

『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)

# 高密度冷熱ネットワークの研究開発

学校法人東京電機大学  
東洋熱工業株式会社

平成26年10月17日

研究開発期間:平成22年7月1日～平成26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

産業用次世代型ヒートポンプシステムとして、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

### (0) 建築業界の状況

- ・一部住宅を除き、全ての**建築物は一品生産かつ現地施工**
  - ⇒部分パッケージ化は可能であるが「設計行為が必須」
  - ⇒各種要素技術の「アセンブリ」が基本アプローチ
  - ⇒建築物を構成する「**材料・機器が膨大**」
- ・「**ステークホルダーが多種多様**」かつ「**マネーフローが複雑**」
  - ⇒少なからず「国民の1/3が建築業界と関与」
  - ⇒民間活動の枠を超えた「**社会資本が対象**」
  - ⇒国益確保と国際貢献が求められる「**高い公共性**」(省エネと電力負荷平準化)

### (1) 本技術開発の基本コンセプト

- ・普及に向けた「現実的選択」
  - ⇒標準化戦略:「**システムを標準品で構成**」することを前提
  - ⇒知財戦略: **構想自体はオープン化**、「**コア技術**」を知財化
- ・社会の情勢変化に強い「**息の長い技術をハイブリッド化**」
  - ⇒継続的に醸成されてきた「**蓄熱技術**」をベースに開発
- ・市場の創造・拡大を目指した「**基本に忠実な技術開発**」
  - ⇒将来的に途絶しない「**可能とする技術ではなく”効く”技術**」

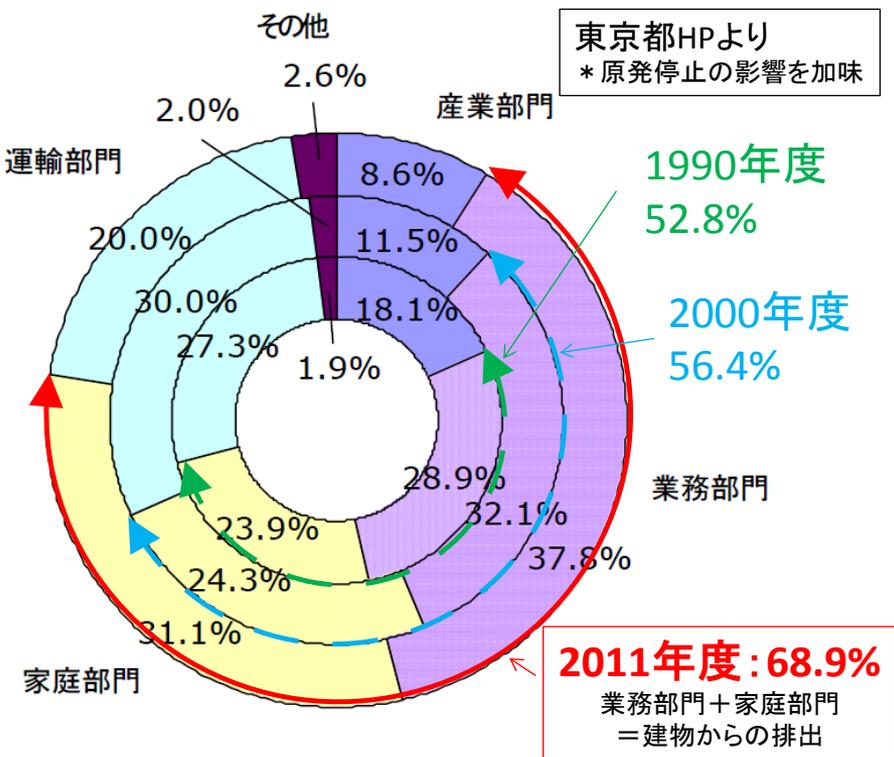
# 1. 研究開発の背景、目的、目標

## 1.1. 背景

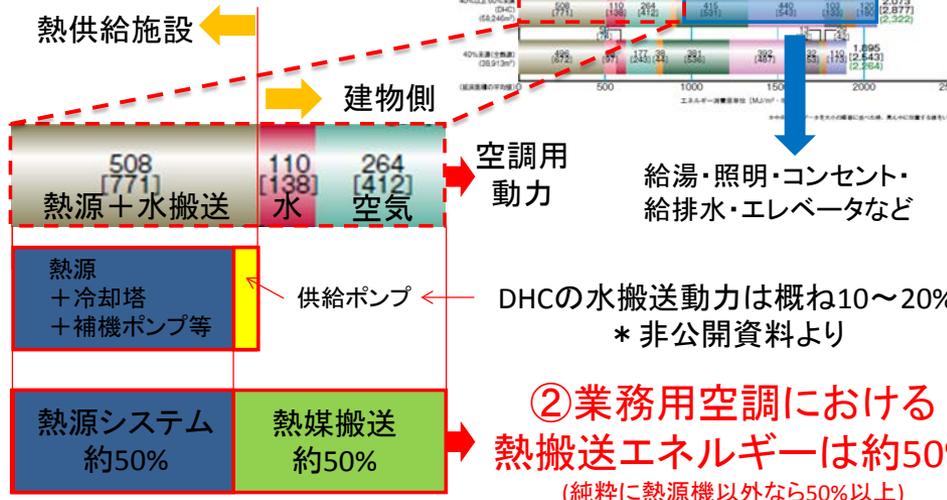
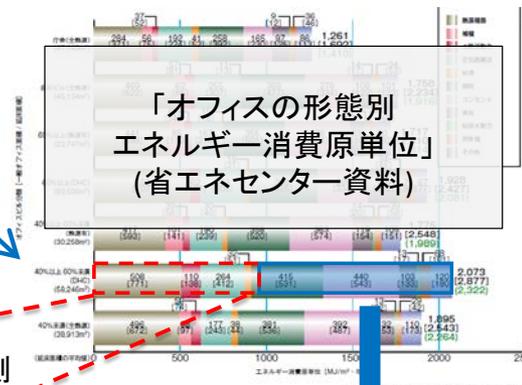
### (2) 開発の着眼点

・ 東京都のCO<sub>2</sub>排出の4割はオフィスから  
(空調分はその半分の2割)

・ 熱を「作って・運んで・使うまで」を省エネする必要性



研究対象に近い建物  
① オフィスでの空調用エネルギーは約50%



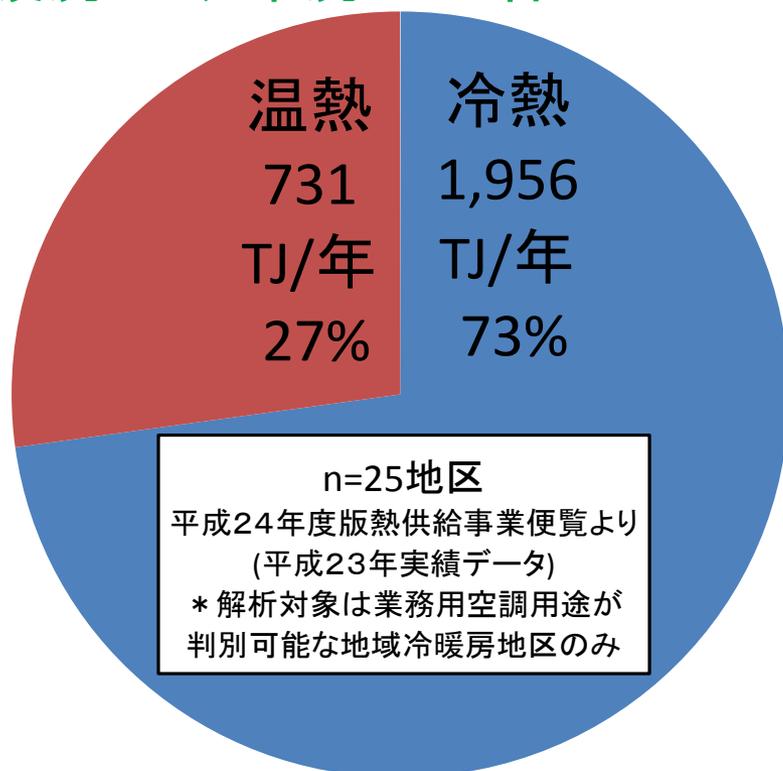
② 業務用空調における熱搬送エネルギーは約50%  
(純粋に熱源機以外なら50%以上)

