

平成23年度 建築基準整備促進事業

36. 空調システム等の最適制御による省エネルギー効果
に関する実証的評価

空調・給湯システムの制御に関する 分類整理と省エネルギー効果の実測

新菱冷熱工業株式会社
高砂熱学工業株式会社
三機工業株式会社
ダイダン株式会社

2012年4月12日

1. 調査概要

1.1. 調査の目的

- ・省エネ法の新たな義務化の構想（建築基準関連規定）
- ・空調の省エネとして期待される各種制御方式
- ・最新の制御方式、制御ロジックの実態を分類整理
- ・制御方式と省エネ効果の実証データ不足



省エネ基準のエネルギー消費量評価に使える
基礎資料作成

1. 調査概要

1.2. 調査項目

(イ) 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る
設計法及び仕様の分類整理

熱源系統、二次側搬送系統、空調機、外気処理系統

(ロ) 中央式給湯システムに係る設計法及び仕様の分類整理

中央式＋局所式、供給側＋利用側

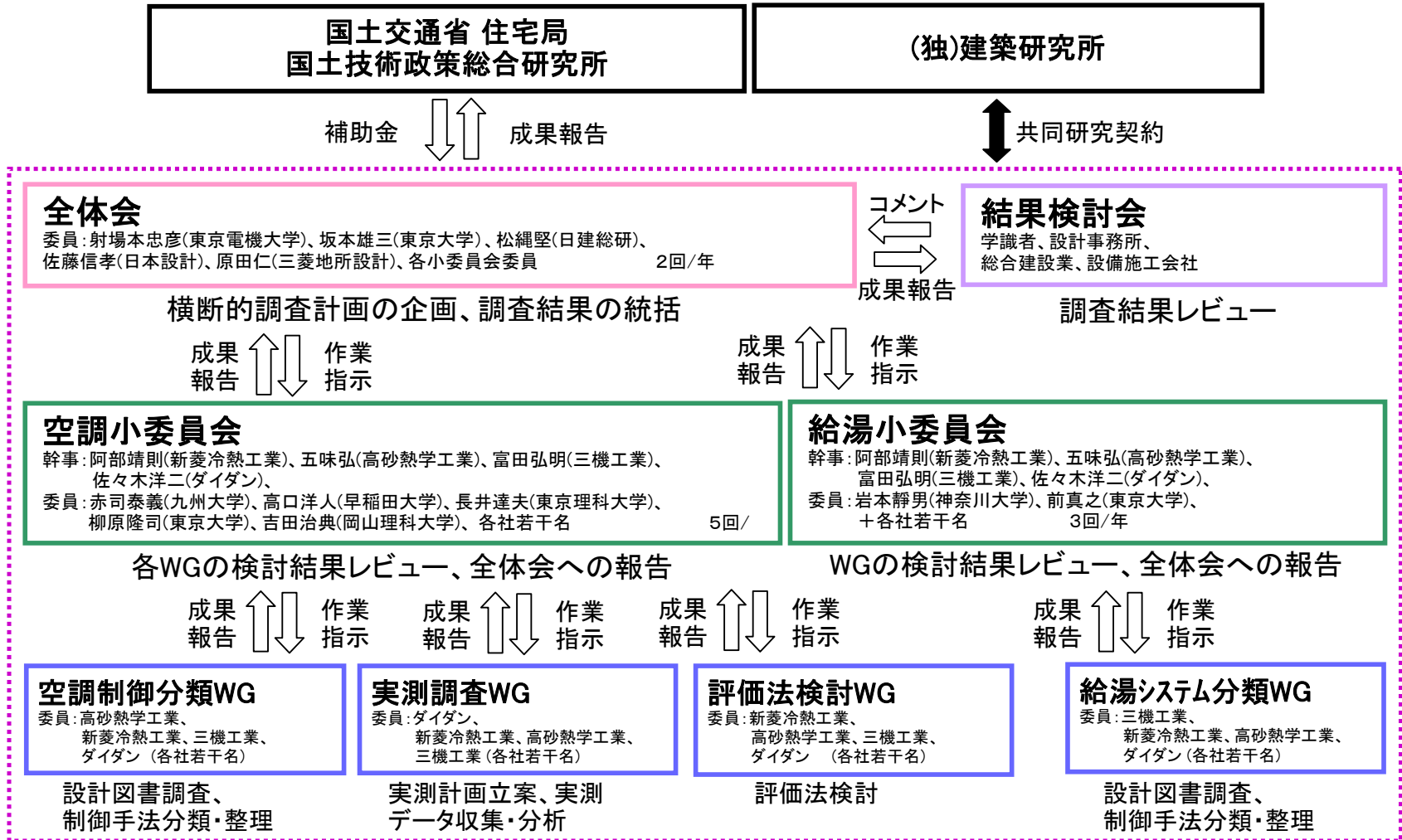
(ハ) 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る
省エネルギー効果の実証データ取得

