

『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)

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

中部電力株式会社  
(再委託先:ダイキン工業株式会社)  
国立大学法人三重大学  
株式会社日本設計

平成26年10月17日

研究開発期間:平成22年8月20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

- ◆従来の業務用ビルの空調用ヒートポンプ(ビル用マルチエアコン)は、空調負荷率50%未満の低負荷領域でエネルギー消費効率(COP)の低下が見られる。
- ◆実際の建物のビル用マルチエアコンは、ピーク負荷をベースとして設計しているが、ピーク負荷の発生頻度は極めて少なく、低負荷領域での運転が多い。



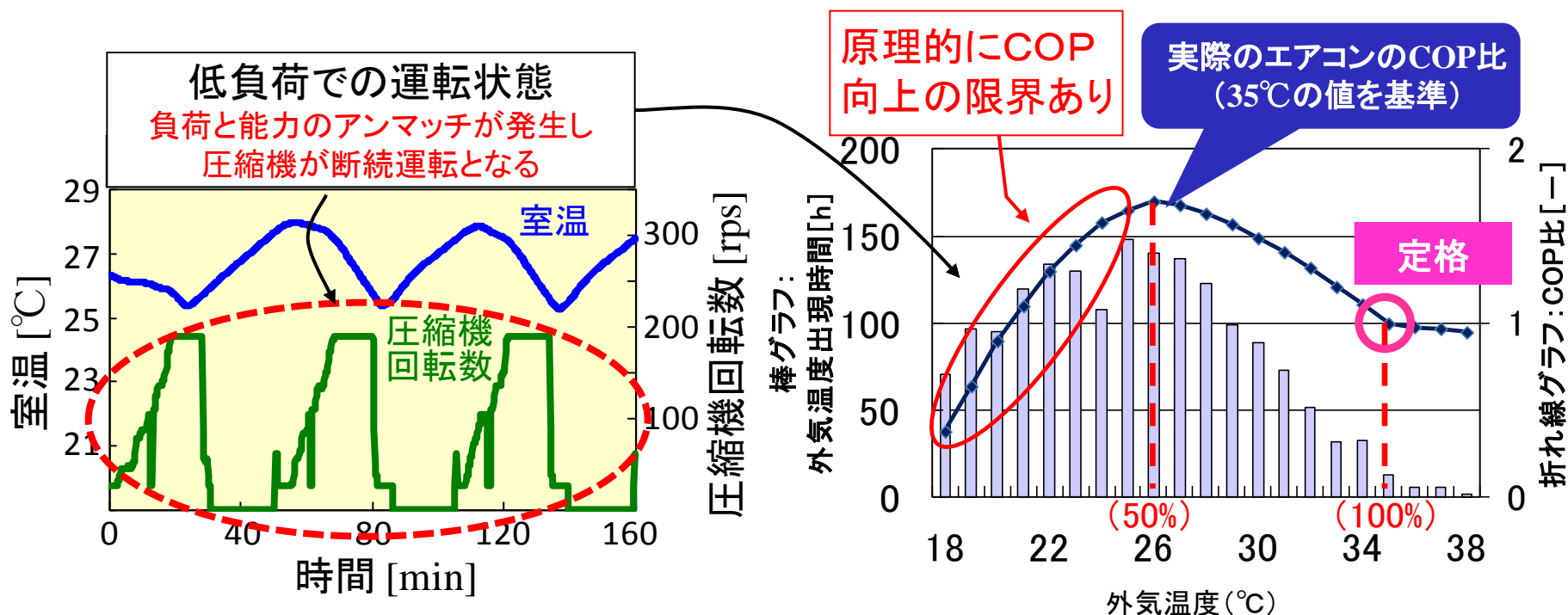
実効ある省エネルギーを図るためには、ビル用マルチエアコンの低負荷領域のCOP向上が必要である。

## 1. 2. 課題・目的

### ◆従来のビル用マルチエアコンの技術課題

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、汎用性を重視し、**室内機と室外機は協調なく独立した制御**

