

『次世代型ヒートポンプシステム研究開発』
研究評価委員会

発表資料(公開)

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式会社
(再委託先: 国立大学法人北海道大学)
株式会社日立製作所

平成26年10月17日

研究開発期間: 平成22年7月1日～平成25年2月28日

発表内容

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

1. 研究開発の背景、目的、目標

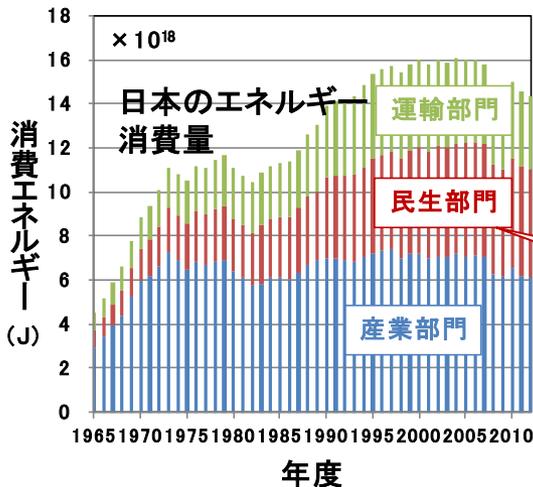
1.0. テーマの位置付け

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の構築を目的とした研究開発を行う。

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

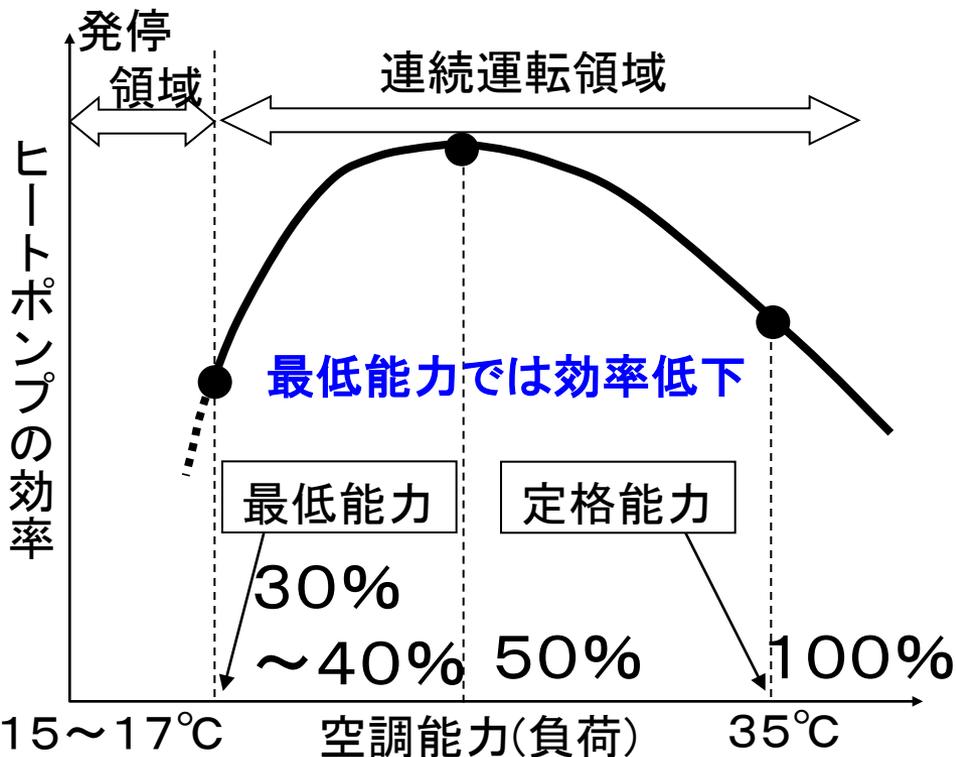
1. 研究開発の背景、目的、目標

1.1. 背景



＜業務部門中＞
熱源と熱搬送で43%

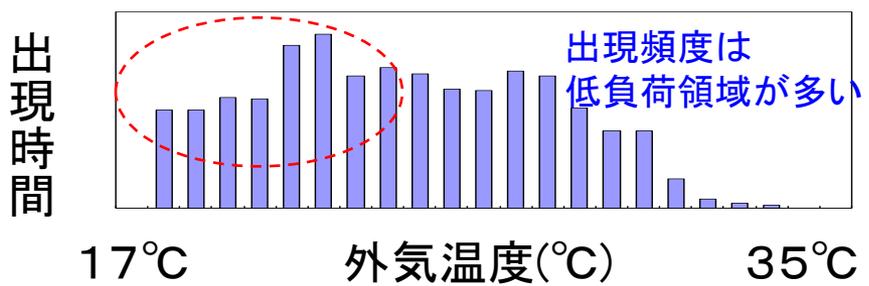
＜民生部門中＞
業務部門: 58%
家庭部門: 42%



ビル空調のエネルギー消費量が大きい。
業務用ヒートポンプの効率向上を図る。

＜現状の空調要求＞

- 空調負荷の出現頻度は低負荷領域が多い。
- ビル空調は低外気温時も冷房運転が必要。
(OA機器による負荷増加)