ポンプ変流量(VWV)制御、ファン変風量(VAV)制御、
外気冷房制御、最小外気負荷制御、熱交換器制御

(ニ) 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成
理論的検討、VWVおよびVAV制御の実証データとの比較

1. 調査概要

1.3. 実施体制



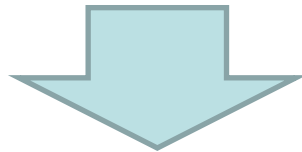
(敬称略)

2. 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの 制御に係る設計法及び仕様の分類整理

2. 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る設計法及び仕様の分類整理

2.1. 目的

現行の省エネルギー基準で想定されている制御ロジックは見直しがしばしば行われておらず、近年の設計や仕様の工夫による効果の差異が必ずしも十分に識別評価されてはいない。



近年の設計事例を調査して、
制御ロジックやパラメータ等の観点から、
これらの制御に関する設計法及び仕様の分類と整理を行う。

2. 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る設計法及び仕様の分類整理

2.2. 分類方法の検討

※ 空調システムの分類と制御システムの分類をマトリクスで表現

1) 空調設備の系統とシステムの分類

分類	システム	対象
熱源		
冷凍機	複合熱源、同種複数熱源	冷凍機群
		ボイラー群 冷凍機群
	モジュール熱源	モジュール熱源

① 熱源系統

冷熱源を主な対象とし、冷凍機と冷却塔に分類

② 水搬送系統

冷水・温水ポンプ、冷却水ポンプ、二次ポンプには一次・二次ヘッドを含む

③ 空気搬送系統

室内温湿度調整用のAHU、外気処理を含む換気

④ 外気処理の系統

最小外気量制御、ウォーミングアップ制御、外気冷房

⑤ 熱交換器の系統

空気－空気熱交換の静止型と回転型

2. 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る設計法及び仕様の分類整理

2.2. 分類方法の検討

2) 制御方式と制御ロジックの分類

制御	検出部※	制御目標※	動作※
台数制御	月日、時分 負荷流量・温度(熱量)	スケジュール 能力(冷水熱量)	増段－減段 増段－減段
最適制御	流量・負荷・外気条件 および冷凍機の状態	能力(冷水熱量)	増段－減段 冷凍機選択および増段－減段
台数制御・容量制御 回転数制御	負荷流量・温度(熱量) 冷却塔冷却水出口温度	能力(冷水熱量)	増段－減段および容量制御 周波数制御

① 検出部

制御対象、環境などから取り出す制御に必要な信号、演算結果

② 制御目標

制御量がその値をとるように目標として与えられる値(設定値)

