

論文の要旨

論文題目 建築施設のエネルギーマネジメントにおける計測密度に関する研究
—大規模複合施設におけるケーススタディ—

氏 名 孫 璿珪

キーワード

建築施設の効率的な省エネルギー改善及び運営改善のため、設置されている計測ポイント(計測センサー)について理論的な分析を行う。その方法として計測ポイント間における相関分析の方法を利用する。

1. 研究の目的

エネルギーマネジメントは機器の運転・制御やエネルギー流量、温熱環境等に関するデータを常時モニタリングすることによって確実化、精密化される可能性があるが、モニタリングデータの種類・量が増大すると管理者の業務負担能力の限界を超えてしまうという問題が生ずる。

IoTに代表される近年の革新により、こうした問題を抜本的に解決する方向が示されつつあるが、多種大量のデータが互いに関連しながら全体としてどのような挙動を示すかについては、その全体像を精確に描き出そうとした既往研究が見られない。そこで、モニタリングシステムから収集した大量のデータ間の相関に基づき、同様の振舞いをする同種のデータを「クラスター化」し、さらにクラスター化されたデータ間の相関を見ることにより、データ全体の動き方を「構造化」し、可視化を試みる。クラスター化により計測データ数を縮約して効率的な建築施設の維持管理することが可能し、また構造化は異常の運転検出などのモニタリングを行う際の標準状態として利用できると考えられる。

本研究では、多種大量のモニタリングデータを収集し、データ間における相関関係の分析を通じて、モニタリングのセンサー間の関係性を明らかにし、それらの「クラスター化」及び「構造化」の分析により、エネルギーマネジメントの効率化や確実化の可能性を高めることを目的とした。

2. 研究の構成

第2章：一般的なモニタリングシステムの仕組みを把握し、モニタリングシステムの一般的な必要性を論じる。そこで、モニタリングシステムにおけるサイクルとPDCAサイクルを比較する。つづいて、対象になるP施設の施設管理のため設置されているBEMSからモニタリングシステムまでのデータの流れを論じる。最後にモニタリングシステムの実例の事例として、二箇所の施設

に関して分析する。

第3章：P施設における施設情報のプロセスである図面・BEMS・機器台帳・モニタリングシステムの関係性を分析し、その情報に関わるステークホルダーの種類や要求項目及び関係性を論じる。さらに、ステークホルダーがモニタリングシステムから必要とするデータのことについて収集可能有無を明らかにする。

第4章：P施設の概要として現状や問題点を分析し、設置されているモニタリングシステムについて詳細に分析する。つづいて、モニタリングシステムから収集可能な1032ポイントを把握し、分析するデータの時期を選定し、関係性によるグループを作成する。グループは性質によって4つのグループ化を行い、環境系、エネルギー系、運転系、その他とする。

第5章：本論文で利用する相関係数の関係などについて論じる。その後、4章で分類を行ったグループにより、トータルの計測ポイントから分析対象のポイントに絞る条件や方法について論じる。つづいて、トータル1032個の計測ポイントからデータフィルタリングを通じ、分析対象になる539個の計測ポイントに関して相関関係を計算する。

第6章：P施設に関して5章に計算した相関係数の結果により、539個の計測ポイントを、6つの系に分け、グループ化し、そのクラスターの関係性を把握し分析を行う。つづいて、クラスターによる関係性を構造化し、明確にする。

第7章：本論文で利用した相関関係における分析の方法（6章のP施設）を他の施設への展開性について検討を行う。そのため、展示施設1カ所（L施設）、オフィス施設1カ所（I施設）に適用し、その可能性を明らかにする。

3. 相関関係における分析の方法

3. 1 分析の手順

ケーススタディとしての対象施設では、約30,000㎡の展示施設、会議施設、宿泊施設を併設する最も大規模複合施設（P施設）である。研究の手順は下記である。

- ①モニタリングシステムのデータを算出
- ②算出したデータのフィルタリング（無効なデータの除外）
- ③計測ポイント関する種類別の基準分類（環境系、エネルギー系、運転系、その他）
- ④有効なデータ間の相関係数の計算
- ⑤相関関係のリスト作成
- ⑥相関係数によるクラスター化の分析
- ⑦クラスター化による構造化の分析

3. 2 他の施設への適用

P施設における分析結果の一般性を検証するために、最も小規模で空間構成も単純なS造ショウルーム（L施設）、やや大規模ながら標準的な行政サービス事務所建築であるY市I区総合庁舎（I施設）に関して同様の分析を行った。

4. 相関関係による3つの施設の分析

「P施設」で行った相関関係の分析方法を「L施設」と「I施設」に導入し、本研究で使われた相関分析の方法について、展開可能性を検討し、3つの施設において相関関係による比較及び分析を行った。

4. 1 クラスター化の比較及び分析

「P施設」では、L施設やI施設に比べて建物の規模が大きいので、同種類の計測センサーが多く、その結果、大きなクラスターが生成されている。「L施設」の場合、展示空間を持つ施設なので、稼働時間の影響と展示空間の特性により、展示空間に関する運転系の設備に関するクラスターの固まりが多数存在すると判断された。「I施設」はオフィスのような施設の運営時間により、全階の可能時間が決まっているし、構造的にも、附属部屋よりもオープンスペース型の場所が多いため、室内の環境に関する「環境系」につながる「エネルギー系」のクラスターが大きい。