①と②から、熱搬送エネルギーは全体の1/4

# 1. 研究開発の背景、目的、目標

## 1. 1. 背景

・ オフィス空調は  
暖房より冷房が主体



・ 空調システムの省エネは  
技術開発・市場の注目度大

### <国内>

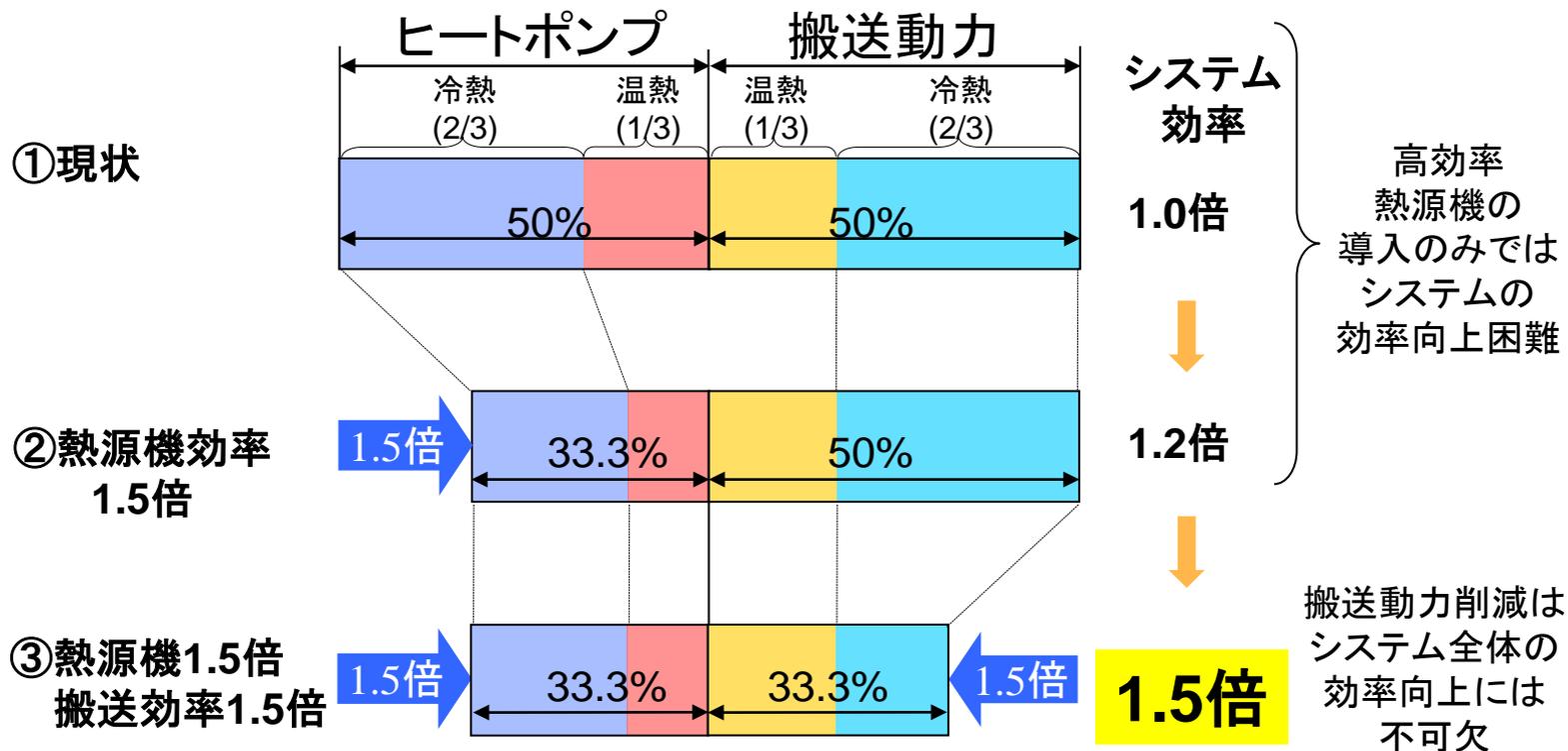
- ・ ZEB(ゼロエネルギービルディング)の研究/普及活動が活発
- ・ 地域冷暖房施設の更新時期
- ・ 要素技術の運用実績が高評価

### <海外>

- ・ IEA(International Energy Agency)における蓄熱技術のロードマップ作成
- ・ 中国の大規模(300万m<sup>2</sup>以上)事例増
- ・ 欧州における潜熱蓄熱は注目度大
- ・ 中近東・産油国の電力負荷平準化と冷房ニーズが台頭

# 1. 2. 課題・目的

## (3) 開発に関する課題の整理



### 地域全体の業務用空調用エネルギー内訳概念図

- ・熱製造効率の向上と併せて熱搬送の効率向上が必要  
⇒「居住者の利便性を損なうことなく」進める必要性
- ・熱製造の省エネ ≠ システム全体の省エネ  
⇒システム全体の総合的評価は現状では不十分

# 1. 2. 課題・目的

## (4) 課題の解決方法

## 建築群のトータルプロデュース

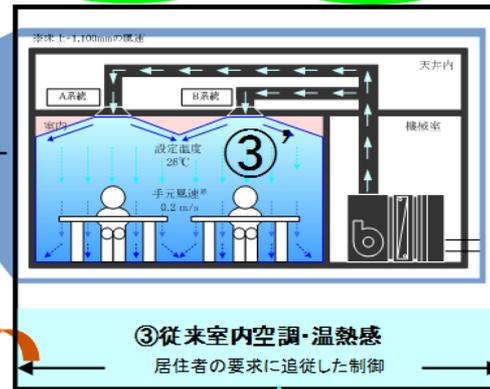
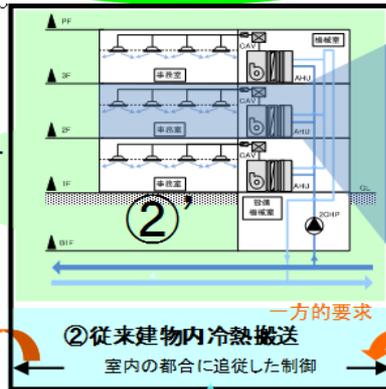
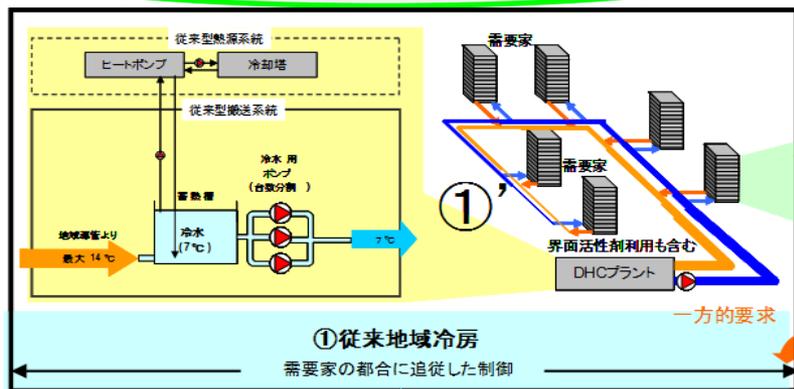
### 地域冷房