③ 動作

制御目標が設定値に達するための操作量による制御対象の動き

2. 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る設計法及び仕様の分類整理

2.3. 空調の制御分類結果

冷凍機 15、冷却塔 7、水搬送 26、空気搬送 24、
外気処理 12、熱交換換気 8

※ 代表的な制御方式を合計 92 に分類

熱源(冷凍機、冷却塔)の制御分類

凡例 現在のCEC/ACで効率率計算

分類	システム	対象	制御	検出部※	制御目標※	動作※	分類の記号※	事例数	備考		
熱源											
	複合熱源、 同種複数熱源	冷凍機群	台数制御	月日、時分	スケジュール	増段ー減段	R-Ono-01	1			
					負荷流量・温度(熱量)	能力(冷水熱量)	増段ー減段	R-Ono-02	42		
		ボイラー群	台数制御	蒸気圧力と蒸気発生量	能力(蒸気発生量)	増段ー減段	R-Ono-03	2			
		冷凍機群	最適制御	流量・負荷・外気条件 および冷凍機の状態	能力(冷水熱量)	増段ー減段	R-Ono-04	3			
						冷凍機選択および増段ー減段					
		モジュール熱源	モジュール熱源	台数制御・容量制御	負荷流量・温度(熱量)	能力(冷水熱量)	増段ー減段および容量制御	R-Ono-05	4		
		単体	本体	容量制御	冷水出口温度	冷水出口温度	圧縮機の周波数制御	R-Wt-01	4	出口温度の設定には固定/可変あり	
								圧縮機の増段ー減段	R-Wt-02	4	
								サクシオンベーンの開閉	R-Wt-03	8	
								燃焼量の調整	R-Wt-04	16	
	蒸気量の調整							R-Wt-05	10		
	冷水主導での容量制御							R-Wt-06	5		
	温水主導での容量制御							R-Wt-07	1		
	蓄熱	熱源機群	台数制御 最適制御	蓄熱槽温度 負荷予測	蓄熱量 蓄熱量	減段	R-Hst-01	13			
						冷凍機選択および増段ー減段	R-Hst-02	0			
その他											
	通常	冷却塔群	台数制御	冷却塔冷却水出口温度	冷却塔冷却水出口温度	増段ー減段	CT-Ono-01	10			
			単体	運転停止制御	冷却塔冷却水出口温度	冷却塔冷却水出口温度	ON-OFF	CT-Wt-01	26		
				回転数制御	冷却塔冷却水出口温度	冷却塔冷却水出口温度	周波数制御	CT-Wt-02	8		
				弁制御	冷却塔冷却水出口温度	冷却塔冷却水出口温度	2万弁・3万弁の開閉	CT-Wt-03	34		
			フリークーリング								
	フリークーリング	冷却塔群	台数制御	外気温度(湿球温度)	能力(冷却水熱量)	増段ー減段	CT-Ono-02	3			
			単体	運転停止制御	冷却塔冷却水出口温度	冷却塔冷却水出口温度	ON-OFF	CT-Wt-04	0		
				回転数制御	冷却塔冷却水出口温度	冷却塔冷却水出口温度	周波数制御	CT-Wt-05	3		
			その他								

2. 熱源機器、搬送機器、外気処理システムの制御に係る設計法及び仕様の分類整理

2.4. まとめ

空調システムと制御方式を体系的に分類

- ・建物用途7区分(ホテル、病院、物販店舗、事務所、学校、飲食店、集会所)
- ・実施事業者4社が設計・施工した73件の事例を参考に92の制御方式を分類
- ・制御方式の組合せマスターテーブル
- ・用途区分ごとに良く使われる制御方式を整理



実際に使用されているシステムの体系的整理

3. 給湯システムの分類整理

3. 給湯システムの分類整理

3.1. 目的と方針

■ 募集要領

「中央式給湯システムの制御に係る設計方法及び仕様の分類整理」

＜給湯システム分類WG、給湯小委員会での議論＞

- (1) 湯の使われ方も省エネルギー性能に係る大きな要素である。
- (2) 近年採用されている工夫や設計法はシステムに関するものが多い。
- (3) 制御はシステムに依存する。

⇒ 製造側(中央式・局所式)・利用側を含めた
システム全体での分類とする

3. 給湯システムの分類整理

3.2. 分類方法の検討と結果とまとめ

※ 空調システムの制御分類と同様、マトリクスで表現

■ 製造側

・**熱源 (20)** 方式(中央式、局所式)、
 エネルギー源
 (燃料、電気、再生可能
 エネルギーなど)

・**貯湯槽 (4)** 有/無、密閉/開放、
 成層/非成層

■ 利用側

・**端末器具 (9)** 水栓の種類、温調方式など
(カッコ内は分類数)

熱源の分類(抜粋)

区分	分類	方式	専用兼用	エネルギー	機器	型式	
製造側	熱源	中央式	専用○/兼用●	再生可能エネルギー	太陽熱		
					バイオマス		
				排熱	CGS	ガスタービン	
						ガスエンジン	
						ディーゼルエンジン	
					冷房		
				暖房			
				局所式	専用	燃料	湯沸器
							連結型給湯器
						電気	温水器
CO2冷媒ヒートポンプ							

※ 代表的な給湯システムを合計 33 に分類

4. 搬送機器・外気処理システムの制御に係る 省エネルギー効果の実証データ取得

4.1. 目的と方針

●搬送機器・外気処理システムで省エネ効果があるとされる

代表的な制御手法

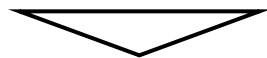
- ①ポンプ変流量制御（VWV）
- ②ファン変風量制御（VAV）
- ③ 最小外気導入量制御
- ④ 外気冷房制御
- ⑤ 熱交換換気制御