現在のヒートポンプ特性と外気温度出現時間 (JIS B 8616 事務所, 冷房期間, 東京)

1. 2. 課題・目的

<現状のヒートポンプ特性>

[A]空調能力約50%が最大効率。

(低負荷時に効率低下)

[B]制御定数のアンマッチにより
不要な圧縮機発停動作多発。

<目的、目標>

[A]効率と負荷出現がアンマッチ

高効率ワイドレンジ圧縮機

[B]不要な発停動作多発

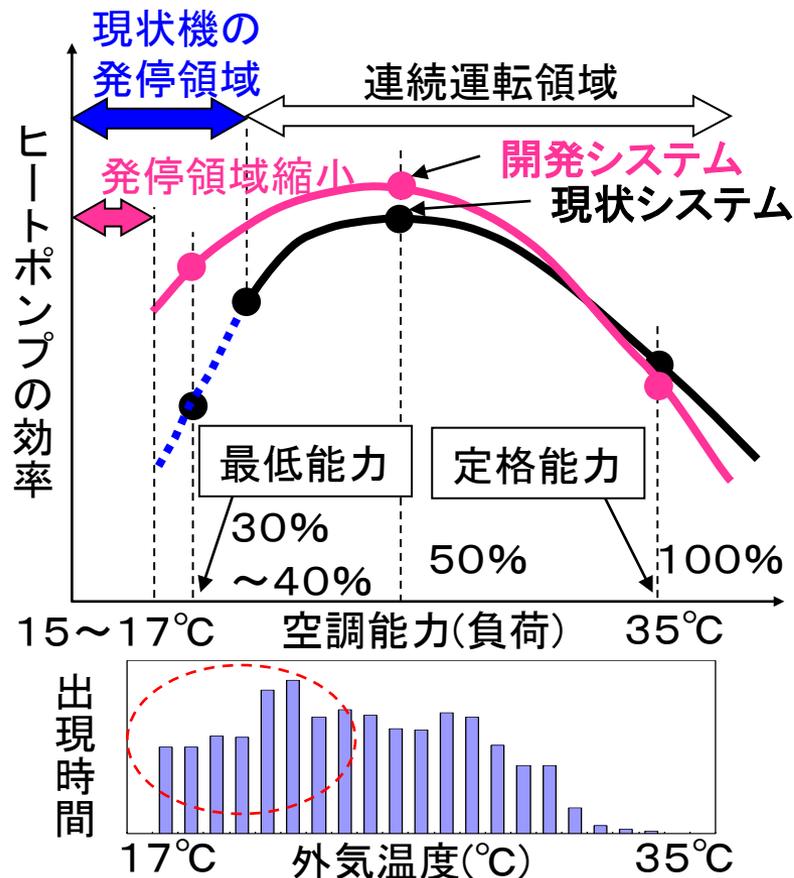
適応制御システム

[C]外気低温時に冷房必要

冷媒自然循環システム

(1)ヒートポンプシステムの研究開発

(2)高効率・ワイドレンジ
スクロール圧縮機の研究開発



1. 3. 事業最終目標

全体目標 (主目標)	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
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	<p>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</p> <p>(設定理由) 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</p>	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	開発当時の 技術レベル
(1)ヒートポンプシステムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・φ5細径室内熱交換器の採用 	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気圧縮式ヒートポンプ ・PID制御 ・φ7室内熱交換器
(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"> ・低負荷条件での圧縮機効率1.2倍向上 ・圧縮機単体で3~100%の運転実現 	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%

1. 4. 国内外の競合技術動向

研究課題	今回の開発技術	
(1) ヒートポンプシステムの研究開発	蒸気圧縮方式 ＋ 自然循環方式	効果的な冷媒タンク位置、及び自然循環方式運転中の発停制御や、暖房運転も考慮したものは見当たらない。
	適応制御	空調場の特性(空調負荷)を同定して制御定数をチューニングし、かつヒートポンプ自体の効率向上策と組合わせたものは見当たらない。
(2) 高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発	ワイドレンジスクロール圧縮機	容量範囲3～100%のスクロール圧縮機は見当たらない。

2. 研究開発の計画、研究体制

2. 1. 実施計画

		2010Fy	2011Fy	2012Fy
(1) ヒートポンプシステム	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1.5倍	—	—
	②省エネ効果の評価		—	—
	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現状システムの1.5倍	実機検証で、開発システムの年間効率が現状システムの1.5倍
	④ヒートポンプシステムの実証	—		
(2) ワイドレンジ圧縮機	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1.2倍	—	—
	⑥DLC摺動特性評価		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	—	—	
研究開発費(k円) (総計:253,787k円)		38,773k円	109,982k円	105,031k円