### 建物内冷熱搬送

### 室内空調

### 温熱感

「従来システム群」



### ①氷水搬送

配管縮小・導管工事費縮減・搬送動力減

### ②低温送水・送風

搬送動力減

### ③室温緩和

冷熱負荷低減

### ④熱融通&統合制御

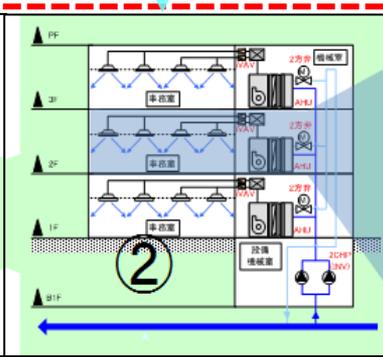
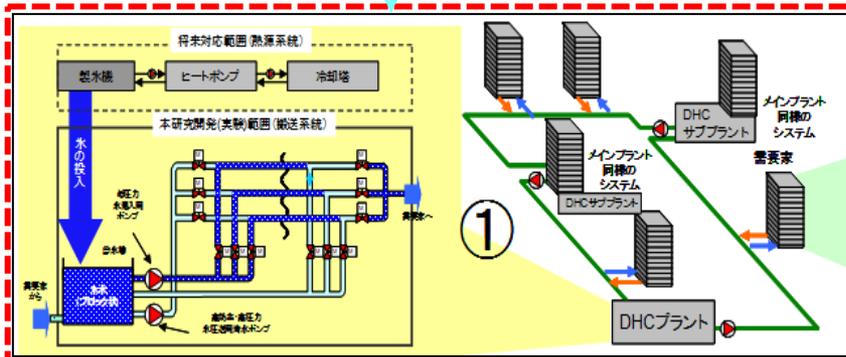
地域冷房

建物内冷熱搬送

室内空調

温熱感

「高密度冷熱ネットワーク」

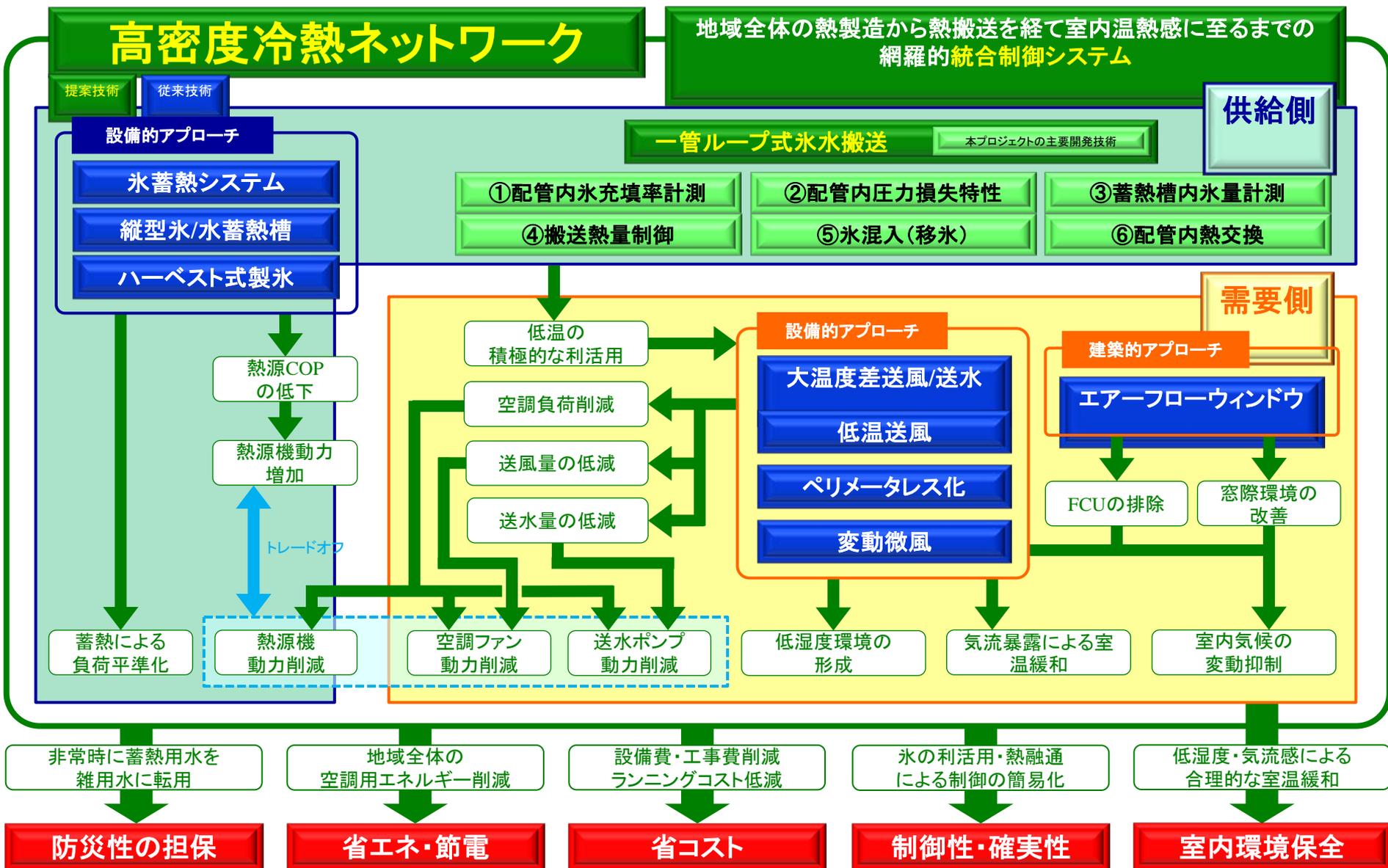


共通プラットフォーム：氷蓄熱\*システムを基調とした、氷が持つ冷熱ポテンシャルの活用

\*蓄熱システムは省エネ法改正で、非蓄熱システムより計算上1.3倍の効率として優遇

# 1. 2. 課題・目的

## (5) 各要素技術の関連性と得られる効果の整理



# 1. 2. 課題・目的

## (6) 具体的な実施内容(計画書)

＜実施計画書：平成22～24年度内容＞

- ① システム成立条件の検討と効果予測(学校法人東京電機大学)
  - ア. フィジビリティスタディによる省エネ性の確認(H22年度)
  - イ. システムシミュレーションによる効率向上に資する運用方法の提示(H23年度)
  - ウ. 網羅的統合制御に関する実験を反映した導入効果の提示(H24年度)
  - エ. 開発システムのその他応用場所に関する検討(H24年度)
- ② 氷混入装置の開発(学校法人東京電機大学)
  - ア. バッチ式氷混入装置の試作・運用試験(H22年度)
  - イ. 氷混入装置の実証試験装置への適用と実用性確認(H23年度)
  - ウ. 氷混入装置の自動制御ソフトウェア開発と実証(H24年度)
- ③ 配管システムの開発(東洋熱工業株式会社)
  - ア. 一管ループ方式の配管システムの運用試験(H22年度)
  - イ. 従来型配管システムとの比較検討(H22年度)
  - ウ. 配管システムからの冷熱取り出し機構の実証と制御に関する検討(H23年度)
  - エ. 冷熱取り出しの自動制御ソフトウェア開発と運用試験(H24年度)
- ④ 高密度冷熱ネットワーク全体の実証(東洋熱工業株式会社)
  - ア. 建物側システムの構築と実証試験(H23年度)
  - イ. 地域冷房側と建物側との網羅的統合制御に資する情報の整備(H23年度)
  - ウ. システム全体の網羅的統合制御ソフトウェア開発(H24年度)

# 1. 2. 課題・目的

＜実施計画書：平成25年度内容＞

## ⑤氷充填率の計測と制御手法の確立

(東京電機大学・東洋熱工業株式会社)

ア. 氷充填率計測手法の確立(H25年度)

イ. 氷充填率制御手法の確立(H25年度)

ウ. 反復実証試験によるバックデータの充実(H25年度)

## ⑥普及促進および市場競争力強化の計画策定

(東京電機大学・東洋熱工業株式会社)

ア. 事業化に向けたシステム設計手法のとりまとめ(H25年度)

イ. 提案システムの要素技術を導入した地点の調査(H25年度)

ウ. 関連・要素技術の動向調査と対応策のとりまとめ(H25年度)