●実施事業者4社の施工物件で①～⑤が採用されている 建物を抽出し、各種データを収集して実態を明らかに

4.2. 実測建物の用途と地域

用途分類	
建築物の用途	件数
ホテル等	4
病院等	5
物販店舗等	2
事務所等	8
学校等	1
合計	20

地域分類	
地域	件数
北海道	3
関東	13
北信越	1
関西	1
中国・四国	1
九州	1
合計	20



実測建物数20件に対し、実測した制御手法は52件

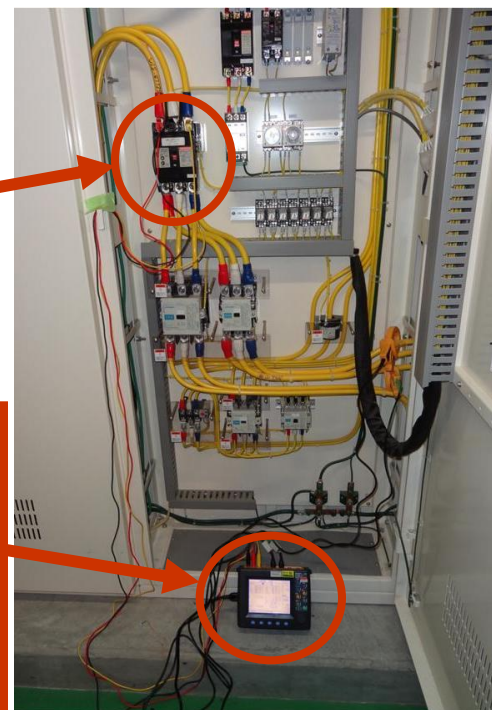
4.3. データ収集方法

①BEMS (Building and Energy Management System)

BEMSデータの数値が適正であることをチェックしたうえで分析に利用

②実測

BEMSだけでは省エネ効果が分析できない場合、オーナー等の協力を得て、新たに測定器を設置して実測



4. 搬送機器・外気処理システムの制御に係る省エネルギー効果の実証データ取得

4.4. データ取得結果

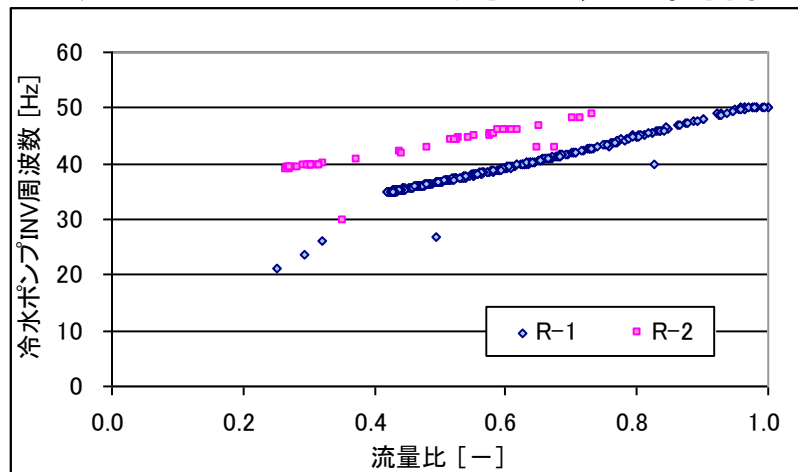
・制御状況の確認

- (1)対象の制御手法が正常に動作していることを確認
(インバータ出力と流量の関係, 流量と温度差の関係など)
- (2)インバータ出力と流量の関係を, トレンドデータで確認

