00	0.00																																																					
⋮	⋮	1:00	0.00	0.00	0.00																																																					
		⋮	⋮	⋮	⋮																																																					
		⋮	⋮	⋮	⋮																																																					
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮																																																					
12月	31日	24:00	0.00	0.00	0.00																																																					
斜面日射量の標準パターン (例)	① 夏季代表日 (8/2)																																																									

<sup>7</sup> 日本建築学会「拡張アメダス気象データ」に添付されている直達分離計算ルーチン。

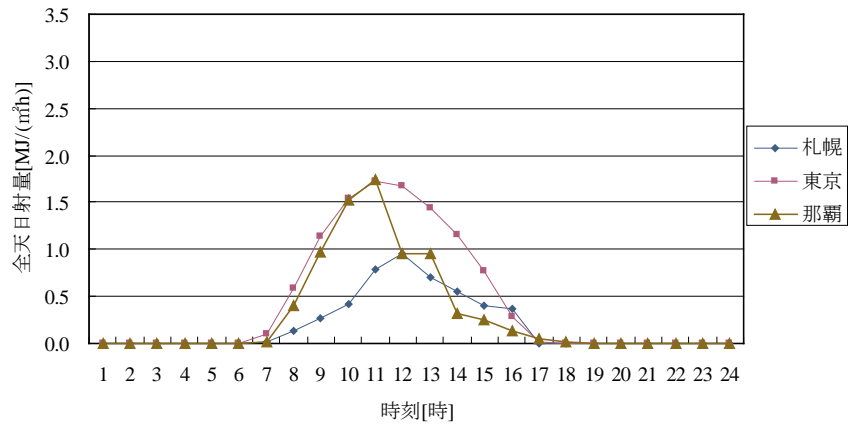
太陽熱 (全天日射量[MJ/(m<sup>2</sup>・h)])



② 中間期代表日 (4/30)



② 冬季代表日 (2/1)



## (5) 評価対象システムの機器仕様

開発対象が熱源機の場合、その性能特性は、JIS で定める部分負荷の計測点をベースに設定する。ただし、例えば低部分負荷領域の性能向上を目的とした技術開発の場合には低部分負荷領域の計測を行うなど、技術開発目的と照らし合わせて重点的に計測し、機器特性に反映したい場合には、それを妨げない。

システム評価の際には、開発者の提案対象外の部分についても、必要に応じてシステム構成を設定することとする（例：一次側のみを焦点を当てた開発品に対して、二次側を含めた評価を行う場合等）。周辺設備のシステム構成は、標準的な機器構成を設定するものとし、その仕様について明記することとする。

開発品以外の周辺機器については、標準的な仕様の機器を用いる。巻末に、必要となるデータ項目および機器特性の例を示す。

なお、技術開発実証においては、将来の実用化の際に想定するシステムではなく小規模なパイロットシステムを用いて実証を行うこともある。この場合、システム性能評価は、当該パイロットシステムの機器構成を前提として実施することとする。ただし、追加的検討として、実用化を想定したシステム構成に関する評価を行うことは妨げない。

## (6) 従来型システムの考え方

### ①システム形態

従来型システムのシステム構成は、原則として、想定する導入先の建物用途、規模、地域における、現在販売されている一般的なシステム構成とする。従来型システムのシステム構成の例を下図に示す。

技術開発の効果を把握するという趣旨からは、開発要素以外の各種の前提条件については、開発品システムと従来型システムとで極力共通化しておく必要がある。このため、例えば個別分散熱源方式、セントラル熱源方式、複数建物間での面的利用方式といった熱源方式については、原則として開発品システムと同一の設定とする。

従来システムの熱源機種類は原則としてヒートポンプとする。ただし、開発システムが、寒冷地用ヒートポンプ給湯システムなど従来はヒートポンプの適用が困難であった領域へのヒートポンプの用途拡大を主目的とするシステムの場合、従来型システムは燃焼系システムとしてもよい。

熱源種類については、開発システムが未利用熱の活用を主たる開発要素とするシステムの場合、従来システムは原則として空気熱源のシステムとする。

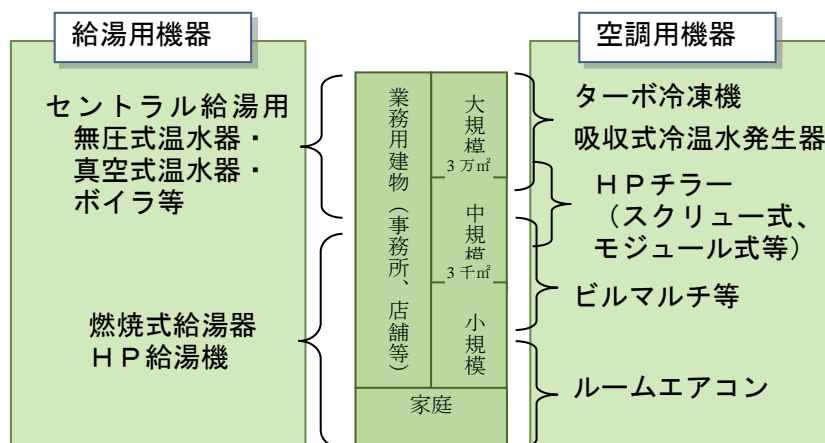


図 従来型システムのシステム構成（イメージ）

## ②機器の性能水準

開発品によって代替される機器（熱源機等）の性能水準の設定については、下表に示すように、市販品のうち、開発システムの目的に準用できる平均的水準の性能を有する機器または最高水準の機器を想定することとし、想定した機器の性能について明記することとする。

いずれの水準を選択するかについては、NEDO 側が技術開発事業において、当該事業の目的や周辺分野の技術開発事業における評価の考え方との整合等を考慮して、従来型システムの性能水準の考え方を予め決定して開発者に提示することとする。

表 比較対象システムの性能水準の考え方

比較対象	特徴
市販品のうち、開発システムの目的に準用できる標準的な性能水準の機器	開発品の普及による省エネ効果の評価に適する。
市販品のうち、開発システムの目的に準用できる最高水準の機器	「民間の自助努力だけでは不十分な点を補う」という技術開発支援の原則に照らし合わせた際の、省エネ効果の評価に適する。

開発者は、従来型システムの設定時に用いた機器の型番や性能等を明記することとする。当該機器の性能特性については、JIS 基準での性能やカタログ性能を用いることとするが、実測データの使用も妨げないこととする。実測データを用いる場合は、測定条件を明記することとする。

## （7）エネルギー消費量等の算出

システム全体およびヒートポンプについて、原則として通年（1 時間間隔で 8,760 時間）での性能評価を実施する。

システム評価は、システムとしての一次エネルギー削減量およびシステム COP で評価を行う。燃焼系システムとの比較評価を行う場合、COP は一次エネルギー換算 COP とする。またヒートポンプ単体についても、COP にて評価を行う。

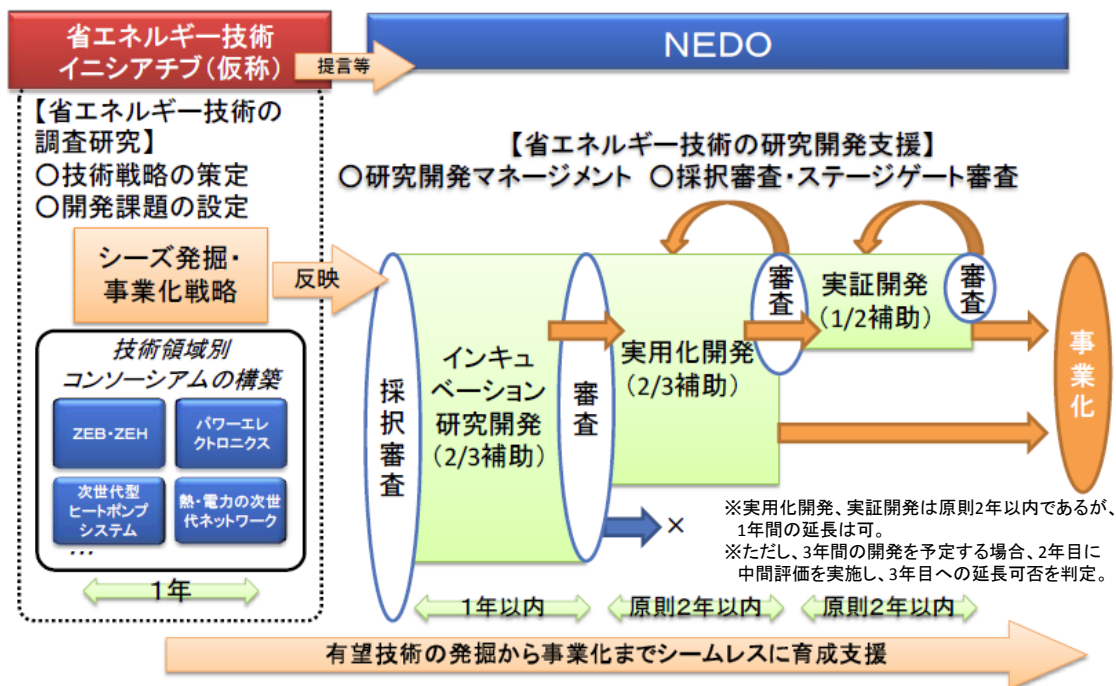
シミュレーションは、設備等の動的挙動を考慮した動的シミュレーションと、これを考慮しない静的シミュレーションに大別される。本ガイドラインは、ヒートポンプシステムの開発品を評価するための各種条件整備を行うものであり、評価に用いるシミュレーションツールを限定するものではない。公的なシミュレーションツール以外のものを使用する場合、当該ツールの妥当性の説明のために、使用したツールの構造、特徴、適用事例の有無等の概要を明記することとする。また、公的なシミュレーションツールを使用する際にも、当該ツールに標準的に備わっていない機能や計算手法を新たに追加する等、独自にカスタマイズをする場合は、その内容について明記することとする。



#### 4. 実用化・事業化に向けての見直しおよび取り組み

本性能評価ガイドラインの活用方策として、NEDO の実施する現行の省エネルギー技術開発事業である「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」における活用が想定される。同プログラムでは、次世代型ヒートポンプシステム等「省エネルギー技術戦略 2011」において重要技術として設定された技術課題に係るテーマを中心に採択を行うこととされており、ヒートポンプシステムに関する応募が期待されるため、本性能評価ガイドラインの活用先として適すると判断される。

戦略的省エネルギー技術革新プログラムでは、下図に示すとおり、採択審査の後事業終了までの間に、3年間の開発案件においては2年目終了時に中間評価が行われ、また複数の開発フェーズで採択された案件においては各フェーズ終了時にステージゲート審査が行われる。



出所) 平成 25 年度経済産業省予算案関連事業の PR 資料より作成

図 戦略的省エネルギー技術革新プログラムの事業フロー

ここで、性能評価ガイドラインの利用の場面および利用方法としては、下表に示す形が想定される。採択後から実施計画書の作成局面においては、ガイドラインの一環として整備した簡易評価用チェックリスト様式に基づき実施者が必要事項を記入し、提出されたリストを NEDO にてチェックする。また中間評価および事業終了後の局面においては、性能評価ガイドラインに基づき実施者が自己評価を行い、その評価結果を NEDO および中間評価委員会、事後評価委員会にてチェックする。

表 戦略的省エネルギー技術革新プログラムにおける性能評価ガイドライン利用局面

利用場面	性能評価ガイドラインによる評価	実施分担
採択後～実施計画書の作成	チェックリストの提出	作成：実施者 チェック：NEDO
中間評価委員会	性能評価ガイドラインによる自己評価結果の提出	ガイドラインによる評価：実施者
事後評価委員会	評価結果のチェック：NEDO、委員会	

表 ヒートポンプシステムの性能評価チェックリスト

項目	内容	
テーマ名		
開発実施者		
開発概要・目的・目標		
想定する導入先 (業種、地域等)		
省エネ性評価	システムフロー	<p>※提案システムおよび比較対象システムについて、熱源～負荷に至る全体のフローを示した上で、省エネ性の評価範囲および主たる開発対象設備を各々枠囲い等により明示してください。</p> <p>&lt;提案システム&gt;</p> <p>&lt;比較対象システム&gt;</p>
	計算手法	<input type="checkbox"/> 静的シミュレーションによるシステム評価 <input type="checkbox"/> 動的シミュレーションによるシステム評価 <input type="checkbox"/> その他
	具体的内容	<p>※手法やシミュレーションモデルの名称をご記入ください。また独自の手法等を用いた場合は、当該手法等の特徴をご説明ください。</p>
負	採用データ	<input type="checkbox"/> 本ガイドラインでの整備データ <input type="checkbox"/> その他公的データ <input type="checkbox"/> 独自設定デー

荷		タ
	具体的内容	※具体的なデータの出典をご記入ください。独自の手法等を用いた場合は、その選定理由および当該負荷パターンの特徴をご説明ください。
	熱源種類	<input type="checkbox"/> 大気熱 <input type="checkbox"/> 太陽熱 <input type="checkbox"/> 地中熱 <input type="checkbox"/> 地下水熱 <input type="checkbox"/> 河川水 <input type="checkbox"/> 下水熱 <input type="checkbox"/> その他の（具 体 名）
	採用データ	<input type="checkbox"/> 本ガイドラインでの整備データ <input type="checkbox"/> その他公的データ <input type="checkbox"/> 独自設定データ
	具体的内容	※具体的なデータの出典をご記入ください。独自の手法等を用いた場合は、その選定理由および当該熱源パターンの特徴をご説明ください。
システム運用・制御の考え方		
比較対象システムの熱源機スペック		※比較対象機器の型番、効率をご記入ください。
省エネ性評価結果		※システム COP、一次エネルギー削減量をご記入ください。
冷媒	冷媒名	
	GWP 係数	
備考		※システムの省エネ性評価に当たっての留意事項等があればご記入ください。 ※また、省エネ性以外の項目（温室効果ガス排出削減、利便性、快適性等）について特記事項があればご記入ください。（例：熱量あたり冷媒使用量、熱量あたり設備設置スペース等）

## IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

### 1. 事業全体のまとめ

本事業で得られた開発成果は多岐にわたる。当該研究開発に係る製品の販売により、まもなく企業活動に貢献するものがある。ヒートポンプを含むシステムについては、早期事業化を目指し国・地方自治体にも働きかけつつ、他業種の実施者が連携を図り事業化のための各種活動を行っている。また将来性のある要素技術については、引き続き研究開発を行い確実な実用化を目指す。

本事業で実施したヒートポンプ機器およびシステム開発が実用化されることで、ヒートポンプによる一層の省エネルギー化が期待され、日本の産業競争力強化に資する。本事業成果が実用化・事業化されることによる省エネルギー効果（原油換算）は、2020年において34万kl/年、2030年において249万kl/年と推算する。

また本事業成果は、産学官の連携によって得られたものであり、今後は建築・機械・材料等の多様な領域を融合する必要がある、ZEB/ZEHや熱供給インフラ等への適用促進が期待される。本事業成果の海外展開により、ヒートポンプ分野での日本のプレゼンス向上が期待される。

次頁以降に、下記研究開発項目それぞれに対する実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて述べる。

- ・ 蒸気圧縮式ハイブリット型ノンフロストヒートポンプの研究開発
- ・ 次世代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
- ・ 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
- ・ 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発
- ・ 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
- ・ 高密度冷熱ネットワークの研究開発

## 2. 研究開発項目毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

### 2.1 デシカント・蒸気圧縮式ハイブリット型ノンフロストヒートポンプの研究開発

#### (1) 成果の実用化・事業化の見通し

＜実用化が想定される製品＞

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）

側面(断面)図

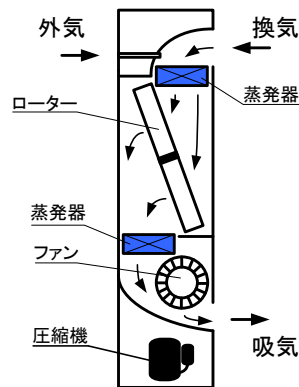


図 6.1 製品イメージ

＜市場やユーザーのニーズ＞

#### (i) 対象地域

国内の暖房用エネルギー種別消費量の地域別比較を図 6.2 に示す。外気温が低い北海道、東北、北陸のいわゆる寒冷地においてエネルギー消費量が大きくなっている。また寒冷地においてはエネルギー消費量が多いだけでなく、燃焼式暖房の割合が大きく、電気の消費割合が小さくなっている。電気式ヒートポンプ暖房の欠点である低外気温時の能力低下と着霜による効率低下およびデフロスト運転の影響も一因と考えられる。

次に、北海道、東北、関東、北陸の代表地点として、札幌、盛岡、東京、富山の 2009 年 1、2 月の温湿度を 4h 毎にプロットしたものを図 6.3 に示す。着霜しやすい温湿度条件として、外気温度が  $-7^{\circ}\text{C}$  から  $5^{\circ}\text{C}$  の間で、かつ湿度が 70%以上ということが知られているが、寒冷地の中でも特に東北が着霜しやすい温湿度条件となっている。

したがって、ノンフロスト空調システムは東北地域における需要が最も期待できる。

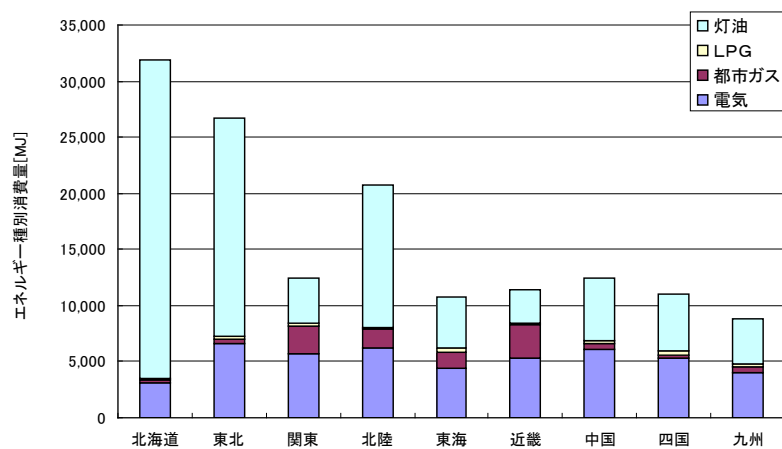


図 6.2 地域別暖房用エネルギー種別消費量<sup>(6.1)</sup>

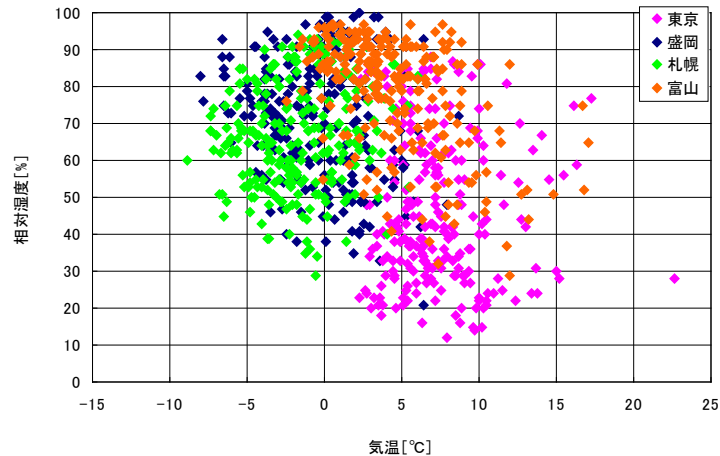


図 6.3 地域別温湿度<sup>(6.2)</sup>

### (ii) 空調システムの分析

国内住宅分野の空調システムについては、草刈ら<sup>(6.3)</sup>が行った暖房機器の保有割合、使用割合についてのアンケート調査の結果、以下の傾向がわかっている。

- ・ 全館空調システムは、寒冷地ほど保有率が高く、I 地域の戸建てでは 13.0%、II 地域の戸建てでは 9.6%である。
- ・ エアコンは使用率（＝使用割合／保有割合）が高く、II から V 地域では所有している内の 80%以上が使用しており、I 地域でも 70%以上が暖房機器として使用している。
- ・ ファンヒーターはいずれの地域においても使用されているが、寒冷地ほど開放型よりも給排気式の割合が高い。

本結果より、寒冷地では全館空調や給排気式ファンヒーターの使用割合が高く、これは空調・換気による温度ムラが原因の一つと考えられる。また、寒冷地では、エアコンの保有率は低いが使用率は高く、低外気温時の能力低下とデフロストの課題が解決できれば、更なる普及が期待できる。

三菱電機によるアンケート調査<sup>(6.4)</sup>では、「暖房機器の気になる不快な点」という問いに対して、北海道・東北地域では「乾燥」(55%)、「結露」(37%)、「換気・温度ムラ」(33%)という順になっており、温度ムラ以上に湿度を不快に感じている結果となっている。このため、換気を組み合わせた加湿機能付きエアコンのニーズが高いことが予想される。

また、近年の省エネ意識の高まりや省エネ法の改正により、住宅の省エネ性能は向上している。住宅の高断熱・高气密化が進むにつれて、今度はシックハウス症候群やアレルギーなどが問題となり、24 時間換気システムの設置が義務化されている。高气密化が進む中、確実に給排気を行う換気システムとして第一種機械換気が有効であり、あるハウスメーカーでは、フロア毎のセントル型換気システムが標準仕様になっている。

第一種機械換気はファン動力が大きくなるデメリットがあるが、全熱交換器を組み入れることで換気による熱ロスの低減や給気温度の上昇（暖房時）というメリットがある。上述のアンケート結果からも分かるとおり、特に寒冷地においては換気による熱ロスや温度ムラが課題となっており、全熱交換器による熱回収が期待されるが、一方で凍結による効率低下や換気量の低下、凍結防止のためのヒータ設置などの課題がある。この点で、本システムの氷点下でも凍らないというメリットは有効であると考えられる。

これらのことから、ノンフロスト空調システムは、第一種機械換気付き全館空調システムにおいて、適用の可能性が高いと考えられる。

### <原油換算省エネ効果>

○指標 A： 単位当たりの省エネルギー効果量 (kL/戸)

(前提条件)

一戸当たりの年間空調負荷：7,554.3 kWh/戸<sup>(6.1)</sup>

現状機の APF：2.43

開発システムの APF：4.15

(算定式)

一戸当たりの年間削減電力量

$$7,554.3 \text{ kWh/戸} \div 2.43 - 7,554.3 \text{ kWh/戸} \div 4.15 = 1,288.5 \text{ kWh/戸}$$

一戸当たりの年間省エネルギー効果量

$$1,288.5 \text{ kWh/戸} \times 9.76 \text{ MJ/kWh} \times 0.0258 \text{ kL/GJ} = 0.324 \text{ kL/戸 (指標A)}$$

○指標B： 市場導入量 (戸/年)

(前提条件)

東北地域のオール電化新築戸建に対し、エコキュート同等の普及率とする。

開発システムの上市時期：2019年

東北地域の新築戸建数：31,100 戸/年<sup>(6.5)</sup>

オール電化率：66.9%<sup>(6.5)</sup>

エコキュートの普及率<sup>(6.6)</sup>：年々シェアを拡大し、上市7年目以降は20%のシェアを継続。

(算定式)

上市7年目 (2025年) 以降の市場導入量 (戸/年)

$$31,100 \text{ 戸} \times 66.9\% \times 20\% = 4161 \text{ 戸/年}$$

上市2年目 (2020年) の市場導入量 (戸/年)

$$4161 \text{ 戸/年} \times 16.1\% = 672 \text{ 戸/年}$$

指標A： 1戸単位当たりの省エネルギー効果量 0.324 kL/戸

指標B： 市場導入量

2020年 672 戸/年

2030年 4161 戸/年

20XX年時点の

$$\text{原油換算省エネ効果 (kL/年)} = \text{指標A} \times \text{指標B}$$

	2020年	2030年
指標A	0.324 kL/戸	0.324 kL/戸
指標B	672 戸/年	4161 戸/年
原油換算 省エネ効果	218 kL/年	1,350 kL/年

<波及効果>

本技術は普及率の高い空冷ヒートポンプの特性向上に寄与し、その効率性・調湿性・連続性によって、家庭用のみならず、工業用・業務用デシカント空調システム、農事用ヒートポンプ、融雪用ヒートポンプ、欧米市場等、様々な分野への応用が期待できる。

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

<課題>

実用化に向けた課題として、現行の機器評価基準 (JRA, JIS) では潜熱能力が評価されずユーザーが定量的な評価をすることができず、デシカント空調のメリットが分かりづらいこと、ターゲット地域が限定されることからパートナーとなるヒートポンプメーカーの開発意欲が低いこと、システム (特にデシカント部) の価格が高く、サイズが大きいことが挙げられる。

<取り組み>

調湿機能付きノンフロスト (ノンドレイン) 全館空調システムは、現状のエアコンと比較して、調湿機能、ノンフロスト (ノンドレイン) という2段階も進んだ高度なシステムであり、上記課題を一挙に解決することは困難である。そこで、まずは、ターゲット地域の広域化、デシカント空調の認知度向上のため、本事業で得た知見を活かしたデシカント空調システムの実用化を行い、デシカント空調の全国的な普及を目指すとともに、日本冷凍空調工業会に対して、潜熱能力を考慮した

修正 APF が規格に反映されるよう働きかける。また、ノンフロスト（ノンドレイン）に限定しないことによって、メソポーラスシリカ以外の吸着剤の可能になること、デシカント部の設計自由度が大きくなることで低価格化、サイズダウンが期待できる。

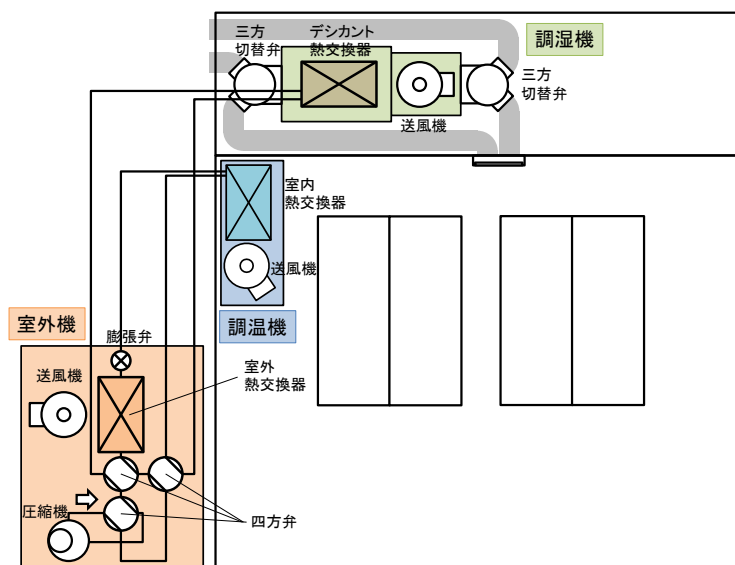


図 6.4 デシカント空調システム (案)

文 献

- 1) 住環境計画研究所:「家庭用エネルギー統計年報 2008 年版」より作成
- 2) 気象庁:「世界気象資料 2009 年前半」より作成
- 3) 草刈 和俊, 小林 和幸, 酒井 涼子, 荻野 登司:空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.367-370, 長野 (2006)
- 4) [http://www.mitsubishielectric.co.jp/home/kirigamine/08corporation/report/vol01\\_01.html#r05](http://www.mitsubishielectric.co.jp/home/kirigamine/08corporation/report/vol01_01.html#r05): (2012)
- 5) 富士経済:「エネルギー需要家別マーケット調査要覧 2010 [住宅分野編]」, pp87-88, 富士経済, 東京 (2010)
- 6) 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター:「ヒートポンプ・蓄熱白書Ⅱ」



## 2.2 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

### (1) 成果の実用化・事業化の見通し

「1. テーマの目的」に記載した通り、昨今の省エネ要求の高まりに伴い、空調機についても大幅な高効率化が求められている。特にオフィスビルでは空調で消費される電力が、ビル全体の48%といった推計(資源エネルギー庁)もあり、ビル用マルチエアコンに対するユーザーやビルオーナーからの省エネ要求は高い。また、経年したビル用マルチエアコンを更新する需要も高まってきており、更新のインシヤルコストをランニングコストの削減分で早期に償却することが求められている。

このようなニーズに応えるべく、開発した新制御については、今後順次ダイキン工業株式会社より発売するビル用マルチエアコンに搭載する予定である。

次に原油換算の省エネ効果について述べる。添付図 29 に示すように、既存のビル用マルチエアコンの市場ストック量である約 1,100 千台が、今後順次新制御を搭載したビル用マルチエアコンに置き換わると想定する。年間の置き換え台数については、販売実績などより想定した。機器の更新サイクルを 13 年とし、従来制御機の実使用下での平均 COP を、～2000 年では 2.5、～2010 年では 3.5、～2020 年では 4.0 と仮定した。また、設置されているビル用マルチエアコンの容量に対する建物負荷の割合も一般的なビルを想定して仮定値を置き計算した。

新制御による効果の試算は、今回の実証試験で得られた結果から、従来機に対する平均 COP の向上率を算出し、その値から消費電力量の差を算出して原油換算している。この場合、添付図 30 に示すように、消費電力量の削減により、2020 年度原油換算で年間約 12.69 万 kL (※)、2030 年度原油換算で年間約 76.57 万 kL (※) の省エネが達成できると予測され、累計では 2020 年度で 31.27 万 kL、2030 年度で 491.72 万 kL の省エネになると見込まれる。

この結果から指標 A の単位当たりの省エネルギー効果量と指標 B の市場導入量は以下の表のようになる。指標 A が 2020 年と 2030 年で異なっているのは、市場にストックとして存在する新制御を搭載していない機器の年間平均 COP が、2030 年の方が高いと想定しているからである。

	2020 年	2030 年
指標 A	42.52MWh/台	34.26MWh/台
指標 B	11.6 千台	86.9 千台
原油換算 省エネ効果	12.69 万 kL/年	76.57 万 kL/年

また波及効果として、これらの商品を海外市場にも投入することで省エネ効果が見込める。添付図 31 に今後順次海外展開を進めた場合の普及台数予測、添付図 32 にその際の省エネ効果予測を示す。このように 2020 年度原油換算で年間約 40.35 万 kL (※)、2030 年度原油換算で年間約 245.81 万 kL (※) の省エネが達成できると予測される。

さらに開発技術の一部は、店舗用パッケージエアコンや設備用パッケージエアコンにも適用でき、これによりさらなる省エネが可能である。添付図 33 は国内市場における各種空調機の出荷割合(総冷房能力ベース)であるが、この出荷割合から考えると店舗用および設備用パッケージエアコンに本研究の開発技術を適用した場合の効果は(46+8)%/24%=2.25 倍となる。実際はビル用マルチエア

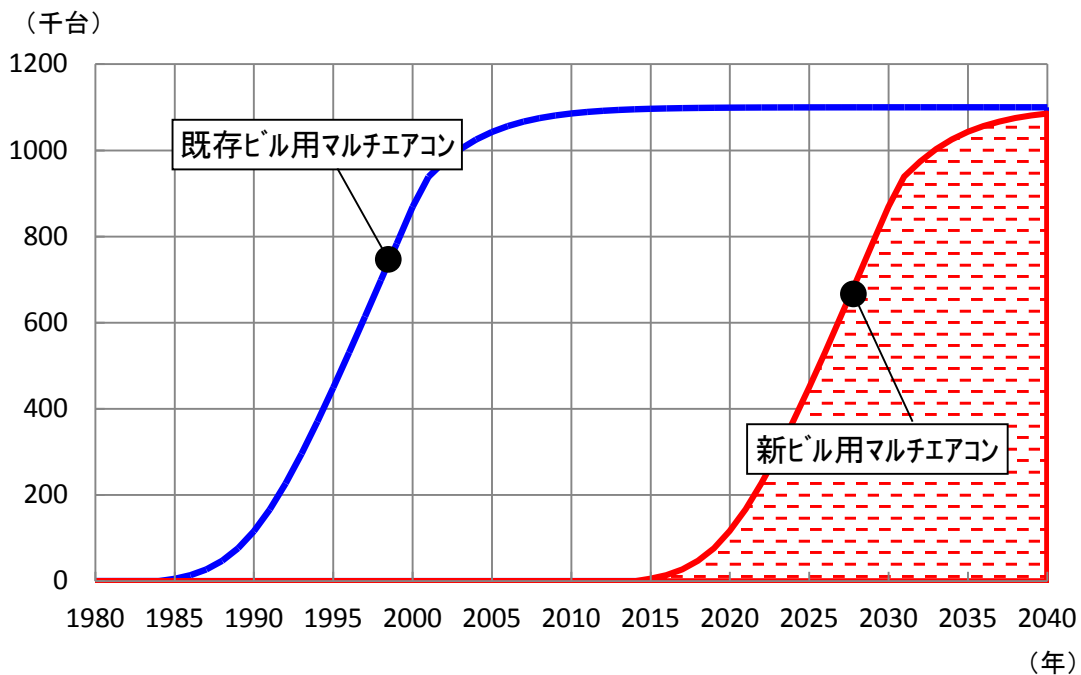
コンと店舗用パッケージエアコンなどの運転負荷率のパターンは異なり、ビル用マルチエアコンよりも店舗用パッケージエアコンの方が高負荷で運転される割合が多い。その負荷割合による差を考慮すると、省エネ効果は 2/3 程度になると予測される。これらを考慮すると、本研究で開発した実省エネ技術が今後順次発売される商品から搭載されると想定した場合、2020 年度原油換算で年間約 12.53 万 kL (※)、2030 年度原油換算で年間約 103.58 万 kL (※) の省エネが達成できると予測される。

※電力と原油量の換算は、改正省エネ法の原油換算値 0.0258kL/GJ と電力換算値 9.97GJ/千 kWh を用いた。

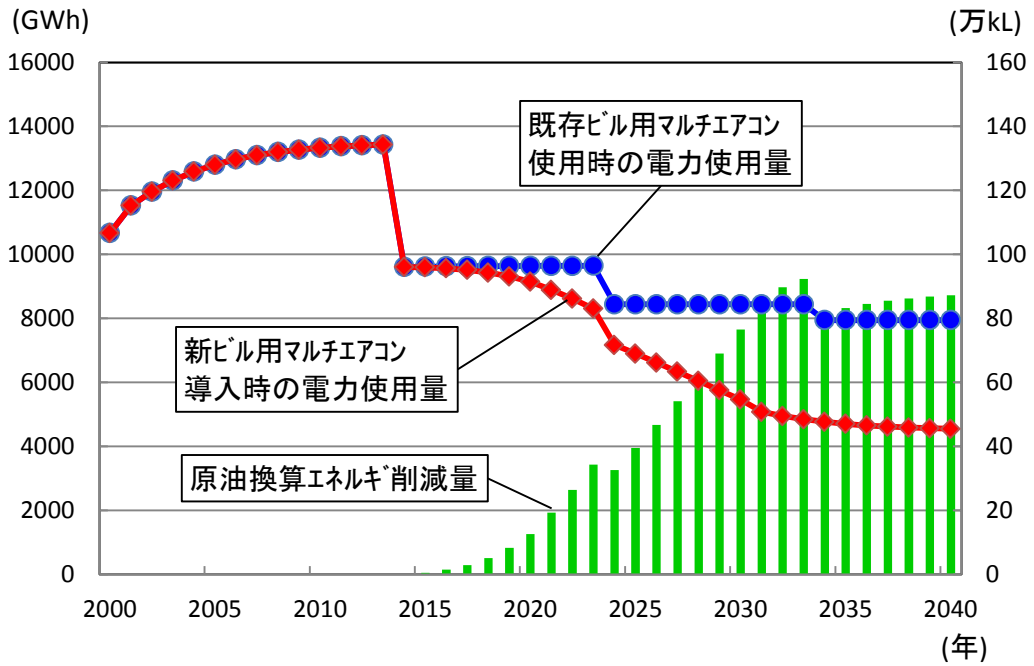
## (2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

(1) に記載した通り、開発した新制御については、今後順次ダイキン工業株式会社より発売予定のビル用マルチエアコンに搭載する予定である。

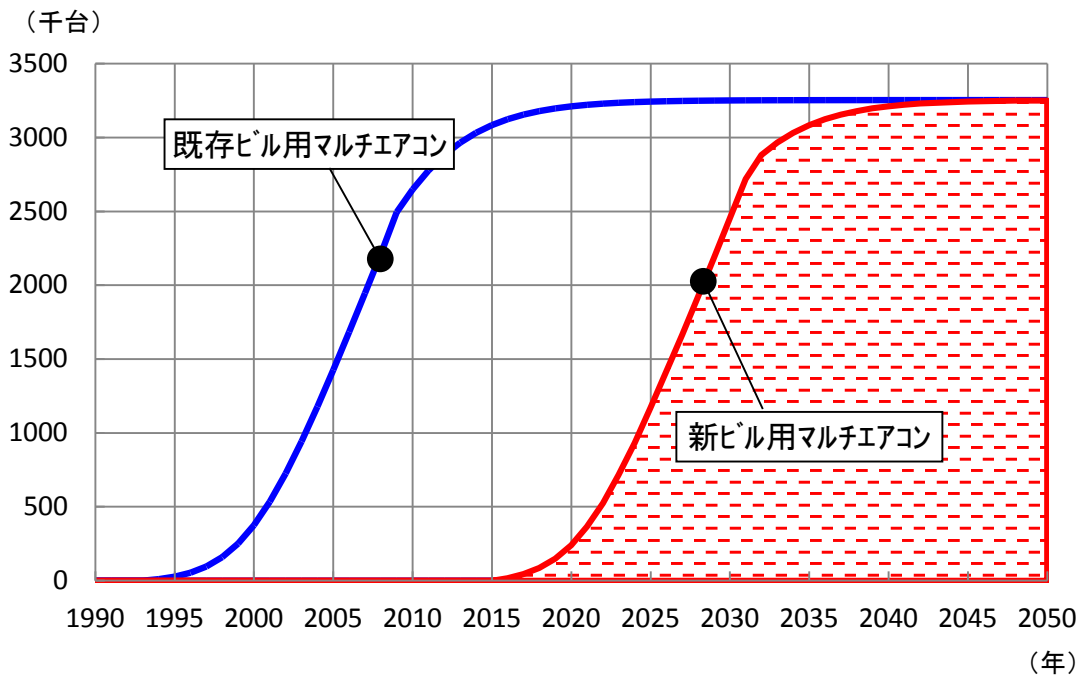
さらに海外展開についても、海外の仕様変更点などを検討し、順次搭載していく予定である。ビル用マルチエアコン以外の空調機への展開については、効果予測や課題などを十分机上で検討の上、搭載可否を判断し進める予定である。



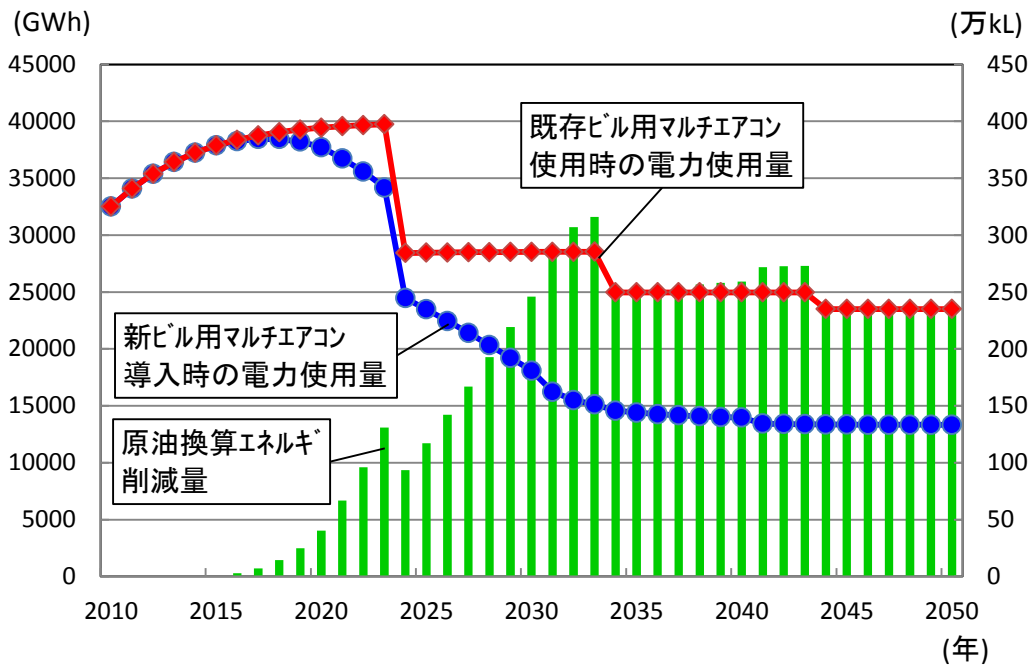
添付図 29 次世代型ビル用マルチエアコンの普及予測 (国内市場)



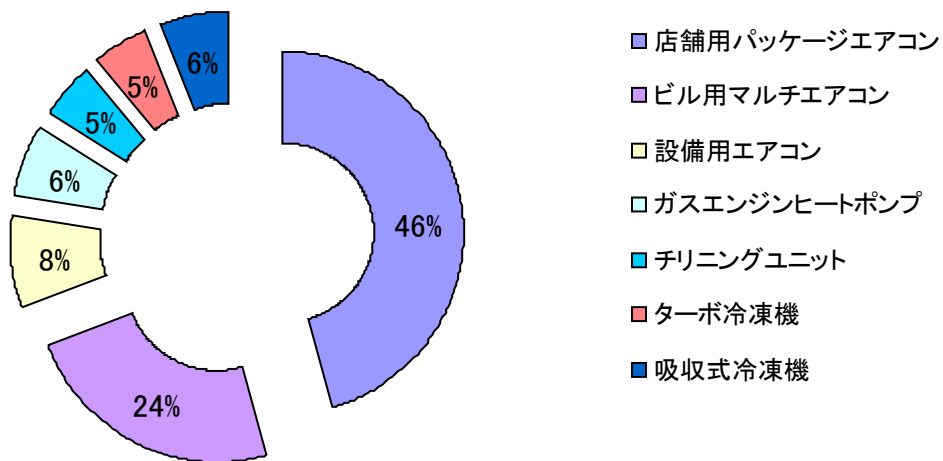
添付図 30 次世代型ビル用マルチエアコンの普及による省エネ予測 (国内市場)



添付図 31 次世代型ビル用マルチエアコンの普及予測 (海外市場)