室内機・・・膨張弁で冷媒流量を制御し、室内温度を一定に保つ  
 室外機・・・圧縮機回転数を制御し、冷媒の蒸発温度(または凝縮温度)を一定に保つ。

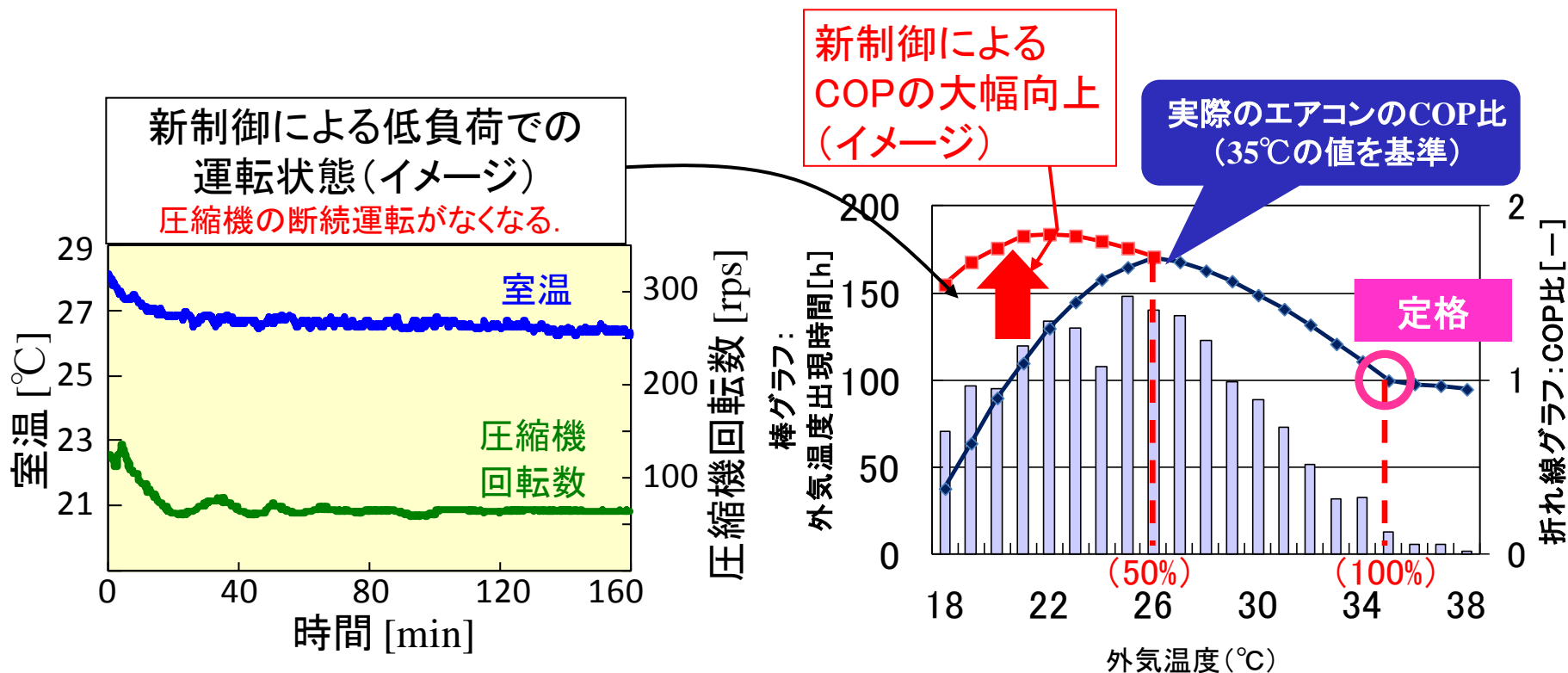


## 1. 2. 課題・目的

### ◆従来の技術課題を解決する「新制御」の研究開発

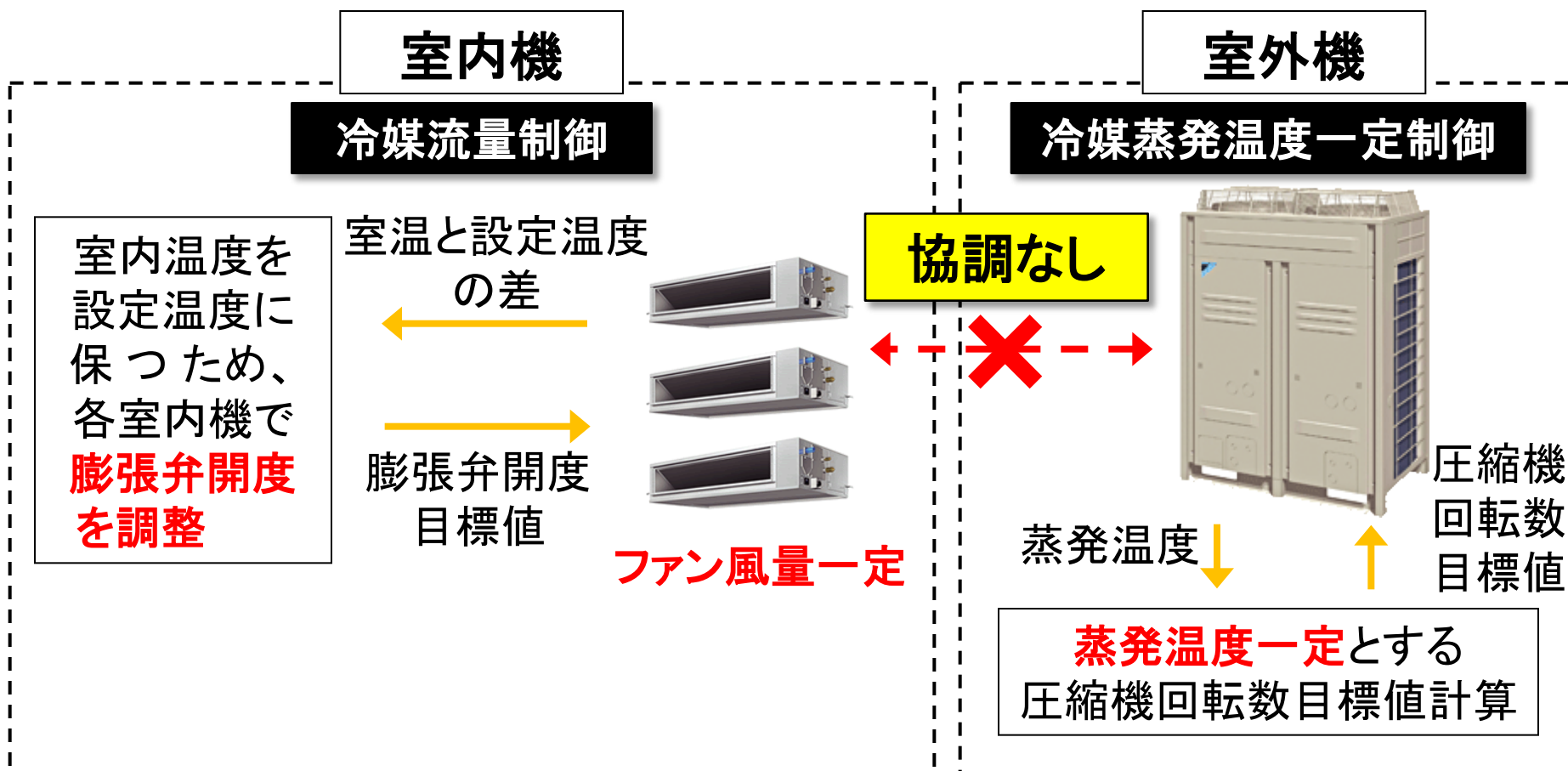
「リアルタイム負荷予測」と「能力最適化」(室内機と室外機の協調)により、低負荷での圧縮機断続運転に伴うCOP低下を改善