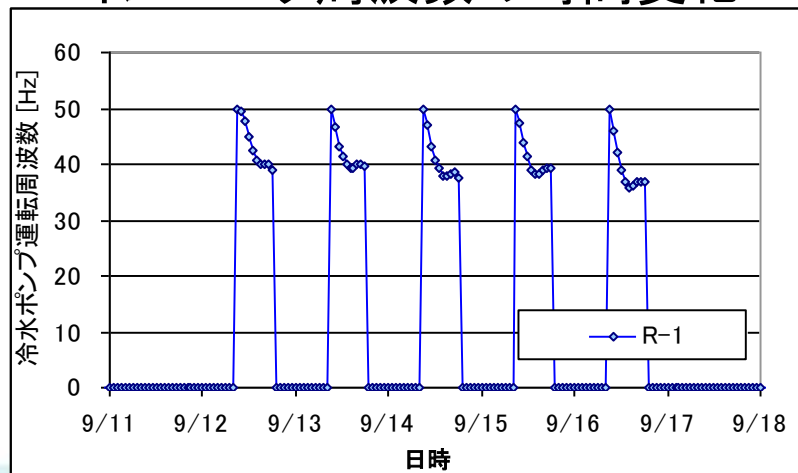
実証データ作成

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成へ

流量とインバータ周波数の関係



インバータ周波数の時間変化



4.5. まとめ

- ・実施事業者4社の施工物件で搬送機器・外気処理システムの制御が採用されている建物を抽出
- ・省エネルギー効果の実証データをBEMS・実測で収集
- ・期間 : 7月～翌年1月
- ・ポンプ流量(VWV)制御、ファン風量(VAV)制御、最小外気導入制御、外気処理制御、熱交換換気制御に関する実運転データを52件収集した。
- ・幅広い用途・地域・規模の建物について実態を調査した。



- ・実運転データからこれまで実態が十分に把握されていなかったエネルギー消費量削減率の実態を明らかにした。
- ・様々な切り口から、実データを横並びで把握できるようにした。

5. 実証データに基づく エネルギー消費量予測のための 評価値の作成

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.1. 目的・概要

空調搬送系の制御毎のエネルギー消費量予測のための評価値(削減率)を作成するため、収集データを基に評価法の検討を行う。

- ・2章でまとめた制御分類に従って分析する
- ・対象はポンプ・ファンの軸動力削減に有効な評価方法とする
ポンプ変流量(VWV)制御、ファン変風量(VAV)制御

<手順>

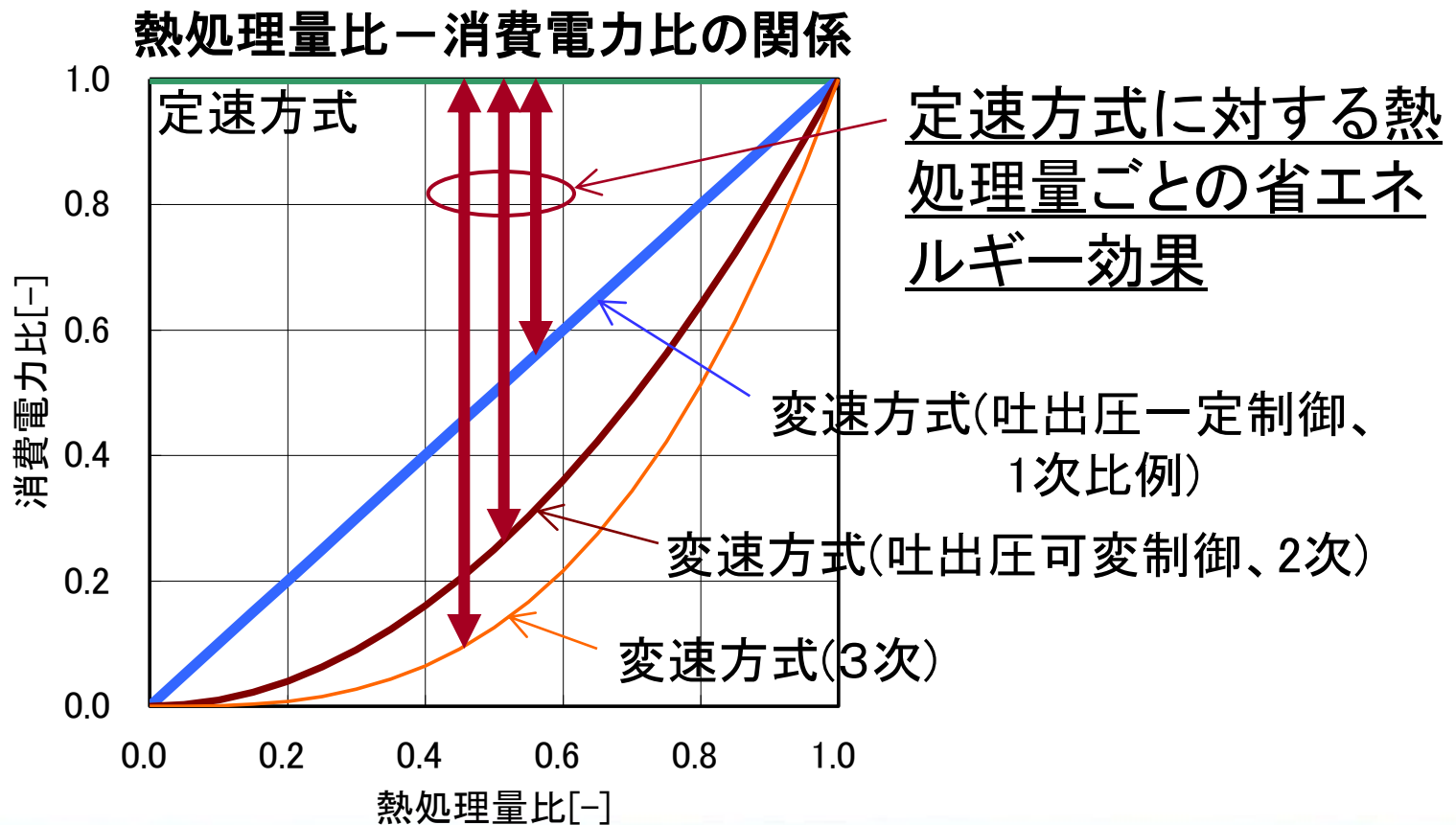
- (1) 評価法に関する理論的検討(文献調査、相似則適用)
- (2) 理論的検討と実測値との比較