2. 2. 研究開発体制

研究開発責任者

日立アプライアンス株式会社

- ・研究実施場所: 清水事業所(静岡市)
- ・研究項目: **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切り替え、空調場の特性を考慮した適応制御システムの開発〉

株式会社日立製作所

- ・研究実施場所: 日立研究所(ひたちなか市)
- ・研究項目: **高効率・ワイドレンジスクロール圧縮機の研究開発**
〈スクロール圧縮機のワイドレンジ化、効率予測の検討〉
〈摺動部低摩擦表面処理評価〉
〈ワイドレンジモータ駆動技術開発〉

再委託先

国立大学法人 北海道大学

- ・研究実施場所: 工学研究院(札幌市)
- ・研究項目: **ヒートポンプシステムの評価と検証**
〈空調場に対する実使用条件の妥当性の評価及び効果の検証〉

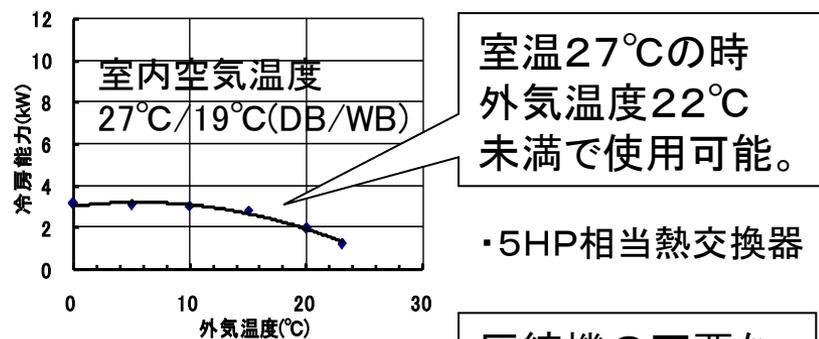
3. 技術内容と成果

3. 1. 成果

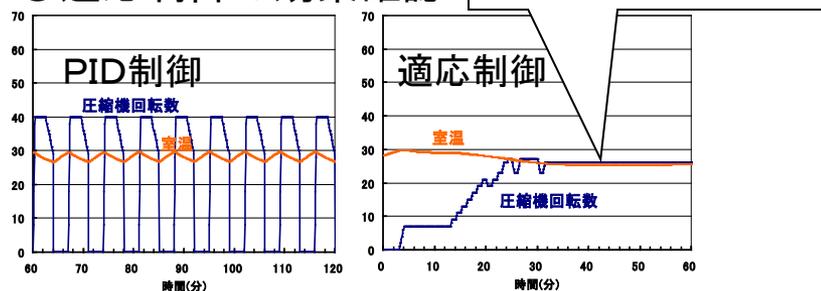
(1) ヒートポンプシステムの研究開発

① シミュレータの開発

○自然循環方式の効果確認



○適応制御の効果確認



開発したシミュレータにより、自然循環方式や適応制御の効果を確認した。

② 省エネ効果の評価

○開発システムの概要設計

容量	5HP
室外熱交換器 伝熱面積	現状システムの 1.37倍
室内熱交換器	φ5熱交換器搭載
圧縮機	高効率ワイドレンジ
制御	適応制御
	自然循環方式

現状システム：
2010年度発売
5HP標準機

○想定空調負荷モデルの設定(東京の一般事務所)