その他のCOP向上策として、冷暖同時運転時の熱収支ロス最小化制御、室外ファン回転数最適化制御、待機電力削減制御など、**制御の改善を主とした取組み**で実現



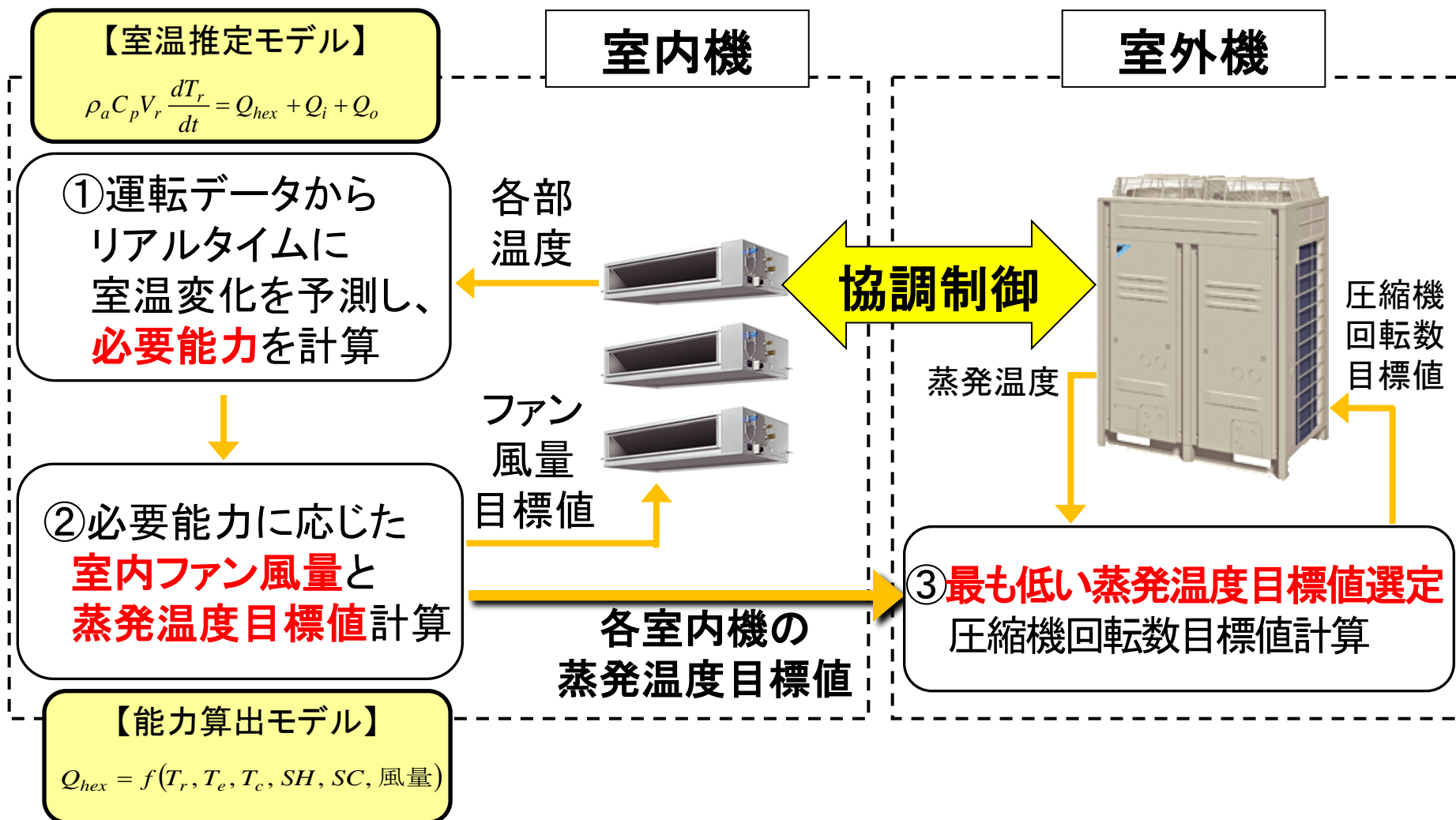
## 1. 2. 課題・目的

### ◆従来制御のフロー(冷房の場合)



## 1. 2. 課題・目的

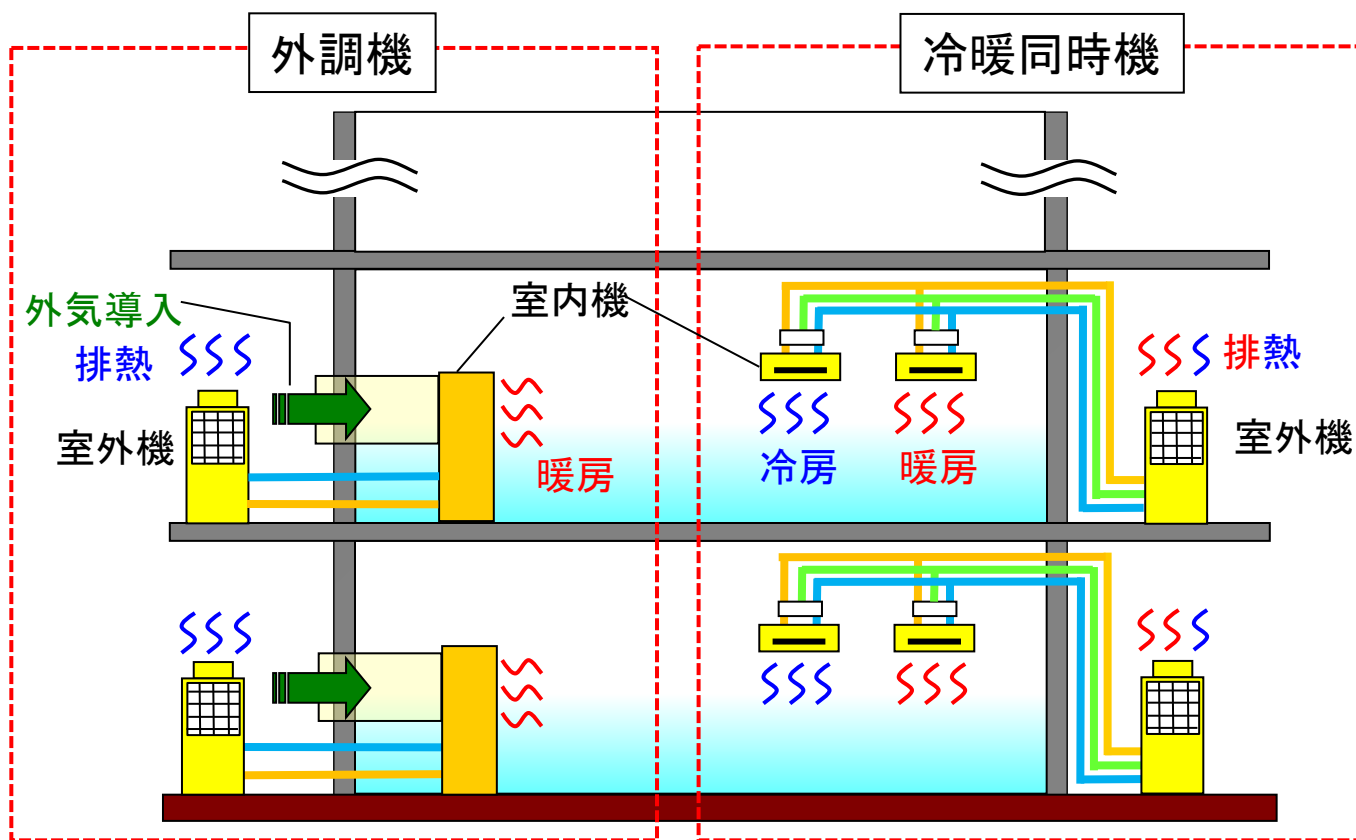
### ◆新制御のフロー(冷房の場合)





# 1. 3. 目標

事務所ビルで稼働している外調機と冷暖同時機の2機種の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に新制御を搭載し、従来機比1.5倍以上の年間平均COPを実現、実証する。



# 1. 3. 事業最終目標

全体目標 (主目標)	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
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(値) 制御の改善を主に空調負荷率50%未満のCOP向上を図り、<b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b>を実現、実証する。</li> <li>・設定理由 実際のビルでは、<b>空調負荷率50%未満</b>の低負荷率で稼働する時間が圧倒的に多いことが<b>年間平均COP低下の原因</b>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 <b>年間平均COP実測値</b> =2.1~2.2
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)机上シミュレーションによる新制御の省エネ効果検証	達成目標(値): <b>机上シミュレーション</b> により、実証ビルにおける運転条件で <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現できる目途を得る。 設定理由 : 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。	全体目標に同じ。
(2)空調試験室での部分負荷性能試験に基づく新制御の省エネ効果検証	達成目標(値): <b>空調試験室で得た機器性能データ</b> を基に、 <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現できる確証を得る。 設定理由 : 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。	全体目標に同じ。
(3)実証ビルでの実証試験に基づく新制御の省エネ効果検証	達成目標(値): <b>実証ビルの実測データ</b> を基に、 <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現、実証する。 設定理由 : 全体目標に同じ。	全体目標に同じ。
(4)BEST(※)の検証	達成目標(値): BESTの委員会に <b>新制御を搭載した機器特性</b> を提言する。 設定理由 : 新制御の効果を空調設計へ反映する。	空調試験室や実証ビルでの <b>実測データ</b> に基づく <b>機器特性の提言実績なし</b> 。

(※)BEST(Building Energy Simulation Tool): 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

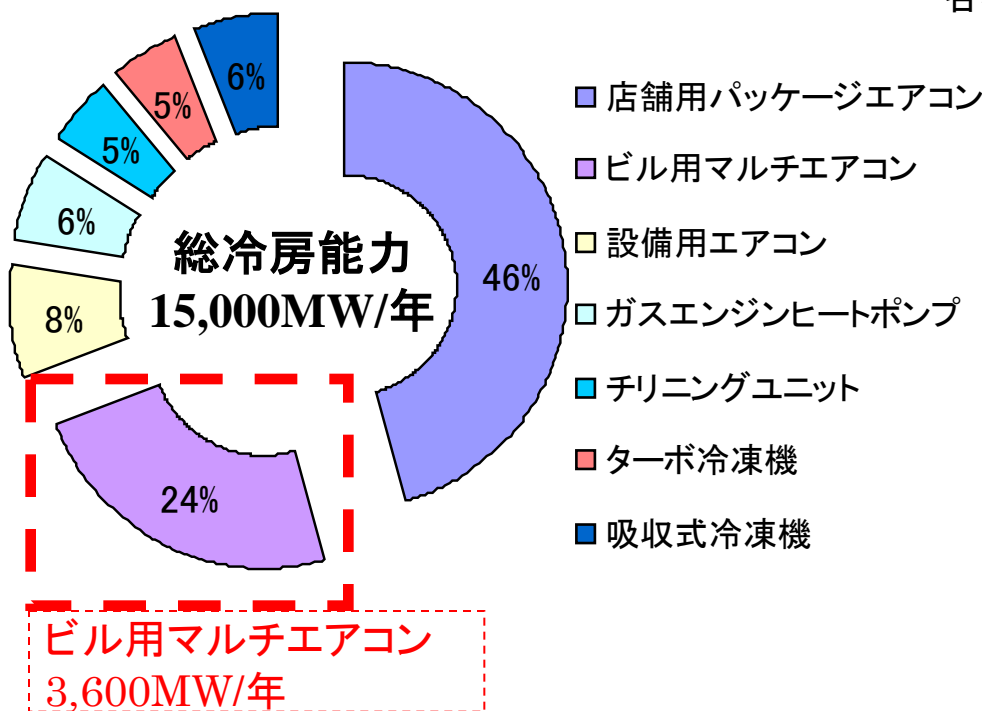
# 1. 4. 国内外の市場動向

- ◆ **ビル用マルチエアコン**は、国内出荷の業務用・産業用空調機器の**24%**(全総冷房能力)を占める。
- ◆ 小規模店舗などにおける店舗用パッケージエアコンに次ぎ、**中・大規模の業務用ビルの空調で中心的な役割**を担っている。