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.2. 理論特性

(1) 相似則に基づく理論特性

— 往還温度差を一定として、ポンプ・ファン共通 —

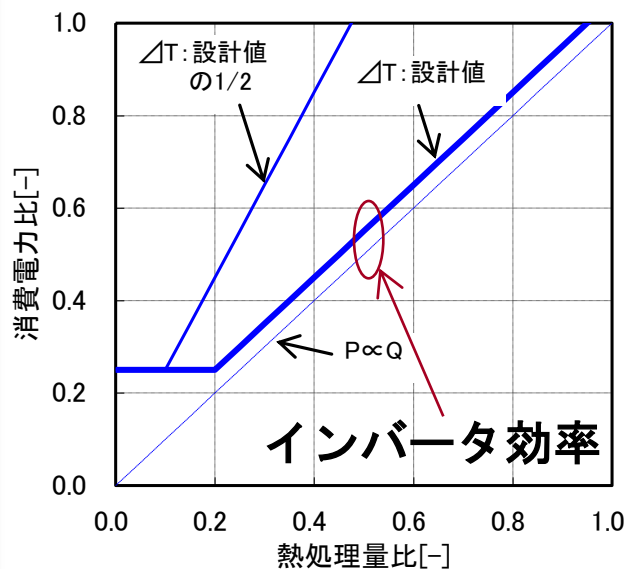


5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.2. 理論特性

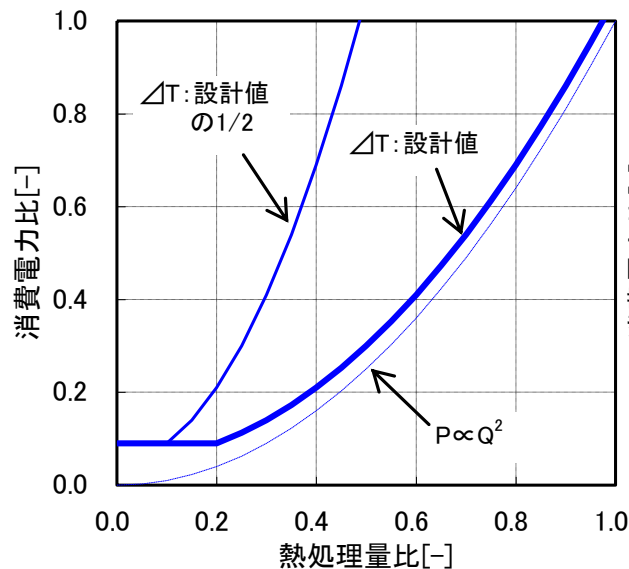
(1) インバータ効率、下限設定値を考慮した理論特性

吐出圧一定制御
[代表例:2次ポンプ]

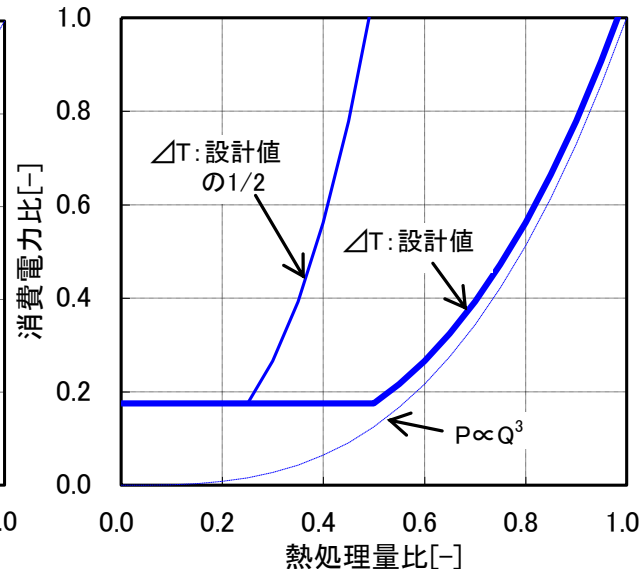


インバータ下限値20%

吐出圧可変制御
[代表例:2次ポンプ、
空調機VAV]