- (a)熱パラメータ
・床面積:100m²
・換気量:720m³/h等
- (b)設置空調機
・5HPパッケージ
エアコン×2台

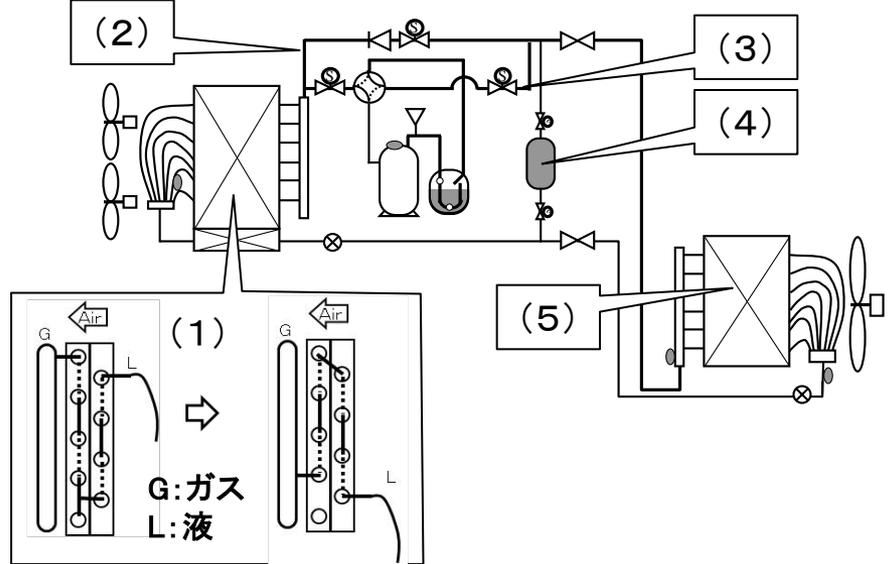
○モデルにおける現状と開発システムの効率比較

開発／現状比	冷房期間	暖房期間	年間
机上計算	1.69倍	1.30倍	1.52倍

提案した開発システムと現状システムを各効果を入れて比較すると、机上検討で年間1.52倍の効率となる事を確認した。

③ヒートポンプシステム試作

(a) 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



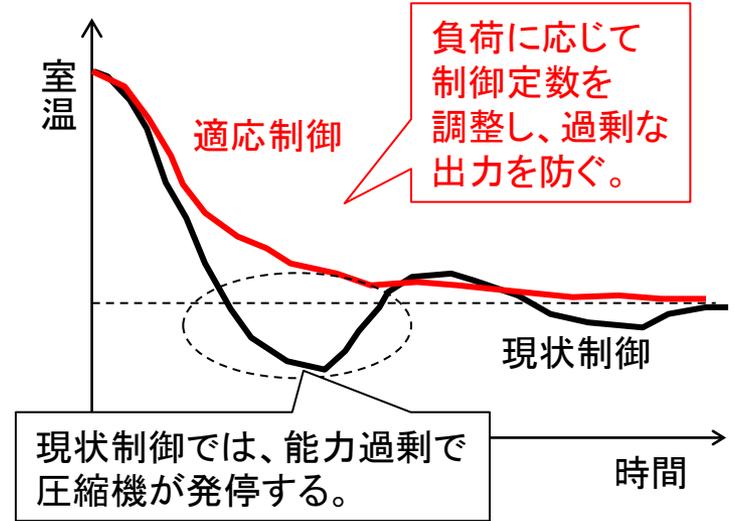
蒸気圧縮方式のパス 自然循環方式と蒸気圧縮方式の共用パス

- (1) 蒸気圧縮方式熱交換器と自然循環方式熱交換器を共用。
- (2) バイパス回路を追加。
- (3) 閉止回路を追加。
- (4) 液タンクと弁を追加。
- (5) 細径熱交換器を搭載。

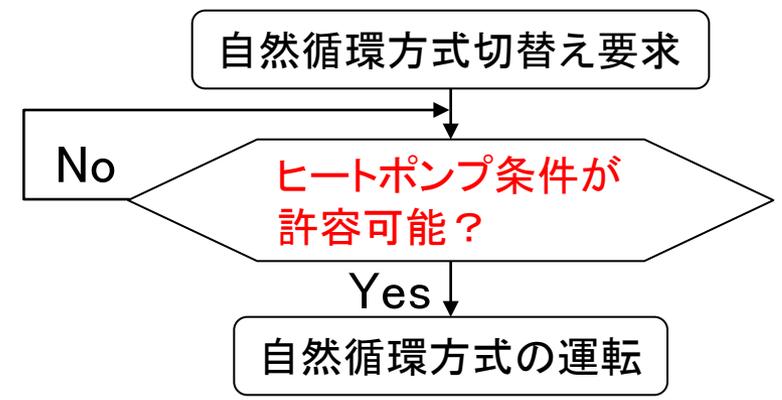
蒸気圧縮方式と自然循環方式を共用した冷凍サイクルを設計し、試作した。

(b) 適応制御、及び自然循環方式切替え制御の開発

＜適応制御＞



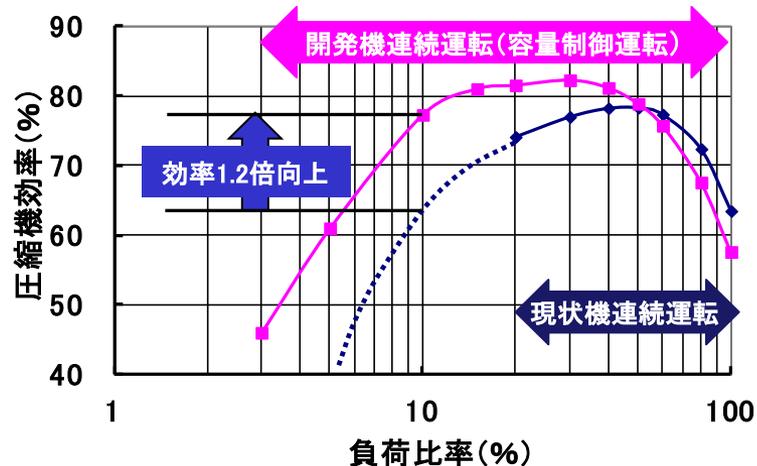
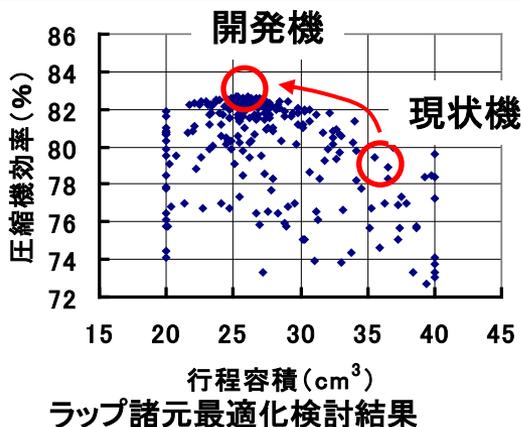
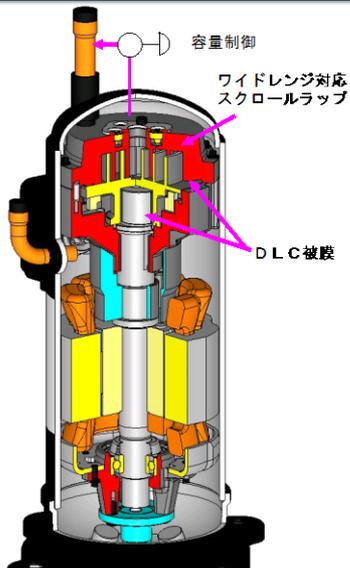
＜自然循環方式切替え制御＞