4. 2 構造化の比較及び分析

L施設やI施設の手順はP施設の手順と同一である。計測ポイントにおけるデータの相関係数の計算を行い、相関関係のリストを作成し、クラスター化による構造化のダイアグラムを作成し、計測ポイントの相関関係を分析について、総合的な分析と考察を行った。(図4-1 参考)

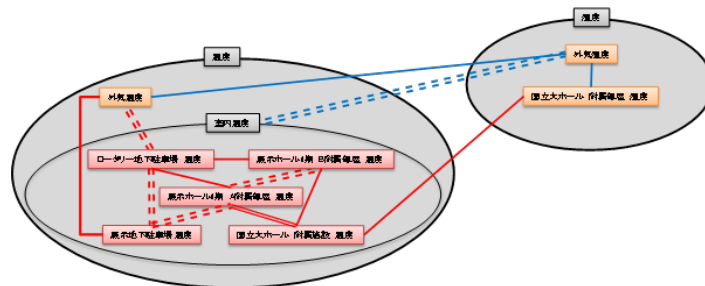


図 4-1. P施設の環境系に関する構造化の一部

5. 結論

5. 1 クラスター化による計測ポイント縮約の可能性

表5-1. 各施設に関する縮約可能な比率

区分	P施設			L施設			I施設		
	クラスター	ポイント数	縮約比率	クラスター	ポイント数	縮約比率	クラスター	ポイント数	縮約比率
環境系	18	48	62.5 %	10	14	28.6 %	7	23	69.6 %
エネルギー系	233	344	32.3 %	13	29	55.2 %	51	103	50.5 %
運転系	89	147	39.5 %	3	3	0.0 %	12	18	33.3 %
その他	-	-	- %	8	25	68.0 %	4	13	69.2 %
総計	340	539	36.9 %	34	71	52.1 %	74	157	52.9 %

ケーススタディから、計測ポイントにける縮約の可能な比率が把握できたが、相関関係の分析を用いて、計測ポイントを実際に縮約する判断を行うのは、妥当性はないと考えられる。その理由は、計測ポイントは、モニタリングシステムに対し、「センサーの計測目的」「センサーの種類」「センサーの設置場所」などを考慮した上で決定しているため、同様のセンサーでも、その計測値が異なる。例えば、外気温度センサーの場合、3つの相関係数が、ほぼ同値として見えているが、設置場所が異なるので、実際の計測データには別々計測が必要になる程度の相違が生じため、縮約はできない。(表5-1参考)

5. 2 クラスター化による構造化の結果及び有効性

環境系においては、外気温度と外気湿度の間に負の相関がある点でP施設と共通している。また、I施設ではPMV（計算値として蓄積）が新たに加わり、CO2濃度が多ポイントで測定されているが、同じ環境系内の温湿度とこれらのクラスター（センサー種類）の間には正負の相関があり、これらの関係は各系をまたいで連動するクラスター間の関係としてあらわれている。また、I施設では、P施設では相関係数を計算しなかった「その他」の運転状況の相関も検討しているが、環境系、エネルギー系、運転系、その他の系のすべてで連動するクラスター間の相関が認められる。

5. 3 他の建築施設への適用可能性

- ①各種計測ポイントのデータによる相関分析は、同様の計測ポイントが同様の連動の仕方を示すことから、他の建築施設に適用することが可能である。
- ②施設の空間的な構成及び機能的構成の複雑性が高い場合、また、全体構造から独立した部分構造の集合は、全体構造を部分構造の集合に還元できる。このとき、個々の部分構造は、施設の規模・種類によらず、特定の組み合わせのクラスター群から構成され、同様の相関関係でまとめることを予想することができる。
- ③部分構造を全体構造にまとめるため、特に環境系について施設の空間的・機能的構成を（必要に応じて階層的に）記述する方法が必要である。
- ④施設の空間的・機能的構成はエネルギー系の構成と結び付けられ、またエネルギー系の構成は運転系と関連付けられるが、エネルギー系、運転系の構成は複雑な系統を持つと考えるため、一般的な取り扱いを整理する必要がある。

5. 4 計測ポイントの分類におけるコーディングの必要性

本研究で用いた相関分析によるエネルギーマネジメント分析手法を一般の建物に有効に適用するためには、計測ポイント（各種センサー）の分類標準を構築するとともに、その位置や系統を示すための空間構成あるいは系統構成の記述の枠組みが必要である。要するに、センサー種類、空間（範囲／位置）、系統の3つの次元に関する情報が必要である。

5. 5 相関分析のリアルタイムモニタリングへの応用

本研究で用いた相関分析は1ヵ月分といった期間データを事後的（蓄積）に分析するものであるため、リアルタイムのモニタリングには向かない。しかしながら、相関関係が事前に明らかになれば、高い相関を示すクラスター（計測ポイント）の代表値として、関数でまとめ、異常運転などをリアルタイムで検出することが可能になる。クラスター化はモニタリングの対象になる計測ポイントを合理的に削減するには有効であり、構造化は案数関係を持つクラスターを選択するうえで役に立つ。ただし、相関関係は季節やイベントの有無（施設の使用状況）によって一定ではないため、年間をつうじた相関係数の変化や使用状況による相関関係の変化に応じて、検討すべきクラスター群を選択できるようにするなどの分析がさらに必要になる。