3次曲線となる制御
[代表例:1次ポンプ、
冷却水ポンプ]



インバータ下限値50%

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.3. 検討対象

ポンプ(VWV)制御
22件

ファン(VAV)制御
15件

合計37件
理論値と比較

制御項目リスト (VWV)

制御対象	検出部	制御目標	動作	計測件数
1次ポンプ	二次側 負荷流量	流量	周波数 制御	3
	冷凍機の 冷水 出口温度	流量	周波数 制御	3
	二次側 差圧	吐出圧力	周波数 制御	1
2次 ポンプ (1台)	吐出圧力	吐出圧力	周波数 制御	4
2次 ポンプ (全台)	吐出圧力 (負荷流量)	推定末端圧	周波数 制御	5
	吐出圧力 (末端圧)	末端圧	周波数 制御	1
	吐出圧力 (差圧)	吐出圧力 (差圧)	周波数 制御	1
開放系 1次 ポンプ	負荷流量・ 残蓄熱量	流量	周波数 制御	1
冷却水 ポンプ	冷凍機の 冷却水 出口温度	冷凍機の 冷却水 出口温度	周波数 制御	3

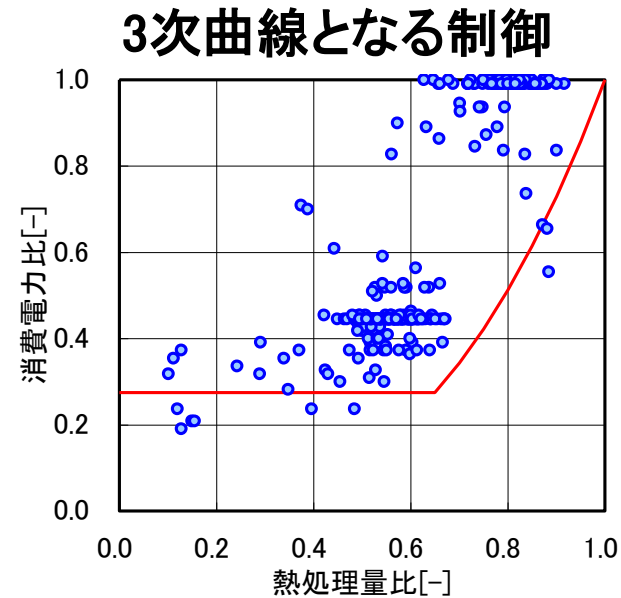
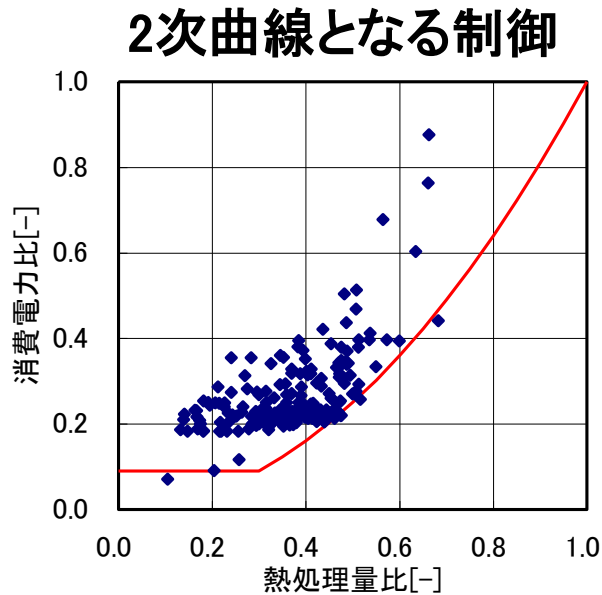
制御項目リスト (VAV)

制御対象	検出部	制御目標	動作	計測件数
空調機 ファン	要求風量・ VAV開度	VAV風量	周波数 制御	1
	VAV合計 風量	給気風量	周波数 制御	9
	吐出圧 (可変)	末端圧	周波数 制御	1
	室内温度	室内温度	周波数 制御	2
外調機 ファン	CAV合計 風量	給気風量	周波数 制御	2