## (7) 研究開発上の役割分担

**産**(東洋熱工業): 建築業界での実行部隊としての**技術力**

**官**(NEDO): 公共性の高い研究開発への**支援力**

**学**(東京電機大学): 技術の**発想力**と建築業界への**影響力**

# 1. 2. 課題・目的

## (8) 本研究開発の新規性について

### 国内外の開発領域における動向

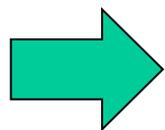
\* 冷熱搬送の高効率化の重要性については、残念ながら認知度が低い状況にある

### <研究開発領域の他技術と国内外の動向、開発技術のボトルネック>

- ・シャーベット状氷(過冷却氷)を用いた氷水搬送: 低密度であるためメリットが薄い
- ・界面活性剤の添加による配管抵抗低減技術: 蓄熱技術との親和性が低い
- ・水和物スラリー(潜熱利用)の搬送: 導入コストが膨大であるため地域レベルは困難
- ・車両/船舶による熱媒搬送: 成立条件が非常に厳しい
- ・制御の適正化: 安全率など「過去の経験則」の見直し、ケース・バイ・ケースでの対応
- ・大温度差冷温水搬送: 一般的に普及(これが最も比較すべき技術)

### <本研究開発の特徴>

- ・塊・粒状氷(破碎氷)を用いた氷水搬送
  - ⇒熱媒を変更することによる搬送効率向上メリットは十分にあるが、化学物質の開発には導入に関する大きな壁が立ちはだかる
  - ⇒基本に立ち返り、常温で大量に安価に存在する水を高効率に搬送する



高密度熱媒であり、安心・安全・安価な「固形の氷」を「氷を体積比約50%」で搬送可能とする技術開発

# 1. 3. 事業最終目標

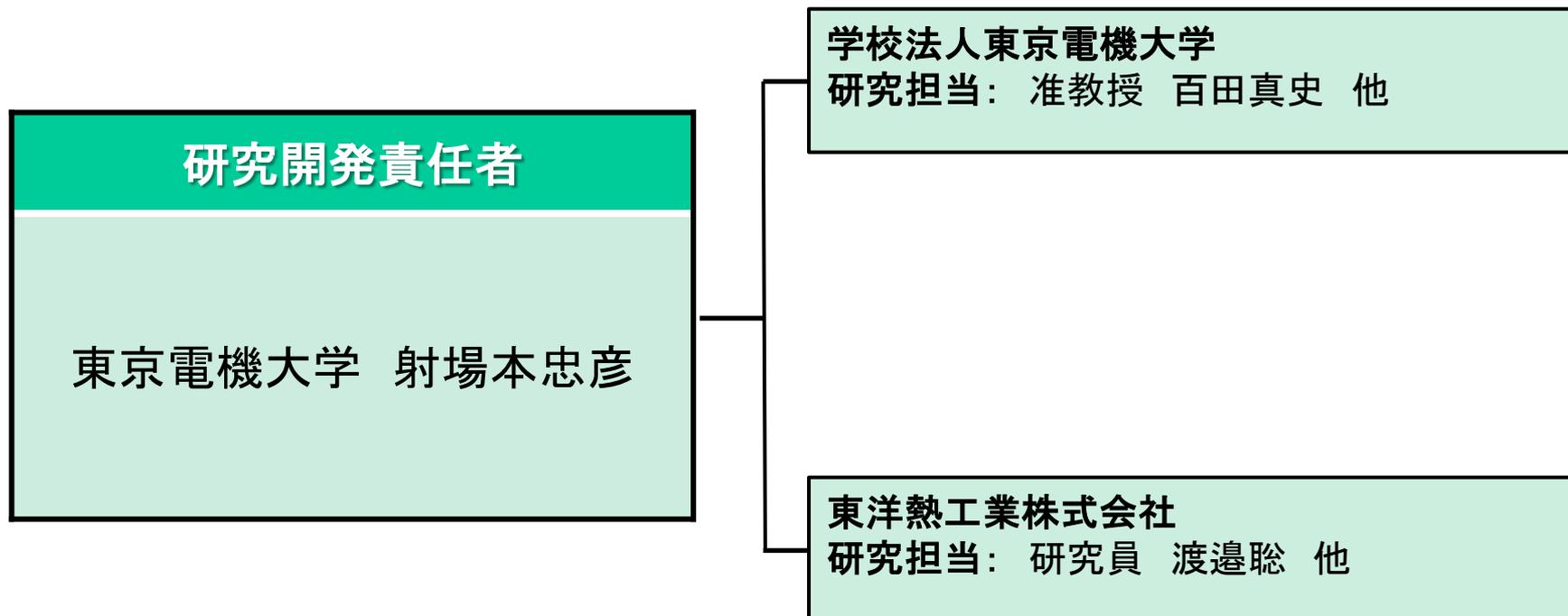
全体目標 (主目標)	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
地域の業務用空調 負荷に関与する全ての エネルギー消費効率 改善	従来比1.5倍以上の効率を実証	机上検討レベル 構想のみで実施・実 証例ともになし
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
(1)システム成立条件 の検討と効果予測	従来比1.5倍以上の効率提示	机上検討レベル
(2)要素技術開発と信 頼性の向上	信頼性・耐久性を兼ね備え、なおかつ施工 面・コスト面で従来方式と遜色無い要素技術 の開発と実証	実験室レベル
(3)高密度冷熱ネット ワーク全体の实証	システム構築(一部縮小モデル)と設計手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

## 2. 研究開発の計画、研究体制

### 2.1. 実施計画

	2010Fy	2011Fy	2012Fy	2013Fy
1) システム成立条件の検討と効果予測	フィジビリティスタディ・関連情報調査	シミュレーションプログラムの整備・関連情報調査	統合シミュレーションプログラムの整備・関連情報収集	
2) 氷混入装置の開発	試験機作成・試験運転・データ解析	実験装置・設計・作成・改造 ・実証試験	制御ソフトウェア開発・実証試験	
3) 配管システムの開発	試験機作成・試験運転	実験装置・設計・作成・改造 ・実証試験	制御ソフトウェア開発・実証試験	
4) 高密度冷熱ネットワーク全体の実証		実験装置・設計・作成・改造・実証試験	統合制御ソフトウェア開発・実証試験	
5) 氷充填率の計測と制御手法の確立				信頼性向上に向けた対策技術開発、反復実験とデータの充実
6) 普及促進および市場競争力強化の計画策定				情報収集・調査・解析・とりまとめ
研究開発費(k円) (総計:315,258k円)	47,437(k円)	152,285(k円)	75,859(k円)	39,678(k円)