添付図 32 次世代型ビル用マルチエアコンの普及による省エネ予測（海外市場）



添付図 33 各種空調機の出荷割合（総冷房能力ベース、国内市場）

## 2.3 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

### (1) 成果の実用化・事業化の見通し

プロジェクト終了後の事業化見通しについて述べる。狙いの市場と競合品/競合技術について記述する。

狙いの市場：ビル用/店舗・オフィス向けエアコン 国内外市場  
 競合品/システム：業務用ヒートポンプ空調機(パッケージエアコン)  
 (店舗用エアコン、ビル用マルチエアコン、設備用エアコン)

事業化に関しては、

事業化＝実用化(技術課題の解決) + 商品化(企画販売課題の解決)

と考える。そこで、それぞれの課題について記述したのが表 13.1、13.2 である。技術課題としては、自然循環方式の施工条件による運転安定性の見極めや動作信頼性の確保等の設計技術、組立工程対応の様な製造技術に分かれる。また商品化企画販売の課題としては、コストや開発人員等に加え、冷媒を含めた法規・規格体系の整備等も含まれる。

表 13.1 個別研究項目と技術的課題

個別研究項目	成果	技術課題
(1) ヒートポンプ システムの 研究開発	(i) 蒸気圧縮方式 + 自然循環方式	・自然循環方式の 施工条件と運転安定性
	(ii) 適応制御技術	・計測、計算精度、 マイコン容量、広い温度 範囲におけるアルゴリズム 動作信頼性の確保
	(V) 細径熱交換器技術	・研究開発期間に適用済
(2) 高効率 ワイドレンジ スクロール 圧縮機の 研究開発	(iii) ワイドレンジ スクロール圧縮機	・負荷率10%時に 効率1.2倍
	(iv) ワイドレンジ モータ駆動技術	・運転範囲3~100%
		・長期信頼性の確認 ・ユニット組込み動作 信頼性の確認 ・組立工程対応 ・駆動部品大型化

表 13.2 商品化に向けた企画販売の課題と対応策

商品化に向けた 企画販売の課題	課題となる技術項目	対応策
製品コスト アップ低減	(1) ヒートポンプシステム ( (i) 自然循環方式、(ii) 適応制御 )	量産スケールメリットの活用
	(2) (iii) ワイドレンジ圧縮機 (iv) ワイドレンジモータ駆動	省エネ効果に応じた価格設定
法規、適合規格、 社会ニーズ	年間を通じた実負荷規格	法規、適合規格の策定 (次期APF等)
	低GWP代替冷媒	社会ニーズに適合した開発

### 原油換算省エネ効果

原油換算省エネ効果としては、1kW の冷房定格能力を持つ業務用ヒートポンプ空調機が一年間に消費する消費電力量から原油換算量を求め、「日立の業務用ヒートポンプ空調機の高級シリーズが本研究開発で開発した技術の一部採用する」(2016~2020年)、「日本の全ての業務用ヒートポンプ空調機が本システムを搭載する」(2021年~2030年)事を前提とし、その場合の省エネルギー効果を指標 A の一単位とし、また指標 B は、平均 16kW の冷房定格能力を持つ業

務用ヒートポンプ空調機が毎年 80 万台安定して出荷される市場導入量とした。

指標 A： 単位当たりの省エネルギー効果量  
 2020 年： 1.6L (シェア考慮した効果量)  
 2030 年： 48.8L

指標 B： 市場導入量  
 2020 年： 12.8M 台・kW  
 2030 年： 12.8M 台・kW

20XX 年時点の

$$\text{原油換算省エネ効果 (kL/年)} = \text{指標 A} \times \text{指標 B}$$

表 13.3 原油換算省エネ効果

	2020 年時点	2030 年時点
指標 A	1.6	48.8
指標 B	$12.8 \times 10^6$	$12.8 \times 10^6$
原油換算 省エネ効果	20ML/年	0.6GL/年
平均原油換算 省エネ効果	60ML/年 (2016~2020 年の平均)	3.1GL/年 (2021~2030 年の平均)

## (2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

前記の通り、事業化に向けた課題があるが、開発した技術の省エネ効果がそれぞれ異なる事、また規格や冷媒に関しては顧客への訴求上の問題があり、社会的なコンセンサスが必要である。従って、開発した全ての技術を一度に製品に搭載するのではなく、実用化、商品化の目処が立った技術より、顧客・社会的な需要や省エネ効果、その時点の規格を考慮して、順次適用して行く計画とする。

## 2.4 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発

### (1) 成果の実用化・事業化の見通し

#### ■原油換算省エネ効果

本研究開発の基本計画では、日本のHPは平均COP=5.35 とHP単体の性能が示されており、HP単体性能を参考に、空気や水の搬送動力を考慮したシステムCOPを、従来システムでSCOP=3 と想定した。

一方、開発システムでSCOP=5.1 (目標の 1.7 倍の性能) を達成したとすると、原油削減効果は空調床面積 1,000m<sup>2</sup>を対象に、関東の冷房負荷と暖房負荷を用いると、次のとおりとなる。

＜従来システム＞電力使用量 42.6MWh (冷房 29.6MWh, 暖房 13.0MWh)

＜開発システム＞電力使用量 25.1MWh (冷房 17.4MWh, 暖房 7.6MWh)

→電力使用削減量は 17.5MWh

◆空調床面積 1,000m<sup>2</sup>当たりの原油削減量 4.4KL/1,000m<sup>2</sup>・年。

◆2008 年の国内事務所ビルの延床面積 4.7 億m<sup>2</sup> (出典：エネルギー・経済統計要覧 2010)

指標A： 単位床面積当たりの省エネルギー効果量

指標B： 市場導入量

2020年： 4.7 億 m<sup>2</sup> x 3%

2030年： 4.7 億 m<sup>2</sup> x 10%

20XX年時点の

原油換算省エネ効果 (kL/年) = 指標A × 指標B

	2020年	2030年
指標A	4.4L/m <sup>2</sup>	4.4L/m <sup>2</sup>
指標B	3% (1400 万 m <sup>2</sup> )	10% (4700 万 m <sup>2</sup> )
原油換算 省エネ効果	61,600kL/年	205,000kL/年

### (2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

本成果物は、一般の商品というよりはエンジニアリング技術商品といった側面が強いので市場に展開するためには個々の対象物(建物)の熱的状況(熱負荷、利用状況)や地下水の状況に応じてシステムの設計行為が必要となるため、広報活動を行い、外部からの技術照会などを通じて営業活動を行って受注につなげていくスキームが必要となってくると考えられる。以下に実用化に関して市場、競合商品などを記載する。

また、想定されるスケジュールに関して下表に示す。

#### [狙いの市場]

・環境技術のトップランナー建築プロジェクト

近年、再生可能エネルギーへの関心が高まっており、また大震災を受けてBCPの観点での節電、電力負荷低減などへの対応も求められている。このようなニーズに合致するシステムとして本技術

が有効と考えられるため、この観点でのシステムメリットを強調して展開に繋げていくことを心がけていきたい。

・地下水汚染除去での揚水サイトへの熱利用併用型の提案

土壌および地下水の汚染除去対策として当該サイトで揚水を行い、エアレーションなどで汚染を除去しているサイトが増えているが、当該サイトでの経済性を向上させる意味で揚水した地下水の熱エネルギーも併せて使用して空調等の熱源としていくシステム提案も今後有望と考えられるのでこのようなマーケットにも訴求していくことが重要と考えられる。

[競合品／システム（商品名など）、または競合技術]

- ・一般空調システム（空気熱源 HP、ビルマルチシステム）
- ・クローズドタイプの地中熱利用システム（ボアホールタイプ等）

[上市スケジュール]

メーカーのカタログ商品とは扱いが異なるため、本システムの広報を行い、提案・受注につなげていく。

実施項目	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
本委託	1.基盤技術の研究開発					
研究	2.実証実験					
	3.商用実機検討					
実証実験の継続研究(信州大学)						
技術広報/論文発表・講演						
技術広報/新聞発表						
社内広報/営業,設計等(清水建設)						
技術提案活動(清水建設)						
<採用・実用化>						

なお、プロジェクト終了後の普及展開に向けた活動を以下に示す。  
今後、新規プロジェクトへの提案を強化し、受注に繋げていきたい。

- 2013. 03 テレビ放映：BS フジ ガリレオX～日本のエネルギーの未来  
新たな体制作りへの課題
- 2013. 06 日本建築学会 技術報告集6月号論文掲載
- 2013. 08 日本建築学会大会（発表）



2013. 09 社内環境関連技術情報展開会議で成果報告（社内周知）
2013. 10 A社富士宮工場建設提案書作成を協力
2014. 02 環境管理学会論文集へ投稿
2014. 07 S社四国支店新築工事へ技術提案

## 2.5 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

### ◆指標A：原油削減量の算出

下水熱利用システムを導入することによって、従来システムに比べてどれほど原油使用量を削減できるか試算を行う。なお、削減量は年間単位での結果を示し、従来システムとしてガスボイラを熱源機として使用するシステムの場合を想定する。

建物の規模は、市販のいくつかのヒートポンプ給湯機を一日の中で、20 時間連続運転した時の日積算熱源機出力に見合った日積算給湯負荷を持つ延床面積を建物用途別・熱源機別(極小規模・小規模・中規模・大規模それぞれを想定)に算出した。建物モデルの設定イメージを図 1 に、この方法で設定した建物用途別・規模別建物モデル延床面積を表 1 に示す。

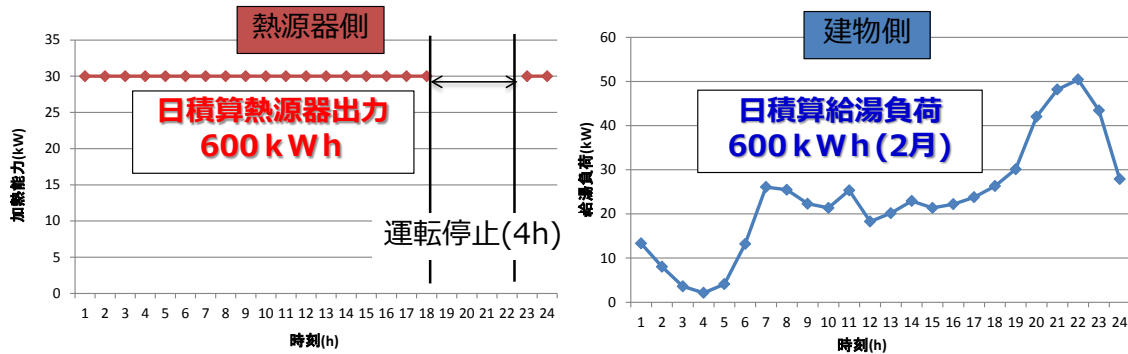


図 1 建物モデル設定イメージ(例：極小規模用熱源機 定格能力 30 kW/台の場合)

表 1 建物用途別・規模別建物モデル延床面積

メーカー	熱源機定格能力 (kW)	建物用途別・規模別モデル延床面積(m <sup>2</sup> )			
		集合住宅	業務施設	宿泊施設	医療施設
A 社(極小規模)	30	4,113	40,724	1,793	1,927
B 社(小規模)	58	7,952	78,733	3,468	3,726
C 社(中規模)	101.8	13,957	138,501	6,085	6,577
A 社(大規模)	547	75,000	744,750	32,700	35,350

下水熱利用システム導入による従来システムと比べた年間原油削減量算出のイメージを図 2 に示す。この方法によって算出した建物規模別年間原油削減量を表 2 に示す。

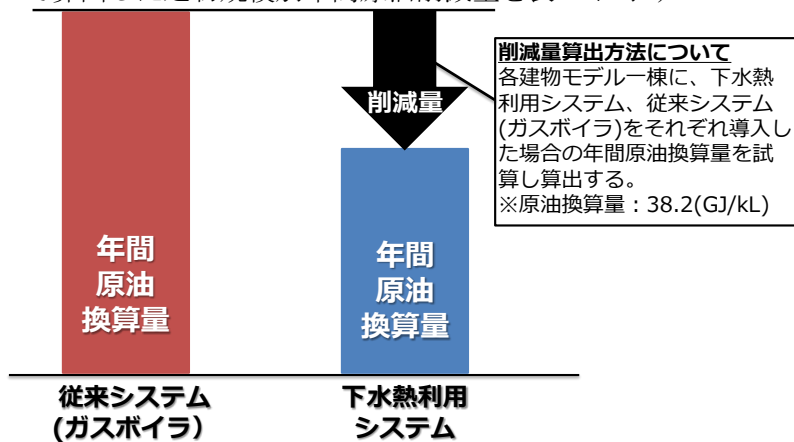


図 2 従来システムと比べた年間原油削減量算出のイメージ

表 2 建物規模別年間原油削減量

	熱源機定格能力 (kW/台)	削減量(kL/年)
極小規模建物	30	3.33
小規模建物	58	9.84
中規模建物	101.8	16.7
大規模建物	547	64.3

◆指標B：市場導入量の算出

市場導入量については2020年(6年後)および2030年後(16年後)、大阪府内の複数の建物に、下水熱利用システムを導入した場合の従来システム(ガスボイラ)と比べた年間原油削減量を算出することで評価する。なお、評価する際は建物一棟ではなく、大阪府エリア全体で評価する事を考えるため、先ほど算出した建物規模別の年間原油削減量を原単位化(1m<sup>2</sup>当たりの年間原油削減量)する。

建物用途別・規模別年間原油削減量原単位の算出式を以下に示す。

建物用途別原油削減量原単位(kL/m<sup>2</sup>・年)

$$= \text{建物規模別原油削減量(kL/年)} \div \text{用途別建物モデル延床面積(m}^2\text{)}$$

この方法で算出した建物用途別・規模別の年間原油削減量原単位を表3に示す。

表 3 建物用途別・規模別年間原油削減量原単位(kL/m<sup>2</sup>・年)

建物規模	熱源機定格能力(kW)	建物用途別・規模別年間原油削減量原単位(kL/m <sup>2</sup> ・年)			
		集合住宅	業務施設	宿泊施設	医療施設
極小規模建物	30	8.11×10 <sup>-4</sup>	8.19×10 <sup>-5</sup>	1.86×10 <sup>-3</sup>	1.73×10 <sup>-3</sup>
小規模建物	58	1.24×10 <sup>-3</sup>	1.25×10 <sup>-4</sup>	2.84×10 <sup>-3</sup>	2.64×10 <sup>-3</sup>
中規模建物	101.8	1.20×10 <sup>-3</sup>	1.21×10 <sup>-4</sup>	2.75×10 <sup>-3</sup>	2.55×10 <sup>-3</sup>
大規模建物	547	8.57×10 <sup>-4</sup>	8.60×10 <sup>-5</sup>	1.97×10 <sup>-3</sup>	1.82×10 <sup>-3</sup>

2020年(6年後)、2030年後(16年後)の大阪府内全域での建物用途別導入率および、建物用途別導入延床面積などの各種設定条件を

表4に示す。なお、大阪府全域の用余別延床面積は下田らによる調査結果を参考にした。

表 4 市場導入量設定条件(大阪府内のいくつかの用途の想定、導入率)

建物用途	大阪府全域での総延床面積(m <sup>2</sup> )※	2020年(6年後)		2030年(16年後)	
		導入率(%)	導入延床面積(m <sup>2</sup> )	導入率(%)	導入延床面積(m <sup>2</sup> )
集合住宅	8.0×10 <sup>7</sup>	0.3	24×10 <sup>4</sup>	4	32×10 <sup>5</sup>
業務施設	3.8×10 <sup>7</sup>	0.3	11×10 <sup>4</sup>	4	15×10 <sup>5</sup>
宿泊施設	2.0×10 <sup>6</sup>	2	4.8×10 <sup>4</sup>	20	4.8×10 <sup>5</sup>
医療施設	4.0×10 <sup>6</sup>	1	3.8×10 <sup>4</sup>	5	1.9×10 <sup>5</sup>
全体	1.2×10 <sup>8</sup>		44×10 <sup>4</sup>		54×10 <sup>6</sup>

※参考文献：都市における物質・エネルギーフローの推定と評価 その2 下田吉之 他 日本建築学会計画系論文集 第55号, 99-106, 2002年5月

大阪府全域の建物用途別年間原油削減量は、求めた用途別原単位に導入延床面積を乗ずることで算出する。なお、今回の試算では大規模建物用熱源機の建物用途別原油削減量原単位を用いて原油削減量を算出した。表5、図3に大阪府全域における建物用途別年間原油削減量を示す。

表 5 建物用途別大阪府全域年間原油削減量

用途	年間原油削減量(kL/年)	
	2020年(6年後)	2030年(16年後)
集合住宅	206	2,753
事務所	10	130
宿泊	94	944
医療施設	69	345
大阪府内	380	4,172

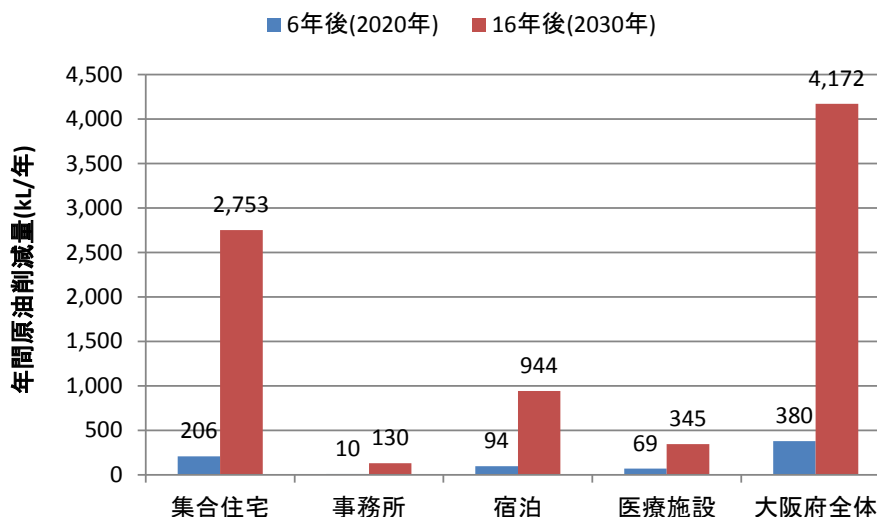


図 3 大阪府全域における建物用途別年間原油削減量(2020年,2030年)

(1) 成果の実用化・事業化の見通し

1) 実用化に向けた今後の課題

①水理特性の一般化

下水管内に熱交換器を設置すると下水の流下断面が小さくなり流下性能が低下する。下水道事業者の熱交換器設置可否の判断材料として、熱交換器の設置が下水の流下性能に及ぼす影響、設置に必要な条件等を一般化し、情報提供することで下水熱利用の導入を促進させる必要がある。

②審査証明の取得

本プロジェクトでは、熱交換器設置を踏まえた管更生の構造検を行ったが、管更生として一体構造で強度を確保する方式の開発までには至っていない。今後の実用化に向けては、たとえば管更生工法開発メーカー等が熱交換器設置をパッケージ化した管更生工法について構造検討・実験等を行い、(財)下水道新技術推進機構等、公的機関の審査証明を取得することで利用促進を図ることが望ましい。夾雑物対策システムも同様に、公的機関の審査証明を取得することが実用化に向けた近道である。

③施工方法の確立

熱交換器を実際に既設管路へ設置する場合には、マンホールからの搬入、熱交換器設置だけでなく、水替等も必要となってくる。特に狭い空間での設置工事であること、工事中に集中荷重がかかる可能性があること等を踏まえ、施工性を向上させる必要がある。

下水道管渠、マンホールは都市のいたるところに設置されているが、道路交通、周辺環境、埋設深さ等、その設置条件は様々である。事業の実施においては、それら具体的な設置条件を踏まえて具体的な施工法を検討する必要がある。今後の実用化・事業促進に向けては、様々な設置条件に適用できる標準的で低コストの施工方法を確立する必要がある。

④熱交換器の低コスト化

熱交換器の導入促進を図るためには、熱交換性能を確保した上でさらなる低コスト化を図る必要がある。また、熱交換器システム全体をさらに簡易化させることでメンテナンスフリーに繋がるように、低コスト化と維持管理性向上の両立を図ることも重要である。

⑤維持管理性の向上

熱交換器の試験結果から、夾雑物・バイオフィーム付着により熱交換性能が大きく低下すること、洗浄による性能回復効果が判明している。システムを低コストでの長期に安定運用するためには、夾雑物・バイオフィーム除去の頻度の削減や作業性の向上等、維持管理性の向上を図る必要がある。

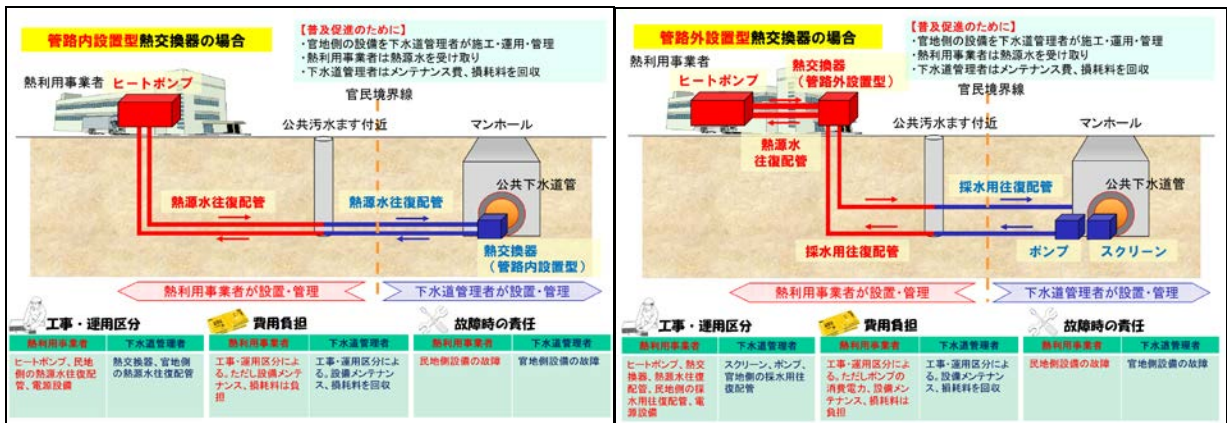
⑥ビジネススキームの検討

今後、下水熱利用を促進するためには、自治体や熱需要家に対して開発した熱交換器や夾雑物対策システム等の要素技術を提示するだけでは不十分である。具体的な事業スキームを提示するとともに、何がどのようによくなるのかを伝えることが重要となる。

熱交換器は管路内設置型および管路外設置型に大別されるが、ともに官地（主として道路）および民地（熱利用事業者の敷地）で各種機器の設置・管理主体を区分することが普及促進に向けて現実的である。つまり、官地内（道路および下水道管路内）に設置する各種機器については、熱利用事業者が直接施工・運用・管理を担うことは関連法規制上、また瑕疵責任の所在等の観点から現実的ではないとの考え方に立脚し、ビジネススキームを提示することが現実的である。

具体的には、官地側の各種機器は下水道管理者が施工・運用・管理を担い、民地側の各種機器は熱利用事業者が施工・運用・管理を担う。熱利用事業者は熱原水を受け取る対価として下水道管理者に対してメンテナンス費、損耗量等を支払うビジネススキームが現実的である。下水道管理者および熱利用事業者の投資回収年数が採熱設備および熱利用設備の耐用年数を下回るよう熱利用料金を設定することとなる。

管路内設置型熱交換器と管路外設置型熱交換器のビジネススキームの検討結果を図 4 に示す。



(a) 管路内設置型熱交換器

(b) 管路外設置型熱交換器

図 4 ビジネススキームの検討結果

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

1) 事業化シナリオと事業化体制

低炭素まちづくりの理念を声高に叫ぶだけでは下水熱利用の普及促進は望めない。低炭素まちづくりの理念，下水熱利用の事業スキームを具現化するとともに，熱需要家（熱利用事業者）と自治体との間に立ち，事業化のコンサルティングを担う存在が求められる。まずは国策として環境省，国土交通省の主導でモデル都市（自治体）を選定し，事業化の実現可能性調査（FS）を実施していく。そして，本研究開発のメンバー（大阪市立大学，総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタント，関西電力，三菱重工業，NTT-FS総研等）がそれぞれの得意領域において熱需要家（熱利用事業者）と自治体とを結び付ける役割（具体的設計・施工・運用）を担うことが考えられる。現時点で想定される事業化体制を図5に示す。

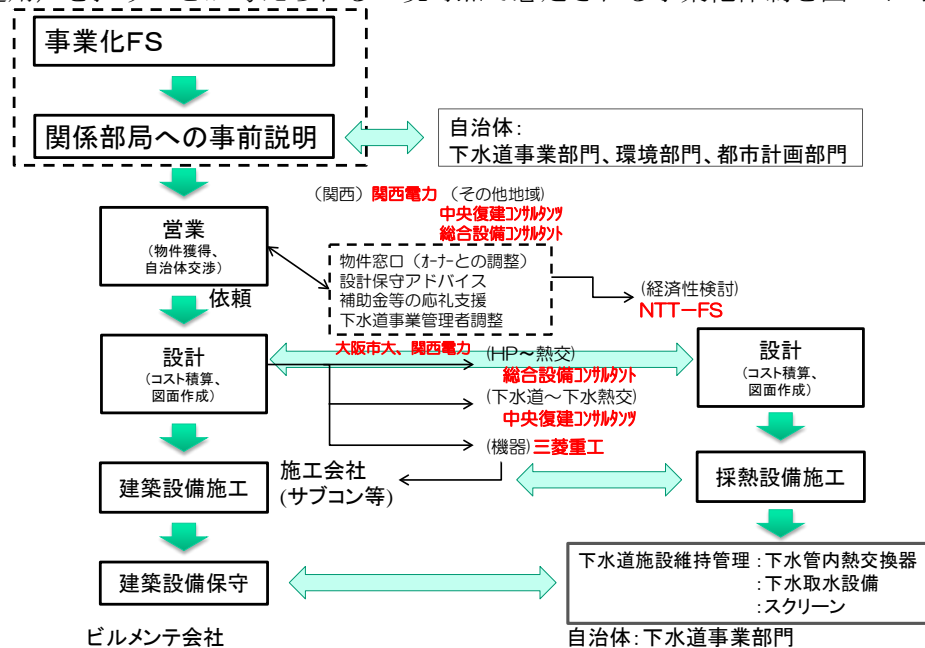


図5 事業化体制のイメージ

事業化に向けて実際に本システムを展開していく場合，低炭素まちづくり計画の対象地域内を条件とするため，民間事業者のみですべて一から取組むには，ハードルが高い。この点，下水道事業者及び行政の都市計画部門に下水熱利用に関する理解を深めていただき，計画に積極的に関わって頂くことも重要である。民間では費用回収年が短いこと，イニシャルコストが低いことが導入の大きな判断条件になるため，例えば所管下水道管理者が，スクリーン熱交換器を所有し，熱供給料金で回収するスキームが実現できないか等，様々な工夫が必要である。

下水管からのアクセス状況等に関し，現場に当たって初めて判ったことも多く，周辺の状況によりシステム導入の難易度や，費用回収年などが大きく異なってくる。下水管の深さなどの条件により短期間で投資回収できる事例もある。下水道設備を熟知する下水道事業者に対しても，このような事例があることを紹介し，事前にリサーチしておくことが必要である。今後継続して自治体及び民間事業者への営業活動を行っていく必要がある。

## 2) 下水熱利用の企画運用手法の整備

本研究開発において都市に面的に広がる下水道管路から熱を回収するシステムの要素技術については大きな成果を得たと言える。しかし、技術的に実施可能であることと、現実の都市において事業を実施することとは同義ではなく、今後の普及・拡大は一朝一夕ではない。現状の成熟した都市において熱利用形態を変えることは、都市計画の視点、関連法規制の視点、土木・設備施工技術の視点、経済性の視点など、様々な視点から制約・課題があり、事業化に向けた実現可能性検討を個別案件ごとに今後実施し、それらを解決していく必要がある。

まずはモデル都市を選定し、実際の下水道管路施設、建物施設を対象とした実現可能性調査を実施する必要がある。具体的には、モデル都市でのポテンシャルマップ作成、ポテンシャルマップに基づく下水熱の賦存量と需要家とのマッチング検討、都市の低炭素化の促進に関する法律に基づく低炭素まちづくり計画の策定、土木・設備の基本設計、経済性検討などの調査が必要である。今後の事業化に向け、国土交通省や環境省、自治体と連携し、これら取り組みを確実に実施していく必要がある。図6に現時点で想定される事業化シナリオを示す。

なお、図6に示すように、企画段階では都市域の広域ポテンシャルマップが必要となるが、このため25年度国土交通省事業で簡易なポテンシャルマップの策定マニュアルが整備された。また公募により選定された3都市を対象に具体的なポテンシャルマップが作成された。この整備にはNEDO事業による成果が活かされている。26年度はさらに設計段階で使用可能な下水熱ポテンシャルを含めた地理情報の整備手法の策定事業に取り組んでいる。

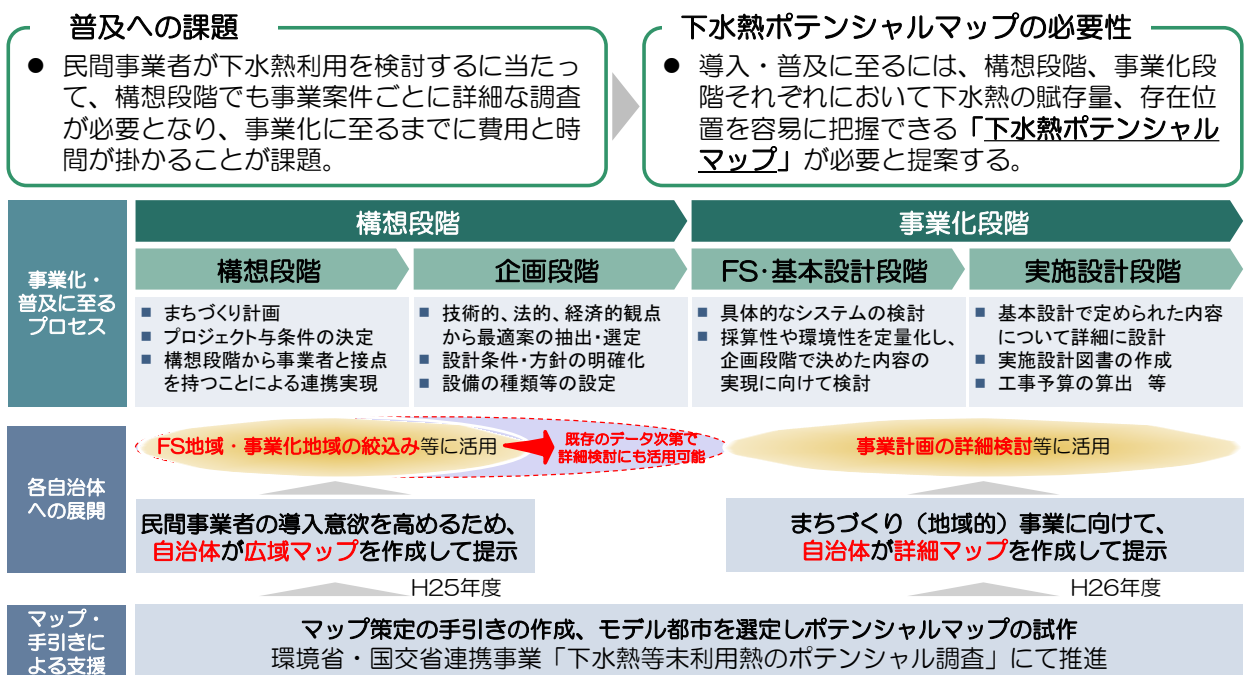


図6 下水熱利用の事業化シナリオ

## 2.6 高密度冷熱ネットワークの研究開発

### (1) 成果の実用化・事業化に関する調査結果

事業化に向けた市場調査結果を取りまとめると以下に要約される。

- ・東京都の CO2 排出の 4 割をオフィス空調が占める
- ・熱を「作って・運んで・使うまで」を省エネする必要性が高い
- ・オフィス空調は暖房より冷房が主体である  
⇒冷房用途のエネルギー消費のインパクトは大である。
- ・空調システムの省エネは技術開発・市場の注目度が高い
- ・建築業界全体としては収縮傾向にある
- ・一方メーカ出荷ベースで見ても空調の需要は伸びつつある
- ・リニューアルは年々増加しており、リニューアルへの対応が必要である
- ・総じて建築物はエネルギーコストの重要性が高い  
⇒国内の空調業界は良い意味でも悪い意味でも堅調と考えられる
- ・中国が飛躍しており、中国へのアピールが重要である
- ・中近東・産油国の冷房ニーズと電力負荷平準化の要望が台頭  
⇒海外へのアピールが技術の普及には重要である。

上記を勘案して一般普及を目指すのが、イニシャル・ランニングコストともに開発方式が有利であるため、ライフサイクルコスト面で競争力の担保はできていると考える。なお、実用化への課題としては、現時点で事例がないため、パイロットプラントの早期実現が必須であり、実現に向けた活動を行っていくことが必要となる。



## (2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

実用化・事業化に向けた、技術のパッケージ化と導入先・導入条件に関する整理結果を以下に示す。

「熱供給施設・大規模施設」に向けた技術のパッケージ

- ・高密度冷熱ネットワーク計画技術
- ・高密度冷熱ネットワークシミュレーション技術
- ・高密度冷熱ネットワーク設計技術

「事務所・学校・病院・食品倉庫・農産物保管など」に向けた要素技術のパッケージ

- ・製氷&移氷&蓄氷技術
- ・配管への氷混入技術
- ・配管内氷充填率測定技術
- ・配管システムから冷熱取出技術
- ・縦型蓄熱槽技術
- ・空調用冷熱の利活用技術

「その他の考えられる導入先」

- ・高密度な冷熱需要への対応：工場、空港、発電所
- ・高湿度なチルド温度の提供：食品工場、野菜工場
- ・冷排熱の回収：製氷工場・LNGプラント

「導入と条件」

- ・システム導入に対するコンサルティング体制があること
- ・蓄熱システムのメリットが活用できること
- ・定常的な冷熱需要があること（発熱対象と気象条件に依存）

前述を勘案した事業化に向けた具体的取組みとしては、以下の事項を実践中であり、内容の順次見直しも含め、継続的な体制の下で維持・管理していくこととしている。

「事業化に向けた取組み」

- ・ロードマップの策定
- ・従来技術との差別化
- ・ウェブサイトの整備
- ・社外技術発表会でのアピール
- ・各種展示会でのアピール
- ・実証試験装置の視察
- ・コストダウンに向けた標準化
- ・パンフレットの整備

「普及にむけた取組み」

高密度冷熱ネットワークの構想をオープン化することで、建築設備業界全体への浸透を重視した活動を行っており、パイロットプラント早期実現に向けて業界全体で取り組む体制を整備中である。一方、事業化は、コア技術を中心に事業化部分を特化し、コンサルティング、システム設計、システム制御（特許出願中）を事業展開中である。なお要素技術の水平展開による技術力の向上を同時並行で進めている。

(エネルギーイノベーションプログラム)  
「次世代型ヒートポンプシステム研究開発」基本計画

省エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

近年、我が国での家庭・業務などの民生部門における最終エネルギー消費は、全体の3割強を占め、産業、運輸部門に比べて増加が著しい。その民生部門におけるエネルギー消費の内訳は、冷暖房・給湯用が家庭部門で6割、業務部門で5割を占めており、これらの削減が極めて重要である。また、最終エネルギー消費の5割を占めている産業部門においても、工場空調・加湿・乾燥などの分野でのエネルギー削減が重要である。ヒートポンプの高効率化は、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の中でこれら消費エネルギーの削減に資する重要課題として位置づけられ、さらに「新成長戦略（基本方針）」（2009年12月30日閣議決定）の中でも、その重要性・必要性について言及されている。

本事業は「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

②我が国の状況

我が国は、世界トップレベルの高効率ヒートポンプ技術を実現しているだけでなく（COP<sup>※1</sup>が日本平均5.35、北米欧州3.0 [IPCC<sup>※2</sup> AR4WGIIIより]）、世界初のCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機開発に成功するなど、ヒートポンプ技術で世界をリードしている。しかしながら、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の技術ロードマップでの効率の目標<sup>※3</sup>を達成するためには、機器単体の開発だけでは困難とされている。そこで、個別要素技術の開発のみならず熱源や利用側等を含めてシステム化し、ヒートポンプが高効率に作動するよう建築側の対策等による周辺条件の整備を行うと共に、ヒートポンプ自体を周辺環境に適合するよう改善することが不可欠となっている。

※1 COP (Coefficient Of Performance)成績係数

※2 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)気候変動に関する政府間パネル

※3 目標：「超高効率ヒートポンプ」は2030年に現状比1.5倍、2050年に現状比2  
「蒸気生成ヒートポンプ」では、2020年頃にCOP4.0

### ③世界の取り組み状況

ヒートポンプは国際エネルギー機関（IEA）の「エネルギー技術展望2008」において、温室効果ガス削減効果の高い主要17技術に選定されており、米・EUにおいても、高効率ヒートポンプシステム開発の国家プロジェクトに着手している。

### ④本事業のねらい

「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」で示されている極めて高い目標を達成するには、建築・機械・材料等の多様な領域にまたがる研究開発が必要となるため、幅広い関係者の技術を融合させた開発体制を構築し、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という）が主導的役割を担うことで、高い技術ハードルを克服するとともに、研究成果の確実な製品化を促進する。また、国際競争力の強化にも資する。

## （2）研究開発の目標

### ①過去の取り組みとその評価

1985年度から1992年度まで実施した「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム研究開発」では、ふんだんな工場排熱を利用した超高性能圧縮式ヒートポンプやケミカル蓄熱などの要素技術開発、およびこれらの成果を統合したトータルシステムの技術開発が行われた。これらの取り組みについては一定の成果があがったが、コストや蓄熱材・冷媒（GWP<sup>※4</sup>が高い）に対する配慮が十分でなかったため、技術開発成果の一部（熱交換器製造、冷媒圧縮技術など）が製品に適用されるにとどまっている。

※4 GWP (Global Warming Potential) 地球温暖化係数

### ②本事業の目標

本事業は、適用対象を家庭用、業務用、産業用とし、特に家庭用および業務用を重視する。いずれの適用対象についても、現状システムに比べて、1.5倍以上の効率を有するヒートポンプシステムを実現するための基盤技術開発を行うとともに、その性能を実機により確認する。ただし、産業用における高温を生成するヒートポンプシステム（120℃級を生成するシステム）に関しては、現状システムに比べて、1.3倍以上の効率を有することができればよいこととする。なお、これまでに実現されていない高温を生成するヒートポンプシステム（180℃級を生成するシステム）に関しては、現状加温システム（ボイラシステムなど）以上の効率が見込めるものとし、システムの実現可能性の可否も含めた技術課題を明確にすることを目標とする。

### ③本事業以外に必要とされる取り組み

当該システムの製品化及び普及拡大にあたっては、様々なシステムの実際の効率を統

一的に評価する指標が確立されることが望ましい。また産業用ヒートポンプシステムでは、システムを検討する上で、工場などで活用できる熱源やその時間帯、場所、また得られる生成熱の活用希望状況の情報が不足しており、熱需要調査などが必要となる。これらについては、NEDOが実施している「次世代型ヒートポンプシステム研究委員会」で検討を継続するとともに、IEA、ISO<sup>※5</sup>など関係機関との情報交換を行う。

※5 ISO(International Organization for Standardization) 国際標準化機構

#### ④全体としてのアウトカム目標

本研究開発の成果は、家庭用・業務用・産業用への高効率ヒートポンプ導入普及促進に貢献し、大きな省エネ効果を発揮するものと期待できる。例えば家庭用給湯機においては、一台当たり3.9GJ/年の省エネ効果が期待でき、普及台数を200万台と想定した場合、原油換算で約21万kL/年の省エネルギー効果が見込まれる。

#### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を行う。

[委託事業、(共同研究事業(NEDO負担率：2/3))]

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、上記以外のもの<sup>※6</sup>は、共同研究事業(NEDO負担率：2/3)として実施する。

※6 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、企業、大学等から公募によって研究開発実施者を選定し、委託(または共同研究)事業として実施する。効率向上の目標の達成が機器単体の開発だけでは困難でありシステム化による効率向上が不可欠であることに鑑み、建築関係も含めた複数の企業および大学等による研究開発体制が組み立てられていることに十分留意する。また、平成23年度からプロジェクトリーダーとして、独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 主幹研究員 宗像 鉄雄氏をおき、プロジェクトリーダーと密接な関係を維持し、効果的な研究開発を実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

また、目標を達成する可能性のある研究テーマが複数存在する場合には、研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、「ステージゲート制度」を導入する。具体的には、プロジェクト実施期間の初年度（平成22年度）にステージゲート評価を実施する。ステージゲート評価では、研究目標に対する「達成度」、「効果」、「実現可能性」等を踏まえて、定性的・定量的に評価を行い、次年度以降（平成23～25年度）における研究開発主体の選定を行う。次年度以降へ移行するにあたり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、目標及び実施体制を見直すこととする。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発は、平成22年度から平成25年度の4年間実施する。

## 4. 評価に関する事項

初年度（平成22年度）に、ステージゲート評価を実施し、次年度以降（平成23～25年度）において継続的に実施する研究テーマの選定を行う。

また、事後評価については、平成26年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況などに応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他重要事項

### (1) 研究開発成果の取り扱い

#### ①成果の普及

得られた研究開発の成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

#### ②知的基盤整備事業または標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、国内外の標準化活動や規制見直し活動への情報提供等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業

技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先（または共同研究先）に帰属させることとする。

#### （2）基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、エネルギー政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、目標や契約等の方式をはじめ基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

#### （3）根拠法

本事業は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ロ及びニに基づき実施する。

### 6. 基本計画の改訂履歴

- （1）平成22年3月、制定。
- （2）平成23年3月、プロジェクトリーダーの追加による改訂。
- （3）平成23年7月、根拠法を変更。
- （4）平成25年3月、事業の実施期間を1年延長。