蒸気圧縮方式を運転する適応制御と、自然循環方式に切替える制御を設計し、実装した。

(2) 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



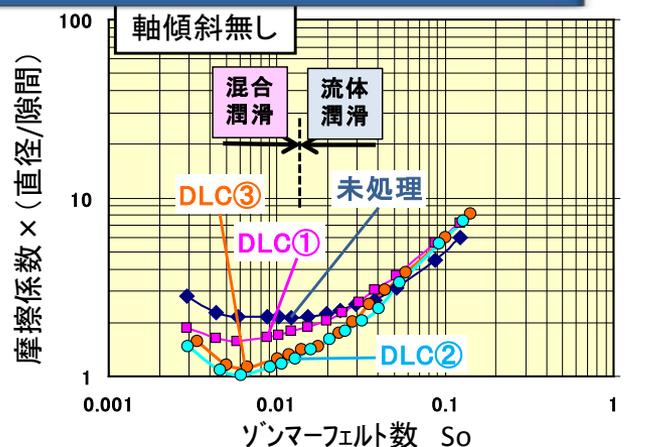
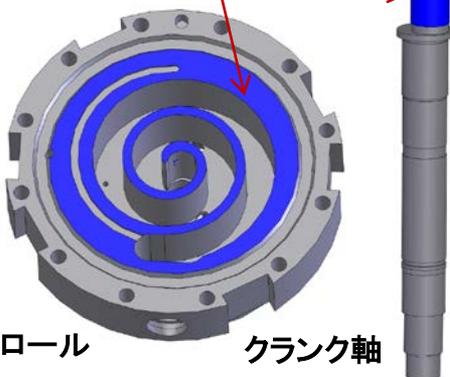
「最適化計算と効率予測」シミュレーションにより仕様を明確化

⑥ DLC摺動特性要素試験、評価

DLC
(ダイヤモンド・ライク・カーボン)
: 主として炭素、炭化水素からなる
非晶質炭素皮膜

低速回転条件での低摩擦化、
耐摩耗性向上
すべり軸受で未処理材に対し
最小摩擦係数は1/2に低下

適用部分



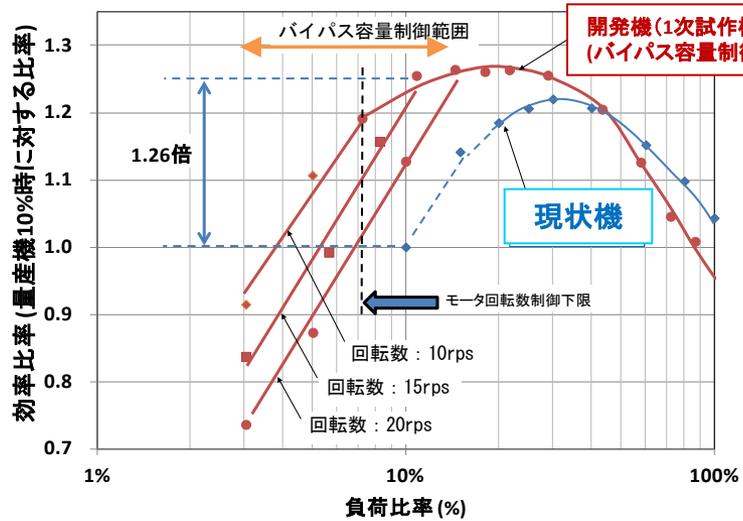
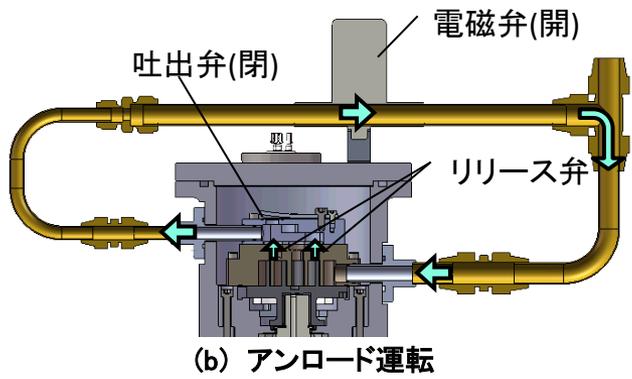
[粘度] × [回転速度] × [面圧]⁻¹ × (直径/隙間)²

