

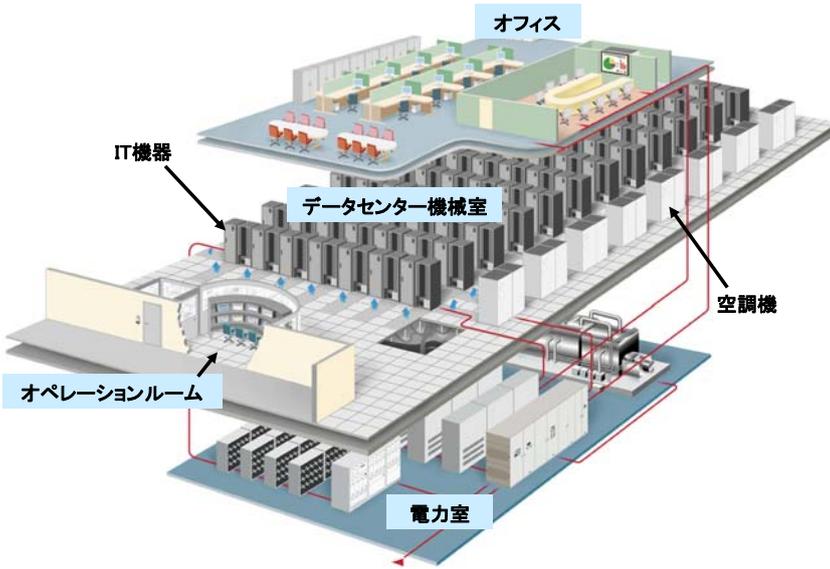
# データセンター空調システムの信頼性評価ツールの研究開発

羽山 広文 北海道大学  
 渡邊 均 東京理科大学  
 中尾 正喜 大阪市立大学  
 関口 圭輔 (株)NTTファシリティーズ

## □ 本研究開発の背景

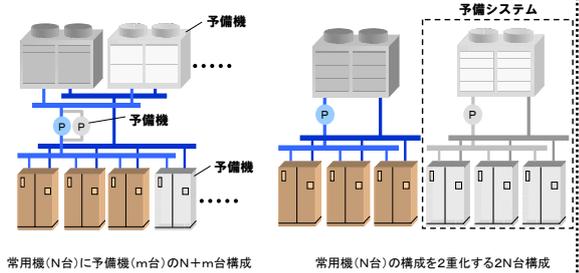
### データセンター

データセンターはサーバやストレージ、ルータ等のIT機器を集中設置し、電子商取引やコンテンツ配信といったITサービスを提供する施設である。現代の情報化社会を支える重要な施設であり、ここに収容されるIT機器だけでなく、空調設備や電力設備といった建物インフラ設備も高い信頼性が要求される。

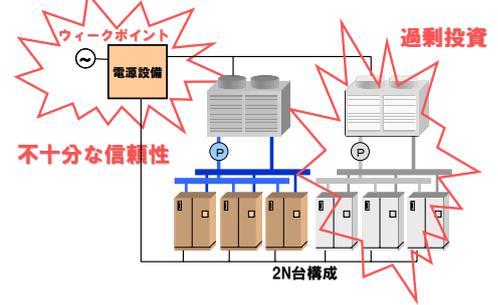


### 空調設備における信頼度設計の現状

#### 経験に基づく単純な冗長構成



#### 現状の課題



信頼性の確保と経済的なシステム構築を両立させるため、信頼性評価手法の確立が重要

## □ 本研究開発の概要と社会的意義

本研究開発は、IT機器など高発熱機器を設置したデータセンター用空調システム的设计に関し、空調システムを構成する機器の能力特性・故障特性とともに、建物や空調システムの熱容量を考慮し、多種多様な機器で構成された複雑な空調システムの信頼性評価を迅速に行う設計ツールを開発したものである。