## (別紙) 研究開発計画

### 1. 研究開発の必要性

「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の「超高効率ヒートポンプ」、「蒸気生成ヒートポンプ」で記載されている目標を達成するためには、多様な未利用熱（下水熱、地中熱、太陽熱、風呂排熱、空調・給湯排熱、換気排熱、工場排熱等）を熱源に活用し熱源温度と取り出し温度の温度差を小さくし、蓄熱システム、熱搬送システム、高度な統合制御技術を有することで、熱源と利用側の負荷との時間的かつ量的なマッチングを最適に行い、ヒートポンプシステムへの投入エネルギーを大幅に削減する必要がある。また著しい低負荷が長時間続くなど、設計時に想定していた条件（定格条件）から大きく外れた場合でも、負荷状況を適切に把握しヒートポンプ自体を最適化制御することでヒートポンプシステムへの投入エネルギーを大幅に削減する必要がある。またヒートポンプが同時に生成する温熱と冷熱を最大限活用することで飛躍的な効率向上を図る必要がある。またこれまでに実現されていない高温を生成するヒートポンプシステム（180℃級熱を生成するシステムなど）の開発と用途拡大による消費エネルギー削減が必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

本事業では、個別要素技術の開発のみならず、多様な熱源の活用や、建築物や設置場所などを十分配慮して、利用側の要求に対し高効率に作動することができる革新的なヒートポンプシステムを開発する。特に、未利用熱の活用については、大幅な効果が期待できる下水熱を活用したヒートポンプシステムの研究開発が重要であることに留意する。

なお、当該ヒートポンプシステムの効率は、動作する環境条件、熱源の利用条件、建築側の条件、利用側の負荷条件などによって異なるため、定格COPやAPF<sup>※7</sup>など汎用の評価指標は用いることができない場合がある。従って、開発されるシステムごとに効率の評価指標を検討し、省エネルギー効果を検証するものとする。

以下に、研究開発にあたっての具体的な技術課題と効率向上に向けたシステム化技術の要素を示す。適用対象において目標の効率を達成するために、これらを複数あるいはその他の技術を組み合わせたシステムについて検討する。

※7 APF (Annual Performance Factor) 通年エネルギー消費効率

#### (1) 多様な未利用熱の活用

これまで未利用熱を用いたヒートポンプシステムは、太陽熱利用ヒートポンプ、地中熱利用ヒートポンプ等、単一熱源利用を前提としたものが一般的であるが、回収できる未利用熱と需要との条件（時間、量等）が整合しないとといった課題を有する。このため、多様な未利用熱（下水熱、地中熱、太陽熱、風呂排熱、空調・給湯排熱、換気排熱、工場排熱



等) を活用することによって熱源の不安定性を抑制しシステムの効率向上を図る必要がある。関連する技術は、複数の熱源を活用する技術、高効率な未利用熱回収・搬送技術、躯体一体型高効率熱回収・熱搬送技術、躯体蓄熱技術、高密度冷温熱蓄熱技術、多様な熱源に対応した高性能圧縮機、システム高効率運用のための統合制御技術、デシカント材再生にヒートポンプ生成熱を用いた潜顕熱処理技術、システムの年間非定常運転特性解析シミュレータ技術などがある。

#### (2) 実負荷に合わせた年間効率の向上

従来の空調用ヒートポンプはピーク負荷に合わせた定格性能設計となっているが、実負荷の年間出現率は概して低負荷領域が支配的となっている。低負荷領域などにおいては効率の低下が見られる場合があり、実運用上の効率向上を図るためには、低負荷領域などにおける効率向上を図る必要がある。関連する技術は、低負荷領域においても優れた効率特性を維持できる技術、負荷状況を適切に把握し連携制御する技術、運用時に最大効率点を調整可能な技術などがある。

また、寒冷地においては、ヒートポンプの熱交換器の結露・着霜等による効率の低下が課題となっており、これについても技術開発を進展する必要がある。ノンフロスト技術、耐着霜熱交換器技術、作動媒体密度低下対策等の基盤技術などが関連技術となる。

このように、ヒートポンプ本来の能力を発揮できていない領域の性能向上を実現することにより、実運用上の効率向上を実現する。なお、本技術要素は、他の技術要素との組み合わせによりシステム化して開発を行う。

#### (3) 生成熱の最大限の活用

ヒートポンプは温熱と冷熱を同時に生成することができる機器であるが、熱需給が時間的・空間的にバランスしないことが多く、温熱・冷熱の同時利用が十分には図られていない。このため、熱の時間的・空間的な需給調整や、利用側設備も含めた協調制御等により、ヒートポンプで得られる熱を最大限活用する開発が必要である。関連する技術は、高温蓄熱技術、高密度冷熱搬送技術、高顕熱型空調熱源・潜顕熱分離空調技術、局所気流の制御による最適空調技術などがある。

#### (4) 高温熱の効率的な生成

高温発生には一般的にボイラが用いられてきたが、ボイラの場合は、投入エネルギー以上の熱を生成することは原理的に不可能である。一方、ヒートポンプの場合、投入エネルギーを上回るエネルギーを生成することが可能であり、一次エネルギーベースで評価したとしても、既存のボイラと比較して飛躍的な効率向上を図ることが可能である。

従来のボイラ代替としてヒートポンプを利用するためには、最終的には出力温度は例えば180℃級熱を生成するシステムであることが求められるが、一方で、既存のヒートポ

ンプでは対応の難しかった120℃級熱を生成するヒートポンプの技術開発が進展すれば、産業分野での省エネ実現に大きく資するものと考えられる。このため、当面は、120℃級熱を生成するヒートポンプシステムと180℃級熱を生成するヒートポンプシステムの2つの目標を立てて開発を行う。関連する技術は、排熱利用による蒸気生成技術、冷熱・蒸気同時供給技術、空気熱源蒸気生成技術、循環加温時の高効率化技術、高温対応作動媒体、圧縮機、熱交換器、膨張動力回収等の基盤技術開発などがある。

### 3. 達成目標

本事業は、適用対象を家庭用、業務用、産業用とし、特に家庭用および業務用を重視する。いずれの適用対象についても、現状システムに比べて、1.5倍以上の効率を有するヒートポンプシステムを実現するための基盤技術開発を行うとともに、その性能を実機により確認する。ただし、産業用における高温を生成するヒートポンプシステム（120℃級を生成するシステム）に関しては、現状システムに比べて、1.3倍以上の効率を有することができればよいこととする。なお、これまでに実現されていない高温を生成するヒートポンプシステム（180℃級を生成するシステム）に関しては、現状加温システム（ボイラシステムなど）以上の効率が見込めるものとし、システムの実現可能性の可否も含めた技術課題を明確にすることを目標とする。

# エネルギー分野

資源に乏しいわが国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

また、「新・国家エネルギー戦略」や「エネルギー基本計画」においても、エネルギー技術戦略策定の必要性が明記されており「新・国家エネルギー戦略」が想定する2030年という長期の時間設定の中、超長期エネルギー技術ビジョン（2005年10月策定）を参考にしつつ、2006年11月策定のエネルギー技術戦略マップ2006をベースにし、技術戦略マップ2007（エネルギー分野）を作成した。技術戦略マップ2008は2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受けて策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（2008年3月策定）をもとに、足下の2030年頃までの見直しに変更があったものについて修正を行ったものである。

技術戦略マップ2009の策定に当たっては主に下記の3項目の内容について見直しを実施し、改訂を行った。

- ・省エネルギー技術戦略との整合【参考資料：省エネルギー技術戦略2009】
- ・既存ロードマップに最新技術を反映
- ・個別技術の統廃合（235技術→178技術（新2技術））

# エネルギー分野の技術戦略マップ

## I. 検討の手順

技術戦略マップは、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップ、及び技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、2006年に策定した「新・国家エネルギー戦略」における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力の利用、そして、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出した。

①総合エネルギー効率の向上

②運輸部門の燃料多様化

③新エネルギーの開発・導入促進

④原子力利用の推進と  
その大前提となる安全の確保

⑤化石燃料の安定供給確保と  
有効かつクリーンな利用

次に、抽出した技術を時間軸展開することによりロードマップの作成を行い、技術開発及びその成果が導入されるにあたって必要となる関連施策を整理した導入シナリオの作成を行った。

## II. 技術の特徴付けについて

エネルギー技術分野全体を俯瞰するため、有識者にアンケート調査を行い、5つの政策目標に対する寄与について定性的な評価を行った。

評価項目	内容
政策目標に関する指標	
①総合エネルギー効率の向上	転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」など、GDPあたりの最終エネルギー消費指数を向上することに寄与する技術
②運輸部門の燃料多様化	バイオマス由来燃料、GTL (Gas to Liquid)、BTL (Biomass to Liquid)、CTL (Coal to Liquid) などの新燃料、EV (電気自動車) やFCV (燃料電池自動車) など、運輸部門の石油依存度を低減することに寄与する技術
③新エネルギーの開発・導入促進	太陽、風力、バイオマス等を起源とするエネルギーに関連する技術の開発・導入促進に寄与する技術。また、再生可能エネルギーの普及に資する新規技術、エネルギー効率の飛躍的向上に資する技術、エネルギー源の多様化に資する新規技術など「革新的なエネルギー高度利用技術」も含む。
④原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保	2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30~40%程度以上とすることに寄与する技術。負荷平準化等、原子力利用の推進に資する技術や安全確保に資する技術も含む。
⑤化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用	化石資源の開発・有効利用技術、CCT (クリーン・コール・テクノロジー) などのクリーン利用や、資源確保に資する技術

## III. エネルギー技術全体の俯瞰図について

評価結果を基に、5つの政策目標に対する寄与を示したエネルギー技術全体を俯瞰するマップを作成した。

# エネルギー技術 - 俯瞰図 -

## ⑤ 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用

- CO2回収貯留
  - CO2分離回収技術
  - CO2地下貯留
  - CO2海洋貯留
- 化石資源開発
  - 石炭開発技術
    - 石炭開採生産・運搬技術
  - 石油・天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産天然ガス開採・生産回収技術
    - 非常産石油・非在産天然ガス開採・生産回収技術
    - 非常産石油・非在産天然ガス開採・生産回収技術
  - 石油・天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
  - 石油・天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
    - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
- 石油・天然ガス開採
  - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
  - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採
  - 非常産石油・非在産石油・非在産天然ガス開採

## ① 総合エネルギー効率の向上

- 高効率空調
  - 高効率冷却式冷暖水機
  - 高効率省エネ空調
  - 高効率省エネ空調
- 高効率照明
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
- 高効率省エネ
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
- 高効率省エネ
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
- 高効率省エネ
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明
  - 高効率省エネ照明

## ② 運輸部門の燃料多様化

- 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
- 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
- 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
- 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
- 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品
  - 高度石油・石油製品

## ④ 原子力利用の推進と その大前提となる安全の確保

- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電

## ③ 新エネルギーの開発・導入促進

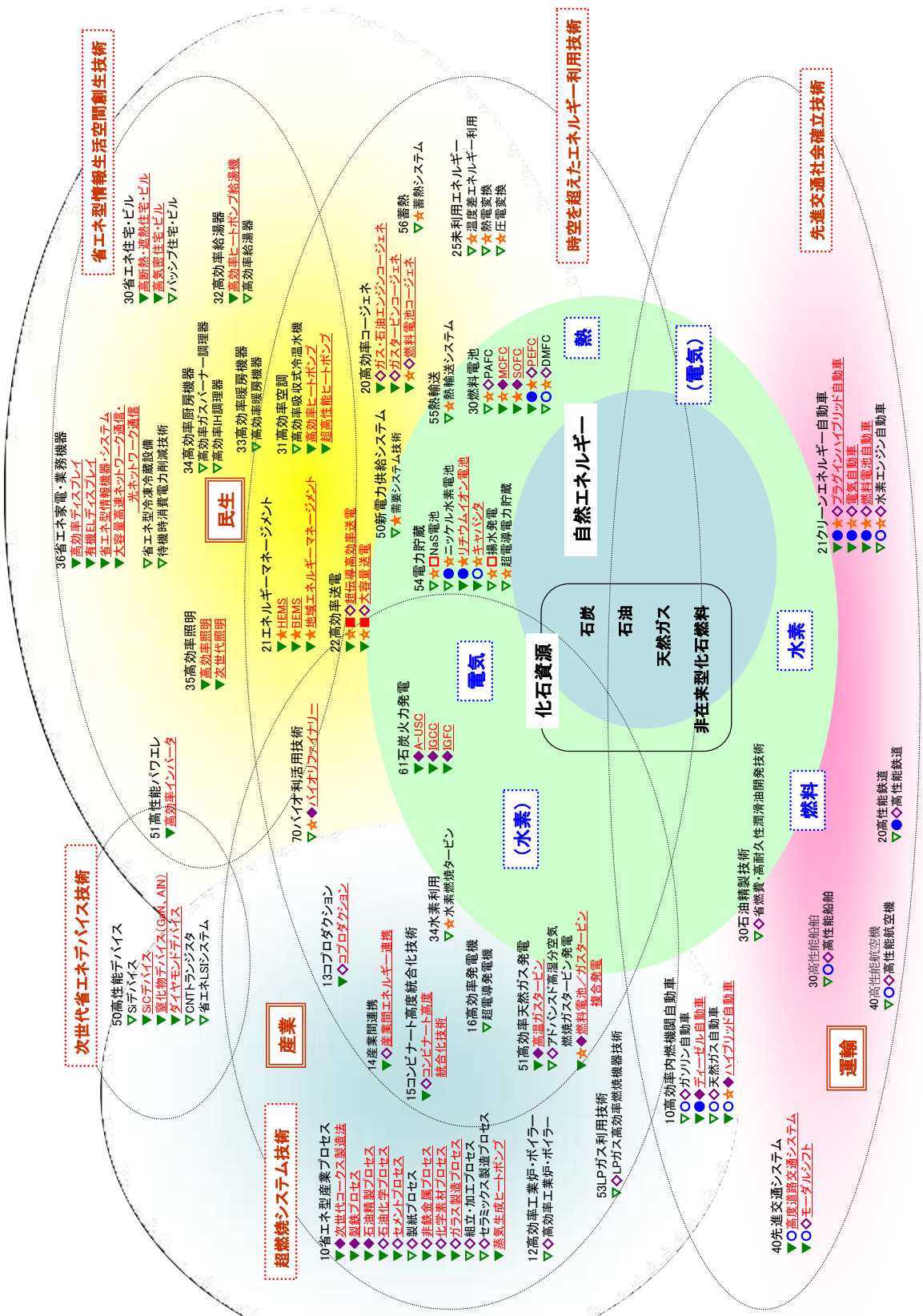
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電

## ③ 新エネルギーの開発・導入促進

- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電

・ 技術名の前に記した色抜きの記号(▽○★◇)は、その技術が寄与する政策目標を示す(▽:総合エネルギー効率の向上、○:運輸部門の燃料多様化、★:新エネルギーの開発・導入促進、◇:化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。  
 ・ 特に政策目標への寄与が大きいと思われる技術については、その寄与が大きい政策目標を、色抜きの記号(▽○★◇)で示し、技術名は、赤字・下線付きで記載した。

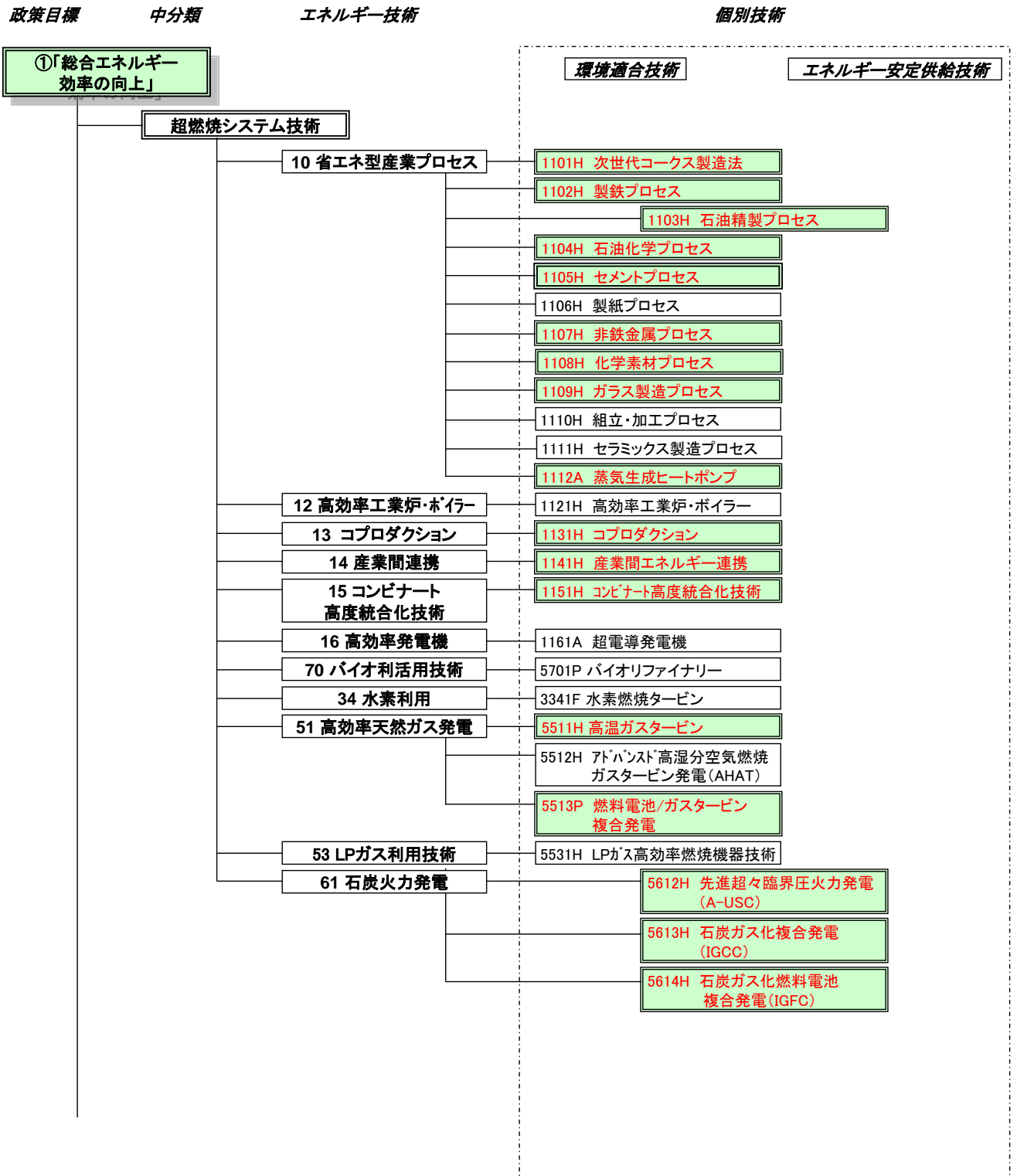
# ①「総合エネルギー効率の向上」に寄与する技術の技術マップ(整理図)



● 技術名の前に記した色括弧の記号 (▽○◇△□) は、その技術が寄与する政策目標を示す (▽: 総合エネルギー効率の向上, ○: 運輸部門の燃料多様化, △: 新エネルギーの開発・導入促進, □: 原子力利用の推進とその大規模化による安全の確保, ◇: 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。  
 ● 「総合エネルギー効率の向上」への寄与が大きいと思われる技術名を、色塗りの記号 (▽、赤字・下線付き) で記載した。

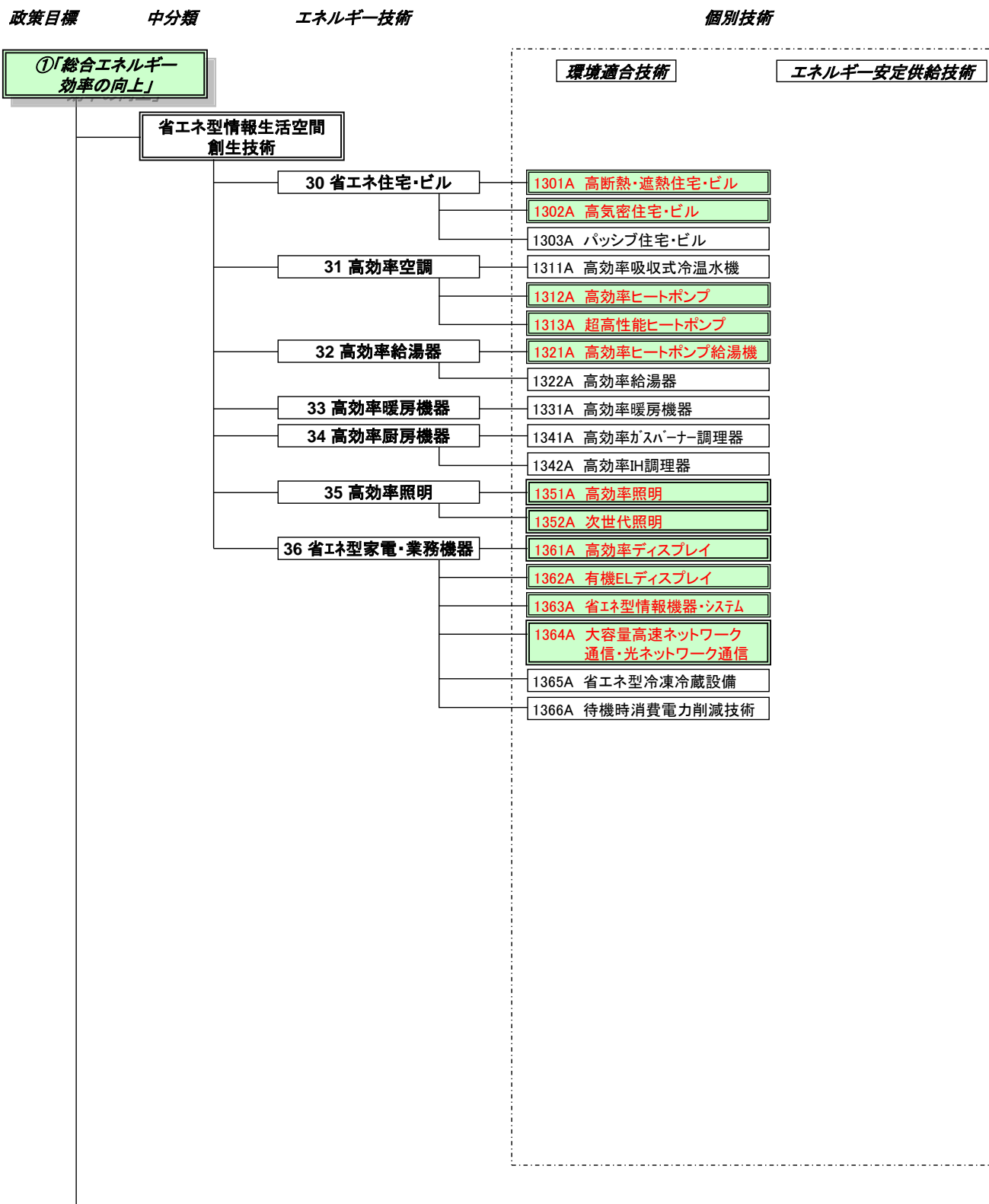
# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術マップ(技術リスト)(1/4)

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。



# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術マップ(技術リスト)(3/4)

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。





# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術ロードマップ(1/13)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
1101H	10.省エネ型産業プロセス 次世代コークス製造法	省エネ性の向上 21% 生産性向上 従来の3倍 コークス製造コストダウン -18%		既存コークス炉のリプレース -20%		多目的転換炉
				次世代コークス製造法(SCOPE21) 高反応性新塊成物導入		一般炭・鉄鉱石接着結合技術、フェロコークス製造技術
				廃プラ・バイオマス利用技術 副生水素(COG)の利用最適化/水素エネルギーシステム		劣質原料使用技術(石炭)
1102H	10.省エネ型産業プロセス 製鉄プロセス	新焼結プロセス 事前炭化式ガス化溶融プロセス 高微粉炭比操業下でのダスト排出量低減 電気炉ダスト回生技術 電磁力利用鋳造技術 溶解還元製鉄法(DIOS)	断熱型鋳造システム 回転炉床有用金属回収技術 超微細粒熱延鋼板製造技術 革新的電磁鋼板技術 鱗片表面改質による循環元素無害化技術 次世代圧延技術(難加工性特殊鋼等 高温耐熱耐食鉄鋼材料)			熱・冷延統合プロセス 水素鉄鉱石還元技術 排熱回収技術 劣質原料使用技術(石炭・鉄鉱石) 創資源・創エネルギー型高炉
				新還元溶解製鉄法(ITmk3) 直接還元製鉄法(FASTMET) 電炉用HBI製造プロセス		エネルギー(鉄/ガス)併産技術 電炉希釈バーজন鉄製造(DRIC) 希少金属分離回収技術 特殊鋼材高洗浄・高機能化技術 CO2回収技術 化学プロセスとのコプロダクション
1103H	10.省エネ型産業プロセス 石油精製プロセス			コンビナートエネルギー高度利用技術・低位熱回収システム 組成制御型高度石油精製技術 低水素消費型ガソリン脱硫技術 高効率プレート熱交換器技術		
1104H	10.省エネ型産業プロセス 石油化学プロセス	省エネ型プラスチック製品製造技術(SPM) 気相法ポリプロピレン製造技術(触媒開発) 低エネルギー分解技術(ナフサの接触分解プロセス・膜分離)		内部熱交換型蒸留プロセス(HIDIC)		ガソリン基材・石油化学原料高効率製造技術 古紙等からの化学原料等製造技術、バイオマスからの石油代替成形材料の製造技術 超臨界流体を利用した化学プロセス技術 マイクロリアクター技術 コプロダクション サステナブル・カーボン・サイクル・ケミストリー(SC3) 分離膜装置による水処理 ナノ多孔技術 協奏的反應場技術 高性能触媒・光触媒
1105H	10.省エネ型産業プロセス セメントプロセス					石炭代替焼成技術 ・水素焼成技術 ・プラズマ焼成技術
						低温焼成技術
						廃棄物原料化技術 省電力ミル 高効率乾燥炉 改質硫黄固化体技術
						焼成不要省エネ型セメント 廃棄物ガス化によるコプロダクション CO2回収技術
1106H	10.省エネ型産業プロセス 製紙プロセス					
						黒液回収ボイラーの高効率化 120℃超ヒートポンプ利用 植物遺伝子組み換え技術 植物遺伝子組み換え技術 黒液・バイオマスガス化技術 抄紙方法効率化 分離膜装置による水処理 バイオマスIGCC バイオマスIGFC バイオマス利用によるコプロダクション
1107H	10.省エネ型産業プロセス 非鉄金属プロセス					
						金属リサイクル技術 チタン合金創製プロセス 材料・複合化材料技術(水素貯蔵材料など)
						加工技術 高効率精錬 歩留まり向上技術 低コスト化 スケールアップ技術 断熱型鋳造システム 熱発電材料製造技術 高純度金属材料製造技術

# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術ロードマップ(2/13)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
1108H	10.省エネ型産業プロセス 化学素材プロセス	<p>化学産業のエネルギー 使用量を2005年レベル の2/3に削減を目指す</p> <p>プロセス最適化技術(低温・低圧・高選択化、プロセス数削減、マイクロ波利用)</p> <p>触媒技術 ガス分離技術 エネルギー回収 マテリアル再利用</p> <p>バイオ技術 バイオリファイナリー</p> <p>分子状酸素の利用 製鉄とのコプロダクション SC3の高度利用</p>				
1109H	10.省エネ型産業プロセス ガラス製造プロセス	<p>小規模での実用化      中規模での実用化      大規模での実用化</p> <p>ガラス成形・除冷工程、ガラス強化に関する省エネ技術 プラズマ等利用インフライトメルトンク(気中溶解)技術 高効率カレット加熱技術 高均質加熱・選択的迅速加熱技術</p>				
1110H	10.省エネ型産業プロセス 組立・加工プロセス	<p>組立・加工用レーザーの他分野への応用 動力回生システムの小型化・他分野への応用</p> <p>動力回生システム      非鉄金属加工技術</p> <p>切削性向上(クーラント装置等)      高度機械加工システム レーザー空間モード制御利用(光吸収効率向上)      レーザ位相制御利用(コヒーレント化学) Yb系固体レーザー利用(LCD基板製造等)、CO2レーザー利用(EUV光源ドライバー等) 短波長ファイバーレーザー利用(レーザーマーキング、溶接等) 短パルスレーザー(高強度軽量材加工等)、超短パルスレーザー利用(低摩擦加工等) ファイバー光コヒーレント結合 RGBファイバーレーザー利用(太陽電池パネル製造等)</p>				
1111H	10.省エネ型産業プロセス セラミックス製造 プロセス	<p>モジュール型セラミックス製造技術 リターンブルセラミックス製造プロセス</p> <p>低温プロセス技術、複合加熱プロセス技術</p> <p>エネルギー(現状比) 1/2</p> <p>リカーサ利用技術 水利用合成プロセス、 水系スラリー利用プロセス 溶媒最適化 完全リターンブル化</p>				
1112A	10.省エネ型産業プロセス 蒸気生成ヒートポンプ	<p>120℃蒸気 COP 3.0      生成蒸気の高温化(120℃超) COP 4.0</p> <p>低温蒸気ヒートポンプのCOP向上 排熱利用 高効率圧縮技術 高効率熱交換技術 低環境負荷冷媒技術</p> <p>食品分野熱利用技術への展開      空気熱源利用による蒸気発生</p>				
1121H	12.高効率工業炉・ボイラー 高効率工業炉・ボイラー	<p>ボイラー効率:17%程度向上 工業炉エネルギー効率:約10%~30%向上</p> <p>高効率燃焼技術      次世代高性能ボイラー      【廃熱低減技術】 再生燃焼技術      高性能工業炉      酸素燃焼利用時の排ガス潜熱回収技術 酸素燃焼技術      酸素燃焼      酸素富化燃焼 伝熱技術</p>				
1131H	13.コプロダクション コプロダクション	<p>電力・物質のコプロダクション</p> <p>自己熱再生方式      ガス化技術(部分酸化法) 原料多様化 高効率化 低コスト化</p> <p>製鉄・化学プロセスのコプロダクション 次世代ガス化技術エクスルギー再生技術</p>				

# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術ロードマップ(5/13)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～	
1203P	20.高効率コージェネ 燃料電池コージェネ	システム価格(円/kW)(総合効率) PEFC*1 SOFC*2					*1 1kW級家庭用燃料電池システムの 生産台数を想定した技術的 想定価格 *2 発電装置部の範囲の想定価格 (家庭用は貯蔵槽等を含む)
		約200~250万 約70~120万 約50~70万	約100万(75%HHV)	<40万(>80%HHV)	<40万(>77%HHV)	<20万(>80%HHV)	
		家庭用 業務用 産業用	約100万(80%HHV)	数十万~約百万			
		発電効率・総合効率向上 低コスト化、量産化技術、長寿命化 燃料電池技術 PAFC PEFC SOFC MCFC SOFC-STハイブリッド					
1211F	21.エネルギーマネジメント HEMS (Home Energy Management System)	ネットワーク連携制御 最適制御・設計技術 デジタル情報機器相互運用基盤開発					
		家電制御標準化 エネルギー貯蔵技術 省電力電源モジュール	需要/供給計測予測技術 エネルギー貯蔵技術 家庭内センサネットワーク 再生可能エネルギー連携 エネルギー需給分析/予測技術 省エネ協調制御(生活行動予測技術)	高度情報化対応技術 デジタル情報機器相互運用基盤開発 マクロセンシング エネルギー(電気・熱)貯蔵装置連携	デジタル情報機器相互運用基盤開発 (デジタル制御電源技術)	DC給電等の省エネ技術	コンシューマーズビヘイビア (環境性認識行動)
1212F	21.エネルギーマネジメント BEMS (Building Energy Management System)	統合化・フレキシブルBEMS 高効率化・省電力化BEMS 超省エネ型次世代BEMS					
		ネットワーク連携制御 需要/供給計測予測技術 エネルギー貯蔵技術	最適制御・設計技術 DC給電等の省エネ技術	コミューニング支援システム(BEMS)			
1213F	21.エネルギーマネジメント 地域エネルギー マネジメント	需要システム技術 TEMS(Town Energy Management System) 環境調和型コンパクトシティ LEN(Local Energy Network) CEMS(Cluster Energy Management System)					
		HEMS・BEMS協調制御技術 エネルギー貯蔵技術 分散型/再生可能エネルギーの面的利用 HEMS/BEMS及び地域熱電供給などとの有機的連携技術 自立分散型の地域エネルギー需給・系統との協調 HEMS/BEMS協調制御技術 DC給電等の省エネ技術					
1222S	22.高効率送電 大容量送電	高性能交流直流変換技術(DC125kV級) 自動式大容量交直変換器 高効率大容量交直変換器 大容量直流送電					
		配電用低損失柱上変圧器 配電用アモルファス変圧器 UHV(超高压交流送電、1,000 kV)技術	高速度大容量遮断技術	高速事故除去技術		長距離大容量送電	
1221S	22.高効率送電 超電導 高効率送電	長尺化 高電圧化 大電流化 低交流損失化 工業的臨界電流密度(Jc)	数百m~1km AC66~kV級、DC125kV級 3~5kA(三相一括) 0.3W/m/相@3kA >300~500A/mm <sup>2</sup> (Y系) ~200A/mm <sup>2</sup> (Bi系)	数km 5~10kA (単心、三相一括) ~250A/mm <sup>2</sup> (Bi系)	154~275kV Y系超電導ケーブル Y系超電導送電安定化技術(数GJ)	系統用Y系超電導変圧器500MW(限流機能付)	
		線材コスト (A・m@77K)	4~6円(Y系) 12円(Bi系)	6円(Bi系)	2~3円(Y系)		
3252F	25.未利用エネルギー 温度差エネルギー利用	都市排熱利用ヒートポンプ 河川熱利用ヒートポンプ 地中熱源ヒートポンプ					
		環境影響評価技術 蓄熱技術 都市排熱有効利用のための都市基盤整備 地中熱交換器の低コスト・高効率化 低コスト掘削技術					

# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術ロードマップ(8/13)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
3553F	55.熱輸送 熱輸送システム	マイクロカプセル技術、エマルジョン化技術、スラリー分散性制御 CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O系利用実証試験 次世代高効率潜熱蓄熱輸送(高密度化、軽量化) MgCo(OH)系利用実証試験 高エクスセルギーバッチ輸送 真空断熱輸送 低温潜熱輸送技術 中温熱バッチ輸送 高温熱バッチ輸送				
		高温・高密度化 耐熱・高断熱化技術 真空断熱材 パッケージ化技術 耐久性改善技術 低コスト化				
3562F	56.蓄熱 蓄熱システム	室内温熱供給向けMgCo(OH)系利用 CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O系利用実証試験 MgCo(OH)系利用実証試験				
		潜熱蓄熱材(PCM) 潜熱回収材 空調利用技術 高密度・高温化 圧力制御蓄熱 躯体化 季節間利用実証 低損失化技術 効率向上 低コスト化 真空断熱材 自己制御蓄熱				
1301A	30.省エネ住宅・ビル 高断熱・遮熱住宅・ビル	熱損失係数 2.7 W/m <sup>2</sup> ・K(IV地区) 1.6 W/m <sup>2</sup> ・K(欧米並) 住宅性能表示制度等の整備・拡充・普及				
		低熱伝導率断熱材(真空断熱材、セラミック膜等) マルチセラミック膜断熱材技術 低真空断熱技術 低熱貫流率窓ガラス 調光ガラス 外部可動日射制御システムの開発 断熱工法、外断熱 断熱壁・窓の簡易施工システム 断熱壁・窓の使いこなし技術(構造・設計・施工) 建築物総合環境性能評価システム(CASBEE)				
1302A	30.省エネ住宅・ビル 高气密住宅・ビル	相当隙間面積(C値) 2-5 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>				
		室内空気質改善技術 揮発性有機化合物(VOC)吸着建材・センサ 熱交換換気システム 調湿建材 建築物総合環境性能評価システム(CASBEE)				
1303A	30.省エネ住宅・ビル パッシブ住宅・ビル	空調エネルギー 40 kWh/m <sup>2</sup> ・年 15 kWh/m <sup>2</sup> ・年 10 kWh/m <sup>2</sup> ・年				
		自然光利用 自動協調換気制御 蓄熱 潜熱・顕熱分離空調(デシカント空調) 躯体利用高効率輻射空調 温熱・気流・光シミュレーション技術 設計・評価技術 建築物総合環境性能評価システム(CASBEE)				
1311A	31.高効率空調 高効率吸収式冷温水機	冷房COP(HHV) 二重効用 1.2→1.6 新エネ利用吸収式冷温水機 排熱利用形三重効用冷温水機 三重効用吸収式冷温水機 高効率空調制御技術利用				
		腐食抑制技術 自動協調空調制御(人感センサー等) 高効率化・コンパクト化 太陽熱利用ハイブリッド吸収式冷温水機 排熱利用技術 超コンパクト吸収式冷温水機(現行比 1/2) 圧縮・吸収ハイブリッド冷凍サイクル(COP 2.2)				
1312A	31.高効率空調 高効率ヒートポンプ	潜熱・顕熱分離空調(HPデシカント) 高効率空調制御技術利用				
		定格COP向上、部分負荷効率向上 エンジン排熱の冷凍サイクル利用 搬送動力低減技術 地中熱源ヒートポンプ 発電・給湯などの多機能化 自然エネルギーとのハイブリッド利用 電源レスGHP 自動協調空調制御(人感センサー等)				

# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術ロードマップ(9/13)

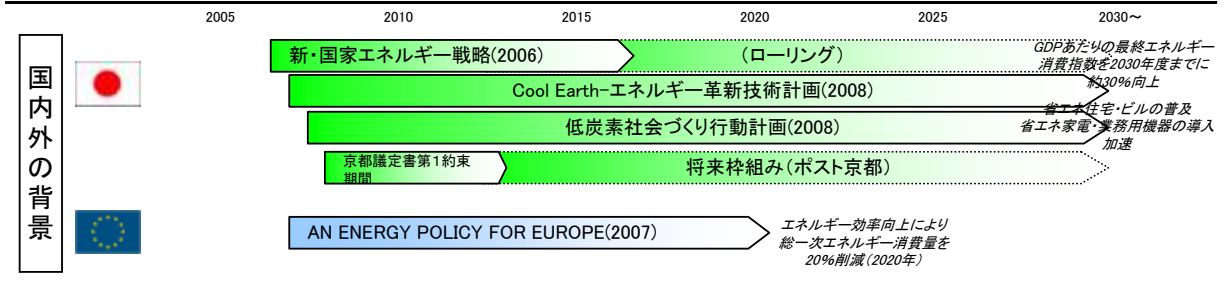
No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
1313A	31.高効率空調 超高性能ヒートポンプ	機器効率(現状比)APF6.6(2.8KW)(現状) コスト(現状比)	膨張動力回収システム	自己昇温型ケミカルHP	1.5倍 3/4倍	
		排熱回収型HP 汎用ダブルバンドルHP ケミカルHP トライバンドルHP 高性能圧縮式HP 水冷媒冷凍機、井戸循環型HP ハイドレート冷凍機 水冷媒HP	高効率空調制御技術利用 自動協調空調制御(人感センサー等) 河川熱利用 都市排熱利用			
1321A	32.高効率給湯器 高効率ヒートポンプ 給湯機	機器効率(現状:定格COP5.1) コスト	高効率化・小型化 自然冷媒(CO2)HP給湯機	瞬間式HP給湯機	低外気温(-25℃)稼働HP給湯機(COP 6)	現状比 3/4倍 現状比 1.5倍 低外気温(-25℃)稼働HP給湯機(COP 8)
		寒冷地対応 低コスト化 施工簡易化	高効率圧縮機、高効率熱交換器、膨張動力回収技術 寒冷地での熱交換効率向上 高密度(200%以上) 60~120℃用蓄熱材(カプセル化、懸濁化、乳化) 次世代給湯用蓄熱 次世代高性能冷媒対応技術			
1322A	32.高効率給湯器 高効率給湯器	ガスヒートポンプ式給湯器(吸収式など) 熱融通技術(蓄熱型給湯暖房機) 高効率ガスエンジン給湯器 PS設置型潜熱回収給湯器	高効率排熱回収 潜熱回収給湯器 潜熱回収用熱交換器 低コスト化 発電などの多機能化 太陽熱とのハイブリッド利用			
1331A	33.高効率暖房機器 高効率暖房機器		圧縮ヒートポンプ利用技術 二重効用吸収・吸着式ヒートポンプ 高効率放射熱利用技術 高効率燃焼技術 将来型燃焼対応多様化技術 低NOx化技術			
1341A	34.高効率厨房機器 高効率ガスバーナー 調理器		高効率燃焼技術 高効率・高機能換気技術 低NOx化技術 業務用厨房機器の高効率化(高負荷燃焼など)			
1342A	34.高効率厨房機器 高効率IH調理器		鍋自動判別・加熱パターン最適化 オールメタル対応化技術 業務用厨房インテリジェント化 高効率化(インバーター・加熱コイルの低損失化) 業務用厨房自動化			
1351A	35.高効率照明 高効率照明	発光効率、寿命 50~100 lm/W(蛍光灯) 1万時間(蛍光灯)	100 lm/W(LED)	200 lm/W(LED) 6万時間(LED)	【LED】 高効率LED素子 LED低コスト化 【蛍光灯】 白色LED用蛍光材料(高効率近紫外起蛍光材料) 蛍光灯熱損失低減技術 高効率蛍光材料 高効率無水銀蛍光灯	

# ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術ロードマップ(10/13)

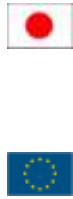
No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
1352A	35.高効率照明 寿命(有機EL) 1千時間  次世代照明	発光効率(有機EL) 15lm/W		100 lm/W		200 lm/W 6万時間
				高輝度白色EL		高効率高演色白色光源
1361A	36.省エネ家電・ 業務機器  高効率ディスプレイ	発光効率 LCD 2 lm/W(全白色表示時) PDP 1.5 lm/W(40"、全白色表示時) 年間消費電力(例:液晶TV 52V型) 5.3kWh/年・インチ		2.7kWh/年・インチ		10 lm/W(60") 10 lm/W 1.6kWh/年・インチ(現状比1/3)
		デバイスの高効率化 ・発光材料 ・素子 ・薄膜技術	【LCD】 低消費電力LCD 高効率白色LCD 大型化、高精細化	低損失オプティカル新機能部材技術 高透過率パネル 高効率バックライト		高効率PDPパネル 【LED】 PDP映像用高効率放電方式LEDの大型化、低コスト化 PDP用高効率蛍光材料(発光効率改善、低コスト化)
1362A	36.省エネ家電・ 業務機器  有機ELディスプレイ	発光効率 70lm/W		寿命 5万時間		
		携帯情報機器用	発光効率改善	大画面化	フレキシブル化 長寿命化	
1363A	36.省エネ家電・ 業務機器  省エネ型情報機器・ システム	光ディスク容量 通信速度	100～200GB/～200Mbps 1～100GB/s	500GB～1TB/～1Gbps 5～500GB/s		
		高効率デバイス 高効率ストレージ・メモリ アプリケーションチップ技術 VM(仮想マシン)技術・組み込みソフト技術 ネットワーク・光通信	低消費電力HDD記録技術 サーバ先進冷却・熱回収再利用技術	グリーンクラウドコンピュータ データ・セントリック情報システム制御 データ・セントリック広域コンピューティング データ量削減技術		・イン・ストレージコンピューティング データセンター最適ネットワーク技術 データセンター内冷却システム設計
1364A	36.省エネ家電・ 業務機器  大容量高速 ネットワーク通信・ 光ネットワーク通信					
		通信ケーブル素材製造技術 省電力ルータ・スイッチ技術 ネットワークアーキテクチャ技術 光波制御技術		光ルーター 光バスネットワーク技術	立体テレワーク・ 立体遠隔会議システム	
1365A	36.省エネ家電・ 業務機器  省エネ型冷凍冷蔵設備	熱伝導率 0.0025 W/m・K 電力消費量 450 kWh/年		0.001 W/m・K 400 kWh/年		0.0005 W/m・K
		真空断熱		ヒートポンプ利用冷蔵・冷凍庫		BEMS/HEMS連携最適制御
1366A	36.省エネ家電・ 業務機器  待機時消費電力 削減技術	待機時消費電力 1 W		100 mW以下		50 mW以下
		省電力電源モジュール 家電制御標準化				デジタル情報機器相互運用基盤開発 (デジタル制御電源技術)

# ①「総合エネルギー効率の向上」に向けた導入シナリオ

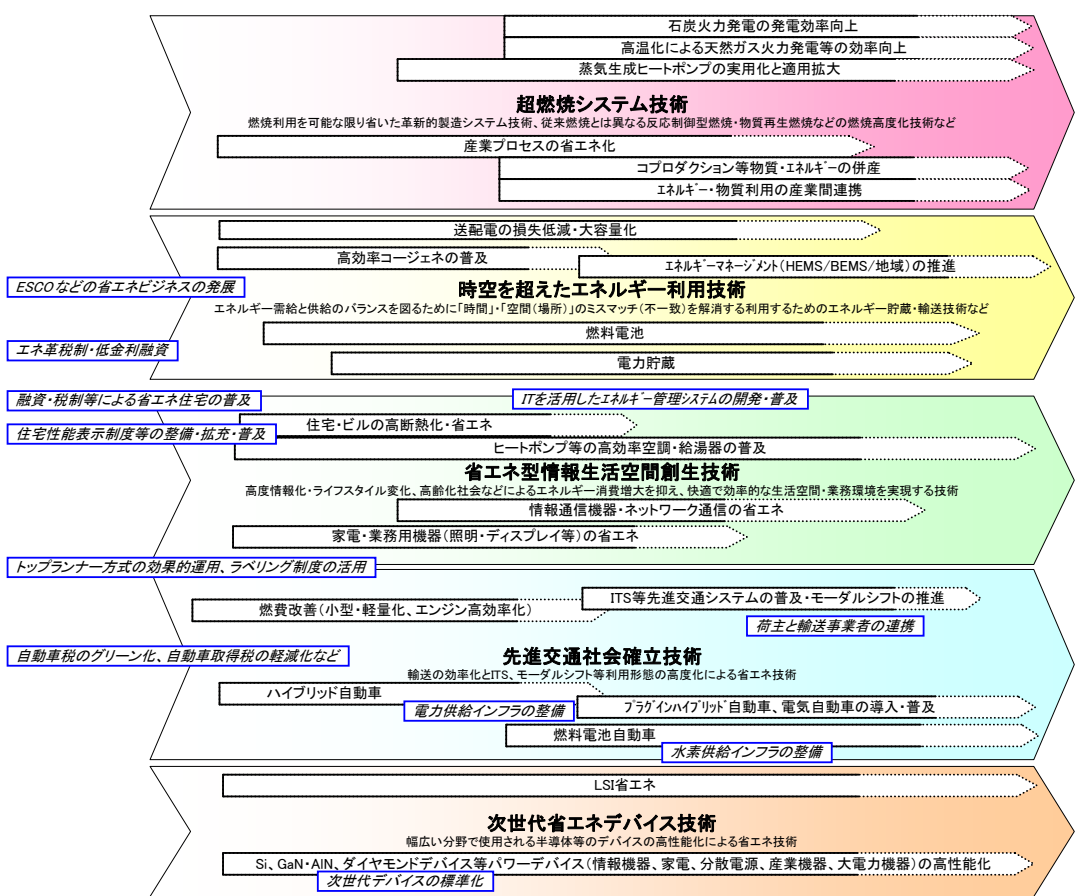
転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。



国内外の背景



主な技術開発およびその関連施策



総合エネルギー効率の向上

共通関連施策

- 事業者支援補助金による初期需要創出(高効率機器の補助導入など)
- セクター別ベンチマークアプローチの導入によるエネルギー消費原単位改善
- 省エネ評価制度の国際的整備
- 国際標準化・規格化による国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組み

# 省エネルギー技術戦略 2009

平成21年4月

経済産業省 資源エネルギー庁

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構



## 省エネルギー技術戦略2009 目次

1. 省エネルギー分野の技術戦略
2. 超燃焼システム技術の技術戦略マップ
3. 時空を超えたエネルギー利用技術の技術戦略マップ
4. 省エネ型情報生活空間創生技術の技術戦略マップ
5. 先進交通社会確立技術の技術戦略マップ
6. 次世代省エネデバイス技術の技術戦略マップ
7. その他
  - ・ 省エネルギー技術戦略研究会 委員名簿

### 添付資料

- ・ 用語集

## 省エネルギー分野の技術戦略

### 1. 背景

世界的な原油価格の高騰、化石燃料の資源的制約、京都議定書の達成およびポスト京都の一層の推進などエネルギーをめぐる課題がクローズアップされてきている。エネルギーの使用合理化(省エネルギー)の推進、エネルギー利用効率の向上は、これらの課題に対する確実、かつ重要な対策である。

国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立、エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立およびアジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として、2006年5月、「新・国家エネルギー戦略」が策定された。ここでは、2030年に向けて官民で共有すべき数値目標が設定され、エネルギー使用合理化の一層の推進を行い、30%以上の最終エネルギー消費効率の改善を行うことなどが盛り込まれた。

さらに、平成19年5月24日、「美しい星50(クールアース50)」が発表され、世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標が提案された。こうした長期目標の実現は、従来の技術の延長では困難であり、革新的技術の開発が不可欠であるとされている。従って、温室効果ガス排出量に密接な関係があるエネルギー分野において、世界トップ水準の技術を有する我が国は、エネルギー使用合理化分野も含め、2050年までの二酸化炭素排出の大幅削減に向け、世界をリードできる技術分野に研究開発資源を重点化し、技術開発を加速・推進することにより、我が国の競争力を強化・維持しつつ、国際的な連携を強力に推進し、世界全体での大幅削減に積極的に貢献していくことが必要である。

我が国が1970年代以来取り組んできたエネルギー使用合理化は、新たな製造技術の導入等により相当程度の成功を収めてきた。2050年も見据え、今後30年にわたり同様の成果をあげ続けるためには、産業、民生および運輸の全部門において、最終エネルギー消費効率の向上に資する技術開発とその成果の受入を促していくことが不可欠である。

### 2. 省エネルギー技術戦略

新・国家エネルギー戦略では、30%以上の最終エネルギー消費効率を改善していくための方策の大きな柱として、長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を策定し、省エネルギー技術開発および支援の重点化を行うことが示された。

省エネルギー技術戦略は、2030年に向けてエネルギー使用合理化技術を日本の国際社会における「産業競争力の源泉」とし、資源制約・環境制約を乗り越え、尊敬される「世界の省エネ国家」の実現を目指すことを掲げ、産官学や異なる事業分野、メーカーとユーザーなど様々な主体間での連携を促すことで革新的な技術開発を推進するとともに、今後想定される社会的経済的ニーズに対応し、目指すべき技術開発のステージを広く関係者間で共有していくことを狙って策定されている。

### 3. 技術課題の抽出および重点技術分野

エネルギー消費は人間活動の基本であり、生活における節エネルギー、利用機器の効率改善、エネルギー供給方式の最適化など、エネルギーの使用合理化技術は、あらゆる人間活動に関連する広範な技術であるが、特に消費分野のエネルギー便益を損なわないニーズ技術を考慮したエネルギー使用合理化技術や、エネルギー流通分野におけるエネルギーを高温から低温まで上手に使い回すための技術を重要な技術としている。また、需要サイド、ニーズ志向の開発要請が強く、個々の分野における漸進・改良型の技術開発も重要である。他方、大きなブレークスルーを実現するためには、異なる事業分野等様々な主体間の連携、シナジー効果が必要である。

したがって、ここではまずエネルギー使用合理化技術を省エネポテンシャル、技術成熟度、他分野への波及効果等

を総合的に評価し、幹となる重要な技術が抽出されている。さらに、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され、社会システムの変革にあわせたエネルギー使用合理化技術開発が促進されるよう、抽出された技術を分野・部門を横断する形で組合せて、5つの重点技術分野に整理されている。

#### 重点技術分野

- ・超燃焼システム技術
- ・時空を超えたエネルギー利用技術
- ・省エネ型情報生活空間創生技術
- ・先進交通社会確立技術
- ・次世代省エネデバイス技術

本戦略においては、効率的な技術開発を可能とするため、技術を個別具体的なプロセスやシステムに落とし込んで考えるのではなく、複数あるいは多くのプロセス/システムに共通する、言い換えれば開発や実用化の波及効果の大きな要素技術を技術群から抽出し、技術体系を俯瞰するように可能な限り行った。しかしながら、この方法には多くの専門に細分化された技術体系になじんだ技術者や研究者にとって技術を把握しにくいという問題点もある。そこで、エネルギーの使用合理化に対する寄与が高い、あるいはエネルギー消費削減の効果が質・量的に大きいと期待されるプロセスやシステムを必要に応じて適用分野例に記入することにした。

#### 4. 重点化した省エネルギー技術分野の概要

##### 1) 超燃焼システム技術

産業部門においては、これまでも積極的に省エネ対策が進められてきており、現状の業態における既知の対応策は既に着手され、更なる効率改善を図るには、従来の発想を超えた抜本的なプロセス改善等が必要である。産業分野の中でエネルギー消費比率の上位にある鉄鋼・非鉄、石油精製、化学、窯業・セラミックスなどのプロセス産業では化石燃料を燃焼させて得た熱エネルギーの利用がエネルギー消費の多くを占めている。特に、無為の燃焼利用は最小化したうえで、燃焼工程そのものを最大限高効率化し、生成される熱エネルギーを極限まで有効利用することが、産業分野における抜本的なエネルギーの使用合理化/CO2排出量削減につながるとの認識から、燃焼利用を可能な限り省いた革新的な製造システム実現に向けた技術開発を積極的に進めること、と同時に従来型燃焼とは異なる反応制御型燃焼、熱物質再生燃焼やプロセス複合型燃焼など燃焼高度化技術を併せて「超燃焼システム技術」と定義する。

具体的には、最適な温度をうまくつくり、化石燃料の持つエネルギーを高効率に利用するという観点から、上述の燃焼高度化・複合化技術の開発を進め、製造工程に使用される燃焼工程を代替・補完する革新的な技術開発を推進していくことが必要である。

更には、プロセスに関連し、省エネに必要な部材開発を進めていくとともに、産業間連携によるエネルギーの有効利用や物質とエネルギーの併産(コプロダクション)等の技術開発を実施していく。

##### 2) 時空を超えたエネルギー利用技術

熱や電気等のエネルギーを蓄積したり、移動したりする場合にはロスが発生する。工場において発生する余剰エネルギー(廃熱)は、近隣に需要がなければ、時間的・空間的輸送が困難であることから、十分に利用されないまま排出されることが多い。他方、民生部門等のエネルギー需要は各地に存在する。このようなエネルギー需給のミスマッチに対して、例えば蓄熱技術により、「時間」、「空間(場所)」のミスマッチ(不一致)を解消した「時空を超えたエ

エネルギー利用」が実現すれば、大幅なエネルギー使用合理化が実現する。究極は、夏の熱を冬に暖房用として使う、冬の冷熱を夏の冷房に活用する、というエネルギー最適利用社会が実現する。

しかしながら、現状では産業分野と民生分野での使用時間帯や場所、エネルギーの質や量が異なるため利用できずに廃棄されることが多い。また、民生分野においては、時間的ミスマッチにより熱や再生可能エネルギーが有効に利用できない場合がある。

このように、エネルギーの需要と供給とのバランスを図るうえで制約条件となっている「時間」、「空間(場所)」のミスマッチ(不一致)を技術によって解消し、産業分野では使えなくても民生部門ではまだ使えるようなエネルギーを捨てることなく使いまわすという、エネルギーの高効率利用を達成する技術を実現していくことが重要である。

具体的には、「熱エネルギー」、「電気エネルギー」、「化学エネルギー」の3形態により、エネルギーの貯蔵、輸送を行うことを想定する。「熱エネルギー」では、長距離の輸送が困難となっている現状を踏まえ、潜熱蓄熱、吸収・吸着、真空断熱パイプラインなどの技術による解消を図る。「電気エネルギー」では、貯蔵が困難となっている現状を踏まえ、蓄電の高度化を図っていく。また、水素、合成ガス、天然ガスなどの「化学エネルギー」は、貯蔵・輸送が比較的容易であることから、コプロダクションなどによるエネルギー回収、燃料電池やコジェネレーションなどの分散型エネルギー利用技術の連携によりその利用を進めることが必要である。

最後に、需要側と供給側の計測と動向予測、制御技術の確立などにより、これらの3形態を最適に活用するための最適評価方法を確立していくことが、実際の導入にあたっては、重要な要素となるため、この分野における研究開発も進めていく。

### 3) 省エネ型情報生活空間創生技術

民生家庭・業務部門では、これまで主要な家電品や事務機器などにトップランナー基準を適用するなどの、エネルギーの使用合理化推進策をとってきた結果、個別の機器の効率は大幅に向上してきた。しかし、高度情報化、豊かさを求めるライフスタイルの変化、および高齢化社会への推移などに伴って、エネルギー消費は継続的に増加しており、これを賢く抑制し、快適で効率的な生活・業務環境の実現を図る技術の開発、普及が求められる。

このためには、まずは機器自体のエネルギー使用合理化を一層進めることが重要である。特に、エネルギー消費の大きい冷暖房・給湯用のヒートポンプ技術の小型・高性能化、高い発光効率を可能とするLEDや有機EL等の光源技術、次世代省エネ型ディスプレイ、今後、エネルギー消費の飛躍的伸びが予想される大容量・高速通信を低消費電力で実現するための通信装置、ネットワーク関連機器の技術等の省エネ技術の開発が必要である。

また、建物・生活環境の省エネ技術として、自然エネルギー活用も含めた住宅・ビル躯体(構造体、窓、断熱・遮熱材等)の省エネ化や、住宅・ビルの範囲を超えた、クラスター型のエネルギー・マネージメント・システムを含む面的エネルギーマネージメント技術の確立が重要である。さらには、IT技術との融合を進め、人の好みや行動パターンに応じた制御技術、センサー技術の開発等によるエネルギー利用の最適化を推進する。

### 4) 先進交通社会確立技術

現在、自動車燃費の改善や物流部門の効率化などの省エネ対策は取組が進んできているものの、運輸部門の大幅なエネルギー消費量の削減は思うように進んでいない。自家用乗用車および貨物自動車のエネルギー消費量は運輸部門の消費量の8割強を占めることから、先進交通社会の確立に向けた最重要課題は、自動車によるエネルギー使用を削減するための技術開発であると考えられる。

省エネによる先進的な交通社会を確立するためには、自動車の電動化が重要である。先進的な自動車技術として電気自動車や燃料電池自動車、ハイブリッド車等の自動車電動化の技術開発を進めるが、これらの価格や技術レベル面での課題を考慮すると内燃機関(あるいはエンジン)の一層の低燃費化、また双方につながる技術として

車両軽量化等の高度化を進めることも必要である。

また、自動車の利用形態の高度化(走行の円滑化)を進めることも、重要なエネルギー使用量削減の取組であり、円滑な交通流体策の実現のため、車両間通信技術や交通制御システムの開発等のITS高度化のための技術開発を進めていく。

更には、乗用車から公共交通への移行や、トラックから他の物流システムへの転換を促進するために、ハイモーダルシステムを確立していくための技術開発を進める。具体的には、路面電車のように併用軌道走行と一般道路の両方を走行可能なシステムや超小型車両による共同利用システム、市街地内での荷捌きを行う小型貨物電気自動車などの開発が必要である。

#### 5) 次世代省エネデバイス技術

現代社会は、半導体シリコン(Si)を中核とするエレクトロニクスに支えられており、その省エネ化は重要な課題である。Siを中心とする従来のデバイスの省エネ化に加え、さらなる低損失デバイスの実現も要請されている。また、100V程度以上の素子耐圧が要求されるパワーデバイス分野では、Siを中心とする従来のデバイスの省エネ化に加え、さらなる低損失デバイスの実現も要請されている。例えば、SiCやGaN等のワイドバンドギャップ半導体を用いたデバイスの通電状態でのオン抵抗値は、原理的には従来のSi半導体と比較して約2桁低くなる。この結果、半導体デバイスで消費される結果として電力損失が大幅に削減されることから、大きな省エネ効果が期待される。

半導体デバイスとしては、LSIに代表される電子デバイス、インバーターなどのパワーデバイス、情報通信分野における高周波デバイス、光化デバイス等があげられるが、中でも、パワーデバイスについては、民生部門から産業、運輸部門まで広範囲に用いられるものであり、高効率化のニーズが高い。このため、SiC、GaN、ダイヤモンド等のパワーデバイスに係る技術開発を推進していくことが重要である。この他、ディスプレイ技術、照明技術についてもベースとなるデバイス技術としての観点からの開発が必要である。

### 5. 今後の推進に向けて

“省エネルギー技術戦略2008”の策定にあたっては、一昨年前の4月に公開した“省エネルギー技術戦略2007”をもとに、経済産業省及びNEDOが各種学術団体の全面的な協力のもと、“省エネルギー技術戦略2007”に記載された技術の整理ならびに追加すべき技術の提案をつづいた評価を実施し、さらに数ヶ月に渡る有識者による研究会での検討等を踏まえ見直したものである。その結果として、“省エネルギー技術戦略2008”では、複数の重点技術課題に跨る技術や、省エネルギーに特に大きな寄与が期待される個別重要技術を示した。

今回、技術戦略マップ(エネルギー分野)の見直し検討に伴って、“省エネルギー技術戦略2008”の記載内容に、先の検討結果を反映させ、“省エネルギー技術戦略2009”として公開した。

今後、ホームページ等で内容を公表するとともに、シンポジウム等を活用しながら、広く意見を求めることとし、内容を適宜見直していく予定である。

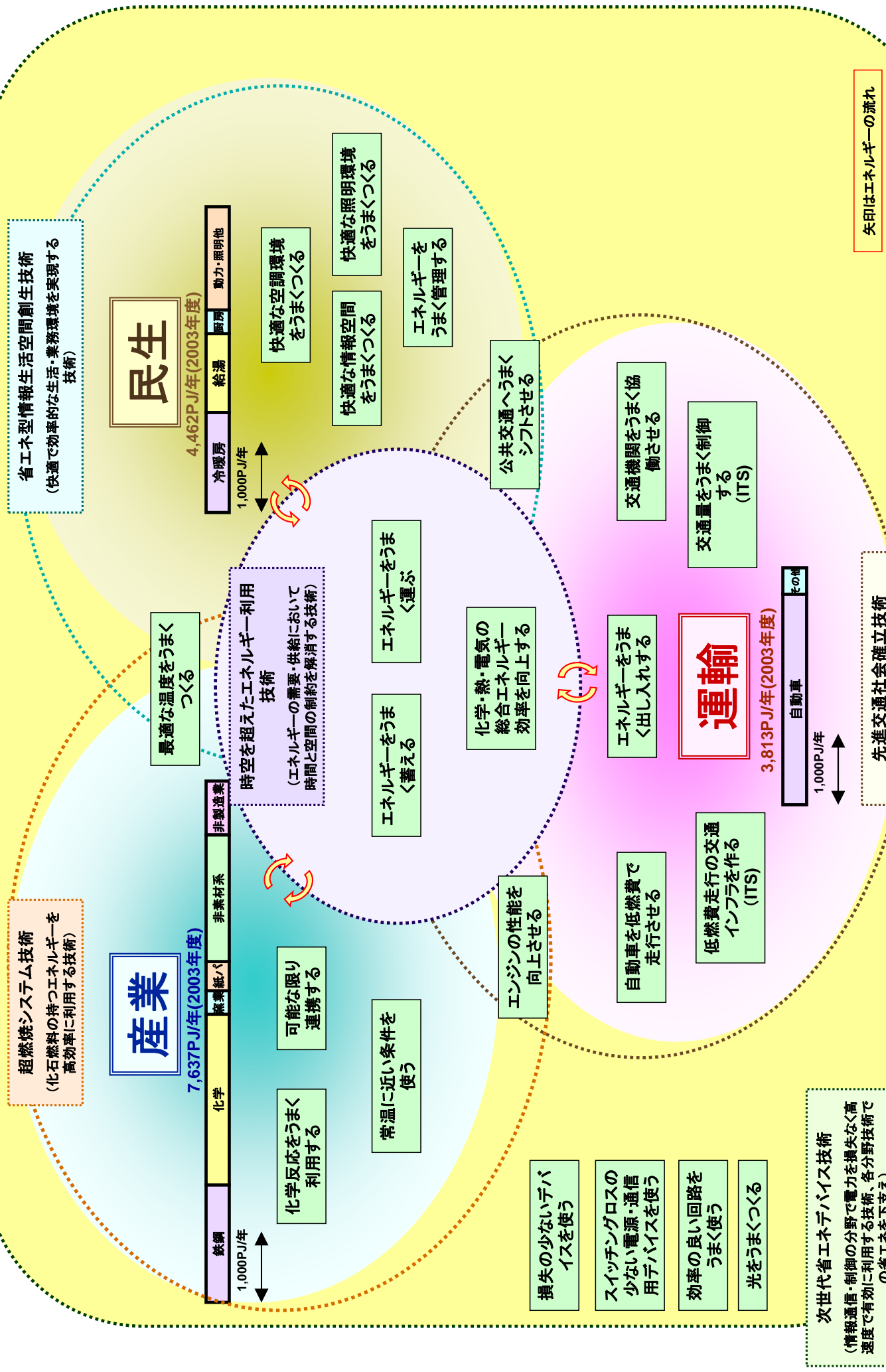
また、2009年度以降のエネルギーイノベーションプログラムの策定や、NEDO省エネ技術開発提案公募事業での優先的な採択を図っていくなど、省エネルギー技術戦略の実現に向けて、予算の重点配分を進めることとする。

なお、今回策定した省エネルギー技術戦略は、エネルギー技術全体の技術戦略マップの一部として位置づけられるとともに、今後の技術進展等に応じて、定期的にローリングされるものである。

また、2030年に向けては、省エネルギー技術戦略の推進と併せて、助成措置や税制、若しくは規制等と通じた初期需要の創出促進策などを積極的に組み合わせつつ、技術革新とそれを受け入れる社会システム側の変革との好循環を確立していくことが重要である。

# 省エネルギー技術戦略「全体技術マップ」

余すところなくエネルギーを利用し尽くし、資源制約・環境制約を乗り越え、尊敬される「世界一の省エネ国家」を実現



# 超燃焼システム技術の技術戦略マップ

## ～化石燃料の持つエネルギーを高効率に利用する技術～

### I. 基本的な考え方

これまでも産業部門においては積極的にエネルギーの使用合理化対策が進められてきており、現状の業態における既知の対応策は既に着手されている。更なる効率改善を図るには、従来の発想を超えた抜本的なプロセスの改善等が必要である。産業分野の中でエネルギー消費比率の上位にある鉄鋼・非鉄、石油・石化、化学、窯業・セラミックスなどのプロセス産業では化石燃料を燃焼して得た熱エネルギーの利用がエネルギー消費の多くを占め、特に、燃焼ガスを加熱に使う場合や蒸気を発生させユーティリティとして使用する場合に、材料や装置の耐熱性等の制限によって燃焼ガスの温度を高くできないことや、効率的なカスケード利用がなされていないことなどから、無用に廃熱を多く発生させる結果となっている。

従って、無為の燃焼利用は最小化したうえで、燃焼工程そのものを最大限高効率化し、生成される熱エネルギーを極限まで有効利用することが、産業分野における抜本的なエネルギー使用合理化／CO2排出量削減につながる。そこで、燃焼利用を可能な限り省いた革新的なエネルギーシステム実現に向けた技術開発を積極的に進めること、と同時に従来型燃焼とは異なる反応制御型燃焼、熱物質再生燃焼やプロセス複合型燃焼など燃焼高度化技術を併せて「超燃焼システム技術」と定義する。「超燃焼システム技術」によって実現される廃熱最小化を目指した省エネルギー型の産業構造、エネルギー利用体系のシナリオを検討し、その実現のための長期的視点に立った革新的な技術戦略を策定した。

具体的には、最適な温度をうまくつくり、化石燃料の持つエネルギーを高効率に利用するという観点から、上述の燃焼高度化・複合化技術の開発を進め、従来の燃焼工程を代替あるいは補完する革新的な技術開発を推進することが必要である。

さらには、産業間連携によるエネルギーの有効利用や物質とエネルギーの併産(コプロダクション)等の技術開発を効率よく実施していくことが重要である。

### II. 導入シナリオ

本技術戦略は、さまざまな産業分野をカバーし、それぞれの分野について燃焼高度化、エネルギーの使用合理化プロセス及び材料開発、統合化システム構築という階層の異なる技術課題を含む。物理的なスケールで言えば、材料からプロセスへ、プロセスからシステムへと発展的に技術の実用化が展開されると考えられるが、ベースとなる現状技術のレベルがそれぞれ異なるので、早期実用化が可能な技術や早期の開発着手が必要な技術から順に開発を推進し、エネルギーの使用合理化をできるだけ早期かつ着実に実現できるようにシナリオを構成する。

### III. 技術マップ及びロードマップ

#### 1. 技術マップ

技術マップとして、温度レベルを意識した技術課題の仕分けに、化学反応によるエネルギー使用合理化プロセス技術と、横串としてのシステム統合化技術を加えて全体構成とした。

#### 2. 重要技術の考え方

##### ①最適な温度をうまくつくる

「化石燃料を燃やすならばできるだけ高効率に」との視点から、熱を作る側の燃焼技術について、 $\text{効率} = \text{生成物} / (\text{投入材料} + \text{エネルギー})$ を向上させることを評価軸に据えた。燃焼による加熱が避けられないプロセスにおける、エネルギー使用合理化を達成するために必要な技術として、より高温で燃焼することによるエクセルギー損失最小化を可能とする技術、低・中高温廃熱の回収・再生および化学再生技術など、燃焼の高度化・複合化技術を取り込んだ。さらには、これら技術を実現するための極限環境材料技術や燃焼診断技術などもまとめた。

また、燃焼利用を可能な限り省き、高効率に最適な温度をつくる技術として、電磁気力を利用する技術を取り込んだ。これに関連し、省エネ型情報生活空間創生技術とまたがる技術であるヒートポンプ利用技術を「最適な温度をうまくつくる」ための技術として「高効率加熱化技術」の項目に集約した。

#### ②化学反応をうまく利用する

鉄鋼、化学分野」などの生産プロセスにおいて、新たな化学反応プロセスを導入することによってエネルギーの使用合理化に、多大な寄与が期待される技術に主眼をおいた。

電池材料、触媒、分離材料などに共通するナノレベル固体構造制御技術、反応器をはじめとするマイクロ空間利用技術、製造プロセスの低温化などの、製造や発電などのプロセスの効率を飛躍的に向上させるのに不可欠なプロセス高度化技術を重点的に抽出した。

#### ③可能な限り連携する

プロセスインテグレーション技術を適用したコプロダクション・システムは、化学・製鉄等の製造プロセスと発電等のエネルギー転換プロセスを複合化した新しいシステムの構築により、物質生産とエネルギー生産を同時に高効率に行うことにより化石燃料の使用量を極限まで小さくし、トータルのCO<sub>2</sub>排出量を大幅に低減することを目指したシステムである。個々のプロセスの効率化によっては成し得ない燃料消費の削減を可能とするプロセスインテグレーション技術を重点的に抽出した。

産業間連携では、各産業で過不足が生じる物質やエネルギーを業種の壁を越えて利用することにより、エネルギーの使用合理化を図ろうとしている。大規模な産業間連携のうち、熱・化学エクセルギーの再生技術、エクセルギーカスケード、ヒートポンプ等の概念に立脚した技術を重点とした。

#### ④常温に近い条件を使う

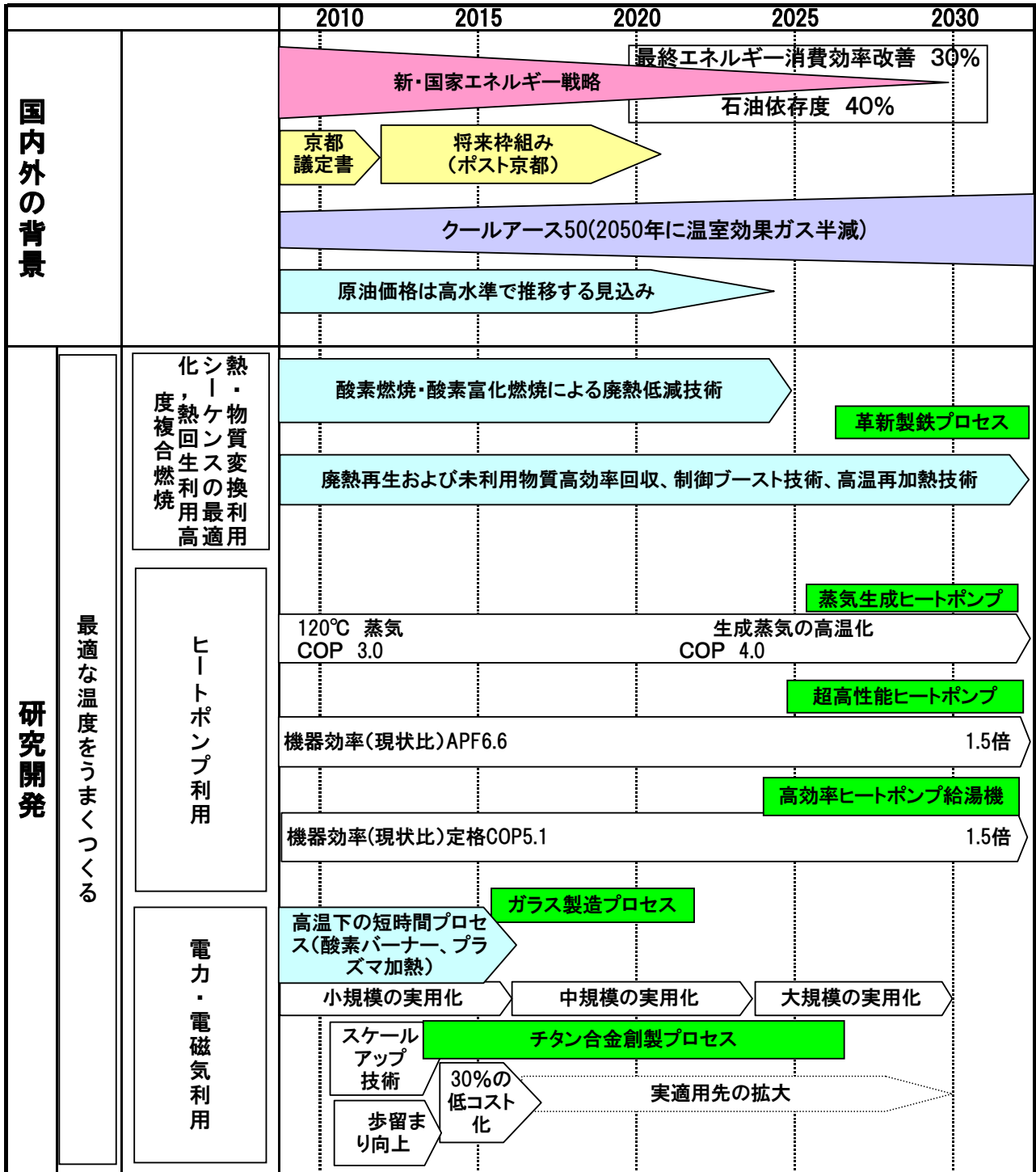
生物機能を利用した省エネ型循環産業の構築に資することを目的として、原料・燃料転換(植物や微生物などを利用したバイオリファイナリーなど)で必要となる投入エネルギーの削減、物質生産から廃棄物処理における省エネルギー(汚泥処理などの高度化など)等の技術を重点化した

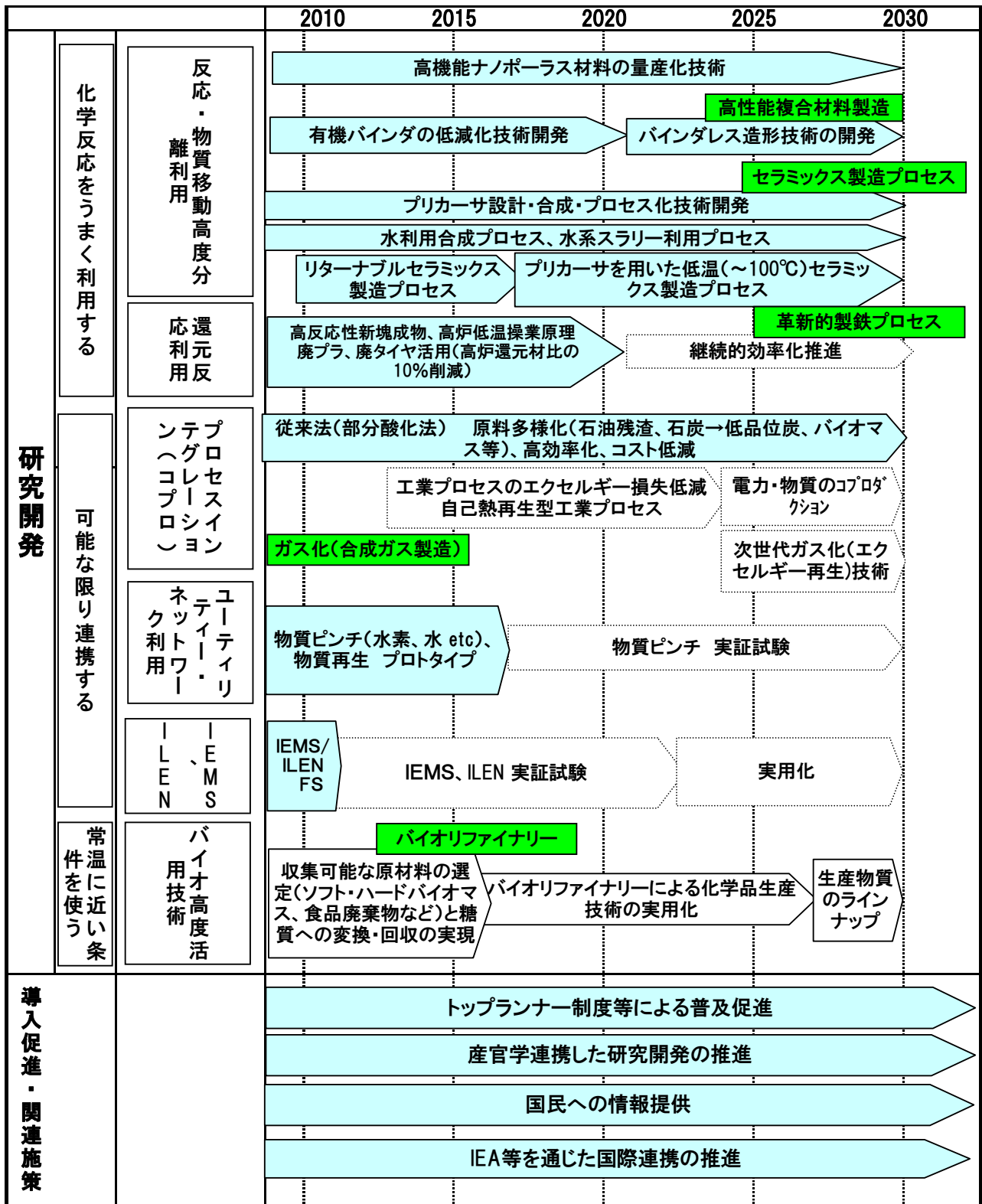
### 3. ロードマップ

ロードマップは技術マップで提示された課題について技術開発の時期、普及時期を示した。



# 超燃焼システム技術の導入シナリオ





超燃焼システム技術 技術マップ

※太字:重要技術  
※青字:クール7-ス50-革新技術計画に関連する技術

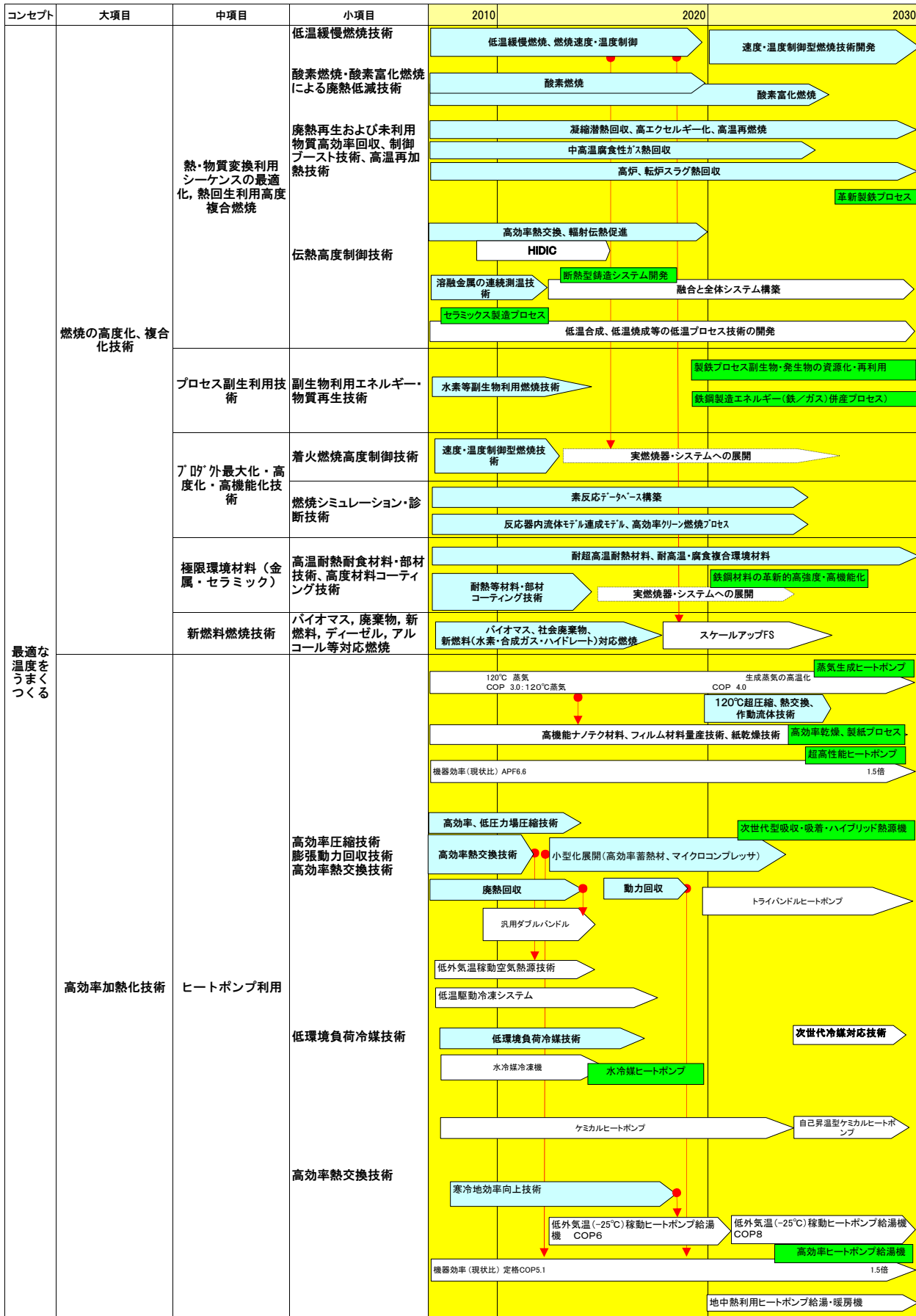
超燃焼システム技術

技術分野		分野構造			備考		
分野	コンセプト	大項目	中項目	小項目	適用分野例		
化石燃料をうまく使う	最適な温度をうまくつくる	燃焼の高度化、複合化技術	熱・物質変換利用シーケンスの最適化、熱回生利用高度複合燃焼	低温緩慢燃焼	高効率工業炉、ボイラー、熱化学再生ガス化、高温ガスタービン等		
				酸素燃焼・酸素富化燃焼による廃熱低減技術	高効率工業炉、ボイラー、石油精製プロセス、石油化学プロセス、化学素材プロセス等		
				廃熱再生および未利用物質高効率回収、制御ブースト技術、高温再加熱技術	製紙プロセス、製鉄プロセス、石油精製プロセス、腐食性ガスからの熱回収、石油化学プロセス、廃蒸気再生ハイブリッド発電等		
				伝熱高度制御技術 (高効率熱交換、輻射伝熱促進技術など)	製鉄プロセス、高効率熱交換、蒸留、輻射伝熱促進技術、HiDiC等		
				プロセス副生物利用	製鉄プロセス、次世代コークス製造等		
				着火燃焼高度制御技術	容積型小型エンジン、微粉炭ボイラー等		
		高効率加熱化技術	プロセス副生物利用	プロダクト最大化・高度化・高機能化	燃焼シミュレーション・診断技術	高温還元反応触媒反応シミュレーション、燃焼・改質反応系高度設計技術、熱化学反応データベース、各種燃焼モニタリング・診断技術等	
					極限環境材料(金属、セラミック)	高温耐熱耐食材料・部材技術、高度材料コーティング技術	
					新燃料燃焼技術	バイオマス、廃棄物、新燃料、水素・合成ガス、ディーゼル、アルコール、DME等対応燃焼	
					ヒートポンプ利用	高効率圧縮技術	高効率ヒートポンプ給湯機、高効率ヒートポンプ、地中熱利用ヒートポンプ、産業用、水冷媒冷凍機等
						膨張動力回収技術、高効率熱交換技術	
						次世代冷媒対応技術	
	低環境負荷冷媒技術						
	高効率加工技術	耐摩耗材料利用	電力・電磁気利用(含耐熱耐食材料開発)	プラズマ加熱、プラズマ・燃焼複合化技術	ガラス製造プロセス、化学プロセス、セラミック製造プロセス等		
				電気熔融、電気分解技術	製鉄プロセス、非鉄金属プロセス、製紙プロセス等		
				マイクロ波・誘導加熱技術	ヒートポンプ(吸着剤急速再生)、非平衡変換プロセス、高効率蒸留、製紙プロセス等		
				高均質加熱・選択的迅速加熱技術	燃焼合成技術、気中加熱/溶解技術		
				燃焼合成技術、気中加熱/溶解技術	ガラス製造プロセス、セラミック製造プロセス等		
				低温熱間加工技術	製鉄プロセス等		
	化学反応をうまく利用する	低温・定圧・高選択・高速化技術	触媒反応利用	高性能触媒・光触媒	化学素材プロセス、製鉄プロセス等		
				反応・物質移動高度分離利用	ナノ多孔体構造制御技術(ナノ空洞技術)		
				革新的分離(膜/電極利用技術)	化学素材プロセス、等高選択的气体透過メンブレンリアクター、燃料電池用電解質膜等		
				非平衡利用	第三体導入技術、反応・分離複合化技術		
				還元反応利用	還元温度制御技術 水素利用低炭素還元技術		
還元温度制御技術 水素利用低炭素還元技術				劣質原料・低温還元製鉄プロセス、化学素材プロセス等			
プロセス高度化技術		マイクロ空間反応場利用	マイクロ空間反応場利用	化学素材プロセス、セラミック製造プロセス、時空間分布制御反応器、石油化学プロセス等			
			光化学反応利用	近接場光技術			
			エクセルギー再生技術	プロセスインテグレーション技術	コプロダクション技術	製鉄プロセス、石油化学プロセス、セメントプロセス、製紙プロセス、化学素材プロセス、発電・加熱インテグレーション、加熱プロセスインテグレーション、鉄・炭素系資源複合変換、次世代高効率石炭ガス化発電技術等	
					ケミカルルーピング技術	ケミカルルーピング燃焼、ケミカルルーピング水素製造、CO2アクセプタ法等	
			可能な限り連携する	産業間連携技術	ユーティリティ・ネットワーク利用	コンビナート連携、エココンビナート構築、水素・水ビッチ、物質カスケード/リサイクルマネジメント、サステナブルカーボンサイクル化学体系、発電のインテグレーション等	
					産業用地域エネルギー管理システム(IE MS)、産業用地域エネルギー・ネットワーク(ILEN)	ネットワークモデル化・設計技術	
化石燃料に極力頼らない	常温に近い条件を使う	低環境負荷型プロセス技術	バイオ高度活用技術	有用宿主生物創製技術			
			酵素開発技術、糖化、発酵技術	バイオマスリファイナリー(コンビナート)、非石油系由来材料製造、排水・廃棄物処理プロセス、高機能窒素除去(硝化、脱窒)、高機能化活性汚泥処理等			
		高速伝熱技術	マイクロ空間伝熱場利用	成分分離技術(セルロース、リグニン等)、選択的分解前処理技術	バイオリファイナリー、非石油系由来材料製造等		
				マイクロリアクタ技術	マイクロ熱交換器等		