油膜 薄い ← → 油膜 厚い

膜質とスクロール圧縮機への適用に関して特許出願(1件)(外国出願1件)

⑦ プロトタイプ機の設計・試作・試験 (バイパス容量制御)

公開



- ・バイパス容量制御
→3%負荷運転実現
- ・効率特性
→低回転数の方が効率が低い

バイパス容量制御(PWM制御)の特徴
・原理的に0~100%運転が可能

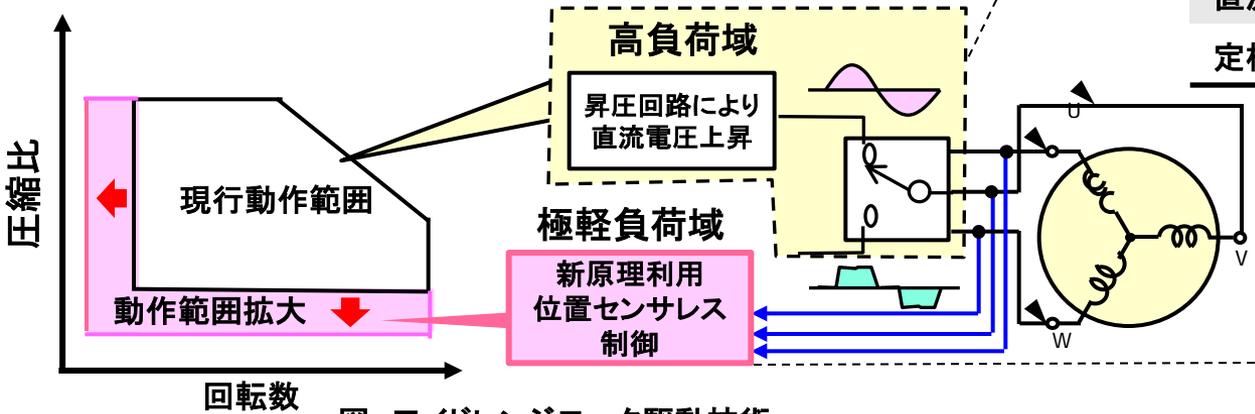
⑨ 高効率・ワイドレンジモータ駆動技術開発

(磁気飽和起電圧利用低速センサレス制御)

2012年度加速資金
(25.7M¥追加)

昇圧回路:
高速運転時の直流電圧を昇圧
⇒低速効率を重視したモータでの高速運転が可能

比較項目	開発機	現行機
最高回転速度 (rpm)	140	100
最低回転速度 (rpm)	4	20
直流電圧 (V)	260~390	260(固定)
定格電流 (A)	35	25