各種空調機器の出荷台数(※1)と平均冷房能力(※2)

		台数 (千台)	平均冷房能力 (kW/台)
個別分散方式	店舗用パッケージエアコン	616	11.5
	ビル用マルチエアコン	118	30.9
	設備用エアコン	45	29.3
	ガスエンジンヒートポンプ	21.5	44.6
セントラル方式	チリニングユニット	9.7	81
	ターボ冷凍機	0.4	2,000
	吸収式冷凍機	1.4	667

※1 一般社団法人日本冷凍空調工業会ホームページより ※2 想定値



各種空調機器の出荷台数と総冷房能力

世界のパッケージエアコンの需要の推定

地域	台数(千台)
中国	1,920
アジア	1,199
中東	742
欧州	744
北米	7,856
中南米	252
アフリカ	84
大洋州	151

# 1. 5. 国内外の競合技術動向

	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。</li> </ul> <p><b>低負荷時の断続運転防止効果はない</b></p>
<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> 。

## 【従来技術による負荷予測の事例(エコキュート)】

1週間のお湯の使用状況から必要湯量を学習「おまかせモード」設定で、自動で必要湯量をムダなく沸き上げる。

お湯が足りなくなりそうな時には、リモコンの『沸き増し』を押して必要な湯量を確保したり、逆に余りそうなときには沸き上げを停止するなど、**ユーザーの補助**が必要。

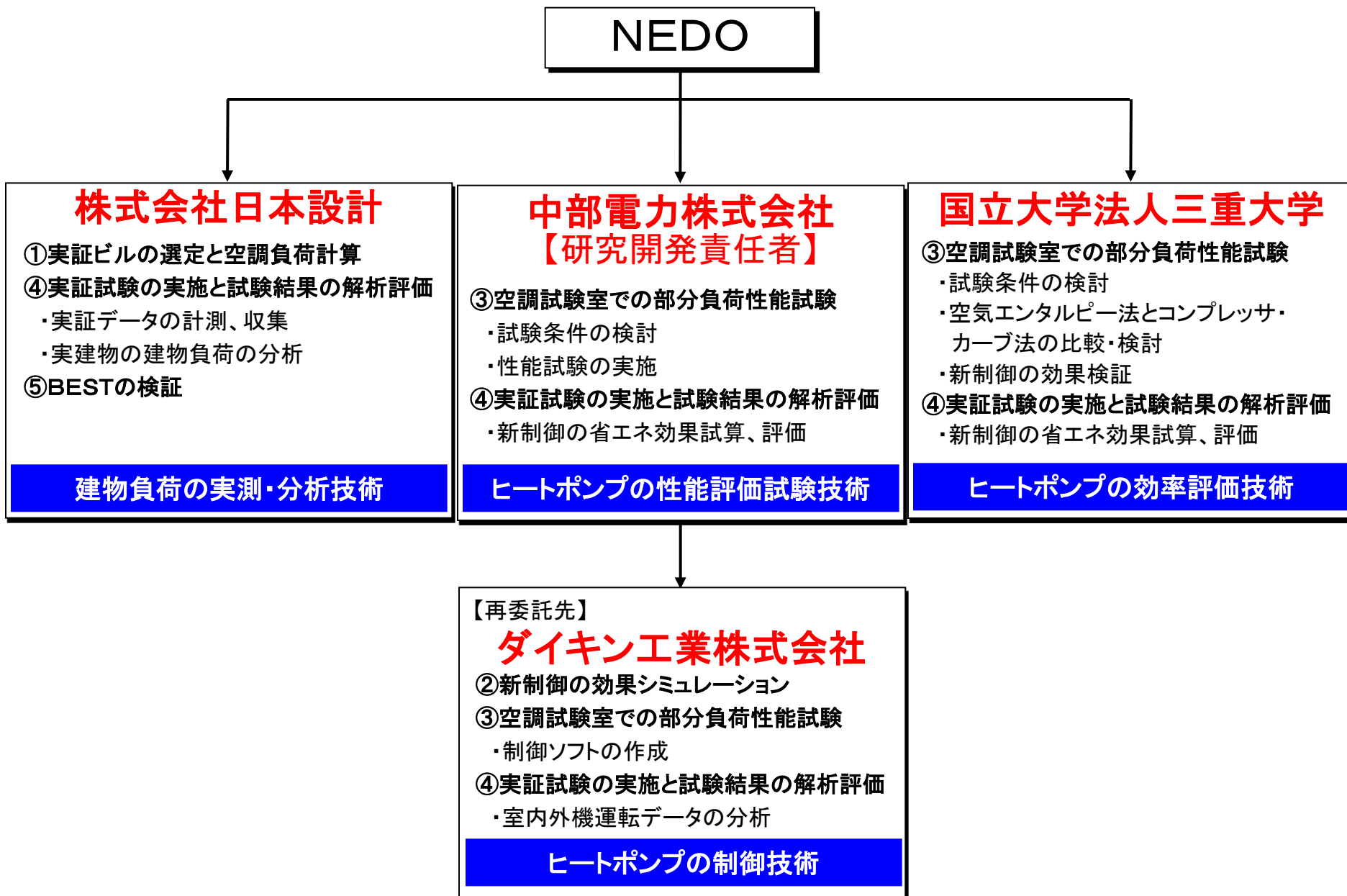


## 2. 研究開発の計画、研究体制

### 2.1. 実施計画

	2010Fy	2011Fy	2012Fy
(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	■		
(3)空調試験室での 部分負荷性能試験	■ 外調機	■ 冷暖同時機	
(4)実証試験の実施 と試験結果の解析 評価		■ 実証試験(従来制御) ■ 実証試験(新制御) ■ 試験結果の解析評価	
(5)BESTの検証		■	■
研究開発費(k円) (総計:120,655)	38,753	63,957	17,945