低燃料で走行する	エンジンの性能を向上させる	エンジン改良技術	ガソリンエンジン	HCCI(希薄予混合圧縮着火燃焼)
----------	---------------	----------	----------	-------------------

(先進交通社会確立技術)

超燃焼システム技術ロードマップ



コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030
最適な温度をうまくつくる	高効率加熱技術	電力電磁気利用	プラズマ加熱、プラズマ・燃焼複合化技術	スケールアップ技術 歩留まり向上	30%の低コスト化	チタン合金創製プロセス、合成樹脂、繊維製造プロセス セメント焼成技術 実適用先の拡大 石灰メルターを用いた溶鉄製造、希少金属分離回収、合金鉄製造
			電気溶融、電気分解技術	電気溶融、電気分解	プロセス基盤技術・設備技術研究、スケールアップ・最適化研究	銅片表面改質 実用化の検討、実適用先の拡大
	マイクロ波・誘導加熱技術	マイクロ波加熱	マイクロ空反応場 (マイクロリアクター、ナノ空孔など)	誘導加熱	チタン合金創製プロセス、高機能材料製造 電磁波などエネルギー投入による非平衡プロセス	
	高均質加熱・選択的迅速加熱技術	高均質加熱・選択的迅速加熱技術	高温下の短時間プロセス 小規模の実用化	中規模の実用化	大規模の実用化 ガラス製造プロセス	
高効率加工技術	耐摩耗材料利用	低温熱間加工技術	プロセス基盤技術・設備技術研究、スケールアップ・最適化 希少金属分離回収、合金鉄製造	次世代熱間加工プロセス 工業生産の開始		
化学反応をうまく利用する	低温・定圧・高選択・高速化技術	触媒反応利用	高性能触媒・光触媒	プロセス排ガス浄化技術(光触媒)	太陽光利用水素製造プロセス技術	サステイナブル・カーボンサイクル化学体系(SC3)の高度利用 ファインケミカル製造 量論・塩素酸化からの転換 過酸化水素利用拡大 直接酸素酸化 高効率酸化触媒の開発
			ナノ多孔体構造制御技術	高機能ナノポーラス材料の量産化技術	有機バインダの低減化技術開発	高性能複合材料製造 バインダレス造形技術の開発
	反応・物質移動高度分離利用	高選択技術	リターナルセラミックス製造プロセス	リターナルセラミックス製造プロセス	プリカーサを用いた低温(~100°C)セラミックス製造プロセス	
			触媒担持技術/担体の組成・構造・形態・物性の制御技術	固定化分子触媒、固定化酵素触媒	分子触媒・酵素の設計技術	新構造エンブラ製造触媒(IPP、sPS)
革新的分離(膜/電極利用技術)	革新的分離(膜/電極利用技術)	革新的分離(膜/電極利用技術)	高選択的膜技術(ナノ、サブナノスケールでの多孔体構造制御技術と原子レベル化学組成制御)	高選択的膜技術(ナノ、サブナノスケールでの多孔体構造制御技術と原子レベル化学組成制御)	電磁波などエネルギー投入による非平衡プロセス	
			ナノ~サブナノメートルスケールでの多孔体構造制御技術/原子レベル化学組成技術開発	ナノ~サブナノメートルスケールでの多孔体構造制御技術/原子レベル化学組成技術開発	電磁波などエネルギー投入による非平衡プロセス	
			H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub> の分離	H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub> の分離	H <sub>2</sub> O、CH <sub>3</sub> OHの分離	
			モジュール化技術(触媒、金属製分離膜との複合化)	セラミックス分離膜モジュールの量産技術確立 成膜技術(膜保持用基材の表面積化、触媒技術、担持技術)開発	省エネ型膜分離水処理装置	

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030		
化学反応をうまく利用する	低温・定圧・高選択・高速化技術	非平衡利用	第三体導入技術、反応・分離複合化技術	ラジカル注入反応プロセス				
				排ガス処理				
	プロセス高度化技術	還元反応利用	還元温度制御技術 水素利用低炭素還元技術	高反応性新塊成物 高炉低温操業原理 廃プラ、廃タイヤ活用 (高炉還元材比の10%削減)	継続的効率化推進	劣質原料・環境対応型革新製鉄プロセス 革新的製鉄プロセス		
				マイクロ空間反応場利用	マイクロリアクタ技術	高度制御反応場の構築 メンブレンリアクター部材として011化学反応系への適用	メンブレンリアクター	
		光化学反応利用	近接場光技術	近接場光相互作用プロセス技術の構築 自己完結型超平坦物質形成への適用				
可能な限り連携する	エクセルギー再生技術	プロセスインテグレーション	コプロダクション	従来法(部分酸化法) 原料多様化(石油残渣、石炭→低品位炭、バイオマス等)、高効率化、コスト低減				
				工業プロセスのエクセルギー損失低減 自己熱再生型工業プロセス	電力・物質のコプロダクション	次世代ガス化(エクセルギー再生技術)		
	産業間連携技術	ユーティリティ・ネットワーク利用	ピンチテクノロジー	ケミカル・水素製造、CO2アセタ法				
				物質ピンチ(水素、水 etc)、物質再生 プロトタイプ	物質ピンチ 実証試験			
		産業用地域エネルギー管理システム(IEMS)、産業用地域エネルギー・ネットワーク(ILEN)	ネットワークモデル化・設計技術	IEMS/ILEN FS	IEMS、ILEN 実証試験	実用化		
常温に近い条件を使う	低環境負荷型プロセス技術	バイオ高度活用技術	有用宿主生物創製技術	可溶化適合菌の探索・育種	機能的微生物集団のデザインと人工的創成			
				固体発酵適合菌の探索				
				有用菌の探索 主要菌の取得				
				好気・嫌気処理窒素除去、活性汚泥処理、堆肥化処理				
				有用生物等の効率的解析と改変技術			物質生産のための実用作物の作製	
				ゲノムクス、プロテオーム、メタボロームによる総合的な物質生産代謝の解析			物質生産のための産業用汎用微生物の創出	
				特殊条件で機能する酵素のスクリーニング 特殊条件で使用可能な宿主・ベクター系の開発	人工進化による特殊条件耐性酵素の創出	特殊条件で機能する酵素反応系の構築	物質変換の高効率化	
特殊条件耐性酵素の設計								
成分分離技術(セルロース、リグニン等)、選択的分解前処理技術			次世代型製造技術(高効率バイオリアクター、コンピューター培養制御)					
収集可能な原材料の選定(ソフト・ハードバイオマス、食品廃棄物など)と精質への変換・回収の実現			バイオリファイナリーによる化学品生産技術の実用化		生産物質のラインナップ			

# 時空を超えたエネルギー利用技術の技術戦略マップ

## ～エネルギーの需要・供給において時間と空間の制約を解消する技術～

### I. 基本的な考え方

産業プロセスでは利用されずに廃熱となるエネルギーは民生分野では利用価値のある場合が多く、産業分野から民生分野等へエネルギーを受け渡すことによってエネルギー消費の抑制が可能である。しかしながら、現状では産業分野と民生分野では発生と需要時間帯や場所、さらにはエネルギーの質と量が異なるために産業廃熱はほとんど民生利用されていない。また、民生分野においては、時間的ミスマッチにより熱や再生可能エネルギーが有効に利用できない場合が少なくない。

このように、エネルギーの需要と供給とのバランスを図るうえで制約条件となっている「時間」、「空間(場所)」のミスマッチ(不一致)を技術によって解消し、産業分野では使えなくとも民生部門ではまだ使えるエネルギーを捨てることなく民生で利用し尽くすため、エネルギーの需要と供給において、時間と空間の制約を解消し、いままで利用されていなかったエネルギーの利用を達成する技術戦略を策定した。

具体的には、エネルギーをうまく蓄え、うまく運ぶという観点から、3形態のエネルギー、すなわち、「熱エネルギー」、「電気エネルギー」、「化学エネルギー」の貯蔵と輸送を行うことを想定する。「熱エネルギー」の場合は、長距離の輸送が困難である現状を踏まえ、相変化物質や化学反応利用による潜熱蓄熱やバッチ輸送、蓄熱槽／パイプラインの高断熱化による熱輸送ロスの低減などの技術を通じて熱エネルギーの供給と需要のミスマッチの解消を図る。貯蔵が困難である「電気エネルギー」については、蓄電技術の高度化や送電ロスの低減を図っていく。水素、合成ガス、天然ガスなどの「化学エネルギー」は、貯蔵・輸送が比較的容易であることから、産業ではコプロダクションなどによるエネルギー回収技術を、民生側では燃料電池やコージェネレーションなどの分散型エネルギー利用技術の革新が期待されるので、これらの連携により、これまでできなかった化学エネルギーを橋渡しとしたエネルギーの使用合理化の実現を図る。

更には、エネルギーの供給と需要の計測と動向予測、制御技術の確立などにより、3形態のエネルギーを最適に活用するための基盤を形成することが実際の技術導入にあたっては重要な要素となるため、この分野における研究開発も積極的に推進する。

特に、時空を超えたエネルギー利用技術は、超燃焼システム技術や省エネ型情報生活空間創生技術など他の重要技術課題との連携が重要である。ヒートポンプや吸収式冷凍機などにより「熱エネルギー」の質を高め利用率を向上することや、インバータなどによる電力品質維持技術により太陽光や風力などの「電気エネルギー」の質を高めることにより、より高度なエネルギー利用を目指す。また、熱発電や、高品質なエネルギーと排熱の組合せによる発電により、余剰のエネルギーを余すことなく利用し尽くしていく。

### II. 導入シナリオ

時間、空間の各ミスマッチを「熱エネルギー」、「電気エネルギー」、「化学エネルギー」貯蔵、輸送を行うことによって解消し、産業分野における余剰エネルギーの利用と、民生分野のエネルギーの有効利用を実現することを念頭に置き、「熱」、「電気」、「化学エネルギー」のそれぞれに関する技術と、変換および質の向上によってこれら3つの形態を有機的に結びつける技術の将来像を描き、予測される技術の成熟度を基に技術導入を展開するシナリオを作成した。

中低温(60～120℃レベル)の蓄熱技術との組み合わせによるヒートポンプ給湯機／暖房機の普及拡大、蓄電池の高性能化による自然エネルギー導入の促進、水素貯蔵、輸送技術とコプロダクションとの連携などを中心として、これら「熱」、「電気」、「化学エネルギー」の3つの形態を有機的に組み合わせてエネルギーの使用合理化を実現する技術の早期確立や3分野の技術的な融合を進めることも重要な施策とした。

### III. 技術マップ及びロードマップ

## 1. 技術マップ

「熱エネルギー」、「電気エネルギー」、「化学エネルギー」の3形態により、エネルギーの貯蔵、輸送を行うことを想定し、それぞれの有効利用技術、これらの連携を有機的にする質の向上と転換技術、さらにはこれらを最適に活用するための評価技術をマップにした。

## 2. 重要技術の考え方

選定した主な重要技術は以下のとおりである。

“エネルギーをうまく蓄える”

### (1) 蓄熱技術

#### ① 顕熱・潜熱利用技術

(躯体化潜熱蓄熱、60~120℃レベル中温潜熱蓄熱技術、潜熱蓄熱低熱損失・機能化技術等)

#### ② 化学反応利用

(塩化物、酸化物—水系化学材料利用技術、熱プロセスへのハイブリッド技術等)

#### ③ 制御、シミュレーション技術利用

(蓄熱インテグレーション技術、ユーティリティスケジューリング技術等)

特に中温域(~120℃)の蓄熱では、貯湯槽の小型化によるヒートポンプ給湯機/暖房機普及拡大を目的とした60~75℃レベルの潜熱蓄熱技術が求められている。蓄熱材料として古くから知られている $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ などの無機材料や有機材料であるパラフィンの利用が考えられる。120℃レベルであれば人口甘味料として使用されている材料が、潜熱量が大きく、かつ安全性にも優れており、中温域の潜熱蓄熱材として有望である。さらに添加剤を加えることにより相変化温度と潜熱蓄熱量を制御することが可能となる。中温域での蓄熱には多価アルコールを中心とした蓄熱材料開発が今後有望となってくると考えられるが、有機材料の探索は十分でなく、今後の検討の進展が期待される。

### (2) 蓄電技術

#### ① 化学反応利用

(高電流密度化、高効率充放電技術、変動発電量平準化技術等)

#### ② 電気利用

(電気2重層キャパシタ技術)

充放電可能な二次電池が、高密度化の達成とともに様々な分野で利用されているが、リチウム・イオン電池やニッケル水素電池においても価格の低下は、世界的な需要の増加と希少資源の重要性のため十分に見込めない。この分野では日本は世界をリードする立場にあり、希少資源を使わない高性能電池の開発は日本の技術の生き残りのためにも最重要課題である。

電池が量的に確保できて十分に安価になるには普及の促進が必要である。「安価な夜間電力を貯蔵」して「高価な昼間の電力を節約する」のがひとつの方策である。また電池の寿命の問題もある。そこで、プラグイン・ハイブリッド車への充電をより積極的に利用することが考えられる。電池を交換可能にすれば、昼間も家庭や職場に充電電池が存在することになり、電力系統全体でその有効利用を図ることができる。

太陽光発電・風力発電および負荷の電力変動の吸収も重要な課題である。充電量を変動させて負荷電力平準化を実現するようなシステムが求められる。電池の充電電流を変動させること自体は困難ではないが、所有者の利便性と電池の寿命や充電効率への悪影響を最小限にするような配慮と制御が必要と考えられる。



“エネルギーをうまく輸送する”

(3) 熱輸送技術

① 連続輸送

(高断熱技術)

② バッチ輸送

(サーマルプラグイン技術、コンテナ高断熱技術、移動体用冷熱蓄熱技術)

(4) 送電技術

① 低電気抵抗/直流送電利用

(超電導利用技術、高性能交流直流変換技術、直流出力分散電源との直接接続等)

送配電系も含め現用の電力システムでは、既に機器の高効率化が実現されているものの、効率をわずかにでも改善することができれば、大きな省エネルギーにつながる。超電導技術は、電気抵抗がゼロになるという特長を有しており、電流が流れる際のエネルギー損失の大幅な削減を可能とする。交流の超電導ケーブルでは、低インピーダンスの送配電回路を構成できることから、電力系統の高安定度を維持した状態で電力の融通能力の向上が期待できる。また、直流を用いれば、超電導ケーブルはより一層の効果を持つと考えられる。交流・直流の電力変換技術がキーテクノロジーのひとつになる。

直流出力分散電源(太陽光発電・燃料電池、など)の普及のためには電力変換装置の小型軽量化の必要性が高くなる。高周波化がキーテクノロジーの一つであるが、磁性材料中での損失が顕著になってくる。部品の中では磁性材料の進歩が不足していると感じられる。その重要性が認識されるべきであると思われる。今後、自動車などの輸送機器においても、モータやインバータが多用されるようになると同様の要請が出てくると考えられる。

“化学・熱・電気の総合エネルギー効率を向上する”

(5) 需要・供給の計測・動向予測技術、最適評価・設計手法

① シミュレーション、モニタリング、システム最適化利用

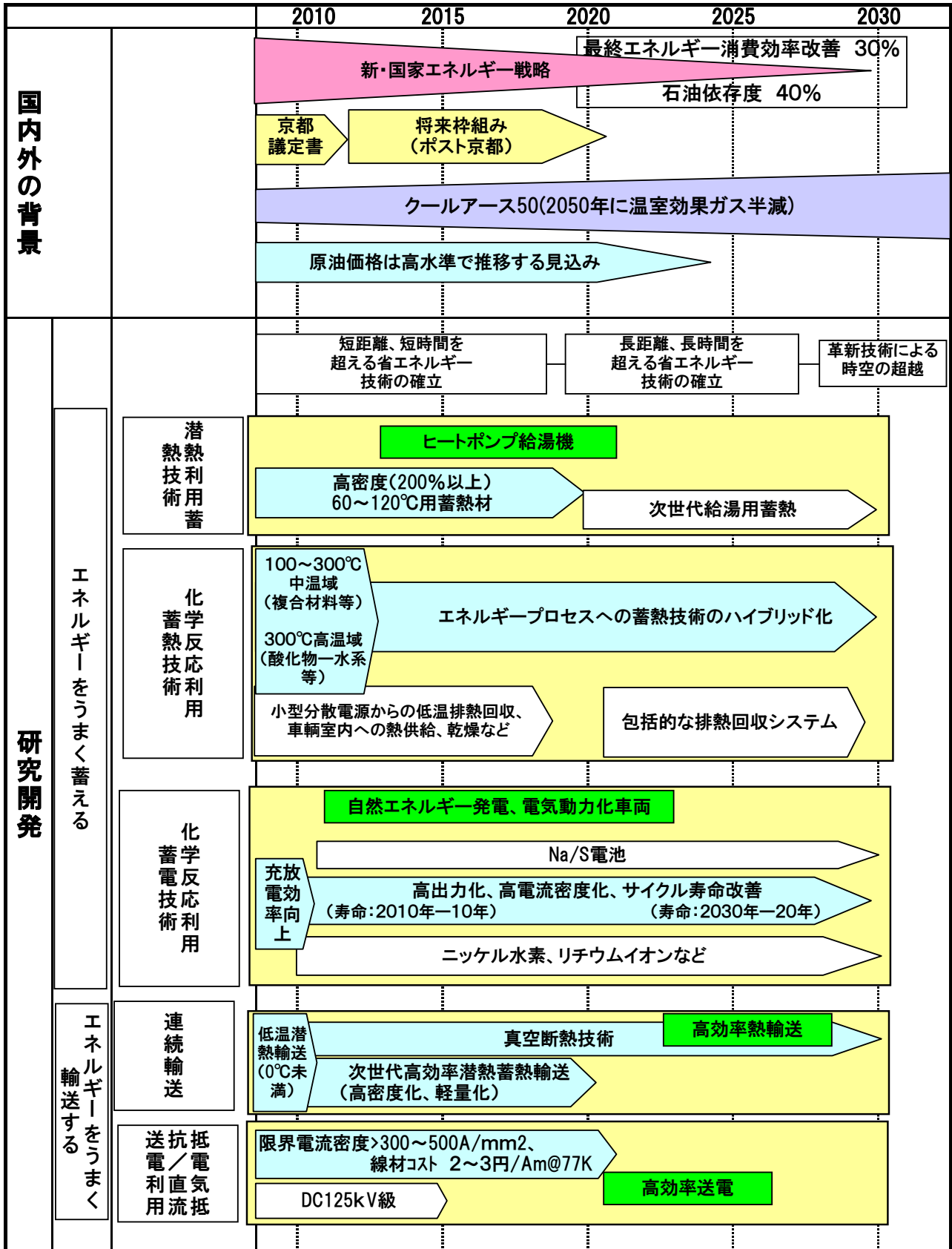
(エネルギー消費シミュレーション解析技術、システム構築・最適化技術等)

基幹発電機の起動・停止や出力調整の操作を減らし、高効率運転域の維持を可能とする平準化運用・制御技術(太陽光・風力等の大量導入時においても基幹電源側への影響が少なくなるような、エネルギー貯蔵や負荷のマネジメント技術)を電力システムに適用することによって、基幹電源の発電効率が改善できれば、省エネ効果を得ることが可能となる。

3. ロードマップ

ロードマップにおいては、技術マップの項目の技術開発の時期と普及時期について時間軸に展開した。効率向上を主とする課題については、極力目標値を示し開発の目安とした。

# 時空を超えたエネルギー利用技術の導入シナリオ



		2010	2015	2020	2025	2030
導入促進・関連施策		ヒートポンプの導入促進				
		熱,電気,化学エネルギー3分野の技術融合の促進		省エネ効果の大きな余剰・未利用エネルギー利用への補助		
			エネルギー・ネットワーク・インフラの整備			
			規制緩和、特区の利用			
			産業と民生の融合を可能にする都市計画			

時空を超えたエネルギー利用技術 技術マップ

※赤字:重要技術  
※青字:クール7-50-革新技術計画に関連する技術

時空を超えたエネルギー利用技術

技術分野		分野構造			備考
分野	コンセプト	大項目	中項目	小項目	適用分野例
余すところなくエネルギーを利用しつくす	エネルギーをうまく蓄える	蓄熱技術	顕熱・潜熱利用 (無機水和塩、溶融共晶塩、有機利用)利用	躯体顕熱蓄熱技術、長期顕熱蓄熱(年間、季節など)技術、高機能熱隔離技術	高効率ヒートポンプ給湯機、暖房/給湯用蓄熱、乾燥プロセス、機関駆動熱源、高度水蓄熱、モバイル蓄熱等
				躯体化潜熱蓄熱、高温・高密度化潜熱蓄熱技術、昇華熱利用技術	
				60~120℃レベル中温潜熱蓄熱技術(耐熱カプセル化、懸濁化、エマルション化技術)	
				潜熱蓄熱低熱損失・機能化技術	
				アクティブ技術(圧力制御型、多温度型、自己制御型)	
		化学反応利用	塩化物、酸化物-水系化学材料利用技術、熱プロセスへのハイブリッド技術	暖房、給湯、乾燥プロセス、機関駆動熱源、高度水蓄熱等	
		吸収・吸着利用	シリカゲル-水系、ゼオライト-水系、活性炭-アンモニア系物理材料利用技術	吸着式冷凍機、デシカント空調、ハイブリッド熱再生デシカント空調等	
		制御、シミュレーション技術利用	蓄熱インテグレーション技術、ユーティリティスケジューリング技術、センサレス高度統合蓄熱制御技術、多点計測制御型高度蓄熱制御技術、学習機能付加制御、高度追従制御	蓄熱システム全般等	
		蓄電技術	化学反応利用(二次電池)	高電流密度化、高効率充放電技術(エネルギー密度、充放電効率、寿命の向上)、変動発電量平準化技術、高効率DC/DC変換回路技術	大容量(NaS)、中容量(ニッケル水素、リチウムイオンなど)、モバイル用電池等
				電気二重層キャパシタ技術(エネルギー密度、充放電効率、寿命の向上)	高速充放電システム等
	電気利用		超電導コイル技術(大電力、高速応答、充放電効率、超電導線材の向上)	超電導磁気エネルギー貯蔵等	
	運動エネルギー貯蔵技術	超電導利用	高効率軸受技術	超電導フライホイール等	
	化学エネルギー貯蔵技術	水素、ガス、液体燃料化利用	タンク耐圧技術、高速充填技術、高効率液化技術、ボイルオフ低減技術、低動力圧縮技術、水素吸蔵技術、水素キャリア液体燃料技術、酸素製造技術(高効率燃焼・発電)、インフラ設計、ガス化技術、合成燃料製造技術	燃料電池発電、水素燃焼、水素ステーション、IGCC、IGFC等	
	エネルギーをうまく輸送する	熱輸送技術	連続輸送	高断熱技術(真空、高機能流体)	配送配管、蓄熱槽、低抵抗輸送等等
				マイクロカプセル化技術、エマルション化技術、スラリー分散性制御	0℃以下、水スラリー、潜熱マイクロカプセル、エマルジョン熱輸送等
長距離建物間冷媒搬送技術、高効率熱輸送・直膨張型高効率熱交換技術				低抵抗輸送等	
バッチ輸送			サーマルプラグイン技術、コンテナ高断熱技術、移動体用冷熱蓄熱技術	雪氷熱輸送、サーマルプラグイン(移動体空調)、中低温潜熱輸送、高エネルギーバッチ輸送等	
送電技術		低電気抵抗/直流送電利用	超電導利用技術(大容量電力輸送技術、省エネ電圧電流変換技術、省エネ故障電流制限技術) 高性能交流直流変換技術、直流出力分散電源との直接接続、直流機器への最適直流配線システム技術	大容量送電、限流器、省エネトランス、船舶用モータ、電力・産業用モータ等 大容量送電等、高速通信等	
			熱電変換利用	熱電発電材料技術、ノンフロン型媒体利用技術、排熱ガスタービン回収発電	低温度差発電、熱電発電等
化学エネルギー輸送技術		水素利用	バッチ可搬技術、吸蔵合金軽量化技術、高圧充填圧縮技術、断熱技術	水素利用エネルギー輸送等	
光エネルギー伝送技術		レーザー利用	太陽光励起レーザー	太陽エネルギー輸送等	
輸送適正化技術		物質・エネルギーのスケード利用、シミュレーション利用	物質(水素、水等)ならびに物質、物質再生ピンチテクノロジー、インフラ設計の適正化技術	化学プラントなど各種プラント、IEMS、ILEN等等	
3形態を最適に活用する		化学・熱・電気の総合エネルギー効率を向上する	需要・供給の計測・動向予測技術、最適評価・設計手法	シミュレーション、モニタリング、システム最適化利用	エネルギー消費シミュレーション解析技術、エネルギー消費量モニタリング技術、システム構築・最適化技術

時空を超えたエネルギー利用技術 ロードマップ

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030		
エネルギーをうまく蓄える	蓄熱技術	顕熱・潜熱利用	顕熱蓄熱 躯体顕熱蓄熱技術 長期顕熱蓄熱技術	低熱損失化				
			高機能熱隔離技術	躯体化	次世代高効率躯体蓄熱			
				熱隔離槽・高機能熱隔離躯体		季節熱利用		
			潜熱蓄熱 高温・高密度化技術	高温・高密度化(～800℃)		自己制御蓄熱		
				圧力制御蓄熱 多温度型蓄熱蓄熱				
			昇華熱利用技術	次世代昇華潜熱蓄熱材		昇華潜熱蓄熱		
			60から120℃中温蓄熱技術 (耐熱カプセル化、懸濁化、乳化技術)	高密度(200%以上)・60～120℃用蓄熱材(カプセル化、懸濁化、乳化)		次世代給湯用蓄熱		
				潜熱を利用した地中蓄熱技術				
			低熱損失・機能化技術	低熱損失・機能化		モバイル蓄熱、曇天太陽暖房		
			躯体化蓄熱	躯体化		高密度パッシブ蓄熱		
			化学反応利用	100℃以下蓄熱	CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O系利用実証試験			
				100-300℃中温域	MgCo(OH)系利用実証試験			
300℃以上高温域	CaO-H <sub>2</sub> O、MgO-H <sub>2</sub> O利用実証試験							
			エネルギープロセスへの蓄熱技術のハイブリッド化					
制御、シミュレーション技術利用	センサレス高度統合蓄熱制御技術	高度予測制御		センサレス高度統合蓄熱制御				
	多点計測制御型高度蓄熱制御技術	多点計測技術		多点計測制御型高度蓄熱制御システム				
	高度追従、学習機能付加制御	基礎技術開発、実証試験						
	蓄熱予測技術	需要量・時間、季節変動、効率						
蓄熱インテグレーション技術 ユーティリティスケジューリング技術・融合技術		蓄熱DB開発	システム開発	実プラント適用				
蓄電技術	化学反応利用(2次電池)	高電流密度化 高効率充放電技術 変動発電量平準化技術	充放電効率向上		Na/S電池			
			高出力化、高電流密度化、サイクル寿命改善(寿命:2010年-10年)		(寿命:2030年-20年)			
					ニッケル水素、リチウムイオン			
化学エネルギー貯蔵技術	水素利用	タンク耐圧技術	耐久性の向上、高強度材料の開発		高圧タンク			
		ボイルオフ低減技術	ボイルオフ低減、容器の軽量化・コンパクト化		液体タンク			
		水素吸蔵技術	材料探索、性能向上		水素貯蔵材料			

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030
エネルギーをうまく輸送する	熱輸送技術	連続輸送	高断熱技術	真空断熱技術		
			マイクロカプセル化技術 エマルション化技術 スラリー分散性制御	低温潜熱輸送 (0°C未満)	次世代高効率潜熱蓄熱輸送 (高密度化、軽量化)	
				超長距離建物間冷媒搬送 高効率熱搬送・直形型高効率熱交換		
				真空断熱パイプライン	地域熱ネットワーク (効率向上)	
	バッチ輸送	コンテナ・建物高断熱技術 (100°C以上)	耐熱・高断熱化 (100°C以上)	中温熱バッチ輸送 (~120°C)		
			高温・高密度化 (~800°C) 技術	高温・高密度化 (~800°C)	高温熱バッチ輸送	
			吸収吸着利用技術	パッケージ化、耐久化	高エネルギーバッチ輸送	
			超電導利用技術	限界電流密度 >300~500A/mm <sup>2</sup> 、線材コスト 2~3円/Am@77K		
	送電技術	低電気抵抗利用 / 直流送電利用	高性能交流直流変換技術	長尺化 数百m~1km, AC66kV級 高電流化 5~10kA		
			超電導利用技術	高電圧化 DC125kV級		
光エネルギー伝送技術	レーザー利用	太陽光励起レーザー	太陽光励起レーザー利用太陽エネルギー利用技術			
輸送適正化技術	物質・エネルギーのカスケード利用	物質ならびに物質再生ピンチテクノロジー	物質ピンチ、物質再生プロトタイプ 実証			
3形態のエネルギー (化学、熱、電気) を最適に活用する	需要・供給の計測・動向予測、最適評価・設計手法技術	シミュレーション、モニタリング、システム最適化利用	エネルギー消費シミュレーション解析技術	データ収集・シミュレーション技術	シナリオ作成・検証技術	
			エネルギー消費量モニタリング技術	調査・計測・評価 予測手法確立		
			システム構築・最適化技術	制御技術の確立 連携手法の確立		
				評価手法確立・設計手法確立	導入・普及	
			規模別連携システム設計・社会システム設計			

## 省エネ型情報生活空間創生技術の技術戦略マップ ～快適で効率的な生活・業務環境を実現する技術～

### I. 基本的な考え方

民生(家庭・業務)部門では、ライフスタイルの変化に伴って運輸部門と並んでエネルギー消費が大きく伸びてきた傾向が今後も加速すると予測される。エネルギー消費量増大の要因は、エレクトロニクス技術の進展に伴う空調機器や情報機器、照明機器、自動化機器などの広範な普及にあり、抜本的な解決のためには、現在の豊かな生活や十分な便益を維持しつつエネルギーの使用合理化を達成する技術の開発・導入を始めとする実効的な対策の実施が求められている。

家庭やオフィス等では、エネルギー消費の大きな部分を占める冷暖房、給湯などの熱利用の効率化が従来からの重要な課題である。また、ライフスタイルの変化の観点からは、全室空調の増加、大画面テレビや高度情報化機器の増加、大型冷凍・冷蔵庫の普及拡大、夜型生活による照明電力の増加などは、生活の高度化とエネルギー消費の抑制という、相反する課題を満たす技術開発が重要となることを示している。この増エネ要因に対し、トップランナー方式による各機器の省エネを進めるとともに、自動的にしっかりと省エネする仕組みとして、人の好みや行動パターンに応じたエネルギー・マネージメントの普及を促進するなどの積極的な対応が必要になってきている。その際に快適性の向上や見守りや異常検知など安全性向上のシステムなどとも一体的に取り組み、更なる普及に努めることが重要である。

また、高齢化社会の到来は介護・自立支援用ベッド、電動車椅子、家庭用昇降機などのロボット化が進展することが予想される。ロボット化した各機器の省エネ化技術を開発、促進し、加えて住宅・建築物など各主体から有用エネルギーを外部環境に廃出しない取り組みや、自然エネルギーの取込みも必要である。このためには、民生分野における電気、熱、水素エネルギーの回生、蓄積、転換などの新しい技術開発が不可欠である。そして、この開発に即したエネルギー利用技術の開発や、既存のエネルギー供給インフラとの連携・協調技術の開発、さらにはクラスター型エネルギーマネージメントシステム(CEMS)を含む面的エネルギー・マネージメント技術を含む相互連携技術の開発が急務である。

一方、ビルのインテリジェント化や新しい情報ビジネスの拡大等に伴い、通年冷房を行うビルが拡大し、延べ床面積あたりのエネルギー消費原単位や空調運転時間が増大する傾向にある。このため、冷熱源設備機器や空調動力におけるエネルギーの使用合理化対策や建物構造及び機能建材によるエネルギーの使用合理化のみでなく、熱需要を増大させている情報機器や照明及びそれらへの電力供給設備、さらにこれらの機器・設備を構成する半導体などを含む電気・電子部品や動力部品の発熱低減のようなエネルギーの使用合理化対策や、オンサイト分散型電源・エネルギー貯蔵、ヒートポンプ技術の高度有効利用技術開発も重要である。

### II. 導入シナリオ

民生(家庭・業務)部門では、住宅やビルなどの躯体や家電機器、事務機器、ユーティリティ設備等のハードウェアの省エネを技術開発の促進やトップランナー規制等で推進すると共に、日々の生活・業務環境でエネルギーの使用方法の改善、すなわちソフトウェア的、システム的な省エネを推進することが重要である。特に住宅やビルは一度建設すると簡単に改修はできないことから躯体や設備が組み上がった状態での総合的な性能を事前に精度よく予測評価するための技術が重要である。

高度情報化社会の広がりと共に普及が進みつつある情報ネットワークを活用したエネルギー・マネージメントシステム(HEMS/BEMS 等)は、重点課題として関連の新技术開発や導入・普及を促進する必要がある。また、HEMS/BEMS の設置はそれ自体のエネルギー消費によって増エネになることから、待機電力の極小化や、導入・普及によって生じる省エネ効果と利便性の向上効果を十分に評価した上で適切な箇所に設置を進めることが肝要である。さらに、加速的な普及に向けては快適性の向上や安全性の向上などの付加的なサービスと一体となった省エネ技術の開発を進める必要がある。

家庭やオフィス等の現状から判断すると、「エネルギーの使用合理化」は必ずしもエネルギー使用機器・設備のコスト・パフォーマンスや事業の自立性という観点からは十分な力を持ち合わせていない。

少子高齢化社会における「安心・安全」や「情報サービス」などと合わせた多様なサービス体系に組み込むことにより、コスト低減や導入の加速化を進める必要がある。加えて、民間レベルでは回避し難い事業リスクを緩和し、「エネルギーの使用合理化」が事業として自立、強化できるための諸方策を、国のレベルでも積極的にとる必要がある。

### Ⅲ. 技術マップ及びロードマップ

#### 1. 技術マップ

「快適で効率的な生活・業務環境の実現」に必要な不可欠なエネルギーの使用合理化技術開発を、「I. 基本的な考え方」に従い、“快適な空調環境をうまくつくる”、“快適な照明環境をうまくつくる”、“快適な情報空間をうまくつくる”、および“エネルギーをうまく管理する”に区分し、省エネポテンシャルと技術の成熟度、経済性、及び他分野への波及効果の観点から重要度の高い以下の技術課題を選定し、技術マップを作成した。なお、家庭やオフィス等へのエネルギー供給関連の技術については他の重要技術課題で整理されているので以下ではエネルギー需要サイドから必要な技術を取上げた。

#### 2. 重点技術の考え方課題

選定した重要技術は以下のとおり。

#### “快適な空調環境をうまくつくる”

##### (1) 能動的空調、給湯技術

- ① ヒートポンプ利用
- ② 潜熱・顕熱分離利用
- ③ 高効率抜熱方式利用
- ④ 制御技術利用

CO<sub>2</sub> ヒートポンプ空調機／給湯機など、空調／給湯機の小型・高性能化技術による、より一層のエネルギーの使用合理化を図る次世代技術の研究開発は、空調／給湯が民生部門の5割超を占めており、高効率機器の投入／普及の効果は大きい。

潜熱顕熱分離空調は、「顕熱処理の空気吹き出し温度上昇による効率向上」や「暖房時の加湿効率向上」など、大きな効果が期待できる。インバータ熱源機の最適統合制御は、部分負荷運転が多いケースや冬季冷熱負荷があるケースにおいて、大きな削減効果を発揮する。また、人感センサー、CO<sub>2</sub>センサーなどの活用と建物利用者間の協調および最適制御ロジック構築により、削減効果が期待できる。

##### (2) 受動的空調技術

- ① 自然換気利用(自動協調換気制御)
- ② 断熱・遮熱利用(超高性能断熱材、断熱性可変システム等)
- ③ 窓の高機能化(超高断熱ガラス、日射透過率可変ガラス、インテリジェント窓システム等)
- ④ 日射遮蔽化(外装日射制御システム)
- ⑤ ヒートアイランド対策(太陽エネルギー高反射処理)

室内外の温度差による浮力、風力による自然換気を機械換気と適切に組み合わせることにより、送風機のエネルギーを節約できる。

断熱・遮熱技術は、躯体、設備のいずれにも有用なので期待は大きい。建物の負荷をゼロに近づけるためには必須の技術であるが、今後の内部発熱の増加次第では年間冷房が必要になるかもしれない、超高性能の前に従来型の適切な断熱と気密で対応することも必要である。



窓の高機能化は、負荷をゼロに近づけるためには必須であり、窓材料の改善・開発とその普及による効果は大きい。

ヒートアイランド対策である近赤外域での高反射は、色(可視域)の自由度を損なわず実現可能であり、可視域の反射率向上も重要である。屋上緑化よりも低コストで効果大きい。

### (3) 受動的給湯技術

#### ① 再生可能なエネルギー利用(建材一体型太陽熱利用等)

太陽熱給湯器の普及の鍵はデザインであり、建材一体型の機器の開発は普及に欠かせない。システムを高度化する余地はある。

## “快適な照明環境をうまくつくる”

### (4) 新光源技術

#### ① 新素材利用(省エネ高演色性光源技術)

#### ② 蓄光、昼光利用(蛍光材料/蓄光材料、光ダクト、ライトシェルフ、自動ブラインド等)

照明分野もエネルギー消費が多い分野であり、使用目的に応じた照度抑制と合わせて、大きな省エネルギー効果が期待される。白熱灯、ハロゲンからの代替が期待される。高効率LED照明は、建築の内装材に組み込まれることにより新しい照明環境が実現できる。一方、有機EL照明は、面発光の長所を生かして室内照明の全面代替が期待される。いずれも色調変更などの付加機能も期待できる。

昼光を有効に利用するシステムはオフィスでは一般的になっているが、家庭では普及していない。ニーズに対応できるシステムが開発されれば普及の可能性は大きい。光ダクトは地下階などへの応用範囲は広い。

### (5) 照明システム技術

#### ① 新デザイン、制御利用

照度を感知して照明器具を制御するシステムは、既に多くの新築建物で採用されている。人感センサーなどの活用と建物利用者間の協調および最適制御ロジック構築により、削減効果が期待される。

## “快適な情報空間をうまくつくる”

### (6) ディスプレイ技術

#### ① 新デバイス利用(有機EL技術、LED技術、省エネPDP、省エネLCD等)

#### ② システム技術利用(高機能システムディスプレイ)

省エネ PDP、省エネ LCD、高分子有機 EL、高機能化システムディスプレイ等の次世代の省エネ型ディスプレイ及び関連技術の研究開発である。省エネ PDP に関しては、プラズマチューブアレイの省エネ化効果大きい。高機能化システムディスプレイは極限ゲート構造TFTにより消費電力が低減できる。