### ① 信頼性評価手法の確立

#### 精度の高い信頼性算出手法を確立

不稼働率  $U_r$  算出の基礎式に以下の要素を加味、 $U_r$  の精度を向上した。

- ・年間の気象条件
- ・機器の能力特性 (外気温度、室内温度)
- ・建物熱負荷特性
- ・蓄熱槽

#### 複雑なシステムに対応するモデル化

故障・修理の経過をマルコフ過程でモデル化した。これにより、あらゆるシステム構成の信頼性評価が可能となった。

### ② 信頼度計算の効率化

#### 精度検証に基づく、簡易計算法の考案

PCで不稼働率  $U_r$  を算出できるように、実用上問題ない精度を有する簡易計算を構築した。

#### 複雑なシステム構成に対応する計算手法

CGS等の複雑なシステムの信頼性を評価するため、以下の手法を用いて計算を効率化した。

- ・連立方程式の解法として反復法を採用、機器故障の特徴を考慮して精度を確保
- ・近似法の適宜利用による計算の迅速化

### ③ 様々なシステム構成への展開

#### DCで一般的な空調システムに対応

本研究開発した信頼性評価手法を、様々な空調システムに展開した。さらに、多様なバックアップ設備にも対応し、設計自由度を高めた。

#### 本研究開発で取り組んだ空調方式

- ・空冷パッケージ空調システム
- ・水冷パッケージ空調システム
- ・中央熱源空調システム
- ・コージェネレーションシステム

#### バックアップ設備

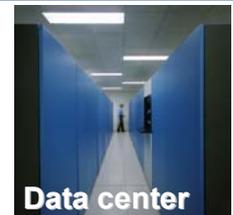
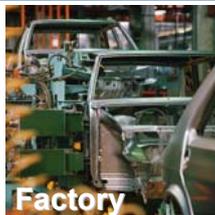
- ・構成機器の予備機
- ・非常用換気設備
- ・蓄熱槽

### ④ 信頼性評価ツールの開発

#### PCで動作するアプリケーションソフト

空調設計者の利用を想定したPC用ソフトウェアを開発した。本ツールを使うことで、一定の信頼性を確保して、空調システムの構築コストを低減させる検討が容易になった。本ツールを作成するための信頼性評価の手法は学会論文等で公開済み。

本研究開発の成果は、社会基盤を支える重要施設において、空調設備の信頼性確保と、構築コストの低減に貢献する。



# データセンター空調システムの信頼性評価ツールの研究開発

羽山 広文 北海道大学  
 渡邊 均 東京理科大学  
 中尾 正喜 大阪市立大学  
 関口 圭輔 (株)NTTファシリティーズ

## □研究開発技術の紹介

### ① 信頼性評価手法の確立

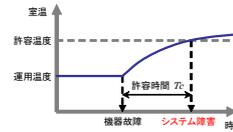
精度の高い不稼働率  $U_T$  を算出する基礎式

$$U_T = \sum_{c=1}^n \lambda_c MTRR_c \exp\left(-\frac{T_c}{MTRR_c}\right)$$

但し、 $\lambda_c$  : 故障状態  $c$  の発生頻度  
 $MTRR_c$  : 故障状態  $c$  の平均継続時間  
 $T_c$  : 故障状態  $c$  における室温上昇までの許容時間

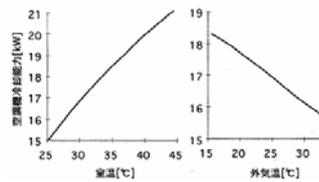
機器故障からシステム障害に至るまでの時間(許容時間  $T_c$ ) 導出に当たり、信頼性評価モデルに**年間の気象条件、機器の性能特性、建物熱負荷特性、蓄熱槽**を加味することで、**精度の高い不稼働率  $U_T$  を算出**と、**多様なバックアップの検討**を実現した。

・空調システムの機能障害

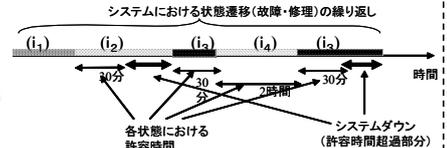
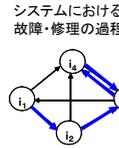


室温が許容温度を逸脱した時点を中心システム障害と定義

・室温、外気温度による空調機の能力補正



### 複雑なシステムに対応する評価モデル



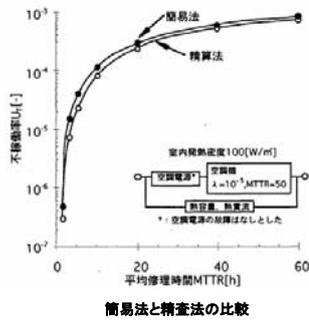
複雑な空調システムに対応するため、システムの故障・修理の挙動と、室温上昇の過程を分離して解析する手法とした。すなわち、構成機器の故障・修理過程を**一般的なマルコフ過程で表現**し、許容時間  $T_c$  はシステムの状態に固有のものであると捉えて、状態がこの許容時間を超えて継続する確率を算出する。本手法により、**あらゆるシステム構成の信頼度評価を可能**とした。

### ② 信頼度計算の効率化

精度検証に基づく、簡易計算法の確立

- 機器故障の前後で、外気条件が一定と考え、室内の熱平衡式を定義
- 日平均値とする外気条件と、修復時間が指数分布で表されるとして、許容温度の超過確率を近似

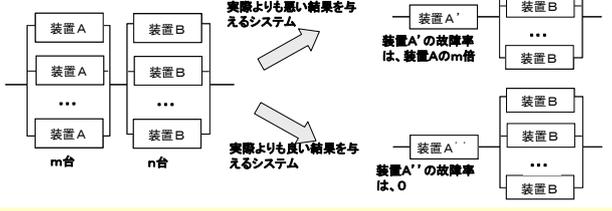
年間の気象条件や機器の性能特性を考慮することで飛躍的に増加する計算量を回避するため、**不稼働率  $U_T$  を算出する簡易法を考案**した。この簡易法が、より厳密に求める精査法と比較し、実用的に十分な精度を有していることを示した。これにより、**PCを使った空冷パッケージ空調システムの信頼性評価が可能**となった。