## 2. 2. 研究開発体制



## 3. 技術内容と成果

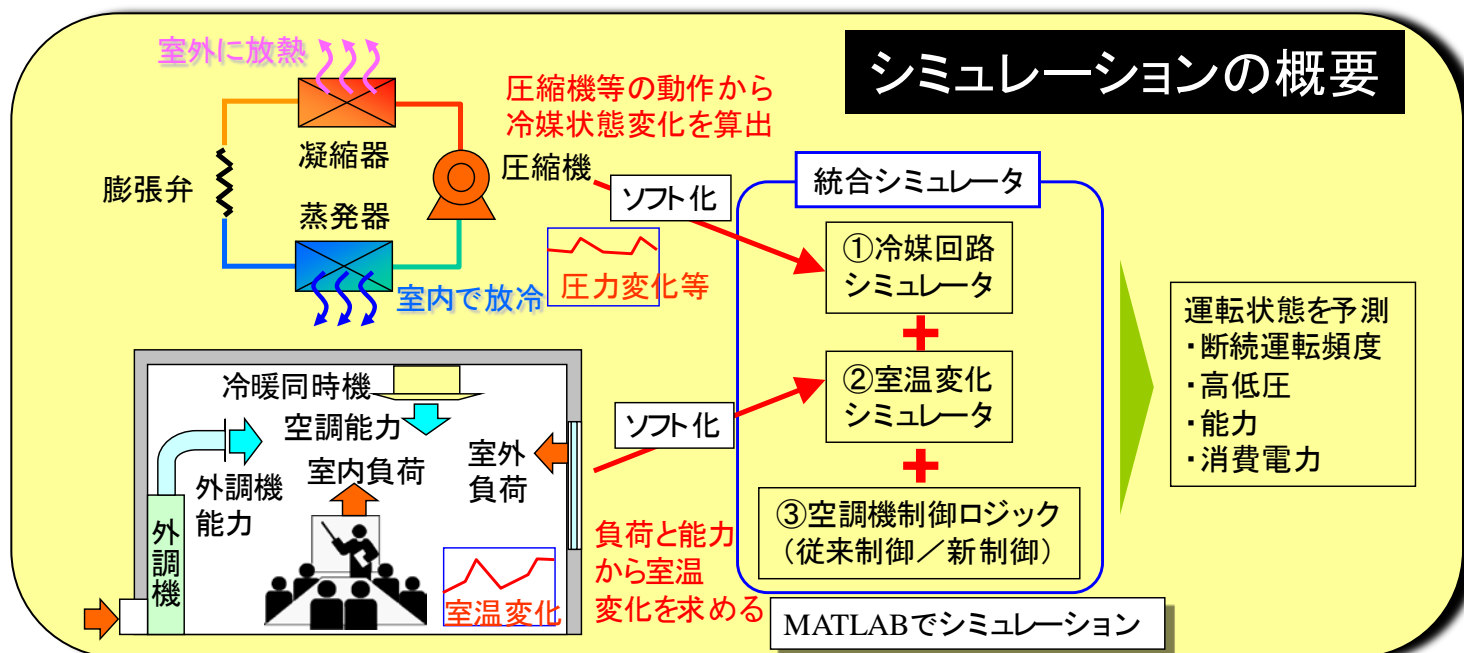
### 3.1. 成果

#### (1) 実証ビルの選定と空調負荷計算

波及効果が大きい大都市圏に所在する事務所ビルの候補5物件から「名古屋インターシティ」を選定し、BESTを用いて年間空調負荷計算を実施した。

#### (2) 新制御の効果シミュレーション

従来制御と新制御のロジックを組み込んだシミュレータを用いて、実証ビルの年間空調負荷条件で運転した場合のシミュレーションを行い、従来機比1.5倍の年間平均COPを実現できる目途を得た。



## 3. 1. 成果

### (3) 空調試験室での部分負荷性能試験

- ◆ **外気温湿度と空調負荷**を広範囲に**変化**させた性能試験により、新制御の省エネ効果を検証
- ◆ **実証ビルの実測データ**に基づき試験条件(**外気温湿度、空調負荷率**)を決定



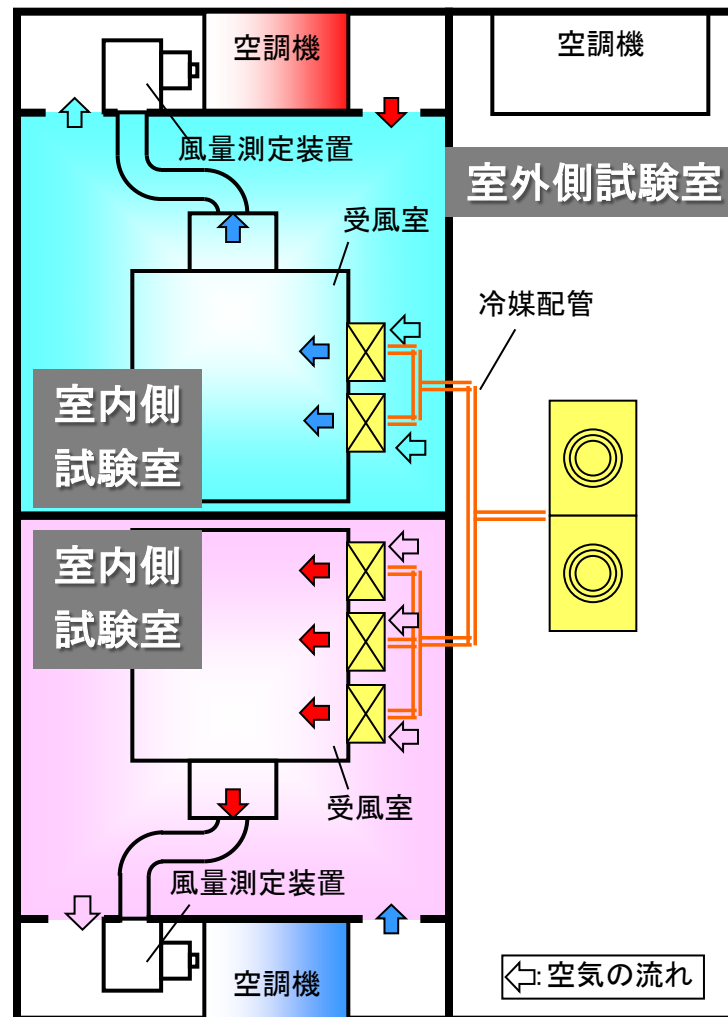
室内機(冷暖同時機)



室外機(冷暖同時機)

#### 試験機の外観

(実証ビルで稼働している機種と同じ機種を選定)



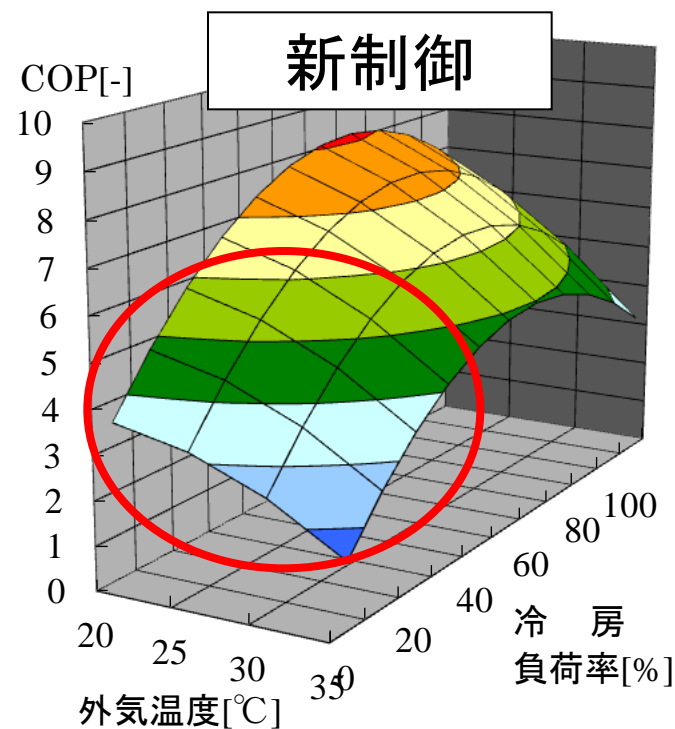
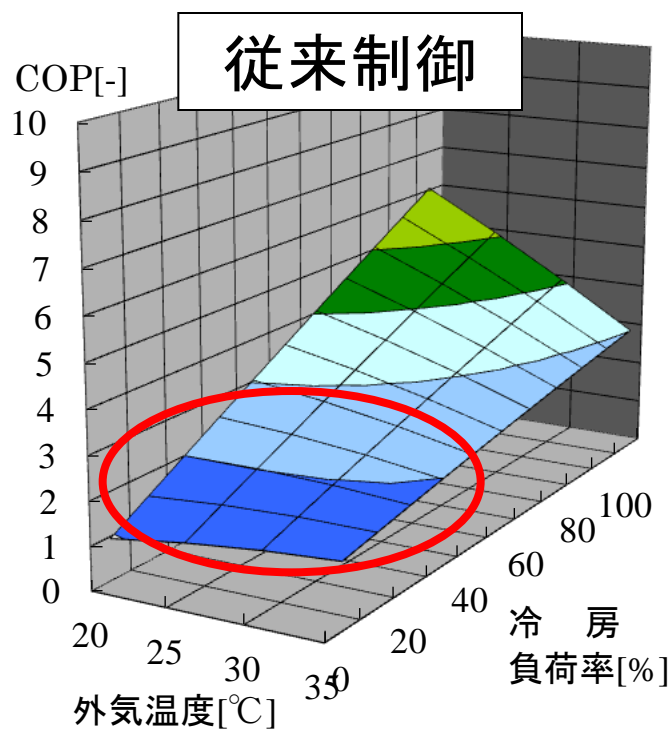
空調試験室のレイアウト  
(冷暖同時機)