## 2. 2. 研究開発体制

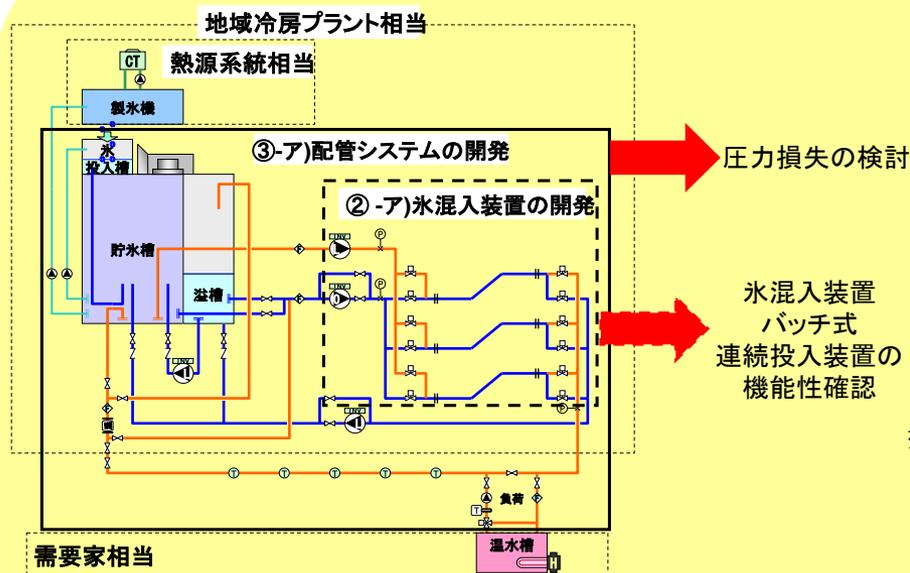


# 3. 技術内容と成果

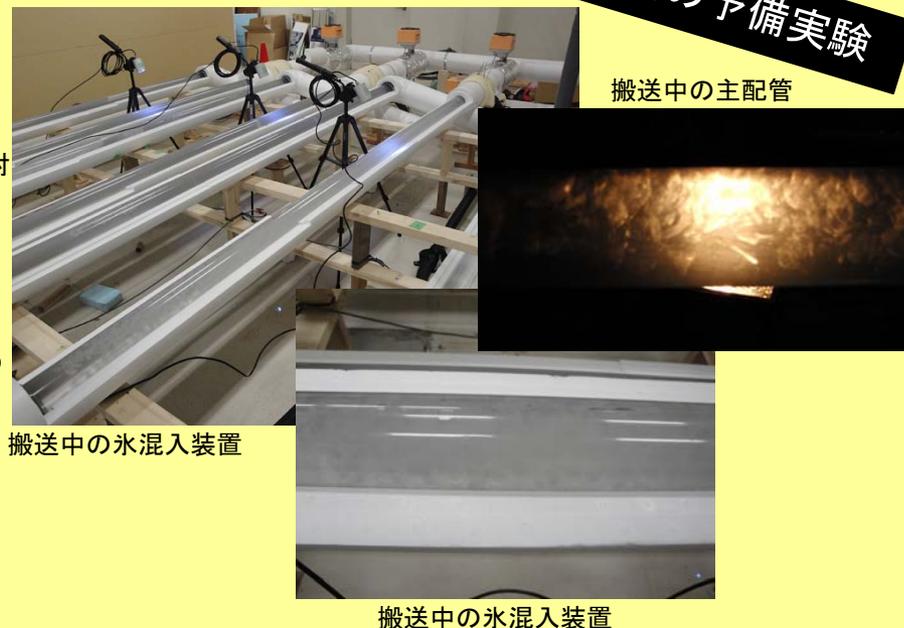
## 3. 1. 成果

## 搬送システムの設計と構築

### H23年度(初年度)研究概要



氷混入手法の予備実験



研究開発着手当初は、氷を高密度に配管に投入する方法は未確立であった  
⇒ 予備実験装置(H23年度)を用いて、その技術を確立

実証実験装置(H24年度～)を新規提案 & 構築(次スライド)

# 3. 技術内容と成果

## 3. 1. 成果

## プラント構築と氷水搬送の実証

約12000㎡規模のオフィス空調を模擬した  
実証試験装置の構築と実証  
⇒設計手法の確立

設計手法の確立



配管全長  
約200m  
75Φ

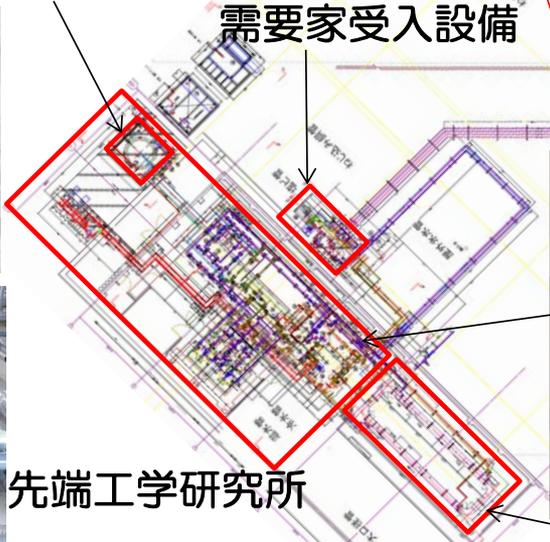


ハーベスト製氷機

需要家受入設備

一般空調  
実験室

変動微風空調  
実験室



実証試験装置規模：一般住宅250件程度、  
オフィスビル12,000㎡程度

実配管規模(400A)実験装置

# 3. 技術内容と成果

## 3. 1. 成果

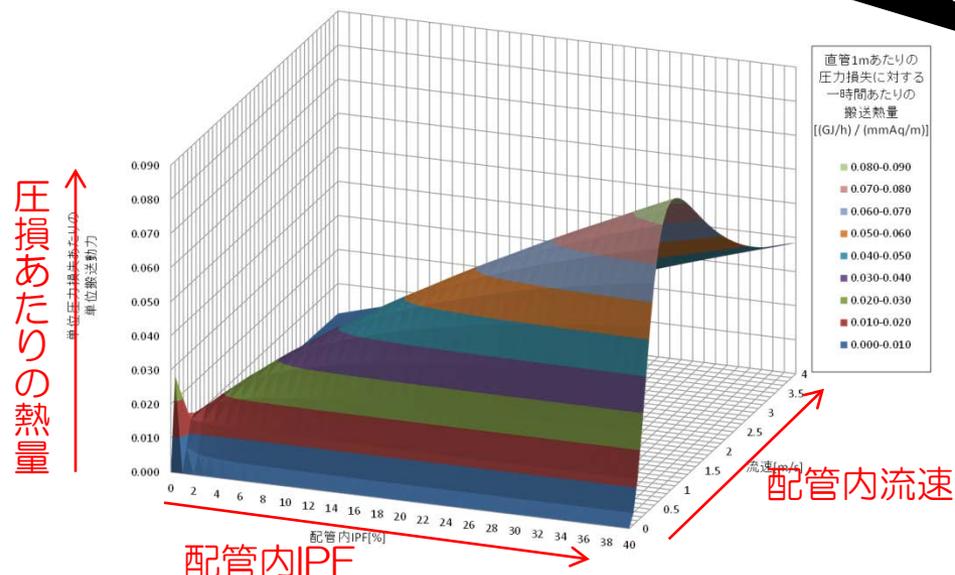
## プラント構築と氷水搬送の実証

配管内熱量制御方法の検討結果まとめ(実験結果及び文献より机上検討)

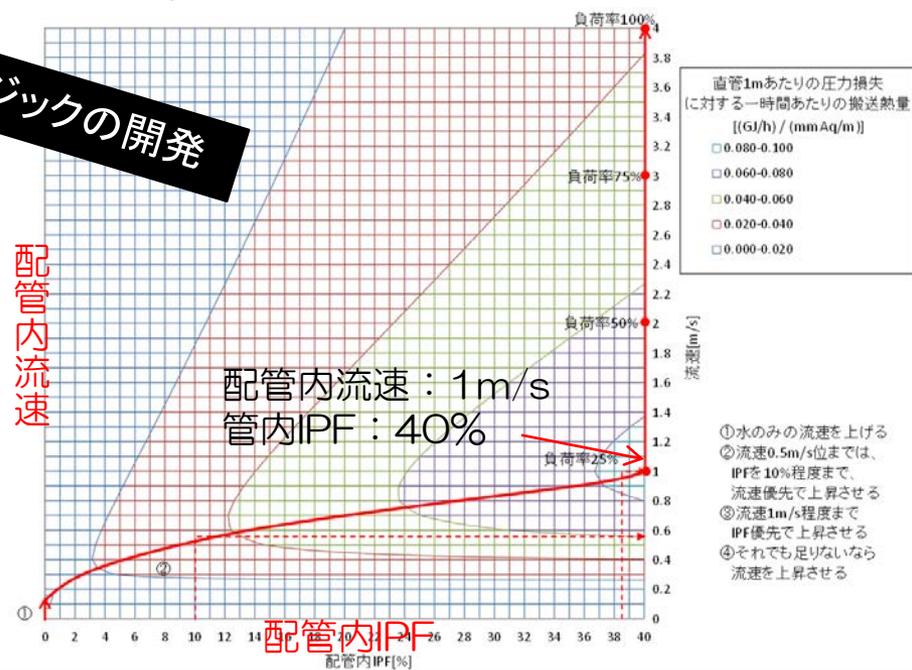
- ①パラメータ：配管内氷充填率・流速・圧力損失の3次元搬送熱量への要求に対し、最低動力で駆動する
- ②制御方法：最大流速3mの場合  
流速約1m/sまではIPFを上限まで増加させ、その後流速を上昇させて熱需要に対応する