簡易法と精査法の比較

### 複雑なシステム構成に対応する計算手法

・近似法の概要



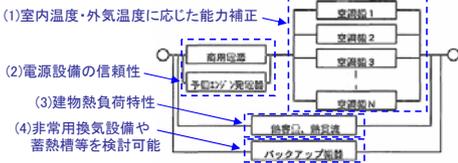
連立方程式の解法には反復法を採用、計算精度を確保するため、通常の場合には無故障状態の確率が概ね"1"に近いという特徴を利用した。さらに、評価するシステムに対して信頼性の上下に対応する近似モデルを設定し、これを適宜狭めていく**近似解法を採用**した。これにより、コージェネレーションシステム等の複雑なシステムの信頼性評価を、実用的な精度と計算時間で実現した。

### ③ 様々なシステム構成への展開

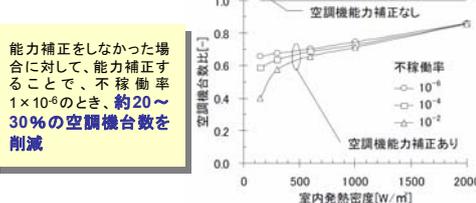
#### 空冷パッケージ空調システム

・信頼性評価モデル

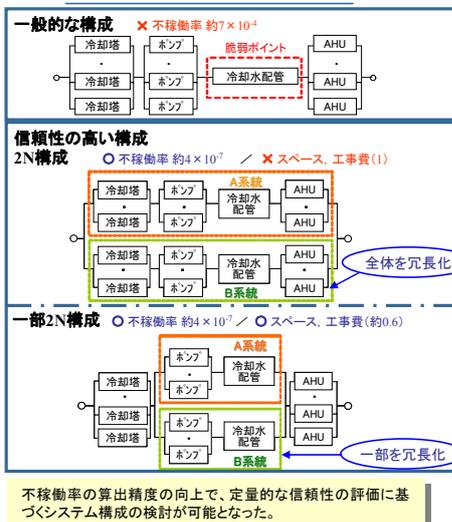
(1)~(4)の要素を加味した信頼性評価モデルを考案



・信頼性評価例

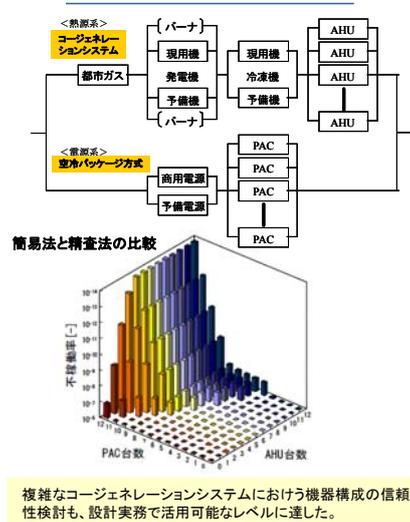


#### 水冷パッケージ空調システム



不稼働率の算出精度の向上で、定量的な信頼性の評価に基づくシステム構成の検討が可能となった。

#### コージェネレーションシステム



複雑なコージェネレーションシステムにおける機器構成の信頼性検討も、設計実務で活用可能なレベルに達した。

### ④ 信頼性評価ツールの開発

完成済み設計ツール

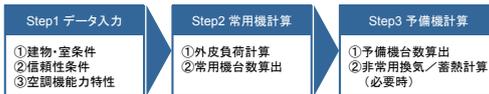
- 空冷パッケージ空調システム (+ 蓄熱槽)
- 水冷パッケージ空調システム (+ 蓄熱槽)
- 中央熱源空調システム
- コージェネレーションシステム

今後予定の設計ツール

- 異種の熱源機器が混在する中央熱源空調システム/コージェネレーションシステム
- 蓄熱槽を組み合わせた中央熱源空調システム/コージェネレーションシステム

本研究開発の信頼性評価手法は、これまで学会論文等で公開されており、これを基に信頼性評価ツールを作成することが可能である。  
 (株)NTTファシリティーズでは、本手法を組み込んだ信頼性評価ツールを空調設計者が利用できるPC用ソフトウェアとして完成させ、現在社内システムとして利用している。このツールを使うことで、**一定の信頼性を確保し、工事費の低減**を実現している。

#### 空冷パッケージ空調システムの信頼性評価ツールの紹介



#### 出力画面例

項目	信頼性条件	発熱条件 外皮負荷	必要台数 (計算結果)	不稼働率 (計算結果)
空調機台数	10	1000	10	0.0001
蓄熱槽台数	0	0	0	0.0000
コージェネ台数	0	0	0	0.0000
総台数	10	1000	10	0.0001
総工事費	1000000	1000000	1000000	1000000