## 3. 1. 成果

### (3) 空調試験室での部分負荷性能試験

部分負荷性能試験で得られた**機器特性データ(COP曲面)**の例  
(冷暖同時機 冷房運転)

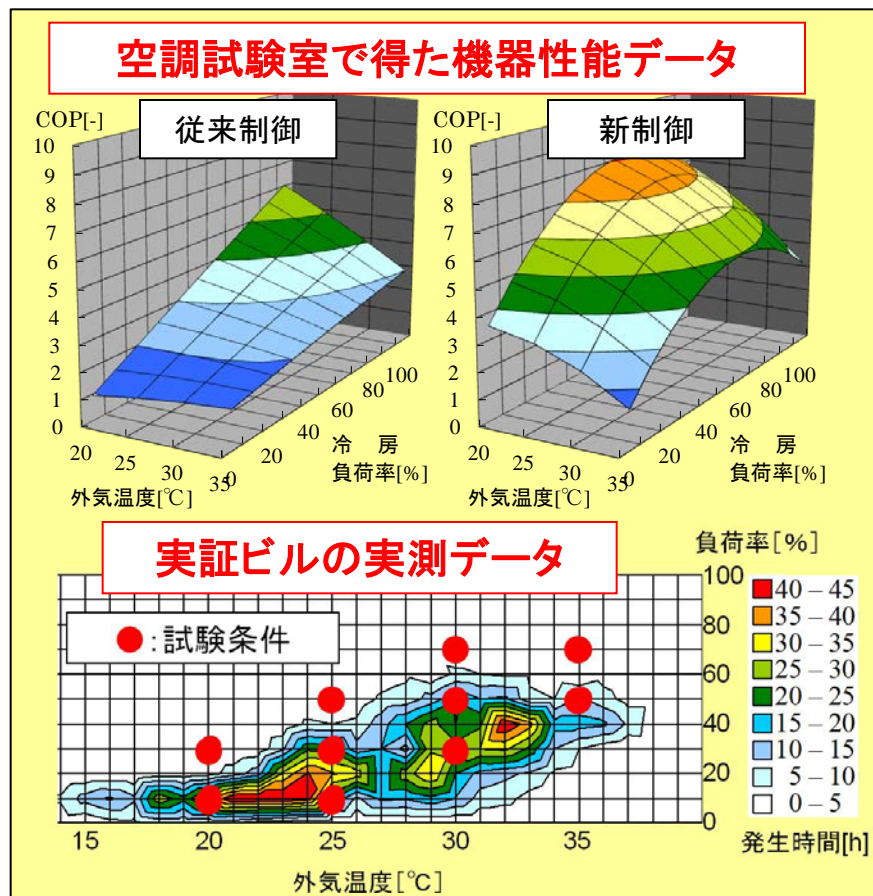


空調負荷率50%未満で大幅なCOP向上

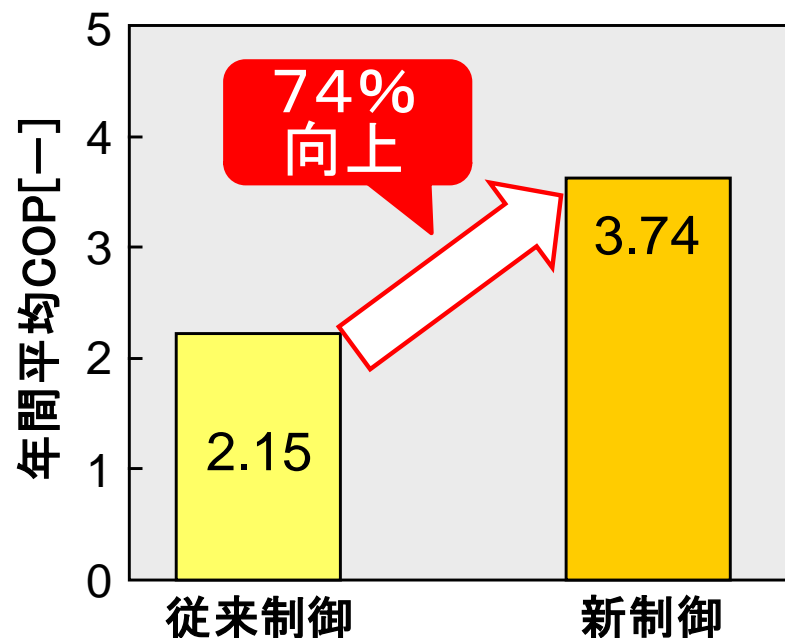
## 3. 1. 成果

### (3) 空調試験室での部分負荷性能試験

空調試験室で得た機器性能データと実証ビルの実測データ（外気温湿度、空調負荷率）の時系列変化を組合わせ、従来制御と新制御の年間平均COPを算出



従来機比1.7倍の年間平均COP向上を実現できる確証を得た。



### 3. 1. 成果

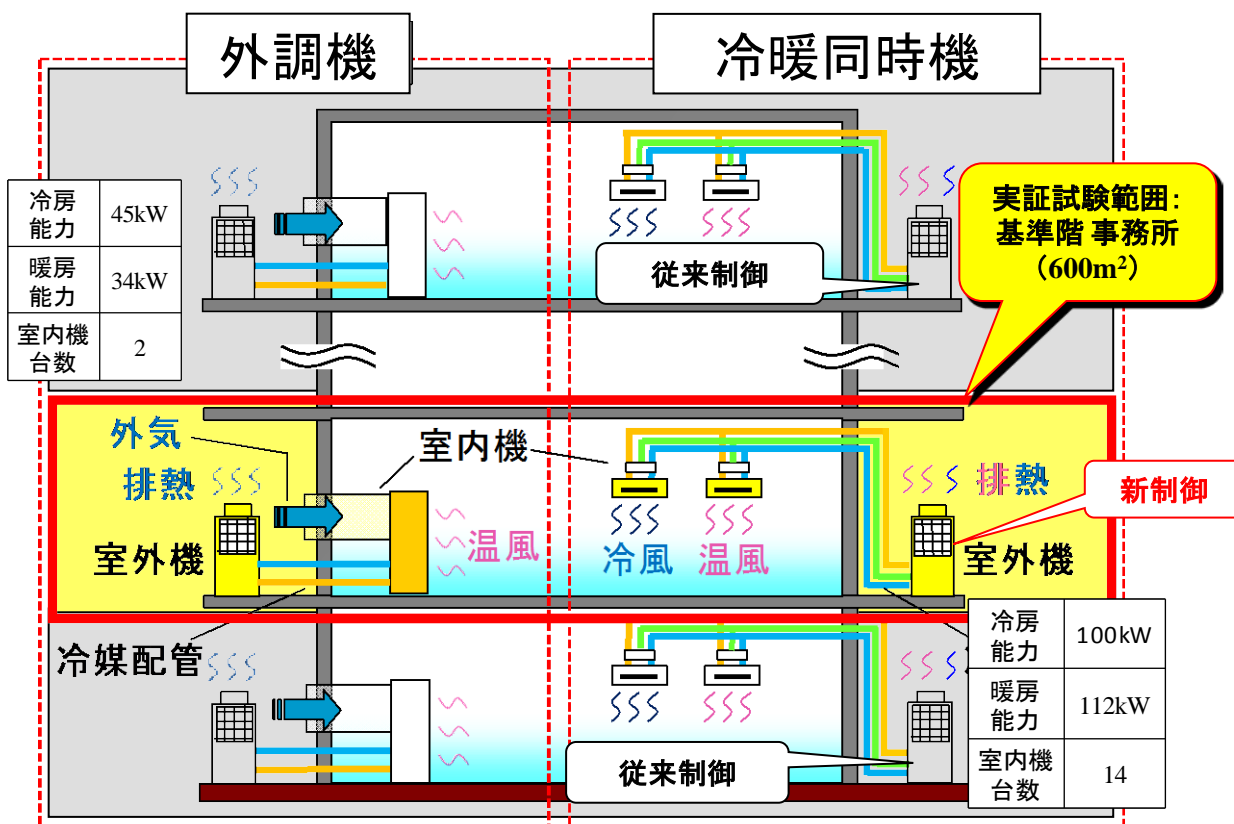
#### (4) 実証試験の実施と試験結果の解析評価

実証ビルの実測データに基づき新制御の省エネ効果を実証

従来制御 2010年12月～2011年11月

新制御 2012年 1月～2012年12月

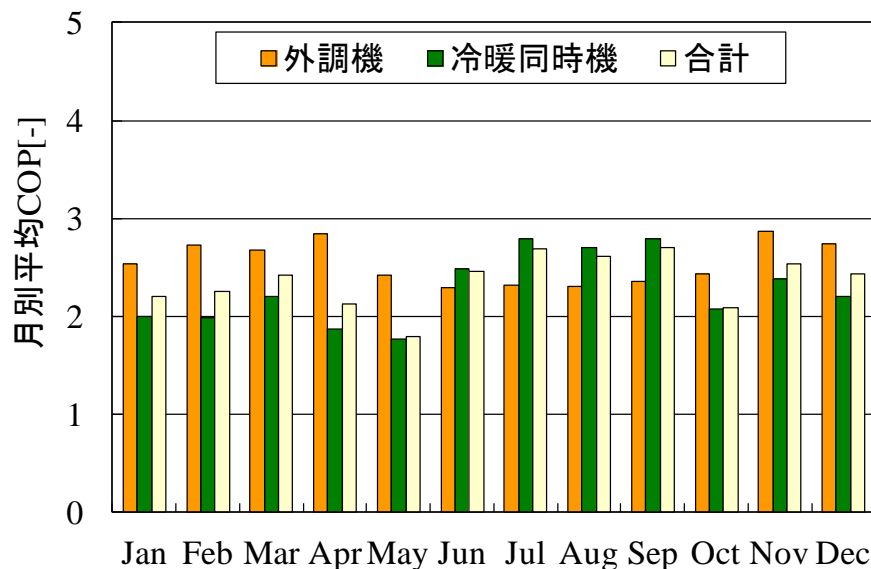