⇨本結果をシミュレーションと実験装置設計に反映

制御ロジックの開発



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



配管内IPFと流速の制御方法について

### 3. 技術内容と成果

#### 3. 1. 成果

## 室内環境の実証

室内空調の温熱感に至るまで実証実験  
⇒変動微風空調方式の最終評価は人



変動微風空調部屋



一般空調部屋



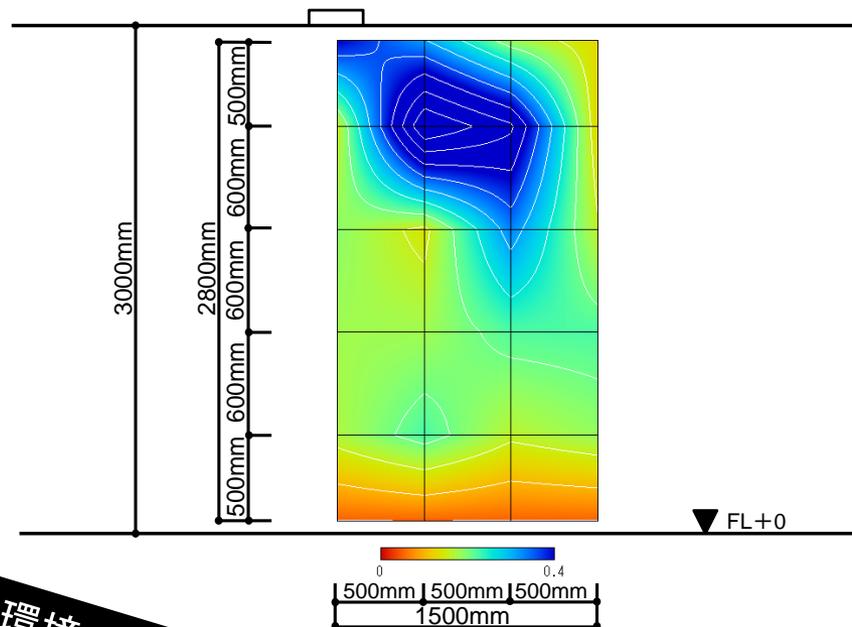
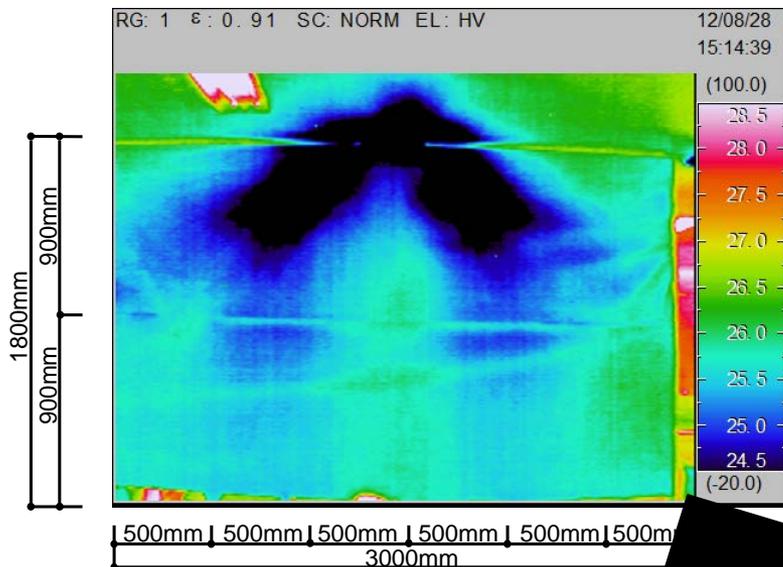
被験者実験風景

実用化に向けた  
フィールド検証

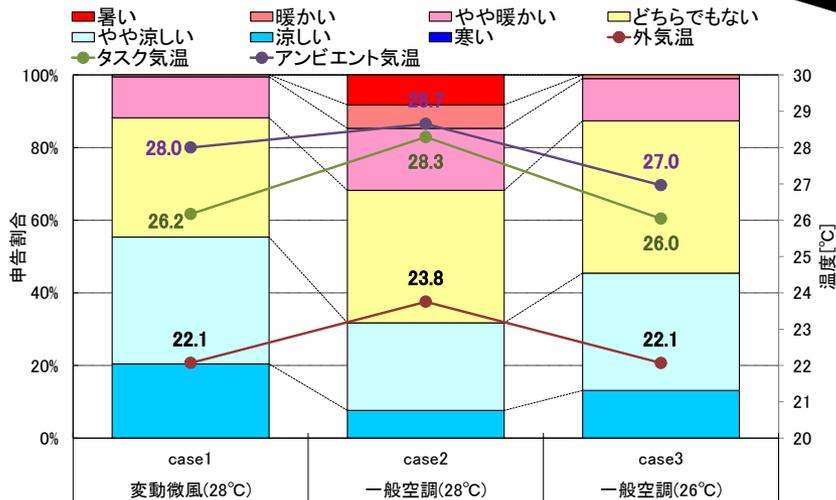
# 3. 技術内容と成果

## 室内環境の実証

### 3. 1. 成果



室内環境の  
多面的検証



室内環境について、  
温度・湿度・気流・放射環境  
について実測検討  
⇒被検者アンケートで再確認

### 3. 技術内容と成果

## 網羅的統合制御の実証

### 3. 1. 成果

他要素技術との網羅的統合制御システムを開発・実証 ⇒ 制御手法の確立

制御システムの確立

#### 1) 中央監視機能

系全体の機器と熱の動きを画面にてグラフィカルに監視

#### 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

#### 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

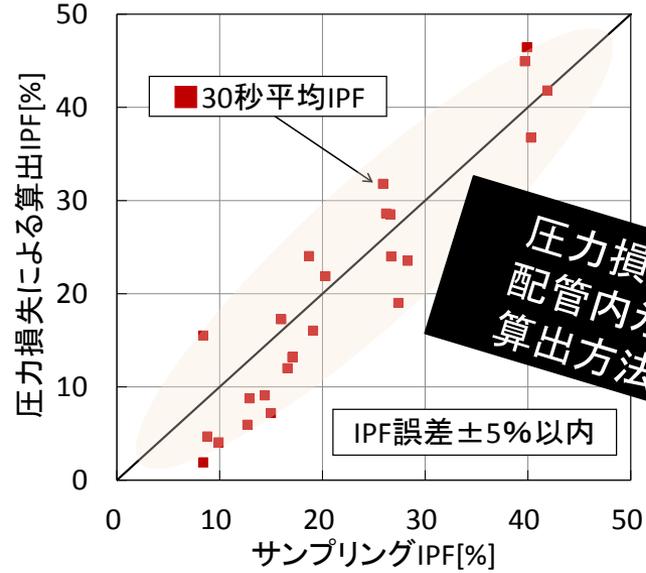
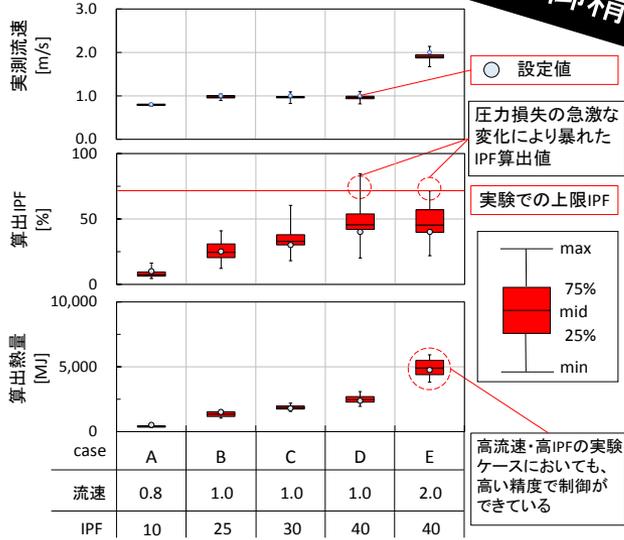
#### 4) データ収集・保存・出力機能