### (7) 省エネ型高速通信技術

#### ① フォトニックネットワーク技術

(半導体レーザ、超電導ネットワークデバイス通信装置、光通信用合波回路機能光源モジュール、次世代高速通信機器技術等)

#### ② システム制御技術利用

(データ配置最適運用技術、省エネ型ネットワークアーキテクチャ技術等)

通信に関する電力消費の中で、圧倒的な割合を占め、かつ今後も大幅な伸びが予想されているデータセンタおよび関連情報通信機器への対策強化が最も有効であることから、これらの省電力化に注力することが必要である。また情報通信機器は、性能強化に伴う消費電力の増加抑制へ向け、今後も継続的な低消費電力化への取組みが必要である。

## “エネルギーをうまく管理する”

### (8) エネルギー・マネジメント技術

- ① 待機電力削減、待機電力削減、新デバイス利用  
(建築設備の待機電力省エネ化技術、電源のパワーマネジメント技術等)
- ② 環境性認識行動  
(人の好みや行動パターンも考慮した最適省エネ運用制御、HEMS 等の要素としての高度情報化対応技術、デジタル情報機器相互運用基盤開発)

空調、照明、ディスプレイ、通信機器等の情報家電そのものの省エネ化を進めるとともに、これらをネットワーク化して更なる省エネを始めとする付加サービスを組み込める技術開発。

情報家電機器間で相互に情報を交換してエネルギーの制御をするためには、エネルギーを扱っている電源部を自由にコントロールすることが不可欠である。そのためには、機器の電源部の制御を従来のアナログ制御からデジタル制御に変えることが有効である。また、住宅やビルでの高効率な冷暖房・給湯・調理・照明等の効果的な組み込み、人の好みや行動パターンに応じた制御技術(HEMS/BEMS)の開発、及び当該技術の効果把握や予測手法の開発、ならびに住宅・ビル全体での総合的な省エネ性能、環境性能、利便性向上などを事前に精度よく予測する技術の開発が必要である。

### (9) 相互連携技術

- ① 面的エネルギー・マネジメント技術利用  
(HEMS/BEMS と再生可能エネルギー・未利用熱利用との有機的連携)
- ② ネットワーク利用  
(ユビキタス・センサ・ネットワーク、BA/FA 統合プラットフォーム技術等)
- ③ 社会システム技術利用(環境調和型コンパクトシティ)

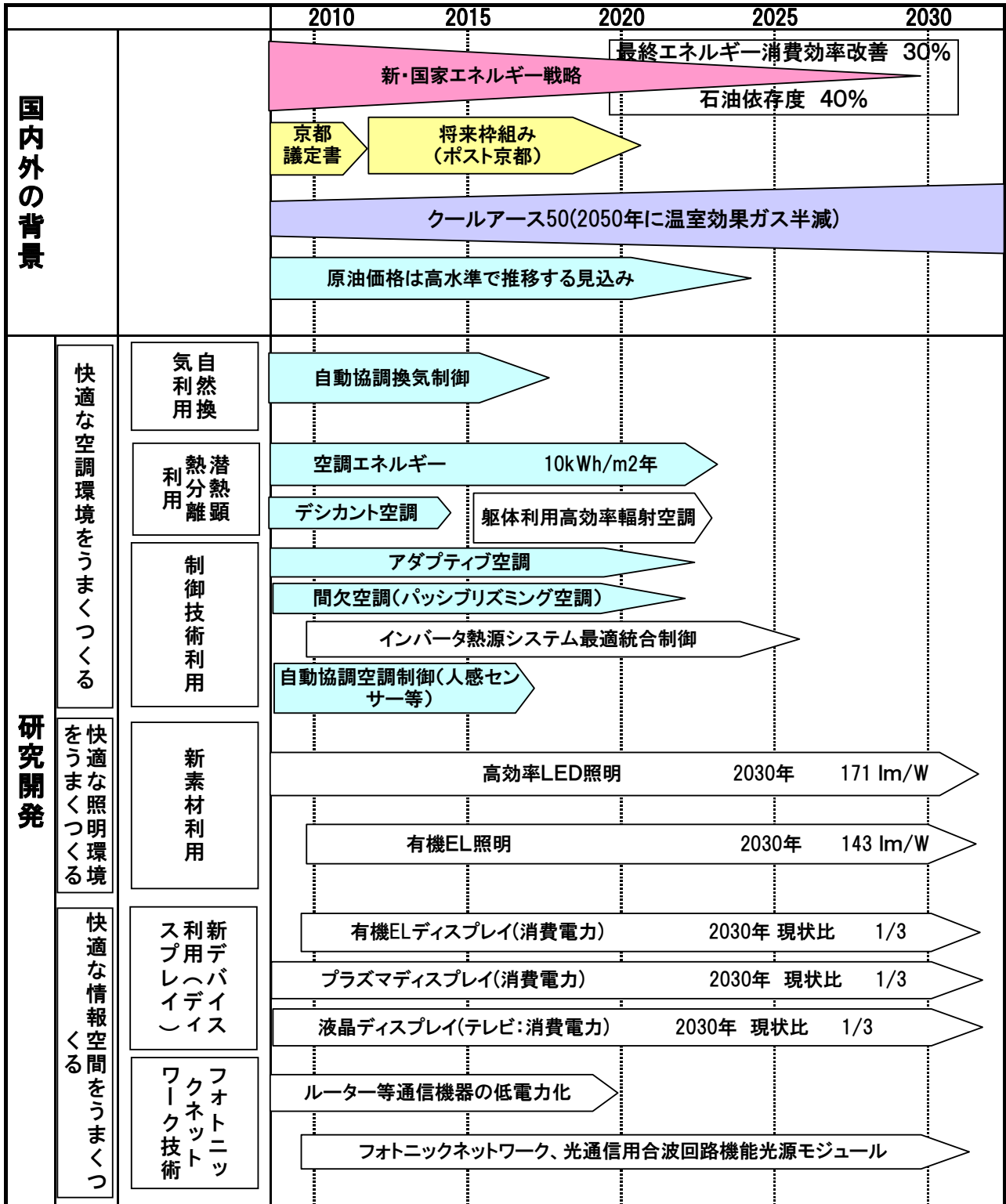
従来は別々に開発されてきた HEMS、BEMS 及び排熱回収システム、蓄エネルギーシステムなどが有機的に連携する仕組みづくりが重要な課題である。これには、自然エネルギーの利用やバイオマスなどの再生エネルギーの利用も組み込むべき課題である。ただし、有機的連携には、まず、各主体が最大限のエネルギーの使用合理化対策を実施し、その上でエネルギーを融通しあう主体は地域内での省エネルギー最適化とエネルギー供給に責任を持つことが肝心である。都市全体の構成や運用などの改善を目指す環境調和省エネ都市プランや既存のエネルギー供給インフラと連携・協調する社会システム技術や、都市、ビル内の人と物の移動に関わるエネルギー消費の低減技術開発も重要な課題である。また、加速的な普及に向けて快適性の向上や安全性の向上などの付加的なサービスと一体となった省エネ技術の開発を目指す。

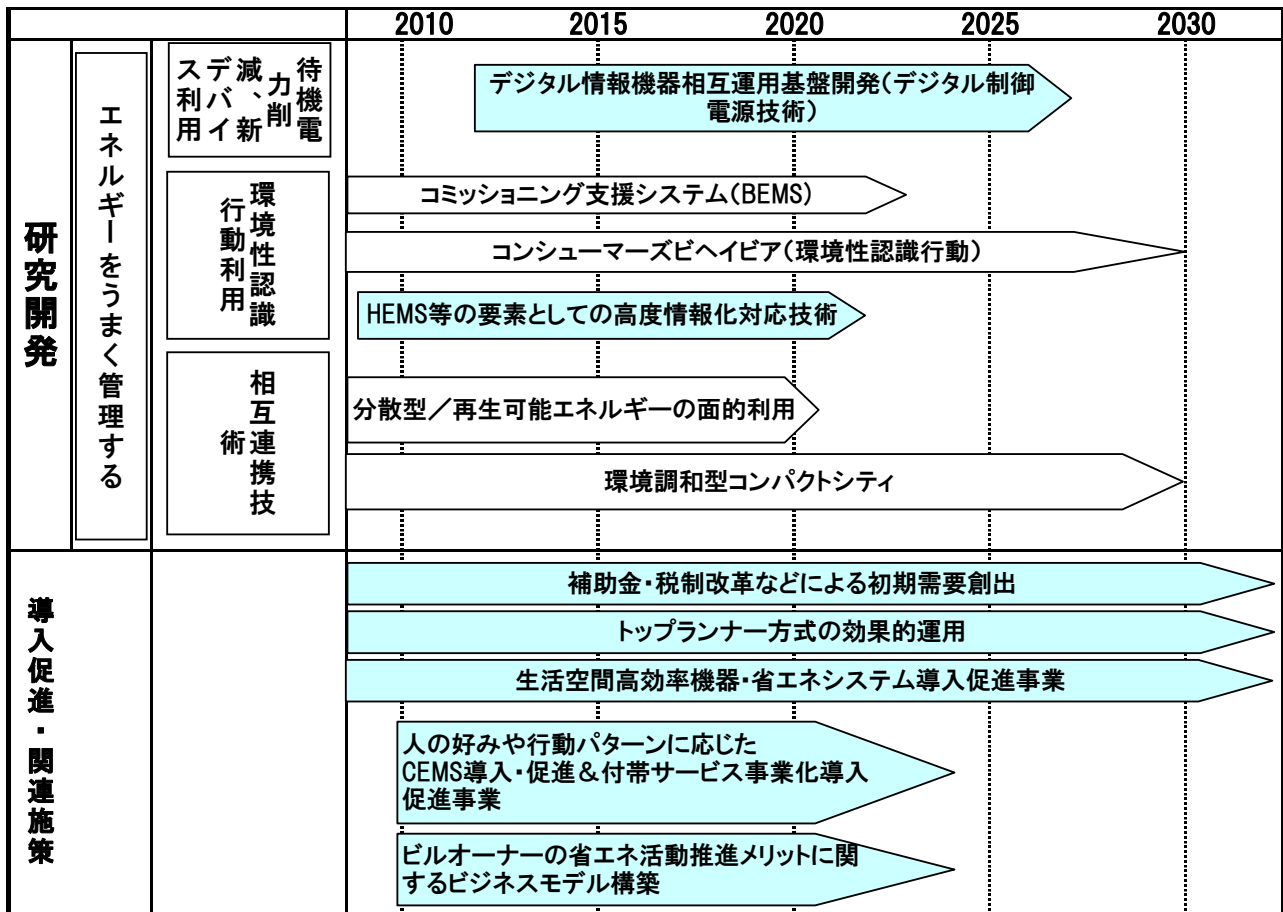
また、高効率設備を統合してエネルギーを革新的に低減させたゼロエネルギー住宅、ゼロエネルギーオフィスや、さらに発展させたエネルギー生産住宅、ゼロカーボンオフィス等に関する技術開発も重要である。

## 3. ロードマップ

上記2. により選定した重要技術について、今後の技術課題を中長期的視点から整理し、ロードマップとして示した。

# 省エネ型情報生活空間創生技術の導入シナリオ





省エネ型情報生活空間創生技術 技術マップ

※太字:重要技術  
※青字:クール7-250-革新技術計画に関連する技術

技術分野		分野構造		
分野	コンセプト	大項目	中項目	小項目
省エネ型情報生活空間創生技術	快適な空調環境をうまくつくる	能動的給湯技術	ヒートポンプ利用 (超燃焼システム技術)	高効率ヒートポンプ給湯機 低外気温稼動空気熱源ヒートポンプ給湯機
		受動的給湯技術	再生可能エネルギー利用 (太陽光、バイオマス、地熱など)	自然エネルギー連成型潜熱回収技術 建材一体型太陽熱利用
		受動的空調技術	自然換気利用	自動協調換気制御
			断熱・遮熱利用	超高性能断熱材(マルチセラミック膜、低真空断熱等)、断熱性可変システム
			窓の高機能化	超高断熱ガラス(Low-E複層、真空断熱等)、日射透過率可変ガラス(液晶調光、熱制御等) インテリジェント窓システム(ダブルスキン、自動ブラインド等)
			日射遮蔽化	外装日射制御システム(自動制御庇、外付けブラインド)
			ヒートアイランド対策	太陽エネルギー高反射処理(近赤外域)
		能動的空調技術	ヒートポンプ利用 (超燃焼システム技術)	超高性能ヒートポンプ 低外気温稼動空気熱源ヒートポンプ、地中熱利用冷暖房技術 地中埋設型熱交換技術、住宅排熱回収技術、寒冷地効率向上技術
			潜熱顕熱分離利用	吸収・吸着技術、輻射熱技術
			高効率放熱方式利用	高効率放熱技術
			制御技術利用	アダプティブ空調技術 インバータ熱源システムの最適統合制御、自動協調空調制御(人感センサー等)
			新光源技術	新素材利用 省エネ高演色性光源技術(高効率LED照明、有機EL照明) 蓄光利用、昼光利用 蛍光材料、蓄光材料の開発 昼光・蓄光ハイブリッド 光ダクト、ライトシェルフ、自動ブラインド
	快適で効率的な生活・業務環境を実現する	快適な照明環境をうまくつくる	照明システム技術	新デザイン、制御利用 クラスター発光光源、マイクロキャビティ光源 自動協調照明制御(人感センサー等)、ゾーン・タスクアンビエント、色調変更照明技術
			ディスプレイ技術	新デバイス利用 有機EL技術(大画面化)、LED技術 省エネPDP(プラズマチューブアレイ) 省エネLCD(開口率、バックライト効率、バックライト制御、電子ペーパー) システム技術利用 高機能システムディスプレイ(極限ゲート構造TFT)
	快適な情報空間をうまくつくる	省エネ型高速通信技術	システム技術利用	半導体レーザー、次世代高速通信機器技術 超電導ネットワークデバイス、光パズネットワーク技術 光通信用合波回路機能光源モジュール技術
			システム制御技術利用	データ配置最適運用技術、省エネ型ネットワークアーキテクチャ技術
			レーザー利用	微細加工技術、光波制御技術
			電子レベル磁場利用	高密度記録技術
			シミュレーション利用	トラフィック短期変動予測技術
			エネルギーマネジメント技術	待機電力削減、DC給電、新デバイス利用 建築設備の待機電力省エネ化技術、電源のパワーマネジメント技術、DC給電 環境性認識行動利用 人の好みや行動パターンも考慮した最適省エネ運用制御(HEMS、BEMS、CEMS、コンシューマーズビヘイビア(環境性認識行動)) HEMS等の要素としての高度情報化対応技術、デジタル情報機器相互運用基盤開発)
	エネルギーをうまく管理する	相互連携技術	面的エネルギーマネジメント技術利用	HEMS/BEMSと再生可能エネルギー・未利用熱利用との有機的連携、マクロセンシング
			ネットワーク利用	ユビキタス・センサ・ネットワーク BA/FA統合プラットフォーム技術 予測・評価手法(CAPD等)
			社会システム技術利用	環境調和型コンパクトシティ
走行量を低減させる	公共交通機関へうまくシフトさせる	他機関の利用	交通機関の協働技術	公共交通機関への転換

(先進交通社会確立技術)

省エネ型情報生活空間創生技術ロードマップ

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030
快適な空調環境をうまくつくる	受動的空調技術	自然換気利用	自動協調換気制御	自動協調換気制御		
			断熱・遮熱利用	超高性能断熱材	超高性能断熱材 壁・熱伝導率:0.002W/mK 熱貫流率:0.3W/m2K 窓:熱伝導率:0.003W/mK 熱貫流率:0.4W/m2K	
		断熱性可変システム		断熱性可変システム		
		窓の高機能化	超高断熱ガラス	2.7W/m2K → 断熱性能 → 1.6W/m2K 超高断熱ガラス(Low-E複層、真空断熱等)		
			日射透過率可変ガラス	日射透過率可変ガラス(液晶調光、熱制御等)		
		インテリジェント窓システム	インテリジェント窓システム(ダブルスキン、自動ブラインド)			
	日射遮蔽化	外装日射制御システム	外装日射制御システム(自動制御底、外付けブラインド)			
	ヒートアイランド対策	太陽エネルギー高反射処理(近赤外線)				
	能動的空調技術	潜熱顕熱分離利用	吸収・吸着利用	40kWh/m2年 → 15kWh/m2年 → 10kWh/m2年 空調エネルギー		
			輻射熱利用	潜熱顕熱分離空調		
		高効率放熱方式利用	高効率放熱技術	デシカント空調 → 躯体利用高効率輻射空調		
		制御技術利用	アダプティブ空調技術	アダプティブ空調		
インバータ熱源システムの最適統合制御			間欠空調(パッシブミジング空調) インバータ熱源システム最適統合制御			
自動協調空調制御(人感センサー等)			自動協調空調制御(人感センサー等)			
受動型給湯技術	再生可能エネルギー利用(太陽光、バイオマス、地熱など)	自然エネルギー連成型潜熱回収技術	自然エネルギー連成型潜熱回収技術			
		建材一体型太陽熱利用(給湯)	建材一体型太陽熱利用(給湯)			
		建材一体型太陽光発電	建材一体型太陽光発電			
快適な照明環境をうまくつくる	新光源技術	省エネ高演色性光源技術	高効率蛍光灯熱損失低減技術(発光効率)	100 lm/W		
			高効率LED照明	白色LEDデバイス技術(デバイス発光効率)	170 lm/W → 200lm/W → 220 lm/W → 240lm/W	
		白色LED照明		87 lm/W → 122 lm/W → 146 lm/W → 171lm/W		
		有機EL照明	長寿命化	10000時間 → 40000時間 → 60000時間		
			高輝度化	3000cd/m2 → 5000cd/m2 → 8000cd/m2 → 10000cd/m2		
		有機EL照明	有機ELデバイス技術(デバイス発光効率)	20 lm/W → 60 lm/W → 100 lm/W → 150 lm/W		
	有機EL照明		18 lm/W → 56 lm/W → 95 lm/W → 143lm/W			
	蓄光利用、昼光利用	蛍光材料、蓄光材料の開発 昼光・蓄光ハイブリッド 光ダクト、ライトシェルフ、 自動ブラインド	蛍光材料、蓄光材料の開発 昼光・蓄光ハイブリッド	蛍光材料、蓄光材料の開発 昼光・蓄光ハイブリッド		
			光量利用、光ダクト、ライトシェルフ・自動ブラインド	光量利用、光ダクト、ライトシェルフ・自動ブラインド		
	照明システム技術	新デザイン、制御利用	クラスター発光光源、マイクロキャピティー光源	クラスター発光光源、マイクロキャピティー光源		
自動協調照明制御、ゾーン・タスクアンビエント、色調変更照明技術			自動協調照明制御(人感センサー等)			

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030	
快適な情報空間をつくる	ディスプレイ技術	新デバイス利用	有機EL技術(大画面化)	テレビ 20型 17型	有機ELディスプレイ(サイズ、据置型) 60型 19型	100型	
			省エネPDP	有機ELディスプレイ(消費電力、据置型) 発光効率:70lm/W 現状比 1	1/3		
			セル構造	新3電極 紫外線発光効率向上	チューブ構造 X <sub>e</sub> 分圧比向上	新規放電ガス	新セル
			駆動技術	低電力アドレス駆動、放電モード制御	色純度・コントラスト向上フィルタ		
			光学技術	高透過・低反射フィルタ			
			省エネLCD	プラズマディスプレイ(消費電力、据置型) 1.5lm/W(40インチ、全白色表示時、発光効率)	10lm/W		
	システム技術利用	高機能システムディスプレイ	高機能化システムディスプレイ(極限ゲート構造TFT)				
			電子ペーパー				
	省エネ型高速通信技術	フォトニックネットワーク技術	半導体レーザーの開発	半導体レーザー			
			次世代高速通信機器技術	ルーター等通信機器の低電力化			
超電導ネットワークデバイス				超電導ネットワークデバイス			
光通信用合波回路機能データ配置最適運用技術、省エネ型ネットワークアーキテクチャ技術				フォトニックネットワーク、光通信用合波回路機能光源モジュール			
システム制御技術利用		光通信用合波回路機能データ配置最適運用技術、省エネ型ネットワークアーキテクチャ技術	光バスネットワーク技術				
レーザー利用		微細加工技術					
電子レベル磁場利用		高密度記録技術		量子情報通信技術			
エネルギーをうまく管理する	エネルギーマネジメント技術	待機電力削減、新デバイス利用	待機時消費電力 1W エネ化技術、電源のパワーマネジメント技術	100mW以下	50mW以下		
		環境性認識行動利用	人の好みや行動パターンも考慮した最適省エネ運用制御	機器のエネルギー消費効率向上技術			
		環境性認識行動利用	HEMS等の要素としての高度情報化対応技術、デジタル情報機器相互運用基盤開発	コミショニング支援システム(BEMS)			
		環境性認識行動利用	HEMS等の要素としての高度情報化対応技術	コンシューマーズビヘイビア(環境性認識行動)			
	相互連携技術	面的エネルギーマネジメント技術利用	HEMS/BEMSと地域コージェネ、再生可能エネルギー・未利用熱利用との有機的連携	分散型/再生可能エネルギーの面的利用			
	相互連携技術	ネットワーク利用	ユビキタス・センサ・ネットワーク		センサネットワーク応用技術		
			BA/FA統合プラットフォーム技術		BA/FA統合プラットフォーム技術		
		予測・評価手法		予測・評価手法(CAPD等)			
		高断熱・高効率設備統合利用	ゼロエネルギー住宅・オフィス		ゼロエネルギー住宅・エネルギー生産住宅、ゼロエネルギーオフィス・ゼロカーボンオフィス		
	社会システム技術利用	環境調和型コンパクトシティ		環境調和型コンパクトシティ			

## 先進交通社会確立技術の技術戦略マップ

～人や物の移動・運搬にエネルギー源を無駄なく有効に利用する技術～

### I. 基本的な考え方

現在、自動車燃費の改善や物流部門の効率化などの省エネ対策は取組が進んできているものの、運輸部門のエネルギー消費量の削減は思うように進んでいない。自家用乗用車および貨物自動車のエネルギー消費量は運輸部門の消費量の84%を占めることから、先進交通社会の確立に向けた最重要課題は、自動車によるエネルギー使用を削減するための技術開発であることは言うまでもない。

将来の先進交通社会を見据えるには、都市や地域の人々の移動欲求と物資のスムーズな移動を満足させつつエネルギーを節約してゆく必要があり、コンパクトシティなどの都市構造の改造も視野に入れた人流・物流の交通マネジメント、燃料資源の需給構成、生活者のニーズなどを加味した交通体系などを考慮することが重要である。従来、自動車技術は個々の単体技術として進化してきた。将来の先進交通社会を見据えるのは、これら単体技術の進化に加えて、昨今の情報通信技術を組み入れた IT や ITS に代表される自動車社会のありかた、すなわち車の“かしこい”使い方やエネルギー管理システムとしてのネットワークを考慮する必要がある。

具体的には、エンジンの効率向上、自動車の低燃費走行、交通流のインテリジェント制御による低燃費走行可能な交通インフラの構築、燃料の改善、エネルギーの需給バランス、さらに公共交通へのシフトなど交通機関をモーダルシフトし協働させるなどの観点から、技術開発を進めていく必要がある。

### II. 導入シナリオ

優先度の高い技術を中心にしたシナリオは次のとおりとなる。

1. 自動車単体では、短期的には材料や構造等を進化させた車両軽量化及びハイブリッド車に対応し、長期的には水素の供給インフラ整備と標準化を基礎に燃料電池自動車の実用化と普及を図る。その間、廃熱エネルギーの利用や HCCI(希薄予混合圧縮着火)燃焼により内燃機関の効率向上に努めるとともに、高度化バッテリー技術を基礎に電気自動車、プラグインハイブリッド自動車の実用化と普及を図る。
2. 自動車の使い方、走行方法などでは、短期的には省エネルギー運転につながる意識改革を実施し、2010年以降では省エネ走行支援技術、交通需要マネジメント、モーダルシフト、交通流制御・緩和技術、車車間通信(プローブカー普及)による交通情報提供技術、インテリジェント物流システム技術が、将来的にはインフラ協調型・路車協調型交通管理、バイモーダルLRTなど社会システムの変革が期待されている。
3. 実施主体は、ITS 関連のインフラや制度に関連する技術は国が、自動車の商品性とサービスの向上とに繋がるテーマは民間で開発し導入する。また、省エネに大きく効果のある技術はシステム開発の必要があるため、産学官連携で開発し導入することが肝要である。そして、開発する技術は、グローバルな展開が出来るように国際標準化を推進し、国際競争力強化に貢献することが肝要である。

### III. 技術マップ及びロードマップ

#### 1. 技術マップ

走行に要する燃料消費の低減を目的として、パワープラント分野として、エンジン、電気動力化、自動車単体として、駆動系ロス、走行抵抗、さらに代替燃料を検討、加えて、走行以外の省エネルギー技術、ロスエネルギーの再利用技術を検討した。また、走行方法改善による燃料消費低減を目的として、ITS を中心とした車の使い方や人と物との移動などを総合的に捉え、総合交通情報提供システム、公共交通のサービス向上、モビリティマネジメント、環境 ITS、街づくり、評価技術、社会受容性、各ステークホルダの役割分担、総合施策などについて検討した。その結果を技術マップとしてとりまとめた。

#### 2. 重要技術の考え方

低燃料で走行する分野で検討したのは、パワープラント分野として、エンジン、電気動力化、自動車単体として、駆動系ロス、走行抵抗、さらに代替燃料を検討、加えて、走行以外の省エネルギー技術、ロスエネルギー



一の再利用技術である。

走行方法を低減させる分野で検討した技術は、ITS を中心とした車の使い方や人と物との移動などを総合的に捉えたものである。検討すべき項目を大きく分けると、総合交通情報提供システム、公共交通のサービス向上、モビリティマネジメント、環境 ITS、街づくり、評価技術、社会受容性、各ステークホルダの役割分担、総合施策などが考えられるが、それらをより具体化して国が実施主体となる技術開発課題を抽出した。

優先度の高い技術は以下のとおり。

## “低燃料で走行する”

### (1) エンジンの性能を向上させる

#### ①ディーゼルエンジン

乗用車のディーゼル化は省エネルギーに大きな効果のある分野であるが、ディーゼル乗用車の増加がもたらす石油精製設備に及ぼす影響、Well-to-Wheel を考慮した CO2 排出量削減の調査および普及のための PR も重要である。

#### ②ガソリンエンジン

先進的燃焼技術としての HCCI(希薄予混合圧縮着火)燃焼のコンセプトに最適な燃料、要求される混合気濃度を形成する燃料の供給法、燃焼温度・圧力の簡便な測定法・制御法の開発とそれらに関する各専門グループの技術力結集が重要である。

### (2) 自動車を低燃費で走行させる

#### ①電気動力化

電気動力化の大前提としての蓄電技術の開発(システムの小型・軽量化、蓄電率向上)がきわめて重要である。長期的には燃料電池車の要素技術(固体高分子形燃料電池、オンボード水素貯蔵技術の高度化、スタックの高度化/低温作動化)の研究開発や水素インフラの構築が必要とされる。さらにベストミックスとしての都市内交通システムの社会・経済的な評価を行うモデルの開発が重要である。

#### ②走行抵抗の低減と軽量化

走行抵抗・空気抵抗の改善は常に必要である。また、衝突強度を満足した超軽量化車両による燃費低減が期待される。

## “走行量を低減させる”

### (3) 交通量をうまく制御する(ITS)

#### ①省エネ運転技術の向上

エコドライブを自律的に実現する運転支援技術、路車協調型アイドリングストップとそれにとまうエアコン対応技術、エンジン ON-OFF 頻度大に伴う排出ガス後処理技術に加え、燃費表示インジケータやアイドリングストップの装着義務付け、年間燃料使用量に基づく課税制度などの検討も重要である。また、エコドライブの市民への普及を目的とした国と自治体の役割分担や支援プログラムの推進が挙げられる。

#### ②交通制御・管理技術

交差点のミクロな視点での交通要素のシミュレーションと、それによる最適な交差点の構造設計や最適信号制御、交差点の交通容量に応じた群管理/動的信号制御などの交通制御の高度化、プローブ情報を活用した動的経路誘導システム(P-DGRS)に代表される交通情報等をセンターに集中管理して経路誘導に役立てるセンター型動的経路誘導技術や路車協調型信号制御が重要である。

#### ③交通情報提供・管理情報技術

道路路面情報/交通渋滞マイクロ情報/気象情報/事故情報等様々な自動車走行に関するリアルタイムの情報収集と情報提供を可能とするプローブ情報システムの開発、通過交通量の低減による渋滞回避のための料金の差別化、交通情報提供等による誘導などの旅行前情報提供、プローブ装置の積極的採用のためのインセンティブの検討が重要である。

#### (4) 低燃費走行の交通インフラをつくる(ITS)

##### ①交通流緩和技術

渋滞箇所の改善として、交差点のミクロな視点での交通要素シミュレーションと、それによる最適な交差点構造や最適信号制御、交差点の交通容量に応じた動的信号制御による渋滞の最小化を図るボトルネックの交通流解析、高速道路等の合流部の車線による交通容量の改善技術、渋滞現象の具体的な解析手法とノードにおける交通流のスムーズ化技術などの合流部支援システム、サグにおけるドライバーへの速度情報提供や知的クルーズ制御(高機能車間距離制御式オートクルーズ(ACC))技術などの開発及び対策評価用交通量シミュレーションの構築が重要である。

##### ②車両システム技術

架線なしでの給電システムや急速・非接触充電の廉価なシステムを実現するバイモーダルシステム、LRT 導入とバイモーダルシステムの費用対効果評価、評価用シミュレーション技術が重要である。

#### (5) 公共交通へうまくシフトさせる

##### ①交通機関の協働技術

自動車と鉄道による物流の効率化として、貨物輸送の鉄道へのモーダルシフトのための施設整備、鉄道における夜間時間の弾力的使用の拡大が重要である。

#### (6) 交通機関をうまく協働させる

##### ①インテリジェント物流システム技術

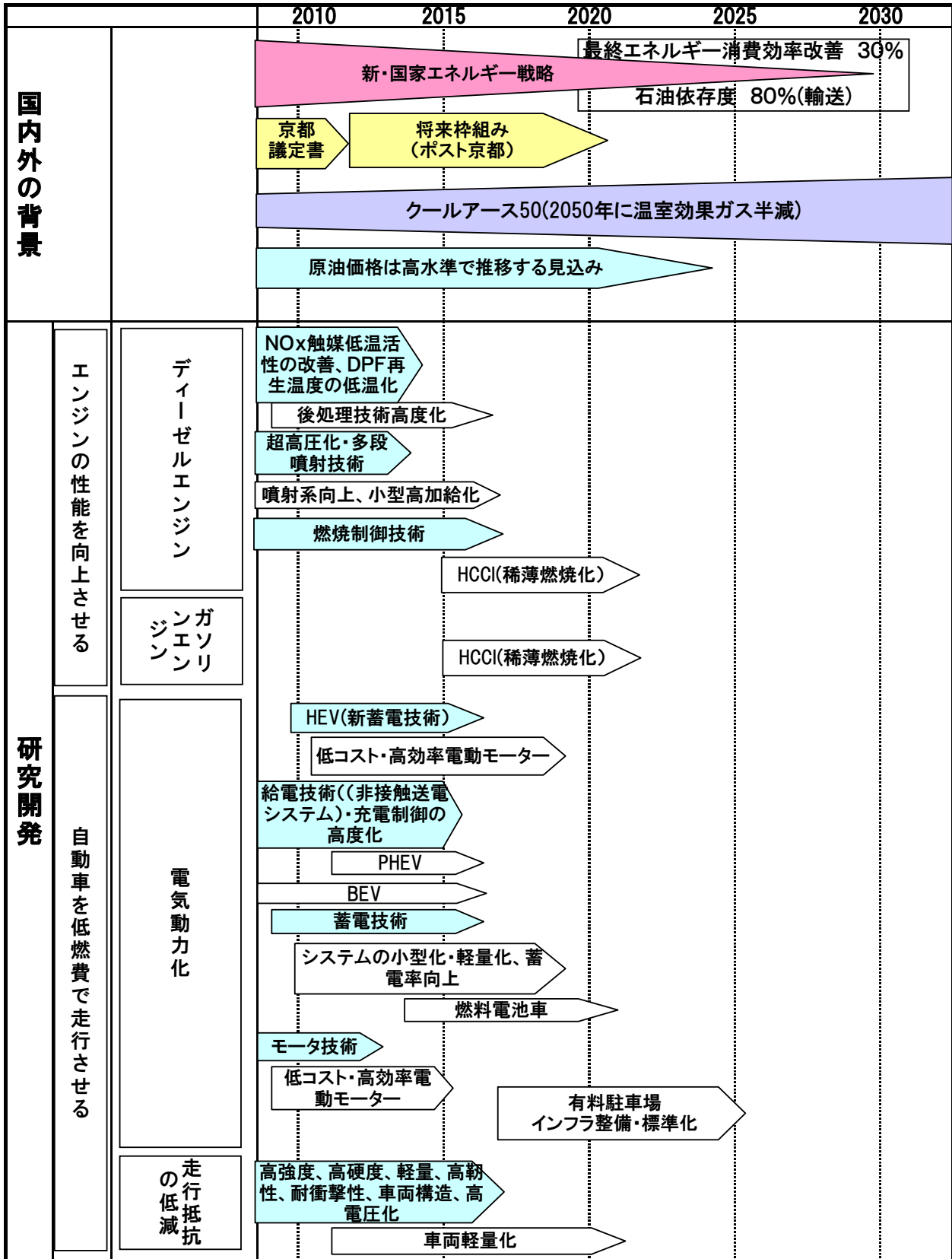
インテリジェント物流システムの構築が重要である。また、共同配送システムによる都市内配送の効率化も重要である。

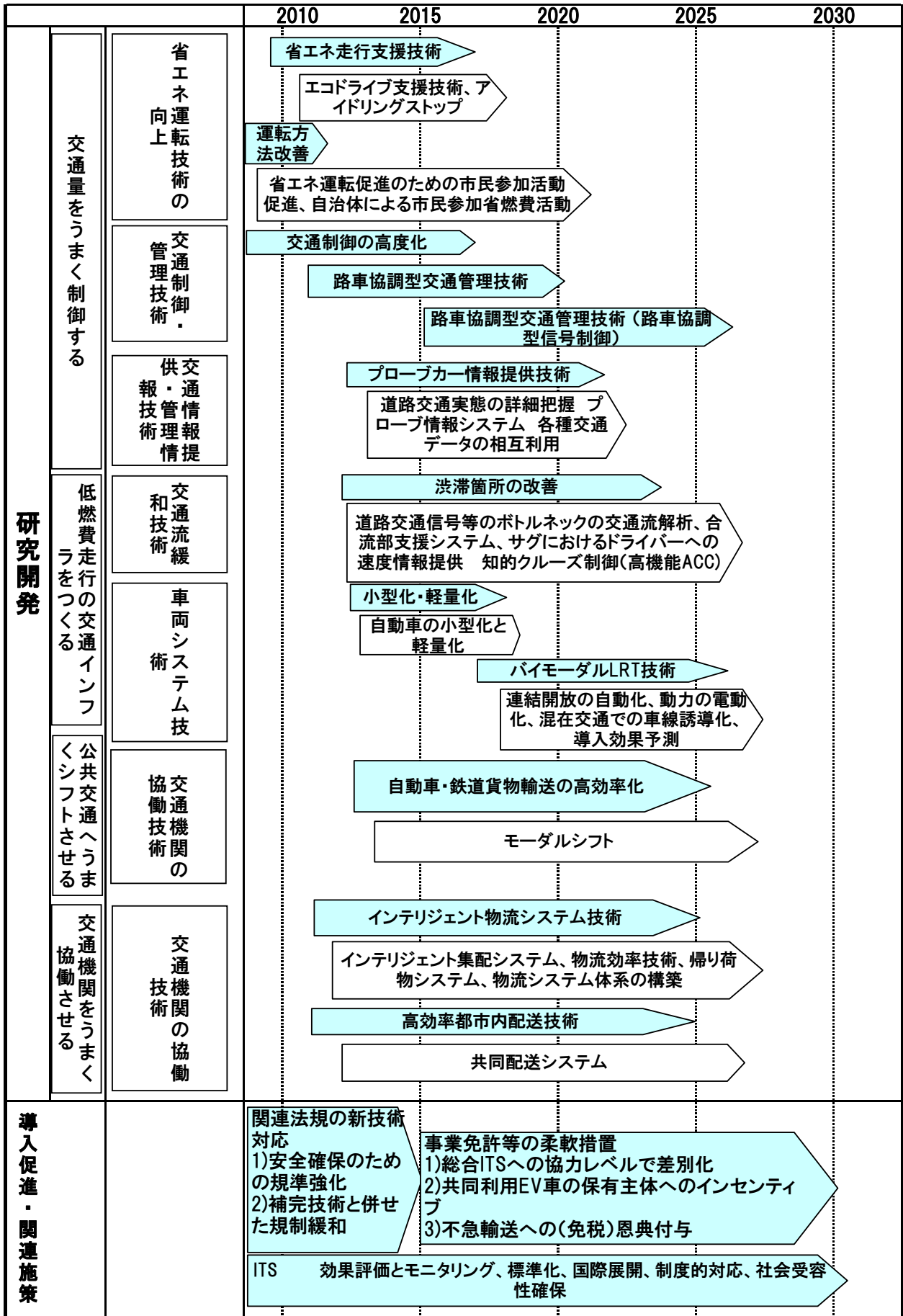
### 3. ロードマップ

技術マップで提示された課題の中から重要な技術項目を選び、技術開発の時期、普及時期を示した。ポイントは次のとおり。

- (1)ディーゼルエンジンとガソリンエンジンでは 2010 年から 2020 年に大幅な省エネ技術が実現する。将来はHCCIが期待される。
- (2)ハイブリッド自動車は普及が進み、2020 年までに電気自動車とプラグインハイブリッドを加え技術開発が進む。
- (3)車両の軽量化は常に積極的に進められる。
- (4)駆動系ロスと走行抵抗・空気抵抗の改善は常に進められてきたが 2015 年までにさらに進化する。
- (5)車の使い方では、通信技術とインフラの高度化に伴い、2010年以降に渋滞緩和の技術が実用化・普及がなされる。
- (6)省エネルギー効果の大きい物流では交通機関の相互利用が進み、2015年以降にその普及が進む。
- (7)交通情報が密になり無駄な走行をしなくてすむように、2015年以降インフラに関する交通流関連技術の実用化が進む。
- (8)根本的な対策としての都市計画に関わる技術は2010年から2030年にわたり開発されることが期待される。

# 先進交通社会確立技術の導入シナリオ





先進交通社会確立技術分野 技術マップ

※太字:重要技術  
※青字:クール7-250-革新技術計画に関連する技術

先進交通社会確立技術

技術分野		分野構造			
分野	コンセプト	大項目	中項目	小項目	
低燃料で走行する	エンジンの性能を向上させる	エンジン改良技術	ディーゼルエンジン	乗用車用後処理技術の高度化	
				乗用車用噴射系の向上・小型高過給化	
				HCCI(希薄予混合圧縮着火燃焼)	
			ガソリンエンジン	軽油の低硫黄化	
				高圧縮比化	
	自動車を低燃費で走行させる	電気動力化技術	電気動力化	HEV(ハイブリッド電気自動車)	
				PHEV(プラグインハイブリッド電気自動車)	
				BEV(バッテリー電気自動車)	
				蓄電技術	
				FCEV(燃料電池車)	
				モーター	
				インフラ整備と標準化	
				エンジンフリクション低減	
				トランスミッション多段化・CVT化	
				レーザ加工によるフリクション低減	
駆動力向上技術	動力のロス削減	走行抵抗の低減			
		タイヤ転がり抵抗の低減			
		空気抵抗低減			
抵抗削減技術	車両軽量化	軽量材料の使用			
		高強度軽量材のレーザ加工技術			
熱回収	ロスエネルギーの利用	低温エネルギー(排ガス、冷却水)の有効活用			
エネルギーをうまく出し入れする	回生ブレーキ技術	ロスエネルギー回収利用	高効率回生ブレーキ技術		
走行量を低減させる	交通量をうまく制御する(ITS)	交通量の削減	省エネ運転技術の向上	省エネ走行支援技術	
				運転方法の改善(省エネルギー運転につながる意識改革の取り組み)	
				ドライバの特性や状態に応じた円滑走行支援技術	
				TDM(交通需要マネジメント)技術	
				道路利用の効率化	
	低燃費走行の交通インフラをつくる(ITS)	交通流の緩和	交通流緩和技術	交通流緩和技術	ETC利用の拡大
					交通需要マネジメント
					モビリティ・マネジメント手法の適用
					交通制御・管理技術
					交通制御の高度化
	公共交通へうまくシフトさせる	他機関の利用	交通機関の協働技術	交通機関の協働技術	路車協調型の交通管理
					インフラ協調支援
					旅行前(出発前)情報提供
					総合情報提供
					プローブカー情報提供(交通パフォーマンス指標に関する情報収集の強化)
交通機関をうまく協働させる	物流の効率化	インテリジェント物流システム技術	インテリジェント物流システム技術	交通機関の有効利用	
				渋滞箇所の改善	
				バスのインテリジェント化	
				駐車施設技術	
				駐車場マネジメント	
	都市のデザイン	都市計画関連技術	都市計画関連技術	都市計画関連技術	自動運転
					小型化・軽量化
					バイモダルなシステム(電車とバス機能を融合したゴムタイヤLRT)
					自動車共同利用システム
					公共交通機関への転換
人と物の移動量適正化による走行量低減	交通需要の適正化	移動と通信の置き換え、土地利用、都市計画	移動と通信の置き換え、土地利用、都市計画	自動車と鉄道・船舶の貨物輸送の効率化	
				船舶運行システムの最適化	
				荷役時間の短縮化	
				輸出入コンテナのトレーラ輸送の効率化	
				インテリジェント物流システム	
人と物の移動量適正化による走行量低減	輸送・移動の不要化	移動と通信の置き換え、土地利用、都市計画	移動と通信の置き換え、土地利用、都市計画	自動車によらない配送	
				地下鉄利用都市内配送	
				都市内配送の効率化	
				コミュニティ電気自動車バス	
				路面電車のバリアフリー化	
(関連施策)	人と物の移動量適正化による走行量低減	交通需要の適正化	移動と通信の置き換え、土地利用、都市計画	コミュニティ計画	
				ルートブライジング、需要管理	
				TV会議、職住近接複合都市	