制御基板のみを交換  
(室内機, 室外機等と同じ)



実証試験ビル外観  
階数: 地上19階、地下3階  
延床面積: 約37,000㎡

# 3. 1. 成果

## (4) 実証試験の実施と試験結果の解析評価



従来制御 2010年12月～2011年12月

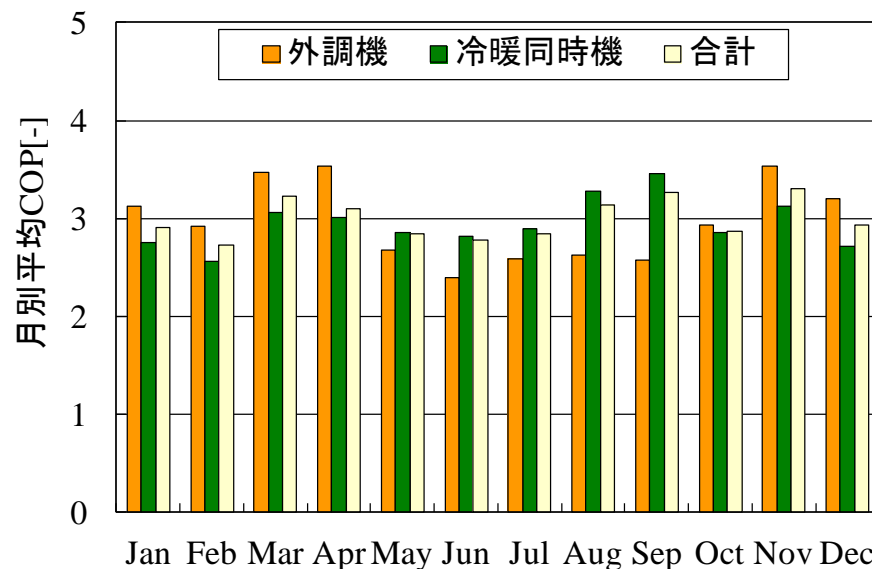
年間平均COP 2.28



年間平均COP 2.98

31%向上

(負荷・外気温度補正後)



新制御(ACファン) 2012年1月～12月

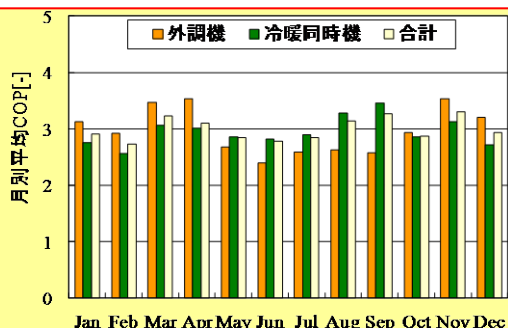
- ・実証試験は業務中のビルで行ったため、ACファン室内機で実施
- ・新制御はDCファン室内機と組み合わせて本来の性能を発揮  
→ DCファン室内機とした場合省エネ効果を予測

### 3. 1. 成果

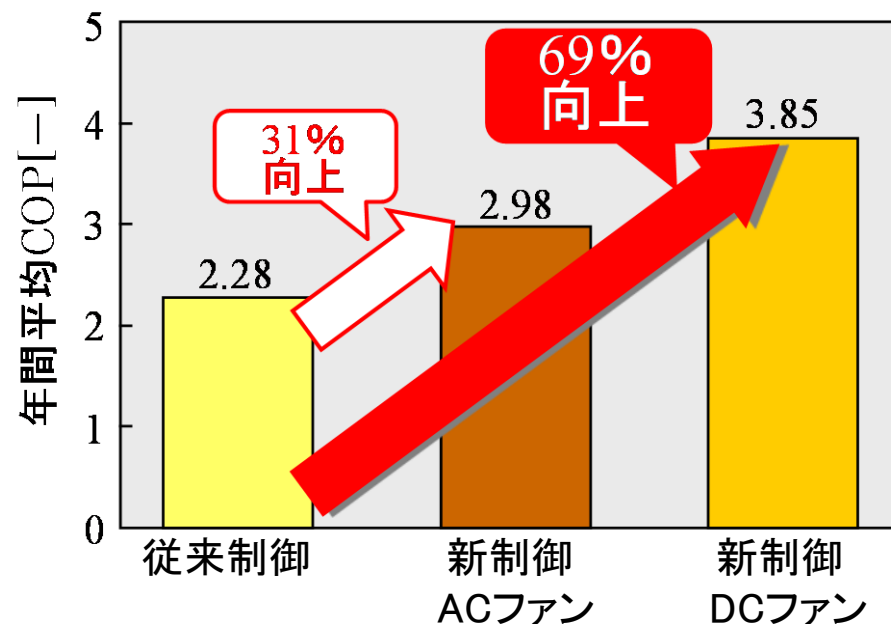
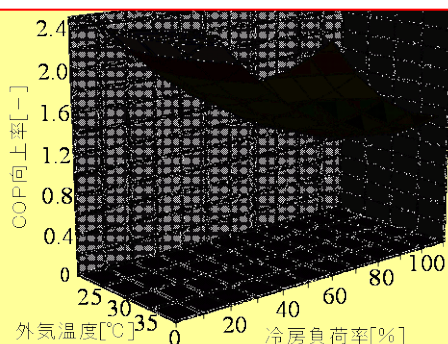
#### (4) 実証試験の実施と試験結果の解析評価