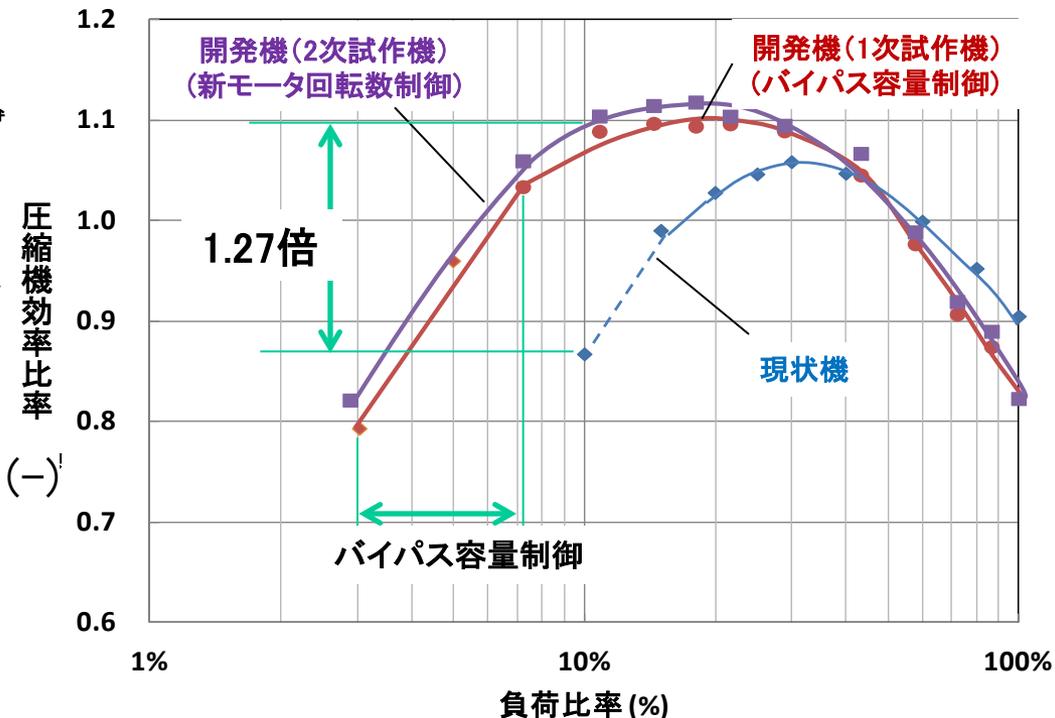
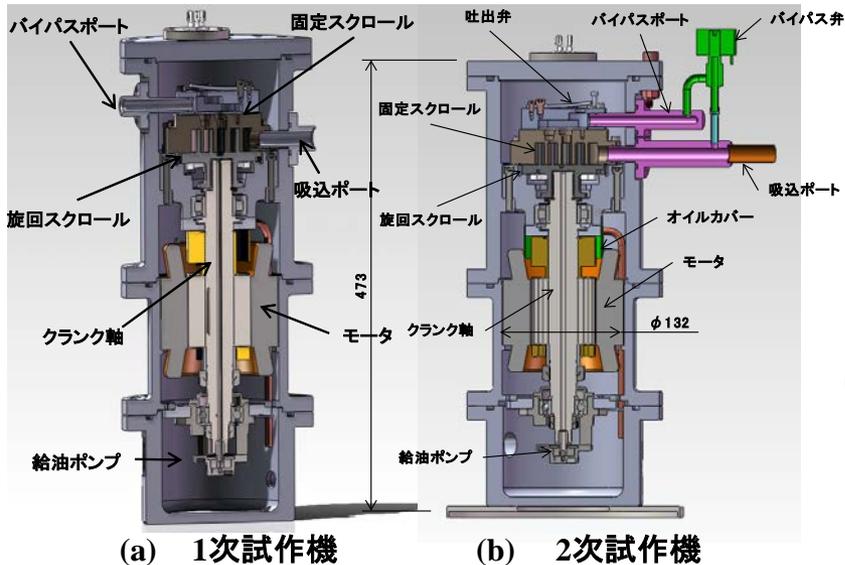
磁気飽和起電圧利用低速センサレス制御:
磁石位置推定パルスにて開放相端子電圧を検出(磁気飽和起電圧)
⇒磁石の位置情報を含み極低速制御可能

図 ワイドレンジモータ駆動技術

⑦ プロトタイプ機の設計・試作・試験

⑧ プロトタイプ機による効率の実証

試作機の構造

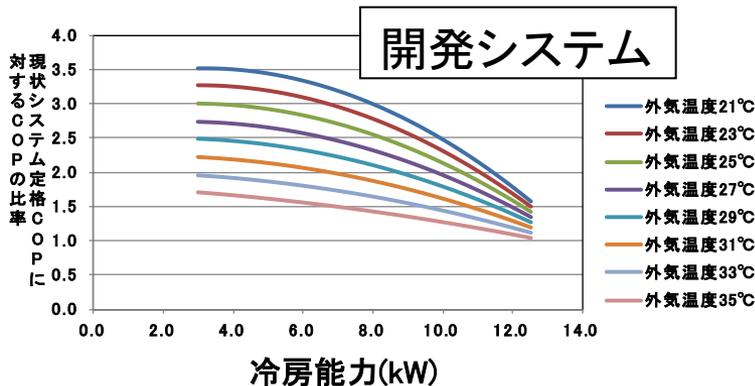
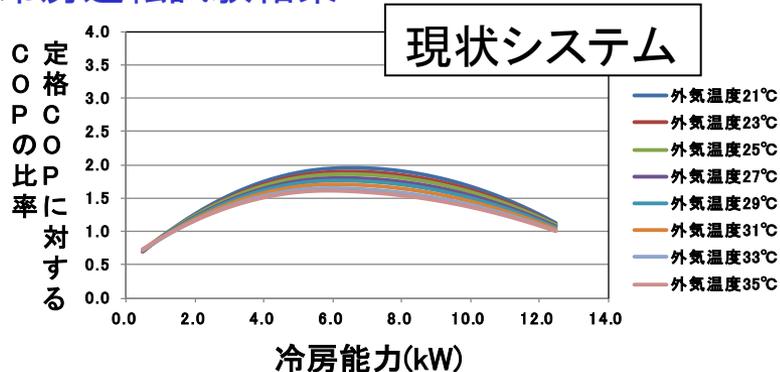


- ・1次試作機ではラップ諸元最適化
シミュレーション結果に基づき諸元を決定
- ・2次試作機はモータおよびバイパス
通路構造を変更
- ・2次試作機ではワイドレンジモータ駆動技術
により 4~140rps運転を達成