先進交通社会確立技術ロードマップ

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030	
エンジンの性能を向上させる	エンジン改良技術	ディーゼルエンジン	乗用車用後処理技術の高度化	NOx触媒低温活性の改善、DPF再生温度の低温化	後処理技術高度化		
			乗用車用噴射系の向上・小型高過給化	超高圧化・多段噴射技術	噴射系向上、小型高過給化		
			HCCI(希薄予混合圧縮着火燃焼)	燃焼制御技術	HCCI(稀薄燃焼化)		
			軽油の低硫黄化		軽油の低硫黄化		
				ディーゼルエンジン			
		ガソリンエンジン	高圧縮比化	高圧縮比化	高オクタン価ガソリン製造時のCO2発生		
			連続可変バルブ/可変気筒	連続可変バルブ/可変気筒	高負荷領域におけるノック抑制		
			可変圧縮(膨張)比	可変圧縮(膨張)比	(燃料性状に則した最適圧縮比)		
			HCCI(燃焼制御技術)		HCCI(稀薄燃焼化)		
			オクタン価向上	オクタン価向上			
				ガソリンエンジン			
自動車を低燃費で走行させる	電気動力化技術	電気動力化	HEV(ハイブリッド電気自動車)	バッテリー出力密度 2000W/kg	2500W/kg		
					HEV新蓄電技術		
					低コスト・高効率電動モーター		
			PHEV(プラグインハイブリッド電気自動車)	バッテリーエネルギー密度 70Wh/kg	100Wh/kg	200Wh/kg	
					給電技術(非接触送電システム)・充電制御の高度化		
					PHEV		
			BEV(バッテリー電気自動車)	コムーター-EV等の拡大を前提としたシステム開発			
					BEV		
					蓄電技術		
					システムの小型化・軽量化、蓄電率向上		
		FCEV(燃料電池車)	固体高分子形燃料電池、オンボード水素貯蔵技術高度化、スタック高効率化/低温作動				
			燃料電池車				
		モーター	モータ技術				
		インフラ整備と標準化	低コスト・高効率電動モーター				
			水素供給/充電システム/無接触充電等の国際標準化				
			有料駐車場 インフラ整備・標準化				
	駆動力向上技術	動力のロス削減	エンジンフリクション低減	エンジンフリクション低減	2ピストンリング、低摩擦コーティング、エンジン補機類		
			トランスミッション多段化・CVT化	T/M多段化・CVT化	多段化による駆動力の最適利用		
			レーザ加工によるフリクション低減	レーザ加工によるフリクション低減			
				超短バルスレーザによるエンジン、軸受等の低摩擦加工			
	抵抗削減技術	走行抵抗の低減	空気抵抗低減	空気抵抗低減	高強度、高硬度、軽量、高靱性、耐衝撃性、車両構造、高電圧化		
		車両軽量化	軽量材料の使用	軽量材料の使用			
			高強度軽量材のレーザ加工技術	軽量化と衝突安全の両立技術	短バルスレーザ利用による高強度軽量材加工		
	省エネ	走行以外の省エネ	エアコン高効率化	エアコン高効率化	灯火器省電力化		
			灯火器省電力化				
			灯火器省電力化				
			パワーステアリング省エネ化				
			トラックキャビンエアコン高度化				
	熱回収	ロスエネルギーの利用	低温エネルギー(排ガス、冷却水)の有効活用		低温エネルギー(排ガス、冷却水)の有効活用		
エネルギーをうまく出し入れする	回生ブレーキ技術	ロスエネルギー回収利用	高効率回生ブレーキ技術		高効率回生ブレーキ技術		

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030	
交通量をうまく制御する	走行支援技術	省エネ運転技術の向上	省エネ走行支援技術	省エネ走行支援技術 エコドライブ支援技術、アイドリングストップ			
			運転方法の改善(省エネルギー運転につながる意識改革の取り組み)	運転方法改善 省エネ運転促進のための市民参加活動促進、自治体による市民参加省燃費活動			
			ドライバーの特性や状態に応じた円滑走行支援技術	円滑走行支援技術 ドライバー運転特性認識技術、ドライバー状態認識技術、エージェント技術、ドライバーへの伝達デバイス技術			
	交通量の削減	TDM (交通需要マネジメント) 技術	道路利用の効率化	ETC改善と設置道路拡大、ETC違反車両追跡技術、スマートインターチェンジ採用の拡大、DSRC(狭域域通信)技術の拡大		道路利用効率化(道路利用予約、料金差別)	道路整備拡張、道路利用予約料金差別化
			ETC利用の拡大	ETC利用拡大			
		交通需要マネジメント	交通需要マネジメント スマートプレートシステム、交通需要の平準化、ロードプライシング				
		モビリティ・マネジメント手法の適用	モビリティ・マネジメント TFP(Travel Feedback Program)				
	交通制御・管理技術	交通制御の高度化	交通制御の高度化	交通制御の高度化 信号同期速度制御-信号制御の高度化			
			路車協調型交通管理技術	路車協調型交通管理技術 センター型動的経路誘導技術、路車協調型信号制御、交通違反車両検知技術			
	交通情報提供・管理情報技術	インフラ協調支援	インフラ協調支援	インフラ協調支援(路車間協調システム) 路車間協調システム、交通情報提供の充実、交通インシデント検知技術			
旅行前(出発前)情報提供			旅行出発前情報(最適時間予測システム) 最適旅行時間予測技術、車両誘導システム		旅行出発前情報(車量誘導システム)		
総合情報提供		総合情報提供 道路交通情報の総合交通提供、動的経路誘導システム(P-DGRS)、観光情報などの諸情報提供					
プローブカー情報提供(交通パフォーマンス指標に関する情報収集の強化)		プローブカー情報提供技術 道路交通実態の詳細把握 プローブ情報システム 各種交通データの相互利用					
車両生成情報基盤技術		車両生成情報基盤技術 車量生成情報基盤技術 路車間通信技術					
低燃費走行の交通インフラをつくる	交通流の緩和	交通流緩和技術	交通機関の有効利用	交通機関の有効利用 交通機関別の旅行情報の充実、交通結節点情報、駐車場情報の充実、車車間通信技術			
			渋滞箇所の改善	渋滞箇所の改善 道路交通信号等のボトルネックの交通流解析、合流部支援システム、サグにおけるドライバーへの速度情報提供 知的クルーズ制御(高機能ACC)			
			バスのインテリジェント化	バスロケーションシステム 公共交通優先システム(PTPS)、バスロケーションシステムの高度化、公共交通路線バスの高度化		路線バスの居住性高度化	
	交通流の緩和	駐車施設技術	駐車場マネジメント	駐車場マネジメント 駐車場情報提供の高度化、駐車場予約誘導システム、駐車施設の増加と高度化			
			自動運転	自動運転 自動運転 路側検知技術、隊列走行			
	交通流の緩和	車両システム技術	バイモーダルなシステム(電車とバス機能を融合したゴムタイヤLRT)	バイモーダルLRT技術 連結開放の自動化、動力の電動化、混在交通での車線誘導化、導入効果予測			
			自動車共同利用システム	オンデマンドの高度化 EV共同利用システム(車両返却・管理技術の高度化)		小型一人用車両	

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030
公共交通へうまくシフトする	他機関の利用	交通機関の協働技術	公共交通機関への転換	公共交通機関への転換		
			自動車と鉄道・船舶の貨物輸送の効率化	P&R(パークアンドドライブ)、交通エコポイントシステム、プロパーパーソンシステム		
交通機関をうまく協働させる	物流の効率化	インテリジェント物流システム技術	船舶運行システムの最適化	船舶運行システムの最適化		
			荷役時間の短縮化	船舶の知能化、航行支援の高度化		
			輸出入コンテナのトレーラ輸送の効率化	荷役時間の短縮化		
			インテリジェント物流システム	RORO船などの荷役に対応したバス(複数ランプウェイ)、バスの可動技術、搬送装置		
			自動車によらない配送	コンテナトレーラ輸送の効率化		
	都市のデザイン	都市計画関連技術	インテリジェント物流システム	オンデマンドシステム		
			自動車によらない配送	インテリジェント物流システム技術		
			地下鉄利用都市内配送	インテリジェント集配システム、物流効率技術、揚り荷物システム、物流システム体系の構築		
			都市内配送の効率化	自動車によらない配送		
			都市内配送の効率化	搬送機器の高度化電動化、台車・アシスト式電動自転車等の利用、蓄電装置の開発		
都市のデザイン	都市計画関連技術	コミュニティ電気自動車バス	地下鉄利用都市内配送			
		路面電車のバリアフリー化	貨物運搬が可能な鉄道車両、荷物の固定技術			
		コミュニティ計画	高効率都市内配送技術			
都市のデザイン	都市計画関連技術	コミュニティ電気自動車バス	共同配送システム			
		路面電車のバリアフリー化	コミュニティEVバス			
		コミュニティ計画	充電システムの高度化、非接触集電システム、急速蓄電システム、オンデマンドの高度化			
都市のデザイン	都市計画関連技術	コミュニティ電気自動車バス	バリアフリー路面電車技術			
		路面電車のバリアフリー化	路面電車の低床化			
		コミュニティ計画	通信による移動の置き換え			
都市のデザイン	都市計画関連技術	コミュニティ電気自動車バス	PDS(パーキングデポジットシステム)、都市機能と車の機能を見直した環境安全に配慮した持続可能な都市計画、コミュニティと一体となった省エネ理解活動の推進			
		コミュニティ計画	コミュニティ計画			



## 次世代省エネデバイス技術の技術戦略マップ ～情報通信・制御の分野で電力を損失なく高速度で有効に利用する技術～

### I. 基本的な考え方

現代社会は、半導体シリコン(Si)を中核とするエレクトロニクスに支えられており、その省エネ化は重要な課題である。メモリやロジック等の低電圧 LSI 分野ではデバイスの微細化、低電圧化、リーク電流抑制、寄生インピーダンスの低減、ならびにパワーマネジメント回路技術により省エネ化が進んでいる。一方、100V 程度以上の素子耐圧が要求されるパワーデバイス分野では、Siを中心とする従来のデバイスの省エネ化に加え、さらなる低損失デバイスの実現も要請されている。例えば、SiCやGaN等のワイドバンドギャップ半導体を用いたデバイスの通電状態でのオン抵抗値は、原理的には従来のSi半導体と比較して約2桁低くなる。この結果、半導体デバイスで消費される結果として電力損失が大幅に削減されることから、大きな省エネ効果が期待される。

次世代省エネデバイス全般について、(1)省エネを目的とする技術開発、(2)省エネ効果量が大きい技術、(3)将来、需要が急拡大すると予想され、省エネを進めるべき技術の3つの視点からデバイス技術を整理し、家電機器から産業、運輸分野におけるパワーデバイス技術、LSIIに代表される、広く世の中で用いられている電子デバイスの省エネ化技術、情報通信及び情報家電分野における高周波デバイス技術、光化デバイス技術及び省エネ分野にパラダイムシフトを生む可能性のある未来デバイス技術をエネルギーの使用合理化の重要課題として抽出した。

中でも、パワーデバイスについては、民生部門から産業、運輸部門まで広範囲に用いられるものであり、低損失化のニーズが高い。このため、SiC、GaN、ダイヤモンド等のパワーデバイスに係る技術開発を推進していくことが重要であるため、パワーデバイスについての技術マップ等を作成した。

また、デバイス技術(微細化技術、実装技術、混載技術、設計技術、アプリケーションチップ技術、組込ソフト技術等)、光化技術、未来デバイス技術(有機半導体技術、超電導技術、光制御技術等)、照明用デバイス技術、ディスプレイ用デバイス技術を追加した。

具体的には、「損失の少ないデバイスを使い」、「スイッチングロスが少ない通信用デバイスを使い」、「効率のよい回路をうまく使い」、「光をうまくつくる」という観点から、上述のパワーデバイス技術、照明用デバイス技術、ディスプレイ用デバイス技術等の開発を進め、エネルギー消費の少ないデバイスを利用できるようにする必要がある。

### II. 導入シナリオ

1. 次世代省エネデバイスに関する標準化を進める。
2. LSI省エネ技術、Siデバイス技術(IGBT、超接合デバイス)、SiCデバイス技術(低オン抵抗/大容量化)、GaNデバイス技術(ノーマリーオフ、低オン抵抗、大容量化)、ダイヤモンドデバイス技術についての研究開発を進めて、その製品分野における早期実用化・普及を図る。
3. 高品質SiC基板メーカーの早期育成と同時にSiC、GaN用量産装置の開発を図る。欧州におけるEMI規制によりスイッチングに伴う雑音や損失が小さいSiCやGaNを用いた高耐圧SBDの市場を拡大し、SiC基板のコスト低減と品質向上を図る。また、省エネ家電/新エネ関係の支援により、小容量SiC、GaN素子の市場を拡大することにより、基板のさらなるコスト低減と品質向上により産業応用への展開を図る。

当面Siデバイスの改良により省エネに対応する。SiC、GaNの高品質結晶技術の実現と普及に伴い、Siデバイスは徐々にSiC、GaNデバイスに置き換えられ、一層の省エネ化が達成される。さらにダイヤモンドについても、結晶技術の進展によりデバイスへの応用が期待できる。これを効率的に推進するためには、トップランナー方式や省エネ装置導入の補助などの行政面での技術革新促進策も必要である。

### Ⅲ. 技術マップ及びロードマップ

#### 1. 技術マップ

他の重点技術分野の標記に合わせて、技術マップを作成した。

#### 2. 重要技術の考え方

各デバイスにおいて、デバイスを実現するために鍵となる技術を重要技術として取り上げた。選定された重要技術は以下のとおりである。

#### “損失の少ないデバイスを使う”

##### (1) パワーデバイス製造技術

###### ① SiC利用

ウェハー口径の拡大と品質の向上が急務である。近年、品質は向上し、マイクロパイプ欠陥は1個/cm<sup>2</sup>レベルまで減少してきた。しかし、転位欠陥は、良好な状態で数千から1万個/cm<sup>2</sup>程度であり、特別な条件でしか、数百個/cm<sup>2</sup>レベルが得られない状態であり、劇的な減少が急務である。プロセス技術では、ノーマリーオフ型のSiC MOSFETの実現のために注入面でのチャネル移動度やゲート酸化膜の長期信頼性寿命の向上が重要である。デバイス技術においては、整流素子としてSBDが市販されスイッチング電源に使われ始めている。また、スイッチング素子としてJFET/SITがサンプル出荷されているが、ノーマリーオン型であり、使い勝手が悪い。このため、SiCデバイス普及の障害となっている。SiC市場を拡大するためにノーマリーオフ型のMOSFETの実現が重要である。

SiC半導体デバイスのSiデバイスに対する損失低減効果は今後10年間で70～90%と予想され、省エネデバイスとしての研究開発を重点的に行なうべき分野である。一方、実用化への道程を考えると、現在のSiC結晶基板コストはSiに比較し数100倍といわれており、SiC結晶の低価格化が必須の課題である。米国ではDARPAのプロジェクトで国が材料を買い上げ、高品質低価格基板の量産化を促す制度で築かれてきた特定企業の群を抜いた技術力、生産能力に対して、我が国においては、基板生産者の自助努力だけで欧米との競争に勝てる要素は全く無い。基板結晶の低コスト化と共に重要な課題はシステムとしての省エネ効果の実現であり、そのためにはパッケージ技術を含めた総合的なデバイス技術の開発が必須である。

###### ② GaN利用

低コスト化のために、Siあるいはサファイヤ基板上のGaN-SBD、ノーマリーオフ型で高耐電圧に有利な縦型デバイスの開発、およびGaN-HFETデバイスの製品化促進が重要である。通電状態でのコラプス問題(抵抗増加問題)を解決する必要があるが、整流素子は、SBDのサンプル出荷が始まった。また現在は、耐圧600V系を中心に開発が進められているが、EVやHEV等へ市場を拡大するには、1200Vクラスへの耐圧の向上も必要と考えられる。

GaN半導体デバイスのSiデバイスに対する損失低減効果は今後10年間で70～90%と予想され、SiC技術と共に省エネデバイスとしての研究開発を重点的に行なうべき分野である。一方、実用化への道程を考えると、SiC結晶基板と同様にコストが高く、高品質結晶の低価格化が必須の課題である。基板結晶の低コスト化と共に重要な課題はシステムとしての省エネ効果の実現であり、そのためにはパッケージ技術を含めた総合的なデバイス技術の開発が必須である。

##### (2) パワーデバイス回路・実装技術

###### ① パワーデバイス共通

(低寄生インピーダンス・低熱抵抗・高電流密度・高温実装、受動部品の小型・低損失・耐熱性向上)

## “スイッチングロスが少ない電源・通信デバイスを使う”

### (3) 高周波デバイス技術

#### ① InP/GaAs 高周波用 HFET/HBT 利用

(ウェハールおよびエピ成長高精度大口径化、高周波集積回路低損失化、送受信アンテナ高効率化、低消費電力型高周波デバイス等)

### (4) 光化技術

#### ① 光スイッチ利用(低損失オプティカル部材製造技術、光インターコネクト技術等)

今後通信技術が一層の発展を示す事は間違いない。情報を伝達するために人間や物を動かす必要がなくなるという面からエネルギーの使用合理化に寄与すること以外に、情報の円滑な伝達・蓄積により社会活動の全ての面で一層の高効率化が図れるからであり、このための技術開発を積極的に進める必要がある。しかし、たとえばネットワークのルーター技術を例にとると、現在のシステムは負荷の大小に関係なく常にほぼフルパワーで動作しており、そのためのエネルギーロスが大きいのが現状である。既にマイクロプロセッサなどでは広く実用化されているが、負荷による動作状態の制御など、通信システムや、データ処理や加工に使用するレーザー利用のエネルギーの使用合理化の研究開発が必要である。

## “効率のよい回路をうまく使う”

### (5) デバイス設計組み込み技術

#### ① Si 利用(混載技術、組み込みソフト技術、高集積化、低消費電力化、設計効率化、PFC、SoC 技術等)

## “光をうまくつくる”

### (6) 光半導体技術

#### ① LED 利用

(光利用効率、温度特性、光取り出し効率、放熱技術、点灯回路技術、蛍光材料開発等)

### (7) 有機半導体技術

#### ① 有機 EL 利用

(光利用効率、輝度劣化対策、TFT 特性、光取り出し効率、放熱技術、点灯回路技術等)

照明のエネルギーの使用合理化を図るため、エネルギー効率の高いデバイスの開発が必要である。世界の全エネルギーの約10%が照明に使われていると言われており、この効率を2倍にすればそれだけで人類の使用する全エネルギーを5%削減できるため、非常にインパクトが大きい。現在の蛍光灯は光変換効率が約20%であるため、技術開発の目標はこれより高い値となる。たとえば有機 EL 照明デバイス等、これまであまり利用されてこなかった原理で動作するデバイスにもその可能性があるため、他の可能性も含め、新原理デバイスの積極的な開発を進めていく必要がある。

一方、ディスプレイ用デバイスに関しては、現在主流となっている液晶デバイスの光利用効率が約1～3%程度であり、さらなるディスプレイのエネルギーの使用合理化を図ることが必要である。そのためには、有機 EL デバイス、PDP デバイス、液晶デバイスなど、既存技術の一層の高効率化を進めると共に、新原理に基づく高効率発光デバイスの開発を進めていく必要がある。技術的な目標値は3～5%以上であり、この目標が達成できれば世界標準技術としての地位も確立できる可能性があるため、日本の将来の基幹技術として世界の省エネルギーに貢献できる技術に育成する。

## 3. ロードマップ

技術マップから選定した上記重要技術について、中長期的視点から検討して、マイルストーンを設定した。ポイントは以下のとおり。

① 結晶口径の大型化に伴う製造技術の複雑化、微細加工技術の進歩に伴うデバイス寸法の微細化、高集積化、低コスト化の実現を克服するために、結晶品質の向上と基板の大口径化が絶え間なく行なわれる。

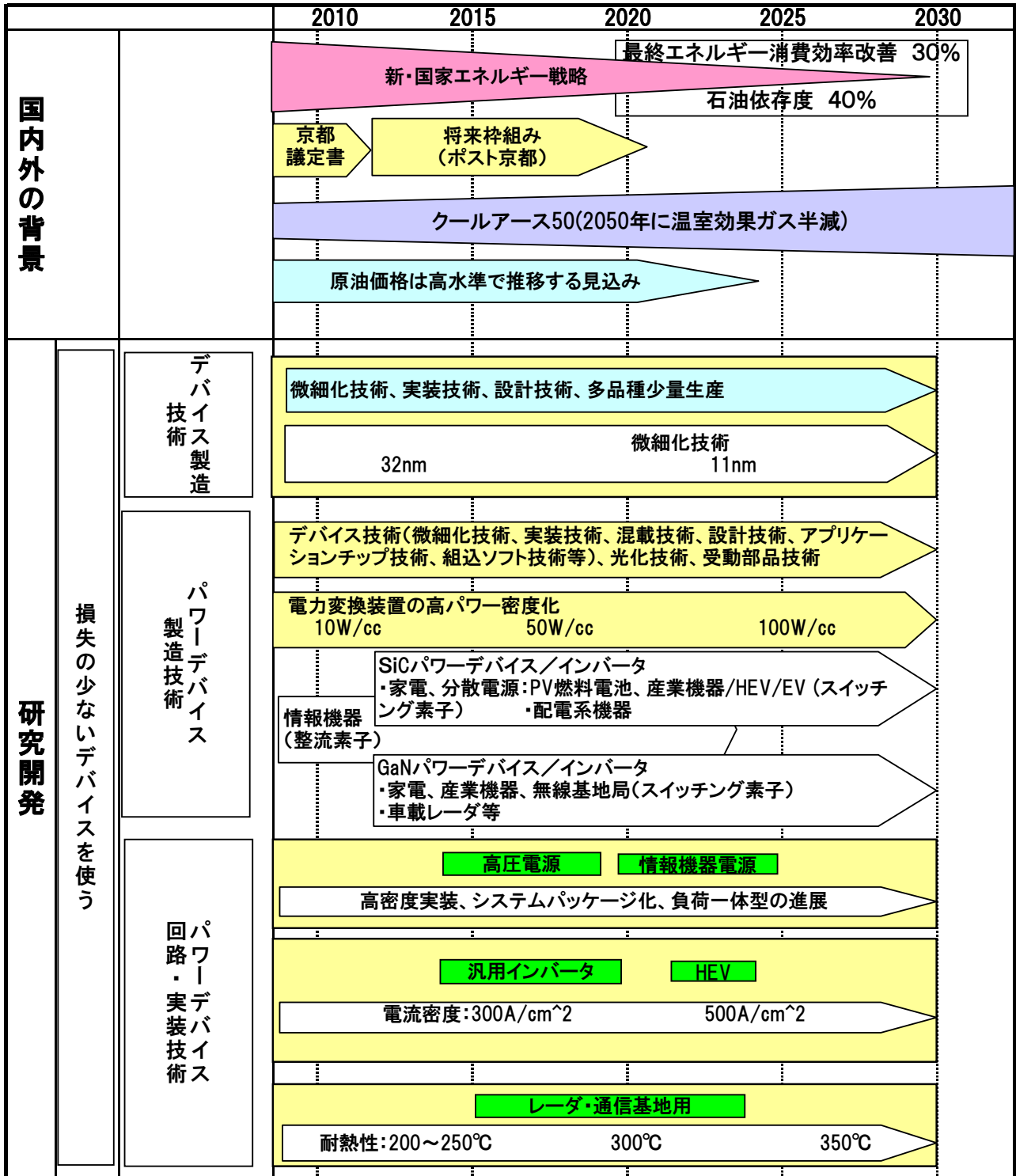
この技術開発に遅れる事は、国際的な競争に敗れる事になる。

- ②これに伴って、デバイスの高耐圧化、大電流化、高効率化という流れを先取りする技術開発の促進策が必須である。
- ③加えて、システムとしての性能を向上することが必須であり、このためたとえば待機電力の削減なども含めた応用面から見たロードマップ策定が今後の課題である。

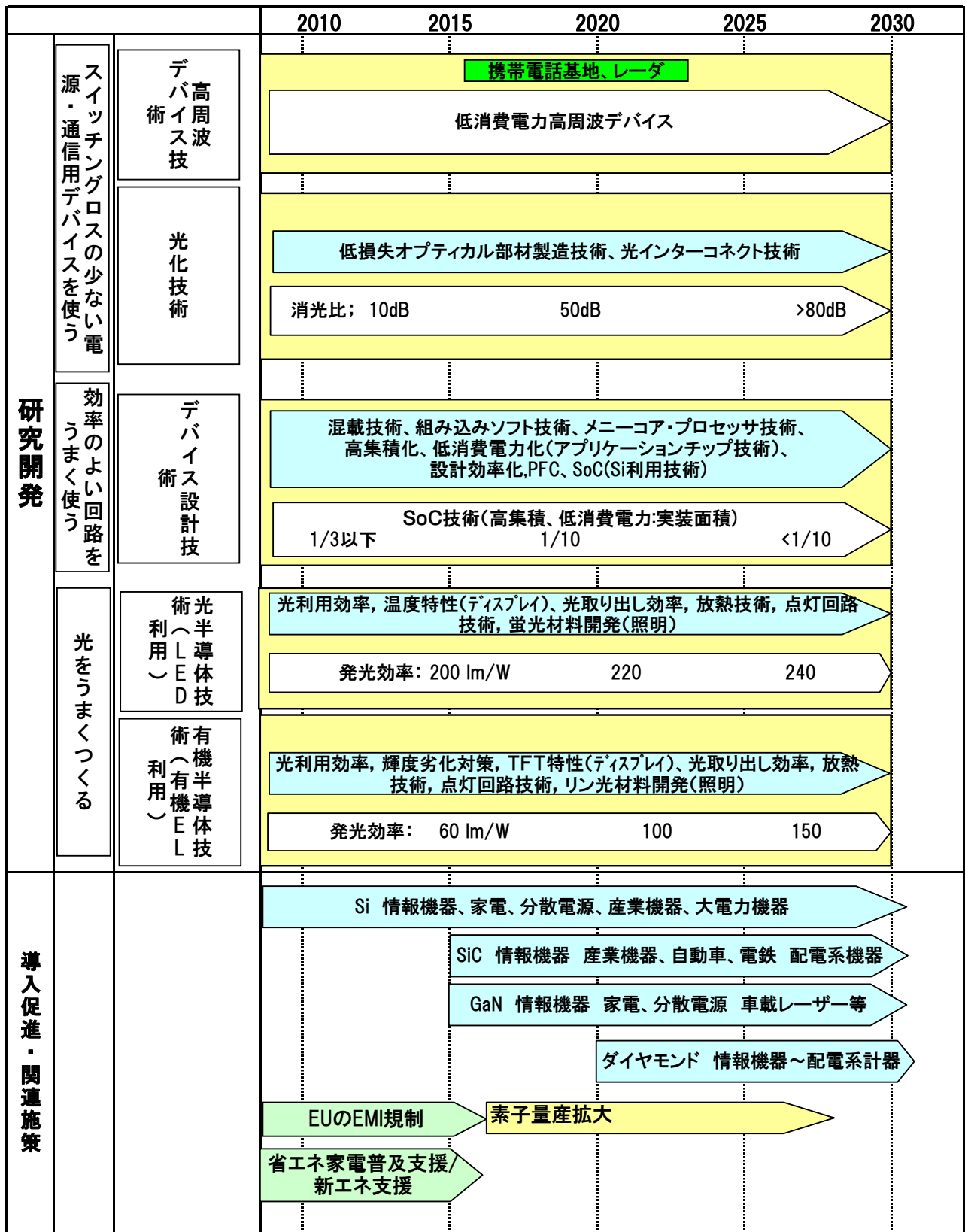
具体的な技術目標は以下の通りである。

- ①パワーエレクトロニクスというカテゴリーにおける、応用分野、システム側から検討した技術マップ、ロードマップの策定が必要である。
- ②Siパワーデバイス技術は、当面の主流デバイスとして10年間に30～50%の損失低減が見込めるが、欧米との熾烈な競争に勝ち残るためには、大口径(200mm～300mmφ)ニュートロンドープ施設など、高品質シリコン基板を量産するためのインフラ整備が必須である。
- ③SiC、GaNパワーデバイス技術においては、Siデバイスに対する損失低減効果は今後10年間で70～90%と予想されるため重点的な研究開発が必要である。特に、高品質、低価格基板技術がSiを置き換えるためには必須であり、そのための施策が必要である。また、パッケージ技術を含めた総合的システムとしての省エネ技術の検討が必須である。中期的にはトップランナー方式や省エネ装置や基板材料の改善や量産技術導入への補助などの技術革新促進策も必須である。
- ④照明やディスプレイ用のデバイス技術のエネルギーの使用合理化に向けた技術開発は、効率を2倍にすることによって5%という世界的規模の省エネルギーを達成できる分野であり、新技術の導入が大きなインパクトを与えるため、重点的な投資が必要である。
- ⑤今後の高度IT社会を予見すると、IT機器の待機電力低減も大きな課題である。パワーデバイスの省エネ化だけで対応できる課題ではないが、レーザ利用も含めたシステムとしての省エネ化の大きなテーマであり、今後集中的な検討が必要である。

## 次世代省エネデバイス技術の導入シナリオ



損失の少ないデバイスを使う



次世代省エネルギーデバイス技術 技術マップ

※太字:重要技術  
※青字:ケール7-ス50-革新技術計画に関連する技術

技術分野		分野構造			
分野	コンセプト	大項目	中項目	小項目	
次世代省エネルギーデバイス技術	少ない発熱量で仕事を する	損失の少ないデバイスを使う	デバイス製造技術	Si利用	微細化技術、超接合形成、薄ウェーハ化、実装技術、設計技術、多品種少量生産
			パワーデバイス製造技術	Si利用	中性子照射ドーピング技術(大口径化・均一化)
					微細加工化
					ウェハ大口径化、SOIウェーハ化
					高集積化、複合化
			Si利用	MOSFETの低抵抗化(SJ形成ピッチの微細化)	
				破壊耐量向上	
				ダイオードの低損失化・低ノイズ化	
				IGBTの低損失化(薄ウェーハ化)	
			SiC利用	シミュレーション技術 プロセス・デバイスシミュレーション 回路シミュレーション、熱・電磁界シミュレーション 連成シミュレーション	
				ウエハ大口径化、低転位密度化、低コスト化	
				エピ成長低転位密度化	
				チャンネル移動度向上	
			GaN利用	酸化膜耐熱性・寿命向上	
				デバイス特性向上、高温高信頼化	
デバイス大容量化					
デバイスシミュレーション					
ダイヤモンド利用	単結晶ウエハ大口径化、低転位密度化、低歪化				
	デバイス構造エピ成長膜の高品質化				
	ヘテロエピ成長ウエハ低転位密度化				
	チャネル移動度向上、酸化膜信頼性向上				
パワーデバイス共通(ショットキーダイオード、JFET/SIT、PINダイオード、BJT/Thy/IGBT、MESFET利用)	ノーマリオフ化、低導通損失化、スイッチング低損失化				
	複合集積化・高機能化				
	デバイスシミュレーション				
	ウエハ大口径化				
パワーデバイス回路・実装技術	エピ成長低転位密度化				
	デバイス形成プロセス				
	デバイス特性向上				
	デバイスシミュレーション				
レーザー応用技術	低寄生インピーダンス・低熱抵抗・高電流密度・高温実装				
	集積化・負荷一体型実装				
	高速制御・デジタル制御				
	ソフトスイッチング・マトリクスコンバータ				
高周波デバイス技術	高周波デバイス技術	InP/GaAs高周波用HFET/HBT利用	高周波集積回路低損失化 送受信アンテナ高効率化 低消費電力型高周波デバイス		
	光化技術	GaNデバイス利用	スイッチング用HFET		
		ストレージ・メモリ利用	ストレージ技術、不揮発性メモリ技術		
		光スイッチ利用	低損失オプティカル部材製造技術、光インターコネクト技術、シリコンフォトニクス		
効率的な回路をうまく使う	デバイス設計技術	Si利用	混載技術、組み込みソフト技術、メニーコア・プロセッサ技術、高集積化、低消費電力化(アプリケーションチップ技術)、設計効率化、PFC、SoC技術		
	ネットワーク・通信技術	フォトニックネットワーク利用	ユビキタス対応の無線等物理的制約を受けない高度通信機能、移動体通信、光ルータ、光スイッチ		
	光半導体技術	LED利用	光利用効率、温度特性(ディスプレイ)、光取り出し効率、放熱技術、点灯回路技術、蛍光材料開発(照明)		
少ない熱損失で発光させる	光をうまくつくる	有機半導体技術	有機EL利用	光利用効率、輝度劣化対策、TFT特性(ディスプレイ)、光取り出し効率、放熱技術、点灯回路技術、リン光材料開発(照明)	
		液晶技術	液晶ディスプレイ利用	輝度/面積、輝度/電力、コントラスト、視野角、応答速度	
		プラズマ技術	プラズマ発光利用	セル構造	
				紫外線発生効率	
材料開発					

次世代省エネルギーデバイス技術ロードマップ

コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030		
損失の少ないデバイスを使う	デバイス製造技術	Si利用	微細化技術、超接合形成、薄ウェーハ化、実装技術、設計技術、多品種少量生産	線幅: 32nm	11nm			
			中性子照射ドーピング技術(大口径化・均一化) ウェハ大口径化、SOIウェハ化	ウェハー口径: 8"	300mm			
	パワーデバイス製造技術	Si利用	微細加工化	微細加工: 0.25 μm	0.13 μm	90nm	45nm	
				SJ形成: 10 μmピッチ	4 μmピッチ	21 μmピッチ	1 μmピッチ	
			高集積化、複合化	TCAD、連成シミュレーションの変化:	10 <sup>7</sup> ASIC対応	3次元対応		
				集積化・複合化の進展:	10nm	<10nm		
			MOSFETの低抵抗化(SJ形成ピッチの微細化)	5mΩ cm <sup>2</sup> , 0.6kV	2.5mΩ cm <sup>2</sup> , 1.2kV	1mΩ cm <sup>2</sup> , 1.2kV		
				40mΩ cm <sup>2</sup> , 1.2kV	15mΩ cm <sup>2</sup> , 1.2kV	5mΩ cm <sup>2</sup> , 1.2kV		
			破壊耐量向上	耐熱: 175°C	200°C	225°C		
			ダイオードの低損失化・低ノイズ化	5kV:10mΩ cm <sup>2</sup>	10kV:<10mΩ cm <sup>2</sup>			
			IGBTの低損失化(薄ウェーハ化)	電流高密度化、高温動作、低損失化			高速鉄道	
			SiC利用	ウエハ大口径化	ウエハ口径	4"	6"	
	ウエハ低転位密度化	10 <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup>			10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>	50/cm <sup>2</sup>	10/cm <sup>2</sup>	
	チャンネル移動度向上	50 cm <sup>2</sup> /Vs		100	200			
		酸化膜耐熱性・寿命向上		150°C-30年	250°C-30年			
	GaN利用	単結晶ウエハ大口径化、低転位密度化、低歪化		口径	3"	4"	5"	
				転位密度: 10 <sup>3</sup> cm <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup> cm <sup>-2</sup>	10cm <sup>-2</sup>		
	ダイヤモンド利用	ウエハ大口径化	曲率半径 < 10m	曲率半径 > 1km				
			スイッチング低損失化	10mΩ cm <sup>2</sup> , 0.6kV ノーマリオフ化	1mΩ cm <sup>2</sup> , 0.6kV	0.5mΩ cm <sup>2</sup> , 0.6kV		
		エピ成長低転位密度化	GaN/Si基板 6インチ	8インチ	10インチ			
GaN/SiC基板 4インチ			5インチ					
デバイス形成プロセス	DD: (GaN/Si基板) < 10 <sup>9</sup> cm <sup>-2</sup>	< 10 <sup>7</sup> cm <sup>-2</sup>						
デバイス特性向上	高速成長: 0.5 μm/h	2	3	5	10			
パワーデバイス回路・実装技術	パワーデバイス共通	低寄生インピーダンス・低熱抵抗・高電流密度・高温実装	高密度実装、システムパッケージ化、負荷一体型の進展	高压電源	情報機器電源			
			電流密度: 250A/cm <sup>2</sup>	500A/cm <sup>2</sup>	汎用インバータ	HEV		
		耐熱性:	200°C	225°C	250°C			
		集積化・負荷一体型実装	TCAD、連成シミュレーションの変化	情報機器電源				
		高速制御・デジタル制御	高速制御、デジタル制御の進展					
		ソフトスイッチング・マトリクスコンバータ	ソフトスイッチング、マトリクスコンバータの進展	電力系統	高速鉄道			
高調波・EMI対策、通信機能	高調波・EMI対策、通信技術の進展	高速鉄道、電力系統						
受動部品の小型・低損失・耐熱性向上	耐熱性: 175°C	200°C	250°C	レーダ・通信基地用				



コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030			
損失の少ないデバイスを使う	レーザー応用技術	固体レーザー利用	ウエハ装置、前工程、後工程、LCD基板製造	Nd系	Yb系	LCD基盤・パネルのリペア装置			
		固体UVレーザー利用	リソグラフィレーザーアニール	CVD、イオン注入		高品位な微細加工装置			
		エキシマレーザー利用	リソグラフィ、レーザーCVDレーザードーピングLCDアレイ製造	KrF	ArF	XeCl	エキシマレーザーを使用する露光装置		
		CO2レーザー利用	レーザー切断・穴あけレーザーマーキング				基板加工・マーキング装置		
		ファイバーレーザー利用	通信用・加工用		シングルモード	ダブルモード	ファイバー付き高出力LD装置		
		LD利用	励起用レーザー				波長変換短波長レーザー	LD励起Nd:YAGレーザー	
スイッチングロスが少ない電源・通信用デバイスを使う	高周波デバイス技術	高周波用HFET利用	低消費電力型高周波デバイス			低消費電力高周波デバイス	携帯電話基地、レーダ		
		GaNデバイス利用	スイッチング用HFET	低消費電力高周波デバイス			サーバ電源	家電インバータ	汎用インバータ
	光化技術	ストレージ・メモリ利用	ストレージ技術、不揮発性メモリ技術				光メモリ: 1GB/cm <sup>2</sup>	100	>10 <sup>4</sup>
		光スイッチ利用	低損失オプティカル部材製造技術				消光比: 10dB	50dB	>80dB
効率のよい回路をうまく使う	設計技術	Si利用	混載技術、組み込みソフト技術、メニーコア・プロセス技術、高集積化、低消費電力化(アプリケーションチップ技術)、設計効率化、PFC、SoC技術				SoC技術(高集積、低消費電力:実装面積1/3以下)	1/10	<1/10
	ネットワーク・通信技術	フォトニックネットワーク利用	ユビキタス対応の無線等物理的制約を受けない高度通信機能、移動体通信、光ルータ、光スイッチ				データ転送速度: 50Gbps	>100Gbps	
光をうまくつくる	光半導体技術	LED利用	光利用効率, 温度特性(ディスプレイ)、光取り出し効率, 放熱技術, 点灯回路技術, 蛍光材料開発(照明)				発光効率: 200 lm/W	光半導体技術(LED利用) 220	240
	有機半導体技術	有機EL利用	光利用効率, 輝度劣化対策, TFT特性(ディスプレイ)、光取り出し効率, 放熱技術, 点灯回路技術, リン光材料開発(照明)				発光効率: 60 lm/W	有機半導体技術(有機EL利用) 100	150

## 省エネルギー技術戦略研究会 委員名簿

役名	氏名	所属・役職
委員長	横山 明彦	東京大学 大学院 工学系研究科 電気工学専攻 教授
委員	赤井 誠	(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 主幹研究員
委員	石井 勝	東京大学 生産技術研究所 教授 (電気学会 副会長)
委員	神本 武征	東京工業大学 名誉教授 (自動車技術会 省エネルギー技術戦略検討委員会 委員長)
委員	佐藤 春樹	慶応義塾大学 大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 教授
委員	杉山 大志	(財)電力中央研究所 社会経済研究所 重点課題責任者
委員	林 潤一郎	北海道大学 エネルギー変換マテリアル研究センター 教授 (化学工学会 エネルギー部会長)
委員	疋田 知士	(財)エネルギー総合工学研究所 研究理事
委員	山本 俊二	三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 所長
委員	横堀 誠一	武蔵工業大学 工学部 原子力研究所 教授 (日本伝熱学会 副会長)
委員	吉野 博	東北大学 大学院 工学系研究科 教授 (日本建築学会 省エネルギー技術戦略2007評価のための特別調査委員会 副委員長)

(五十音順)

## 事前評価書

	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">作成日</td> <td style="padding: 2px;">平成 22 年 2 月 4 日</td> </tr> </table>	作成日	平成 22 年 2 月 4 日
作成日	平成 22 年 2 月 4 日		
1. 事業名称 (コード番号)	次世代型ヒートポンプシステム研究開発		
2. 推進部署名	省エネルギー技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要： 「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」および「環境エネルギー技術革新計画」が目指す超高効率ヒートポンプ技術は既存技術の効率をはるかに上回るものであり、当該高効率を達成するためには機器単体の要素技術の開発だけでは限界があり、システム全体の効率改善が必要不可欠である。このため個々の技術を統合した次世代型ヒートポンプシステムの開発を行い、エネルギーの高度利用と導入用途拡大を目指す。</p> <p>(2) 事業規模：平成 22 年度事業費(国費分) 12 億円 (委託または 2/3 共同研究)</p> <p>(3) 事業期間：平成 22 年度～24 年度 (3 年間)</p>		
4. 評価の検討状況			
<p>(1) 事業の位置付け・必要性 近年、我が国での家庭・業務などの民生部門における最終エネルギー消費は、全体の 3 割強を占め、産業、運輸部門に比べて増加が著しい。その民生部門におけるエネルギー消費の内訳は冷暖房・給湯用が、家庭部門で 6 割、業務部門で 5 割を占めており、これらの削減が極めて重要である。また最終エネルギー消費の 5 割を占めている産業部門においては、工場空調、加湿、乾燥などの分野でボイラによる燃焼式システムの高効率化やヒートポンプ代替によるエネルギー削減が重要となっている。ヒートポンプは、冷暖房・給湯用エネルギー消費の削減に極めて有望な対策である。また、産業部門ではヒートポンプ利用拡大による消費エネルギー削減効果が期待されている。このためシステム化によりヒートポンプの飛躍的な効率向上、利用拡大を実現できる基盤技術開発の必要性は高い。</p>			
<p>(2) 研究開発目標の妥当性 経済産業省がとりまとめた、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の技術ロードマップでの「超高効率ヒートポンプ」において、効率の目標は 2030 年に現状比 1.5 倍、2050 年に現状比 2 倍、また「革新的材料・製造・加工技術」での「蒸気生成ヒートポンプ」では、2020 年頃に COP 4.0 の達成が掲げられている。</p> <p>(3) 本研究開発では、「超高効率ヒートポンプ」が 2030 年に達成目標としている現状比 1.5 倍以上の効率を目標と設定し、適用対象(家庭用、業務用、産業用)ごとに現状の技術レベルで実現できるシステムを現状システムとした場合の投入エネルギーを 1/1.5 以下に削減できる研究開発を行うこととした。また、早期の実用化に導くために、適用対象ごとに実機による性能確認を行うことも目標とした。</p> <p>高温熱を生成するヒートポンプシステム(例えば 120℃級熱を生成するシステム)に関しては、「蒸気生成ヒートポンプ」の 2020 年頃の達成目標である COP 4.0 を踏まえて、現状が COP 3.0 レベルと想定し現状比 1.3 倍以上の効率を目標と設定した。同様に適用対象(主として産業用)ごとに現状の技術レベルで実現できるシステムを現状システムとした場合の投入エネルギーを 1/1.3 以下に削減できる研究開発を行い、実機による性能確認も目標とした。</p>			