運転中のデータを収集し、随時画面で確認

HDDへのデータ保存により、過去データも確認

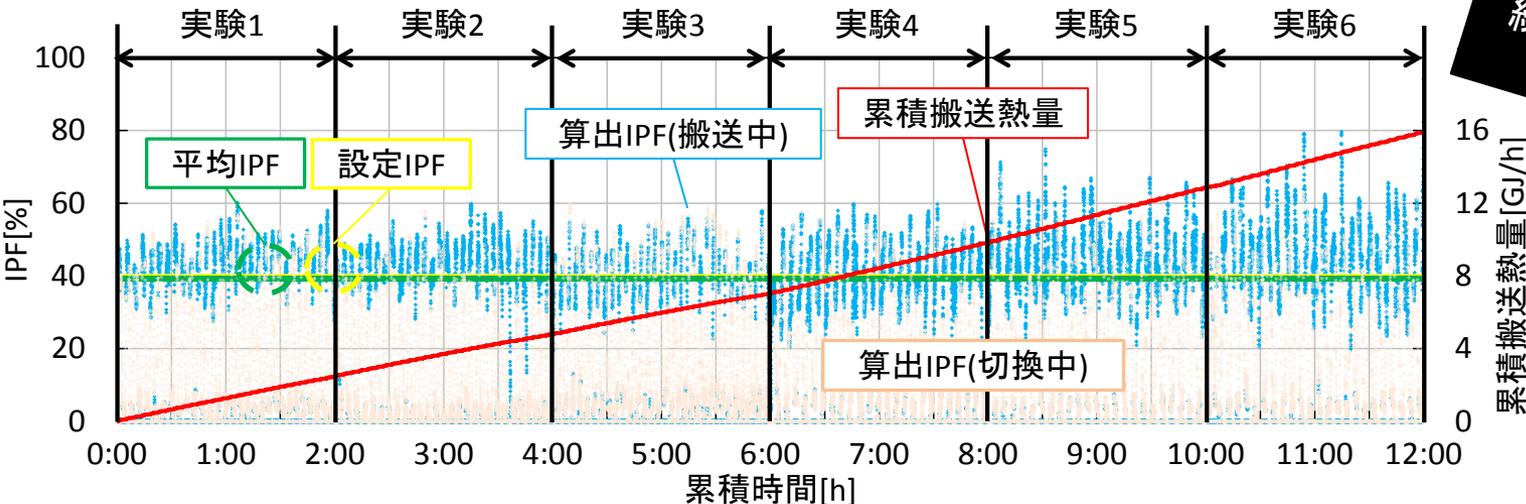
## 3.1. 成果

制御精度の検証



圧力損失からの配管内氷充填率算出方法の提案

制御性の確認  
繰り返し実験による信頼性の向上



システムの時定数に対して十分な制御性と信頼性を実証

# 3. 技術内容と成果

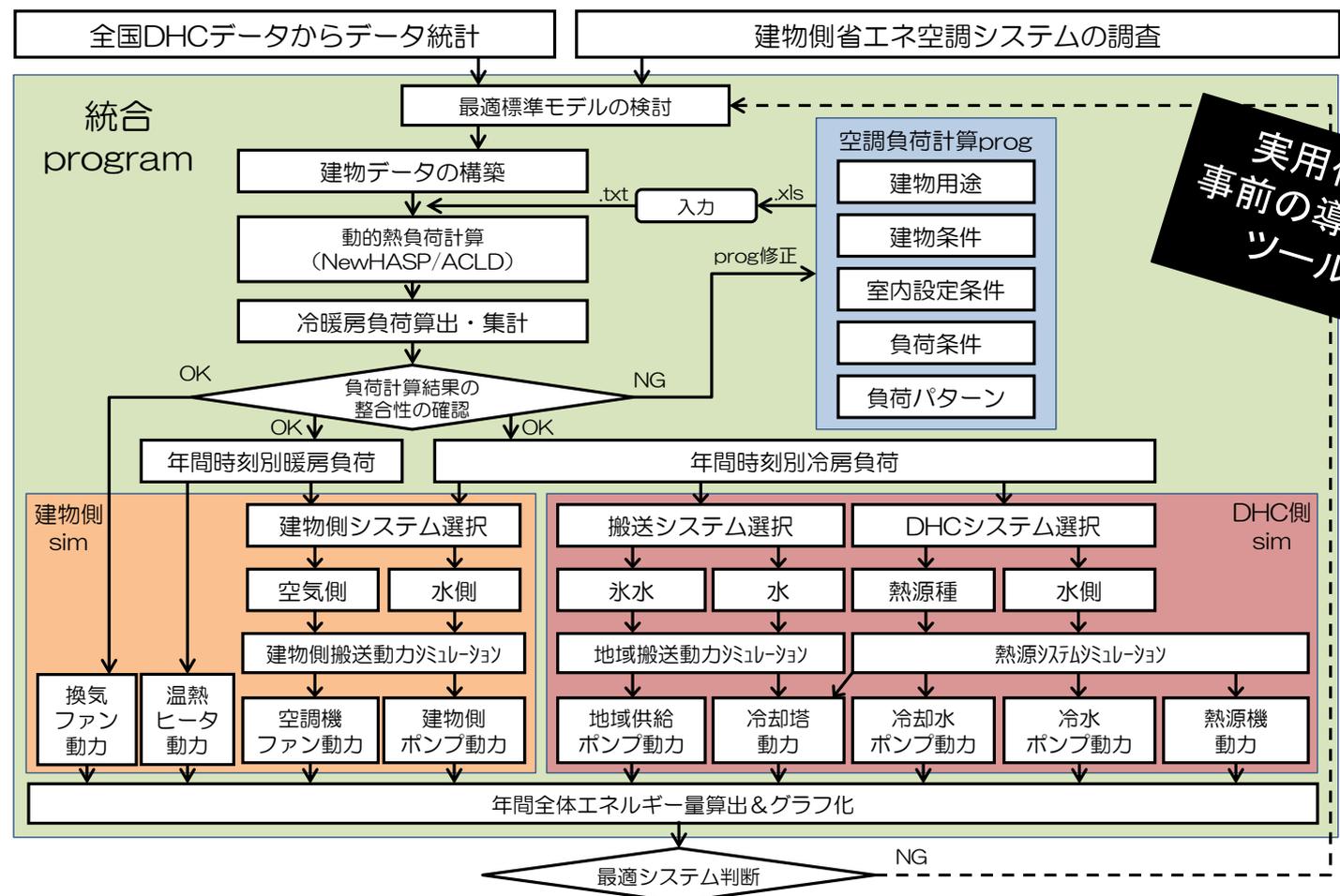
# シミュレーションの実施

## 3.1. 成果

シミュレーションソフトを開発

⇒実証試験結果を反映し導入効果量を算出

⇒システム全体で従来比1.5倍以上の効率向上を確認



実用化に向けた  
事前の導入効果検証  
ツールの開発

# 3. 技術内容と成果

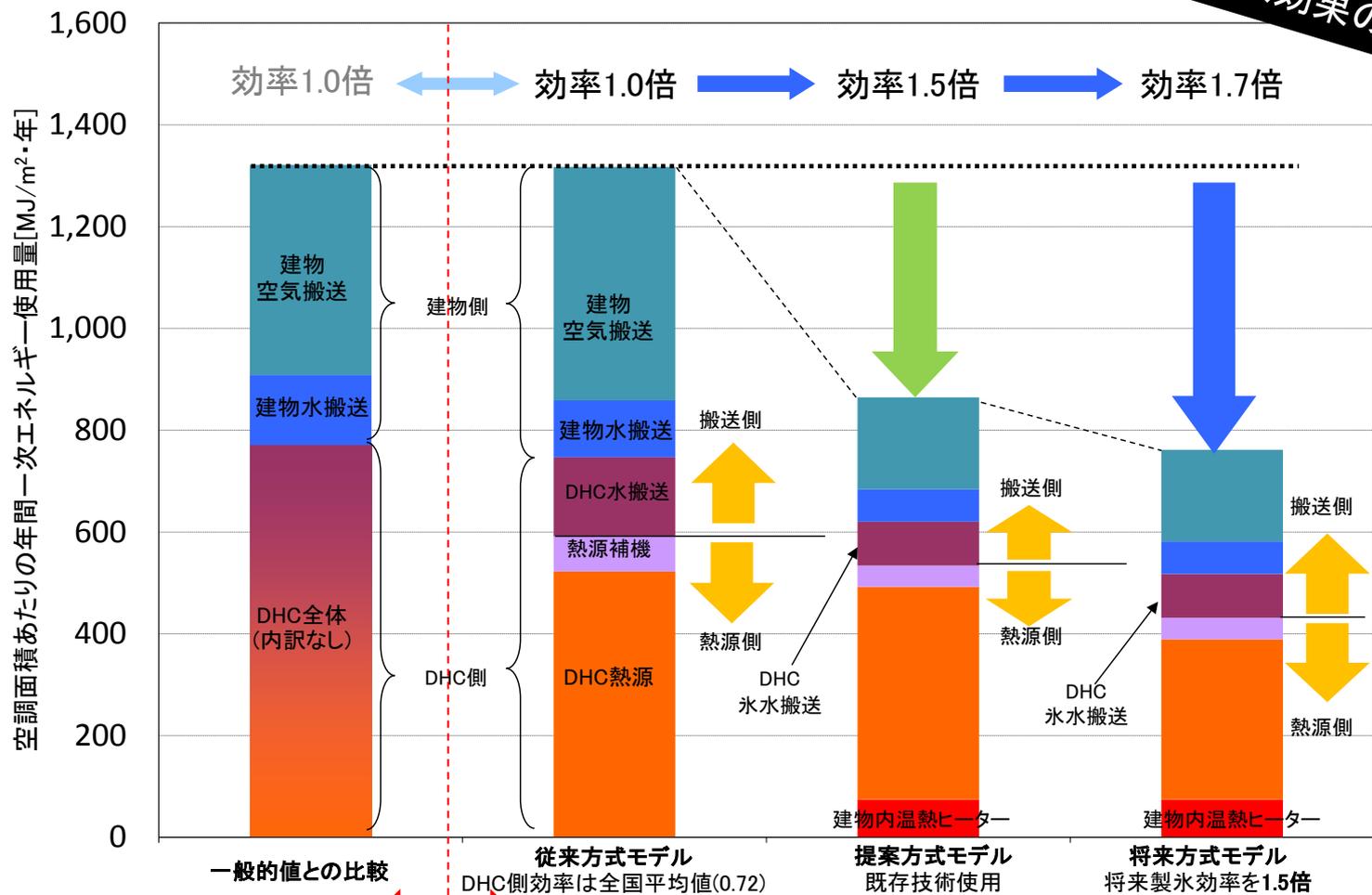
# シミュレーションによる比較

## 3. 1. 成果

見込まれる省エネルギー効果

⇒ 技術導入の境界条件検討も実施

導入効果の確認



比較資料

シミュレーション結果

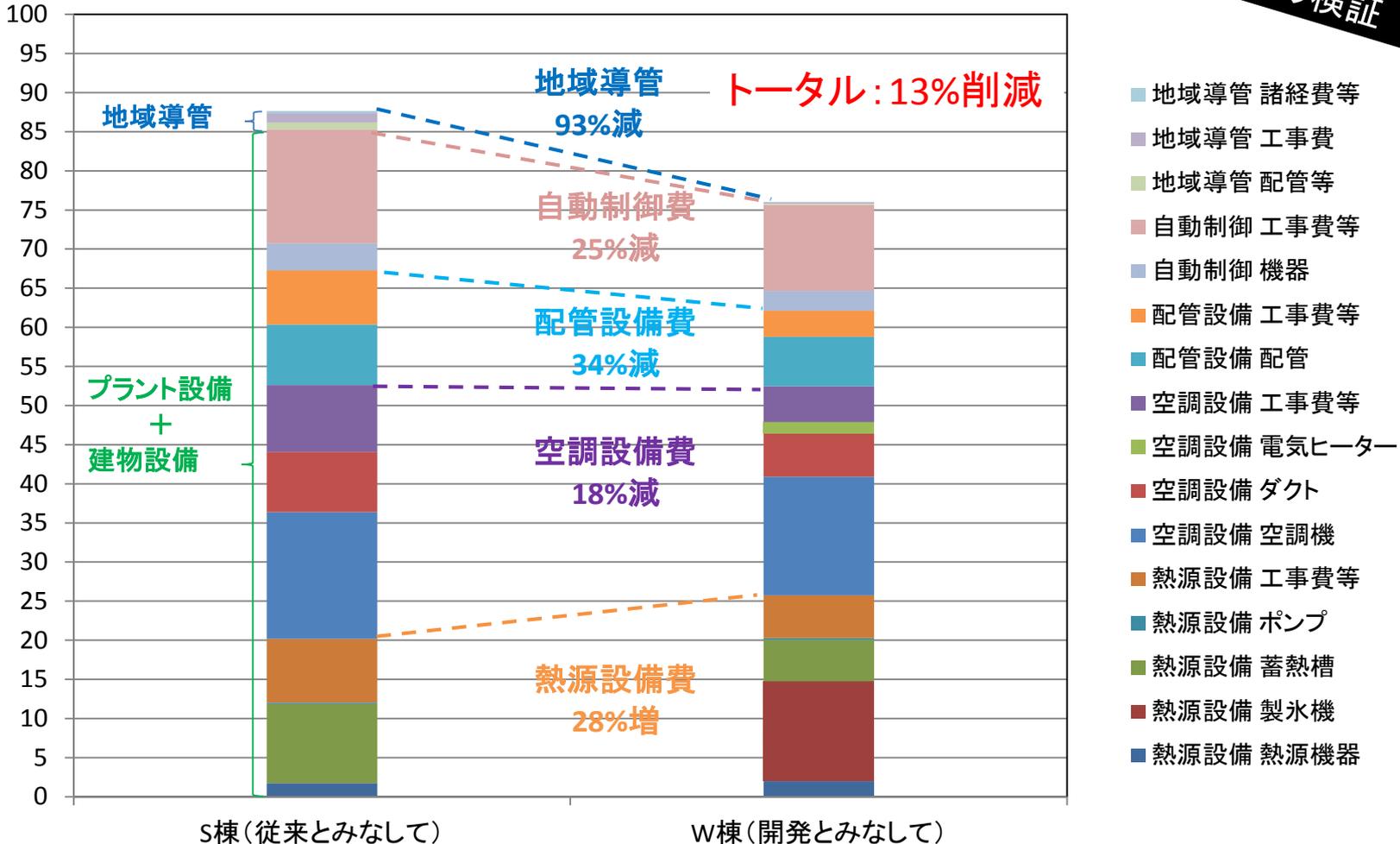
# 3. 技術内容と成果

# シミュレーションによる比較

## 3. 1. 成果

イニシャルコストの試算も実施  
⇒従来方式よりコスト低減の可能性あり

市場を睨んだ  
コスト面の検証



## 3. 技術内容と成果

### 3. 1. 成果

#### (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

## 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
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	実証済
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)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	実証済
(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	実験レベル	実証済
(3)高密度冷熱ネット ワーク全体の实証	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	実証済

### 3. 3. 特許出願状況

・H22年度～ H26年度 国内2件(外国出願0件)

出願番号	名 称
特願2014-128668	塊状氷を用いた熱交換システム
特願2014-128670	塊状氷の充填率制御装置

### 3. 4. 論文等

日付	学会名	発表テーマ
平成24年 5月16日	12th International Conference on Energy Storage	Study on Practical Use of the “High Density Cold Energy Network”

## 3. 4. 学会発表等

日付	学会名	発表テーマ
平成23年 9月15日	社団法人 空気調和・衛生工学会	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
平成23年 9月15日	社団法人 空気調和・衛生工学会	高密度冷熱ネットワークの実用化に関する研究(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
平成24年 9月7日	社団法人 空気調和・衛生工学会	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
平成24年 9月7日	社団法人 空気調和・衛生工学会	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
平成25年 9月27日	公益社団法人 空気調和・衛生工学会	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
平成25年 9月27日	公益社団法人 空気調和・衛生工学会	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
平成26年 9月3日	公益社団法人 空気調和・衛生工学会	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

### 3. 4. その他外部発表(プレス発表等)等

年月日	発表媒体・内容等
平成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