実証試験で得た**新制御(ACファン)**の実測データと、空調試験室で得た**新制御(AC・DCファン)**の機器性能データを用い、**新制御(DCファン)**を実証ビルに適用した場合の年間平均COPを算出

新制御(ACファン)実測データ



機器性能データ(AC→DC変換特性)



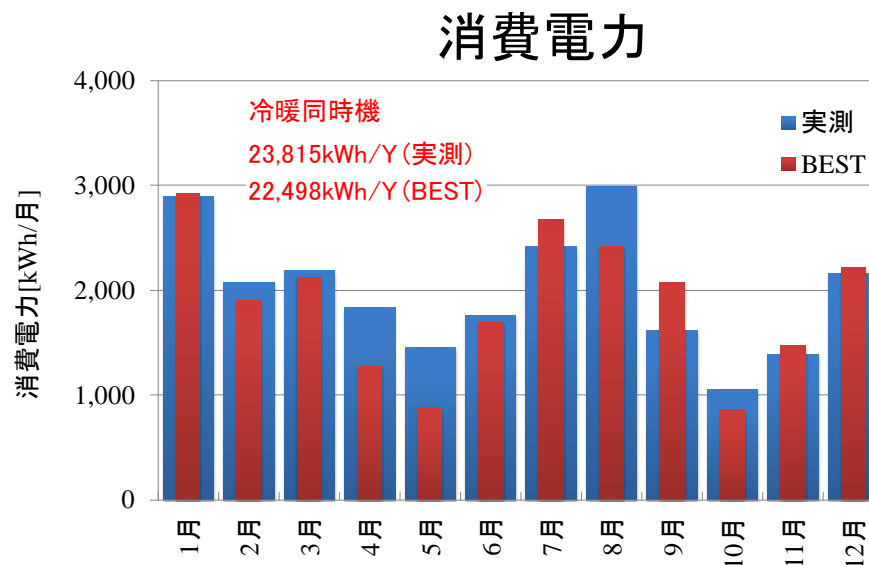
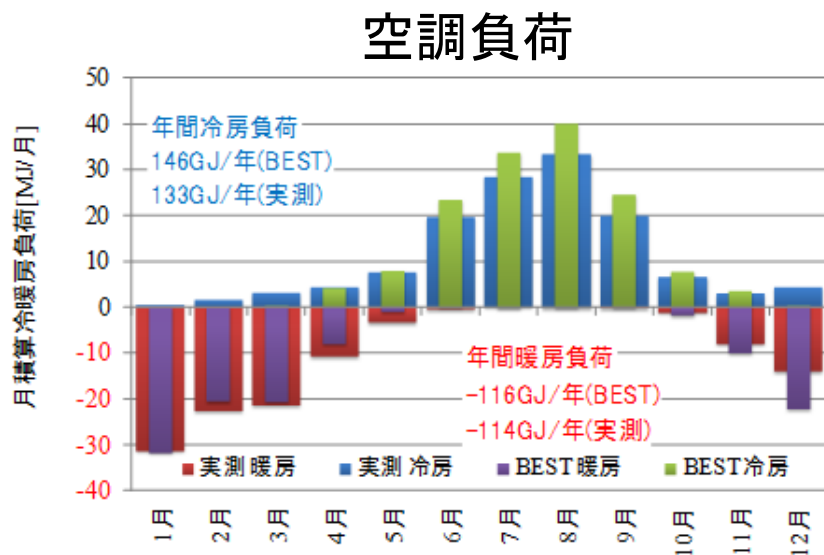
従来機比1.7倍の年間平均COP向上を実現、実証できた。

## 3. 1. 成果

### (5) BEST(※)の検証

- ◆ 実証ビルの運用データを用いたBESTによるシミュレーション  
実測データ(空調負荷、消費電力)との比較評価

#### 比較結果例(冷暖同時機)



概ね傾向が一致

月積算に差あり

空調試験室の機器性能データ(例:スライドNo.17)をBEST提言資料として整理

(※)BEST(Building Energy Simulation Tool):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

## 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
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	制御の改善を主とした負荷率50%未満のCOP向上により、 <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現、実証する。	従来制御機の業務用ビルにおける <b>年間平均COP実測値</b> =2.1~2.2	<b>目標達成</b> 新制御の <b>年間平均COP</b> は、 <b>従来機比約1.7倍</b> の3.8を実現した。
個別研究項目	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
(1)実証ビルの選定と空調負荷計算・新制御の効果シミュレーション	<b>机上シミュレーション</b> により、 <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現できる目途を得る。	全体計画に同じ。	<b>目標達成</b> 新制御の年間平均COPは、 <b>従来機比約1.5倍</b> の3.2となった。
(2)空調試験室での部分負荷性能試験	<b>空調試験室で得た機器性能データ</b> を基に、 <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現できる確証を得る。	全体計画に同じ。	<b>目標達成</b> 新制御の年間平均COPは、 <b>従来機比約1.7倍</b> の3.7となった。
(3)実証試験の実施と試験結果の解析評価	<b>実証ビルの実測データ</b> を基に、 <b>従来機比1.5倍以上の年間平均COP</b> を実現、実証する。	全体計画に同じ。	<b>目標達成</b> 新制御の年間平均COPの試算結果は、 <b>従来機比約1.7倍</b> の3.8となった。
(4)BESTの検証評価	BESTの委員会に <b>新制御を搭載した機器特性</b> を提言する。	空調試験室や実証ビルでの <b>実測データに基づく機器特性の提言実績</b> なし。	<b>目標達成</b> 空調試験室で得られた <b>機器性能データ</b> を、 <b>機器特性</b> として <b>BESTへの提言</b> 資料にまとめ、併せて学会発表にて提案した。

### 3. 3. 特許出願状況

・H22年度～ H24年度 国内0件(外国出願0件)

出願番号	名 称	出願人
該当なし	該当なし	該当なし

### 3. 4. 1. 論文等

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014.5.15	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(三重大学)他9名

### 3. 4. 2. 学会発表等

日付	学会名	発表タイトル	発表者
2012.9.14	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(ダイキン工業)他5名
2012.9.14	同上	同上(第二報)	永松克明(中部電力)他4名
2012.9.14	同上	同上(第三報)	品川浩一(日本設計)他3名
2012.11.17	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(三重大学)他2名



## 3. 4. 2. 学会発表等(続き)

日付	学会名	発表タイトル	発表者
2013.9.11	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(日本設計)他7名
2013.9.27	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(中部電力)他5名
2013.9.27	同上	同上(第二報)	廣田真史(三重大学)他5名
2013.9.27	同上	同上(第三報)	品川浩一(日本設計)他3名

## 3. 4. 3. その他外部発表(プレス発表等)等

年月日	発表媒体・内容等
2012.11.14	第45回2012建築設備技術会議 発表者:品川浩一(日本設計) タイトル:次世代型ヒートポンプの開発と導入事例
2012.11.16	NEDO省エネルギー技術フォーラム2012 発表者:櫻場一郎(中部電力) 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
2013.8.29	公益社団法人日本冷凍空調学会関東地区主催セミナー 発表者:笠原伸一(ダイキン工業) 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
2013.10.31	NEDO省エネルギー技術フォーラム2013 発表者:廣田真史(三重大学) 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
2013.11.20	中部電力(株)平成25年度技術研究開発賞選考発表会 発表者:永松克明、岩田美成(中部電力) 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
2014.3.25	雑誌「電力と建築設備」No.42 執筆者:永松克明(中部電力) 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
2014.6.12	電気新聞 取材先:永松克明(中部電力) 見出し:中部電力「エネルギー応用研究所 特集」