なお、これまでに実現されていない昇温幅(例えば180℃級熱を生成するシステム)を実現するヒートポンプシステムは、現状システムをボイラなどの加温システムとして、同等以上の効率が見込めるシステムの実現可能性の可否も含めた技術課題を明確にすることを目標とした。

またこれら目標設定については今後も委員会ならびに有識者ヒアリングなどで聴取した意見を適切に反映させる。

以上のことから本研究開発の目標設定は妥当である。

#### (4) 研究開発マネジメント

公募を通じて、高い技術を有する民間企業、大学、公的研究機関等による最適な実施体制を構築する。必要に応じて、外部有識者の意見を求め、その結果を踏まえて事業全体の予算配分や計画について見直しを行い、適切な運営管理に努める。さらに別途定められた技術評価に係る指針、および技術評価実施要領に基づき、技術的、および産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。また、目標達成する可能性のある提案が複数存在する場合には、研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速することを目的として、「ステージゲート制度」を導入する。

#### (5) 研究開発成果

適用対象(家庭用、業務用、産業用)において、2030年に効率が現状比1.5倍以上(高温熱を生成するヒートポンプシステムの場合は1.3倍以上)を達成する次世代型ヒートポンプシステム実現のための基盤技術の確立と、実機(プロトタイプ機)による目標達成の確認が行える。

#### (6) 実用化・事業化の見通し

我が国における家庭・業務などの民生部門における最終エネルギー消費は、全体の3割強を占め、その増加は他部門に比べて著しく、CO2削減に向けては、特に家庭部門で6割、業務部門で5割を占める冷暖房・給湯用エネルギー消費の削減が極めて重要な開発である。このため、ヒートポンプの更なる高効率化は極めて重要な技術開発であり、その実用化も急がれている。本研究開発に空調、制御等のメーカーや建設会社などが参画することにより、研究成果である基盤技術は新製品に反映されることが見込まれる。また民間企業による本研究開発後の製品化研究開発により2015年頃に次世代型ヒートポンプシステムの製品化を実現できる。

#### (7) その他特記事項

特になし。

### 5. 総合評価

「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」が目指す「超高効率ヒートポンプ」、「蒸気生成ヒートポンプ」の目標を実現するためには、機器単体の要素技術の開発だけでは限界があり、新たに一次側熱源の多様化、搬送の効率化、二次側負荷変動への自動追従技術や躯体設計等を高度に組み合わせ、システム全体での効率を大幅に改善することが不可欠である。これらを民間企業単独で開発を実施することは極めて困難であり、多岐にわたる関係機関・企業の連携による官民一体となった研究開発の取り組みが必要となり、NEDOが実施する事業として適切であると判断する。

「次世代型ヒートポンプシステム研究開発（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成 22 年 3 月 30 日  
NEDO  
省エネルギー技術開発部

NEDO POST 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
お寄せいただきましたご意見を検討し、別添の基本計画に反映させていただきました。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成 22 年 2 月 10 日～平成 22 年 2 月 23 日

2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞

計 1 件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
<p>1. 評価に関する事項</p> <p>[意見 1] 達成目標の評価方法を、さらに明確に示してほしい。技術の目標、効果のうち省エネルギー効率を強調するにあたって、建築にかかわる場合、建物の耐久性、室内環境、システム全体のイニシャルコスト、ランニングコスト縮減効果も重要となる。また相対的にシステムを考えた場合、システムを構成している個別技術、たとえば 2010 年 2 月現在ホームページに掲載しているフローに示されている技術課題別の主要な技術テーマの評価方法、目標、効果をさらに明確にいただければありがたい。</p>	<p>・評価の方法 外部有識者等からなる NEDO の委員会（「次世代型ヒートポンプシステム研究委員会」）において検討した結果、現時点ではシステムを評価する統一的な方法がなく、また適用対象（家庭用、業務用、産業用）によって条件なども変わってくるために、公募の際に、提案者から評価指標もあわせてご提案頂くことと致しました。</p>	<p>・「(別紙) 研究開発計画 2. 研究開発の具体的内容」に「開発されるシステムごとに効率の評価指標を検討」を追記</p>

<p>たとえば、技術課題①熱をどのように収集／搬送するのかについての技術として採熱方法がいくつかある。また、②制御や蓄熱で収集した熱をどのように有効に利用するかの技術として、躯体蓄熱技術（建物基礎構造材を活用する）や換気システム技術があり、それらの性能によって建物の耐久性や室内環境の改善が考えられる。さらに、③どのように連携、最適化するのか、2次側の変動にどのように対応するのか、制御や蓄熱でヒートポンプ熱をどのように有効に利用するのかについて、①躯体蓄熱技術、換気システム技術が考えられる。これら複数の技術と、それらの連携による効果の評価方法と検証方法がよくわからないので、それらを知ることができれば、技術開発を行っている者としては大変ありがたい。</p>	<p>・個別の技術課題別の目標、効果 今回は、システム全体の目標、効果について設定しており、どのような個別の技術を組み合わせるべきかは、提案者にご判断頂き、自由にご選択いただくことにしております。従って、個別の技術課題の目標、効果についてはお示しておりません。</p>	<p>・特になし</p>
--	--	--------------

以上

## 特許論文リスト

	特許出願		論文発表		その他外部発表 (新聞、雑誌、展示会等)
	国内	PCT 出願	査読付き	学会発表	
件数	23	2	9	90	85

平成26年6月現在

## 特許

### 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

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2011-260373 (PCT 出願)	空気調和機	日立アプライアンス株式会社
特願 2011-260374	空気調和機	日立アプライアンス株式会社
特願 2011-261867	空気調和機および 空気調和機の運転方法	日立アプライアンス株式会社
特願 2012-133796	空気調和機及び その制御方法	日立アプライアンス株式会社
特願 2012-133802	空気調和機	日立アプライアンス株式会社
特願 2012-150543	空気調和機	日立アプライアンス株式会社
特願 2013-071958 (PCT 出願)	冷媒圧縮機	株式会社日立製作所

### 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2011-45237	地中熱利用空調システム	清水建設株式会社
特願 2011-102551	地中熱利用システム	清水建設株式会社

### 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

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2011-189915	熱融通可視化装置および熱融通可視化システム	公立大学法人大阪市立大学，三菱重工業株式会社，関西電力株式会社，大阪市建設局，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，株式会社NTTファシリティーズ総合研究所
特願 2011-189916	熱売買支援装置および熱売買支援システム	公立大学法人大阪市立大学，三菱重工業株式会社，関西電力株式会社，大阪市建設局，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，株式会社NTTファシリティーズ総合研究所
特願 2011-189917	熱融通支援装置および熱融通支援システム	公立大学法人大阪市立大学，三菱重工業株式会社，関西電力株式会社，大阪市建設局，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，株式会社NTTファシリティーズ総合研究所

		ティーズ総合研究所
特願 2012-185366	熱交換器	公立大学法人大阪市立大学，関西電力株式会社，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，三菱重工業株式会社
特願 2012-135491	マンホール，下水引出ユニットおよび下水熱利用システム	公立大学法人大阪市立大学，関西電力株式会社，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社
特願 2012-135492	スクリーン装置および下水熱利用システム	公立大学法人大阪市立大学，関西電力株式会社，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社
特願 2012-185366	熱交換器	公立大学法人大阪市立大学，関西電力株式会社，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，三菱重工業株式会社
特願 2013-088134	二重管式熱交換器	公立大学法人大阪市立大学，関西電力株式会社，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，三菱重工業株式会社
特願 2013-192732	下水取排水装置及び下水熱利用システム	公立大学法人大阪市立大学，株式会社総合設備コンサルタント，中央復建コンサルタンツ株式会社，関西電力株式会社

#### 高密度冷熱ネットワークの研究開発

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2014-128668	塊状氷を用いた熱交換システム	東洋熱工業株式会社
特願 2014-128670	塊状氷の充填率制御装置	東洋熱工業株式会社

#### 地中熱を軸にしたハイブリッド型熱源CO<sub>2</sub>ヒートポンプ温水暖房システムの研究開発

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2010-226586	暖房装置	サンデン株式会社
特願 2010-247755	暖房装置	サンデン株式会社

#### 人の分布・温冷感をセンシングして、局所気流を最適制御する次世代型空調システムに関する研究開発

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2011-199355	空調制御システム	ダイキン工業株式会社

#### 査読付き論文

#### 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

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 26 年	International	Theoretical and experimental	Shiyu Feng, Naoki Nakagawa,



8月	Heat Transfer Conference	studies on characteristics of adsorption performance of desiccant rotor applied to desiccant heat pump	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 赴弘, 党 超鋺, 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 赴弘, 中川 直紀, 党 超鋺, 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 赴弘, 中川 直紀, 党 超鋺, 飛原 英治

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

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 26 年 5 月 15 日	11th International Energy Agency Heat Pump Conference	Research and Development of Innovative Energy-saving Controls of Next-generation Multiple Air-conditioning Systems for Buildings	廣田真史, 岩田美成, 櫻場一郎, 永松克明, 品川浩一, 桂木宏昌, 星野秀明, 笠原伸一, 藪 知宏, 岡 昌弘

地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 26 年 6 月	日本建築学会技術報告集	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	鈴木道哉他

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

年度	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 26 年 1 月	空気調和・衛生工学会論文集 No.202 pp.11-21	下水管路における流量・温度推定のための下水流量・温度の実測	三毛正仁, 鍋島美奈子, 西岡真稔, 澤部孝一, 中尾正喜, 貫上佳則
平成 26 年 3 月	空気調和・衛生工学会論文集 No.204 pp.47-55	下水熱利用のための下水管路における晴天日下水流量推定法の提案	三毛正仁, 鍋島美奈子, 西岡真稔, 澤部孝一, 中尾正喜, 貫上佳則

高密度冷熱ネットワークの研究開発

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 24 年 5 月 17 日	Innostock 2012 Proceedings of 12th International Conference on Energy Storage INNO-SP-103	Study on Practical Use of the “High Density Cold Energy Network”	○Yuta Inada, Tadahiko Ibamoto, Masashi Momota, Takumo Miyanaga, Naoki Kemmotsu

学会発表

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

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
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
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 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－	古谷野赳弘, 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
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 25 年 4 月 7 日	The 5 <sup>th</sup> 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 25 年	5th International	Hybrid Desiccant Heat pump	Takehiro Koyano, Duri

9月7日	Conference on Solar Air-Conditioning	Systems Assisted by Solar Thermal Energy	Jang, Naoki Nakagawa, Shiyu Feng, Chaobin Dang, Eiji Hihara
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ー第1報：デシカントロータの吸脱着特性ー	中川直紀, 古谷野起弘, 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ー第2報：エアコンの夏季ノンドレイン運転ー	綾目久雄, 神戸正純, 黒田尚紀, 古谷野起弘, 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ー第3報：エアコンの冬季ノンフロスト運転ー	古谷野起弘, 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ー第4報：開発システムのAPF評価方法の提案ー	黒田尚紀, 綾目久雄, 神戸正純, 古谷野起弘, 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ー第5報：給湯機の冬季ノンフロスト運転ー	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

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

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成24年9月14日	2012年度日本冷凍空調学会年次大会	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発(第一報)	笠原伸一, 藪知宏, 岡昌弘, 岩田美成, 櫻場一郎, 永松克明
平成24年9月14日	2012年度日本冷凍空調学会年次大会	ビル用マルチエアコ	永松克明, 櫻場一郎,

	調学会年次大会	ンの革新的省エネ制御の研究開発（第二報）	岩田美成,廣田真史,笠原伸一
平成 24 年 9 月 14 日	2012 年度日本冷凍空調学会年次大会	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発（第三報）	品川浩一,桂木宏昌,星野秀明,岩田美成
平成 24 年 11 月 17 日	日本機械学会熱工学コンファレンス 2012	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発	廣田真史,笠原伸一,永松克明
平成 25 年 9 月 11 日	2013 年度日本冷凍空調学会年次大会	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発（第四報）	品川浩一,桂木宏昌,星野秀明,廣田真史,笠原伸一,藪 知宏,岡 昌弘,岩田美成
平成 25 年 9 月 27 日	平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発（第一報）	永松克明,櫻場一郎,岩田美成,廣田真史,笠原伸一,藪 知宏
平成 25 年 9 月 27 日	平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発（第二報）	廣田真史,品川浩一,桂木宏昌,笠原伸一,岩田美成,永松克明
平成 25 年 9 月 27 日	平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会	ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発（第三報）	品川浩一,桂木宏昌,星野秀明,岩田美成

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

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 24 年 11 月 9 日	環境と新冷媒 国際シンポジウム 2012	実負荷に合わせた年間 効率向上ヒートポンプ システムに向けたワイ ドレンジスクロール圧 縮機	小山昌喜
平成 25 年 3 月 22 日	日本機械学会 情報・知能・精密機器 部門	空調モデルのパラメー タ同定による空調機最 適制御の研究	太田裕樹
平成 25 年 9 月 12 日	日本冷凍空調学会 2013 年度年次大会	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	吉田康孝

地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 23 年 3 月 1 日	第 4 回地下熱利用と ヒートポンプシステム 研究会	複数の揚水・注入井を組み合わせ た ATES の高効率化に関する研究	富樫聡・藤縄克之
平成 23 年 5 月 28 日	日本地下水学会 2011 年春季講演会	地下水制御型帯水層蓄熱 (ATES) システムの開発	富樫聡・藤縄克之
平成 23 年 5 月 28 日	日本地下水学会 2011 年春季講演会	地中熱利用システムにおける基礎 情報データベースの構築 その 2	内田洋平・吉岡真 弓・

			丸井敦尚 百田博宣
平成 23 年 6 月	3rd International Conference on Energy and Sustainability	Enhanced aquifer thermal energy storage for cooling and heating of Shinshu University Building by using a nested well system	A.Tomigashi and K.Fujinawa
平成 23 年 9 月 8 日	土木学会 第 66 回年次学術講演会	地下水利用型ヒートポンプシステムの適用可能地域の検討	百田博宣・ 内田洋平
平成 23 年 9 月 8 日	土木学会 第 66 回年次学術講演会	地下水利用型ヒートポンプシステムの地盤蓄熱効果に関する解析検討	米山一幸・ 百田博宣
平成 23 年 10 月 20 日	日本地下水学会 2011 年秋季講演会	帯水層中の物質移動パラメータ同定のためのトレーサー試験と適用結果	富樫聡・藤縄克之 他
平成 23 年 11 月 9 日	アーバンインフラ・ テクノロジー推進会議, 第 23 回技術研究発表会	地下水利用型地中熱ヒートポンプシステムの開発	米山一幸・百田博 宣・ 森野仁夫・鈴木道 哉・ 岡村和夫
平成 24 年 2 月 9 日	アーバンインフラ・ テクノロジー推進会議, 技術研究論文発表・講 演会	地下水利用型地中熱ヒートポンプシステムの開発	米山一幸・百田博 宣・ 森野仁夫・鈴木道 哉・ 岡村和夫
平成 24 年 5 月 18 日	INNOSTOCK2012, the 12th International Conference on Energy Storage	Cooling and Heating System of Shinshu University Building by Enhanced Aquifer Thermal Energy Storage,	K.Fujinawa and A.Tomigashi
平成 24 年 5 月 26 日	日本地下水学会 2012 年春季講演会	SIFEC3dp と共役傾斜法を用いた塩水トレーサー試験の逆解析法の開発—地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究 (その 2) —	富樫聡・藤縄克之
平成 24 年 5 月 26 日	日本地下水学会 2012 年春季講演会	ケルビンの線源関数と共役傾斜法を用いた熱応答試験の逆解析法の開発とその適用—地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究 (その 3) —	上原健人・藤縄克 之
平成 24 年 5 月 26 日	日本地下水学会 2012 年春季講演会	地下水制御型ヒートポンプシステムによる信州大学工学部講義棟暖房運転結果について—地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究 (その 4) —	石原貴之・藤縄克 之
平成 24 年 8 月 9 日	the 34th International Geological Congress	A Groundwater-Source Heat Pump System with Enhanced Aquifer Thermal Energy Storage (E-ATES) for Cooling and Heating of Shinshu University Building	A.Tomigashi, K.Fujinawa and T. Ishihara
平成 24 年 9 月 13 日	2012 年度日本建築学会 大会 学術講演会	地下水制御型高効率ヒートポンプシステムの評価	高木直樹
平成 24 年 9 月 27 日	日本地下水学会 2012 年秋季講演会	地下水制御型ヒートポンプシステムの冷房運転結果と帯水層への蓄	石原貴之・富樫 聡・

		熱状況について—地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究（その5）—	藤縄克之
平成 25 年 3 月 8 日	土木学会 中部支部研究発表会	地盤環境が熱応答試験結果に与える影響に関する実験的研究	濱野太宏・藤縄克之
平成 25 年 3 月 8 日	土木学会 中部支部研究発表会	地下水位観測と有限要素解析比較による信州大学工学部キャンパス周辺域の地下水流動検討	中山宏之・藤縄克之・矢澤英之

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

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 22 年 9 月 14 日	日本冷凍空調学会 年次大会講演論文集	地中埋設管路の非定常熱損失計算手法の提案	澤部 孝一, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子, 三毛 正仁
平成 23 年 8 月 23-25 日	H23 年度 日本建築学会大会 (日本建築学会学術講演梗概集)	下水管路を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 第 1 報 下水管路における下水流量・水温実測について	河合 弘樹, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子
平成 23 年 8 月 23-25 日	H23 年度 日本建築学会大会 (日本建築学会学術講演梗概集)	下水管路を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 第 2 報 下水流量推定法の提案	三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子
平成 23 年 8 月 23-25 日	H23 年度 日本建築学会大会 (日本建築学会学術講演梗概集)	下水管路を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 第 3 報 下水熱利用・熱融通システムシミュレーションの方法と試算	澤部 孝一, 三毛 正仁, 河合 弘樹, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子
平成 23 年 9 月 14-16 日	H23 年度空気調和・衛生工学会大会	下水管路を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 1 報) 下水管路における下水流量・水温実測について	河合 弘樹, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 瀬川 勇輝, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 23 年 9 月 14-16 日	H23 年度空気調和・衛生工学会大会	下水管路を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 2 報) 下水流量推定法の提案と下水熱利用・熱融通システムシミュレーションの方法	脇田 翔平, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 瀬川 勇輝, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 23 年 9 月 14-16 日	H23 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究(第 3 報)非定常熱輸送特性計算における応答係数のデータベース化と下水管路断面方向の熱流把握	瀬川 勇輝, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 23 年 9 月 14-16 日	H23 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究(第 4 報)管路長方向の熱輸送特性計算手法と下水熱利用・熱融通システムシミュレーション手法	澤部 孝一, 三毛 正仁, 河合 弘樹, 瀬川 勇輝, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 23 年 9 月 14-16 日	H23 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究(第 5 報) 下水熱利用・熱	三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 瀬川 勇輝, 脇田 翔平, 中尾 正喜,

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
		融通システムの試算と下水熱利用適用可能性マッチング手法の検討	西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 24 年 9 月 5-7 日	H24 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 1 報)大阪海老江処理区における下水温度・下水流量の年間実測について	河合 弘樹, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 瀬川 勇輝, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 24 年 9 月 5-7 日	H24 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 2 報)下水施設の計測下水流量を用いた管路下水流量推定法と気温を用いた下水温度推定法の提案	脇田 翔平, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 瀬川 勇輝, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 24 年 9 月 5-7 日	H24 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 3 報) 非定常熱輸送特性計算における応答係数のデータベース化と下水管路断面方向の熱流把握	瀬川 勇輝, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 24 年 9 月 5-7 日	H24 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 4 報) 管路長方向の熱輸送特性計算手法と下水熱利用・熱融通システムシミュレーション手法	澤部 孝一, 三毛 正仁, 河合 弘樹, 瀬川 勇輝, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島美奈子
平成 24 年 9 月 5-7 日	H24 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 5 報)下水熱利用・熱融通システムの試算と下水熱利用適用可能性マッチング手法の検討	三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 瀬川 勇輝, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子
平成 25 年 3 月 1 日	空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会前刷集	A-73 下水管路内表面における熱伝達の基礎的研究	瀬川 勇輝, 西岡 真稔, 中尾 正喜, 三毛 正仁, 鍋島 美奈子, 澤部 孝一
平成 25 年 3 月 1 日	空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会前刷集	A-74 下水熱回収熱交換器の汚れに関する基礎的検討	崔林日, 北富 正晃, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子, 澤部孝一, 三毛 正仁, 貫上 佳則, Farnham Craig, 中尾 正喜
平成 25 年 3 月 1 日	空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会前刷集	A-75 下水管路を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 : (第 3 報)大阪市内における下水温度実測と地域性を考慮した下水温度推定法について	河合 弘樹, 澤部 孝一, 中村 賢司, 中尾 正喜, 三毛 正仁, 脇田 翔平, 鍋島 美奈子, 西岡 真稔
平成 25 年 3 月 1 日	空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会前刷集	A-76 下水管路を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 : (第 4 報)大阪市内における下水流量実測と集水面積・下水処理流量を用いた推定法について	脇田 翔平, 澤部 孝一, 中村 賢司, 中尾 正喜, 三毛 正仁, 河合 弘樹, 鍋島 美奈子, 西岡 真稔
平成 25 年 3 月	空気調和・衛生工	A-77 下水管路を利用した下水熱	中村 賢司, 澤部 孝一,

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1日	学会近畿支部学術研究発表会前刷集	利用・熱融通システムの研究：(第5報)貯湯槽を含めた下水熱利用システムの省エネルギー効果の試算	脇田 翔平, 西岡 真稔, 三毛 正仁, 河合 弘樹, 中尾 正喜, 鍋島 美奈子
平成 25 年 9 月 25 日	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	家庭の排水熱を利用した上水予熱システムの開発 浴槽排水熱回収用熱交換器の製作と性能評価	阿部 敏也, 鍋島 美奈子, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 三毛 正仁, 澤部 孝一
平成 25 年 9 月 25 日	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	下水熱回収熱交換器の熱通過率に関する実験(第1報) 管周壁採熱型下水熱交換器の熱通過率に関する基礎的検討	瀬川 勇輝, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子, 中尾 正喜
平成 25 年 9 月 25 日	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	下水熱回収熱交換器の熱通過率に関する実験(第2報) 下水熱回収熱交換器の汚れに関する基礎的検討	崔 林日, 三毛 正仁, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子, Craig Farnham, 澤部 孝一, 中尾 正喜, 貫上 佳則
平成 25 年 9 月 25 日	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	下水熱回収熱交換器の熱通過率に関する実験(第3報) 管内設置方熱交換器性能把握について研究	Craig Farnham, 三毛 正仁, 崔 林日, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子, 三宅 晴輔, 澤部 孝一
平成 25 年 9 月 27 日	H25 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第6報) 大阪市内における下水流量実測	三毛 正仁, 河合 弘樹, 鍋島 美奈子, 澤部 孝一, 中村 賢司, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔
平成 25 年 9 月 27 日	H25 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第7報) 大阪市の任意地点における下水流量推定法の提案と検証	澤部 孝一, 鍋島 美奈子, 河合 弘樹, 三毛 正仁, 脇田 翔平, 中村 賢司, 中尾 正喜, 西岡 真稔
平成 25 年 9 月 27 日	H25 年度空気調和・衛生工学会大会	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第8報) 大阪市内における下水温度実測と任意地点での下水温度推定	鍋島 美奈子, 河合 弘樹, 三毛 正仁, 中村 賢司, 中尾 正喜, 澤部 孝一, 脇田 翔平, 西岡 真稔
平成 25 年 9 月 27 日	H25 年度空気調和・衛生工学会大会	下水管路を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第9報) 貯湯槽を含めた下水熱利用システムの省エネルギー効果の試算	中村 賢司, 三毛 正仁, 澤部 孝一, 河合 弘樹, 脇田 翔平, 中尾 正喜, 西岡 真稔, 鍋島 美奈子

高密度冷熱ネットワークの研究開発

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 23 年 9 月 15 日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp1235-1238	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究 (第1報) 全体のコンセプトと導入技術の概要について	○百田真史、射場本忠彦、宮良拓百、釵持尚紀、稲田雄大、山田博、渡邊聡、相川慎夫
平成 23 年 9 月 15 日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究	○宮良拓百、射場本忠彦、百田真史、釵持



	論文集、pp1239-1242	(第2報) 地域全体の業務用空調エネルギー消費に関するフィジビリティスタディ	尚紀、稲田雄大、山田博、渡邊聡、相川慎夫
平成24年9月7日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp2597-2600	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究 (第3報) 配管内IPFの計測手法及び配管内の冷熱制御方法の検討	○尾崎誠、射場本忠彦、百田真史、渡邊聡、釦持尚紀、宮良拓百、稲田雄大、芳賀史和
平成24年9月7日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp2601-2604	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究 (第4報) 配管内氷充填率の向上に関する検討と要素技術を包含した実証試験装置の概要	○町田優、射場本忠彦、百田真史、渡邊聡、釦持尚紀、稲田雄大、尾形甫、松本龍之介
平成25年9月25日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp49-52	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究 (第5報) 高密度・高流速時及び実大想定規模の配管を用いた圧力損失特性の把握	○尾形甫、射場本忠彦、百田真史、山田博、渡邊聡、釦持尚紀、稲田雄大、芳賀史和、松本龍之介、星野亨介
平成25年9月25日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp53-56	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究 (第6報) シミュレーションによるシステム導入条件に関する検討	○稲田雄大、射場本忠彦、百田真史、渡邊聡、釦持尚紀、宮良拓百、尾形甫、芳賀史和、松本龍之介、星野亨介
平成26年9月3日	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究 (第7報) 地域導管内の熱量制御精度の確認	○星野亨介、射場本忠彦、百田真史、山田博、渡邊聡、釦持尚紀、稲田雄大、長谷川勇斗

多様な未利用熱の活用を可能とした最適熱源切替型高効率高温循環ヒートポンプシステムに関する研究開発

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
23年8月23日～25日	2011年度日本建築学会大会	給湯ヒートポンプシステムにおける未利用熱としての排湯利用の可能性に関する調査研究	関根賢太郎、佐藤大樹、深尾仁、伊藤宏、齋藤潔、町田明登

人の分布・温冷感をセンシングして、局所気流を最適制御する次世代型空調システムに関する研究開発

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成23年8月23日	2011年度日本建築学会大会	局所気流を最適制御するタスク空調システムに関する研究 その1 衣服内気候のセンシングによる温冷感モデルの検討	久保田潤子、秋元孝之、太田仁子、寒田哲也、橋本哲、西野淳、近本智行
平成23年8月23日	2011年度日本建築学会大会	局所気流を最適制御するタスク空調システムに関する研究	寒田哲也、秋元孝之、太田仁子、久保田潤子、橋本哲、西野淳、

		その 2 衣服内気候のセンシングによる温冷感モデルの検討	近本智行
平成 23 年 8 月 24 日	2011 年度日本建築学会大会	居住域の温熱環境・省エネルギー性に関する研究 (その 9) 天井カセット方式ビル用マルチエアコンによる次世代型空調システム	藤田理緒、近本智行、橋本哲、西野淳、秋元孝之
平成 23 年 9 月 14 日 ～16 日	空気調和・衛生工学会大会	局所気流を最適制御するタスク空調システムに関する研究 第 1 報	久保田潤子
平成 23 年 9 月 14 日 ～16 日	空気調和・衛生工学会大会	局所気流を最適制御するタスク空調システムに関する研究 第 1 報	松浦健太
平成 23 年 9 月 14 日 ～16 日	空気調和・衛生工学会大会	居住域の温熱環境・省エネルギー性に関する研究 (その 10) 天井カセット方式ビル用マルチエアコンを用いた局所気流制御空調の効果検証	藤田理緒

その他

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

年月日	発表媒体・内容等
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 25 年	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, 古谷野赳弘, 中川直紀, 党超鋌, 飛原英治
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

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

年月日	発表媒体・内容等
平成 24 年 9 月 14 日	第 45 回 2012 建築設備技術会議 タイトル：次世代型ヒートポンプの開発と 導入事例 発表者：品川浩一（日本設計）
平成 24 年 11 月 16 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2012 タイトル： 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 発表者：櫻場一郎（中部電力）
平成 25 年 8 月 29 日	公益社団法人日本冷凍空調学会 関東地区主催セミナー タイトル：ビル用マルチエアコンの最新 省エネ制御技術について 発表者：笠原伸一（ダイキン）
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：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 発表者：廣田真史（三重大学）
平成 25 年 11 月 20 日	中部電力㈱平成 25 年度技術研究開発賞選考発表会 タイトル：ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開 発 発表者：永松克明、岩田美成（中部電力）
平成 26 年 3 月 25 日	雑誌「電力と建築設備」No.42 タイトル：ビル用マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開 発 執筆者：永松克明（中部電力）
平成 26 年 6 月 12 日	電気新聞 見出し：中部電力エネルギー応用研究所特集内にて、「ビル用 マルチエアコンの革新的省エネ制御の研究開発」の研究成果に ついて紹介 取材先：永松克明（中部電力）

#### 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

発表年月日	発表媒体・内容等
平成 23 年 12 月 1 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2011 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 吉田康孝/小山昌喜
平成 24 年 11 月 16 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2012 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 吉田康孝/小山昌喜
平成 25 年 10 月 31 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2013 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 吉田康孝/小山昌喜

#### 地下水制御型高効率空調ヒートポンプシステムの研究開発

年月日	発表媒体・内容等
平成 22 年 7 月 21 日	新聞発表：信濃毎日新聞 見出し：地下水利用の冷暖房システム －信大、効率化へ共同研究 取材先：信州大学

平成 22 年 11 月 20 日	テレビ放映：SBC 信越放送 タイトル：豊富な地下水を活用！ 次世代冷暖房システム、 サイブラススペシャル 発表者：信州大
平成 23 年 8 月 31 日	新聞発表：日本経済新聞地方版 見出し：信州大学工学部，地下水空調，時間差 を活用，冷房後の温水，冬の暖房に 取材先：信州大学
平成 23 年 11 月 15 日	新聞発表：建設産業，建設通信，日本経済新聞・長野版，建設 工業，日刊工業 他 見出し：システムの実証実験開始．地下水制御型高効率ヒート ポンプ空調 取材先：清水建設，信州大学
平成 23 年 12 月 1 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2011 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 百田博宣
平成 24 年 6 月 20 日	テレビ放映：NHK 長野放送 放送内容：イブニング信州～冬の寒さを夏に ～空調新システム～ 発表者：信州大
平成 25 年 3 月 10, 17 日	テレビ放映：BS フジ 放送内容：ガリレオ X ～日本のエネルギーの未来 新たな体制作りへの課題 発表者：信州大

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

年月日	発表媒体・内容等
平成 22 年 8 月 23 日	建築設備技術会議 タイトル：未利用エネルギーを活用したヒートポンプ 発表者：中尾 正喜
平成 22 年 10 月 19 日	文化交流センター夏期市民講座 タイトル：都市と家庭の（熱）エネルギー有効利用 発表者：中尾 正喜
平成 22 年 11 月 18 日	大阪市立大学文化交流センター ターム講座 タイトル：下水の熱を使う 発表者：中尾 正喜
平成 23 年 7 月 24 日	日本ヒートアイランド学会第 6 回全国大会 プレナリーセッション 2 タイトル：人工排熱低減対策の課題 発表者：中尾 正喜
平成 23 年 1 月 24 日	大阪ヒートアイランド対策コンソーシアム タイトル：下水熱利用の海外(スイス，ドイツ)技術動向について 発表者：中尾 正喜

年月日	発表媒体・内容等
平成 23 年 7 月 24 日	HI 学会日本ヒートアイランド学会第 6 回全国大会 プレナリー講演 「人工排熱低減対策の課題」 タイトル：都市内施設における排熱処理と熱回収 発表者：中尾 正喜
平成 23 年 9 月 28 日	第 5 回下水熱利用フォーラム・ベルリン タイトル：日本における下水熱利用研究 発表者：中尾 正喜
平成 23 年 10 月 25 日	復興支援スキーム検討分科会・国土交通省下水道部主催 タイトル：スイス、ドイツにおける下水熱利用技術の動向と NEDO 下水熱利用プロジェクトの研究開発状況 発表者：中曾 康壽
平成 23 年 11 月 24 日	公開シンポジウム「大阪の特色を活かした低炭素型都市の実現に向けて」 財団法人大阪都市工学情報センター・CITE さろん第 5 回「低炭素型都市を目指した大阪まちづくり研究会」 タイトル：大阪の特色を活かした低炭素型都市の実現に向けた提案 発表者：中尾 正喜
平成 23 年 12 月 22 日	平成 23 年度地域冷暖房セミナー「これからのまちづくりと熱供給—熱の有効利用と明日への備え—」, 日本熱供給事業協会, 神戸市産業振興センター タイトル：都市における熱エネルギーの有効利用 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 6 月 4 日	地球環境技術推進懇談会水再生・バイオソリッド研究会 タイトル：下水熱利用技術とその動向について—技術開発面からの課題等について— 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 6 月 5 日	EngIneerIngExhIbItIonTohoku'13 (EE 東北), EE 東北実行委員会 タイトル：講演「エネルギーの未来を拓く下水熱利用システム」 & パネル展示 発表者：中央復建コンサルタンツ
平成 24 年 10 月 13 日	日本機械学会関西支部第 13 回秋季技術交流フォーラム タイトル：「未利用下水熱利用の現状と課題」 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 11 月 13 日	大阪市立大学オープンラボラトリー タイトル：下水管路における熱利用技術 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 11 月 22 日	ヒートポンプ・蓄熱センター, 第 7 回都市・環境シンポジウム (名古屋) タイトル：都市の低炭素化を実現する熱エネルギーシステムについて 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 11 月 15 日	第 45 回建築設備技術会議 S5 エネルギー有効利用 タイトル：下水熱利用の技術動向 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 11 月 20 日	EHS&S 研究センサーセミナー2012 タイトル：「安心して暮らせるスマート社会の実現を目指して」 ・ スマートシティの熱エネルギー有効利用 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 11 月 22 日	第 7 回都市環境シンポジウム (名古屋東急ホテル) タイトル：都市の低炭素化を実現する 熱エネルギーシステムについて 発表者：中尾 正喜

年月日	発表媒体・内容等
平成 24 年 12 月 4 日	低炭素都市づくりシンポジウム 大阪（主催：日本都市計画学会低炭素社会実現に向けた特別委員会，一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター，市大文化交流センター） タイトル：都市における低炭素化を実現する下水熱エネルギーシステム 発表者：中尾 正喜
平成 24 年 12 月 5 日	新エネルギー・産業技術総合開発機構，「次世代型ヒートポンプシステム研究開発」 タイトル：講演会「下水熱利用が都市の未来を創る」 発表者：中尾 正喜,三毛 正仁,森 博昭,中曾 康壽
平成 24 年 12 月 7 日	日本冷凍空調学会，近畿冷凍空調工業会，シンポジウム「冷凍空調技術の将来動向」 タイトル：下水熱利用の技術動向 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 1 月 18 日	関西広域連合，関西経済活性化シンポジウム タイトル：関西の熱エネルギー有効利用戦略の提案 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 1 月 25 日	関西工学教育協会，第 86 回関西工学教育研究集会 タイトル：都市の低炭素化を実現する熱エネルギーシステムの研究・教育 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 2 月 9 日	日本都市計画学会，ヒートポンプ蓄熱センター，低炭素型地域・都市づくりシンポジウム タイトル：都市の低炭素化を実現する熱エネルギーシステムについて 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 2 月 27 日	大阪市立環境学習センター，大阪市民環境大学 2013 タイトル：下水熱利用が都市の未来を創る 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 2 月 28 日	空気調和・衛生工学会近畿支部，平成 23 年度地区講演会 タイトル：都市における熱エネルギーの有効利用に向けて 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 3 月 22 日	日本熱供給事業協会，熱エネルギーシンポジウム 2013，これからのエネルギー政策と熱供給の役割—未利用エネルギー活用の可能性と課題— タイトル：下水管路網を活用した熱供給システムの有効性 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 5 月 17 日	ヒートポンプ蓄熱センター，平成 25 年度電力負荷平準化・省エネ社会実現に向けたヒートポンプ・蓄熱システム普及セミナー（福岡） タイトル：都市における低炭素化を実現する下水熱エネルギーシステムについて 発表者：中曾 康壽
平成 25 年 6 月 21 日	関西下水道懇話会，第 126 回例会 タイトル：下水熱利用技術の動向 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 7 月 23 日	大阪市立大学文化交流センター夏期講座 タイトル：足元の熱エネルギー資源 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 8 月 1 日	公益社団法人日本下水道協会，第 50 回下水道研究発表会 タイトル：下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通技術の実環境実験について 発表者：小高 康生,森 博昭,森兼 政行
平成 25 年 10 月 24 日	日本建築学会，第 9 回建築設備シンポジウム「環境建築の新たな展開に

年月日	発表媒体・内容等
	向けて」 タイトル：足元の熱エネルギー利用 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 10 月 25 日	大阪市立大学, 第 56 回オープンラボラトリー タイトル：都市に眠る未利用熱の発掘と活用（テーマ：人工水系の活用） 発表者：中尾 正喜
平成 25 年 11 月 12-13 日	SEMINAR:«HeizenundKühlenmitAbwasser» タイトル：Development status of sewage heatutilization technology in Japan 発表者：三毛 正仁
平成 25 年 11 月 26 日	下水熱利用・熱融通技術見学, 講演会 タイトル：下水熱利用が都市の未来を担う 発表者：中尾 正喜,西岡 真捻,鍋島 美奈子,三毛 正仁,森 博昭,中曾 康壽
平成 25 年 12 月 4 日	ヒートポンプ蓄熱センター, 日本都市計画学会, 低炭素都市づくりシンポジウム (大阪) タイトル：都市における低炭素化を実現する下水熱エネルギーシステム 発表者：中尾 正喜

年月日	発表媒体・内容等
平成 24 年 2 月 29 日	環境新聞 見出し：都市での下水管路網を活用した下水熱利用の可能性
平成 24 年 3 月 7 日	日本経済新聞（電子） 見出し：下水の熱, 給湯や暖房に利用
平成 24 年 3 月 8 日	日本経済新聞 見出し：給湯や冷暖房 下水の熱を利用 関電など実験
平成 24 年 3 月 8 日	日刊工業新聞 見出し：都市部下水管 熱源に NEDOプロ実証設備を完成
平成 24 年 3 月 8 日	電気新聞 見出し：下水熱利用ヒートポンプ 実証試験設備が完成
平成 24 年 3 月 8 日	読売新聞 見出し：下水の熱 とことん利用
平成 24 年 3 月 8 日	朝日新聞 見出し：下水熱の活用めざす
平成 24 年 3 月 8 日	毎日新聞 見出し：下水循環でフル活用
平成 24 年 5 月 24 日	NHK (TV) 見出し：クローズアップ現代, 「眠れる熱エネルギーを活用せよ」
平成 24 年 5 月 26 日	産経新聞 見出し：夕刊冬温かく夏冷たい「下水熱」脚光
平成 24 年 6 月 24 日	日本経済新聞（朝） 見出し：下水の排熱を回収せよ 大阪で効率的利用を探る
平成 24 年 8 月 13 日	日本経済新聞 見出し：下水道で町の排熱融通 病院・店舗などで再利用
平成 24 年 12 月 17 日	建設通信新聞 見出し：下水から熱回収, 給湯・空調利用
平成 24 年 12 月 19 日	建設通信新聞 見出し：千島下水処理場の実証試験装置
平成 24 年 12 月 25 日	建設通信新聞

年月日	発表媒体・内容等
	見出し：法制度など環境整備も進む
平成 24 年 12 月 26 日	建設通信新聞 見出し：成功事例とノウハウ蓄積がカギ
平成 25 年 1 月 2 日	日本下水道新聞 見出し：熱利用実証研究すすむ 未処理下水熱で見学会
平成 25 年 2 月 13 日	朝日新聞（夕） 見出し：新熱源「下水」に熱い視線
平成 25 年 11 月 26 日	見学・講演会の開催 見出し：下水熱利用が都市の未来を担う/下水熱利用・熱融通システム実証試験装置見学・講演会の開催
平成 26 年 2 月 28 日	プレスリリース（関西電力） 見出し：関西電力などが下水熱で新エネルギー開発

#### 高密度冷熱ネットワークの研究開発

年月日	発表媒体・内容等
平成 23 年 2 月 3 日	低炭素社会への挑戦 東熱技術発表会 2011
平成 23 年 12 月 1 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2011 パネルディスカッション 「ヒートポンプの国内外の普及に向けた最新技術の展開と今後の課題」
平成 24 年 11 月 16 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2012 次世代型ヒートポンプシステム研究開発
平成 25 年 10 月 31 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2013 次世代型ヒートポンプシステム研究開発
平成 26 年 5 月 2 日	某サブコン実験施設見学
平成 26 年 7 月 2 日	某設計事務所実験施設見学
平成 26 年 8 月 20 日	某エネルギー会社実験施設見学
平成 26 年 8 月 28 日	某デベロッパー実験施設見学