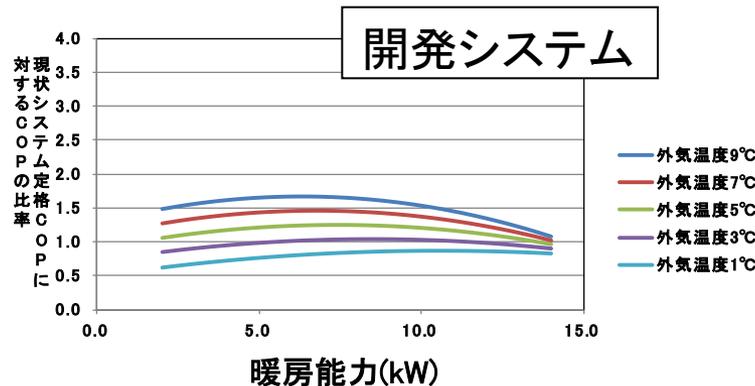
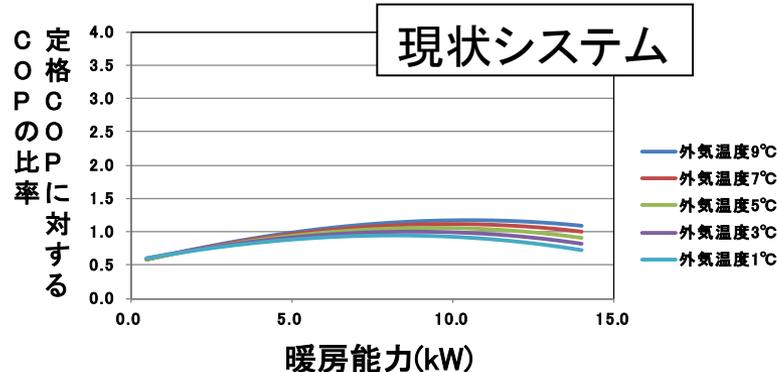
- ・1次試作機では10%負荷条件での圧縮機効率1.26倍向上
- ・負荷比率7%まではモータ回転数制御、3~7%はバイパス
容量制御運転にて3~100%運転達成
- ・2次試作機では10%負荷条件での圧縮機効率1.27倍向上
- ・新開発のワイドレンジモータ駆動技術により、モータ回転数
制御にて3~100%運転実現
(モータ回転数 4~140rps)

④ヒートポンプシステムの実証(ステップ1) (環境試験室での試験)

冷房運転試験結果



暖房運転試験結果



開発／現状比	冷房期間	暖房期間	年間
ステップ1試験	1.90倍	1.18倍	1.51倍

環境試験室におけるステップ1試験では、開発システムは現状システムの1.51倍の効率となった。

④ヒートポンプシステムの実証(ステップ2) (実使用場所での試験)

※2011年度
加速資金14.4M¥にて
1台開発システム試作追加、
及び遠隔監視システム設営にて
下記補正が可能となった。

○実使用場所:札幌(北海道大学)、
静岡(日立アプライアンス清水事業所)

実測結果

測定期間(2012年2月～2013年1月)

地区	システム区分	総合COP			
		冷房	暖房	年間	現状比(—)
札幌	現状システム	4.16	2.19	2.69	—
	開発システム	5.52	3.18	4.24	1.58
静岡	現状システム	3.75	—	3.75	—
	開発システム	6.27	—	6.27	1.67

平年の気温、標準的な負荷条件に
補正をした結果

地区	システム区分	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	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	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



開発システム

現状システム

2012年の気温では、開発システムの年間効率向上は札幌にて現状システムの1.58倍、静岡にて1.67倍となったが、平年の気温、標準的な負荷条件に補正すると、東京地区で1.55倍となった。

3. 2. 最終目標達成状況

全体計画	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
現状システム比1.5倍の効率を有する、年間効率向上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	最小容量30~40%で発停する蒸気圧縮式ヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ステップ1試験: <ol style="list-style-type: none"> 1. 51倍達成 ・ステップ2試験: <ol style="list-style-type: none"> 1. 58倍(札幌)達成 1. 67倍(静岡)達成 1. 55倍(東京推定)達成
個別研究項目	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
(1)ヒートポンプシステムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・適応制御の採用 ・φ5細径室内熱交換器の採用 	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気圧縮式ヒートポンプ ・PID制御 ・φ7室内熱交換器 	<ul style="list-style-type: none"> ・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) ・適応制御の採用(達成) ・φ5細径室内熱交換器の採用(達成)
(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"> ・効率1.2倍 ・圧縮機単体で3~100%運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率1.0倍 ・圧縮機単体で20~100%運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・負荷比率10%条件にて効率1.27倍達成 ・圧縮機単体で3~100%運転達成

3. 3. 特許出願状況

・2010年度～2012年度 国内7件(外国出願2件)

出願番号	名 称	出願人
特願2011 -260373	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	冷媒圧縮機	株式会社日立製作所

3. 4. 論文等

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
該当なし			

3. 4. 学会発表等

日付	学会名	発表タイトル	発表者
2011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
2012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
2012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
2013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
2013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
2013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

3. 4. その他外部発表(プレス発表等)等

年月日	発表媒体・内容等
	該当なし