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.4. 評価結果

(1) 代表例



定速方式に比較して省エネルギーとなり、理論特性とほぼ同じ傾向

→ 予想した理論特性よりやや削減率が低い

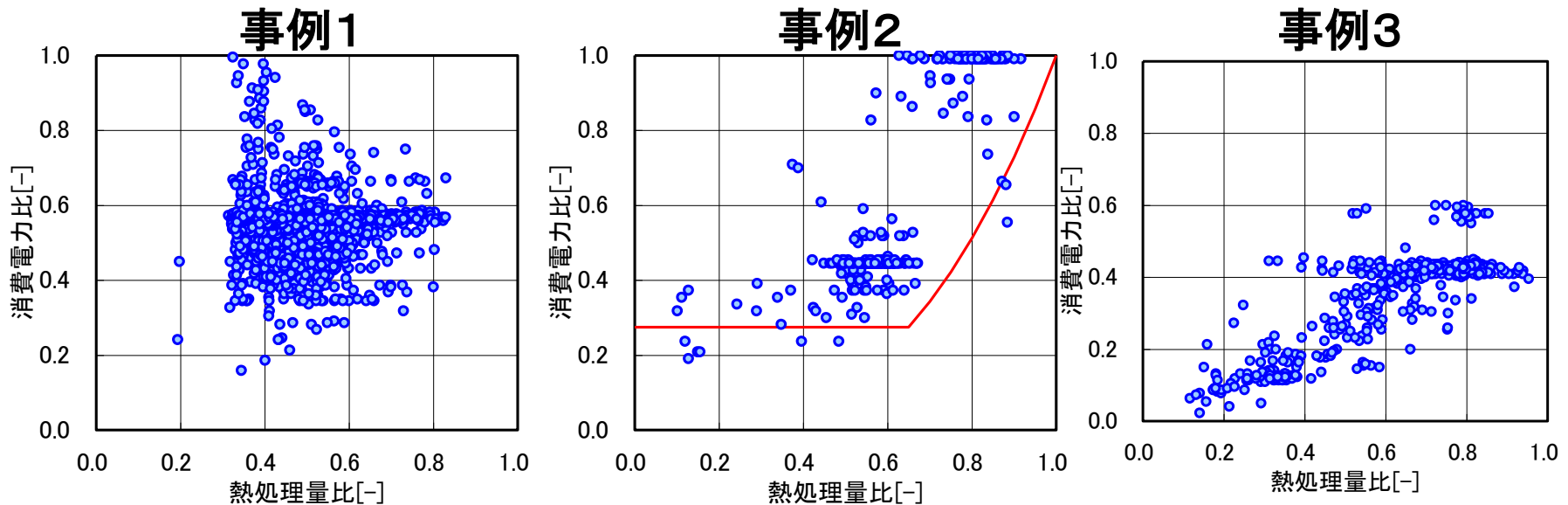
理論では予測しきれない、実際の省エネルギー効果の評価

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.4. 評価結果

(2) 実態

<3次曲線となる制御>



⇒ 同じ制御方法でも事例によって傾向が異なる

⇒ 極端な節電による影響も

5. 実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

5.5. まとめ

- ・ポンプ変流量(VWV)・ファン変風量(VAV)制御時において、制御分類毎のエネルギー消費量を予測するための評価値を作成するため、理論上の熱処理量比—消費電力比の関係を示した。
- ・実測値を用いて同様の分析による傾向把握を行った。
- ・ポンプ変流量(VWV)制御22例、ファン変風量(VAV)制御15例のデータから分析をした。
- ・その結果、熱処理量比—消費電力比の関係が理論値と同じ傾向を示す事例を確認した。
- ・理論値と異なる事例もあった。



今後、本調査の知見を活用して、より詳細なデータの収集を行うことで、制御分類毎の省エネルギー性評価の可能性が示唆された。

6. まとめ

- (1) 空調・給湯の省エネ効果が期待される制御方式・制御ロジックの実態を体系的に分類整理した。
- (2) 各種制御方式と省エネ効果の実証データをビルオーナー、管理者の協力のもと一同に集めた。
- (3) 体系的に集めた実証データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値(削減率)作成を目的とした理論的な検討と実証データとの比較を行った。

7. 今後の課題

- (1) 実測データの拡充
- (2) 調整による適切な制御
- (3) 幅広い負荷域でのデータ取得