天文データセンター計算機室の環境監視システムの構築

小澤武揚, 磯貝瑞希, 田中伸広, 亀谷和久, 巻内慎一郎, 市川伸一, 高田唯史

(2019年6月14日受付; 2019年10月4日受理)

Construction of the environment monitoring system in the Astronomy Data Center server rooms

Takeaki Ozawa, Mizuki Isogai, Nobuhiro Tanaka, Kazuhisa Kamegai, Sin'itirou Makiuti, Shin-ichi Ichikawa, and Tadafumi Takata

Abstract

We report on construction of a new environment monitoring system in server rooms operated by the Astronomy Data Center, the National Astronomical Observatory of Japan. We installed environment monitoring devices in each of the data archive room of the Subaru building and two observation database rooms on the 1st and 3rd floor of the South building in the Mitaka campus. Our new system measures temperatures and humidities of the rooms, currents, voltages, and electric powers at distribution panels. We have also developed a database and an interface software for storing and visualizing measured data. This system equips with the following features: sending an alert E-mail to administrators if measured data exceed a fixed threshold, creating a database for measured data, web interface to show the measured data graphically. These features enable us to detect unusual environment, calculate statistics of measured data, and get a long term environmental tendency. By continuing to watch the environment, we expect to contribute a stable operation of servers and power saving.

概要

国立天文台天文データセンターが運用する計算機室の環境を監視するためのシステムの構築について報告する。我々は国立天文台三鷹キャンパスのすばる棟データアーカイブ室、南棟観測データベース室、南棟第二観測データベース室の各計算機室における温度と湿度並びに分電盤の電流、電圧、電力を測定するための環境監視装置を設置し、測定データを収めるデータベースと可視化のためのウェブインターフェースを開発した。本システムには測定値が予め設定した閾値を超えた場合に管理者にその旨を電子メールで通報する機能、測定データをデータベース化する機能、測定データをグラフとしてウェブ上で閲覧できる機能が備わっている。これらの機能により計算機室の環境異常の検知、測定データの統計量の算出、可視化による中長期的な環境の変化の把握が可能となった。本システムを活用して計算機室の環境の維持を図ることで、計算機の安定運用と省電力化に貢献できることが期待される。

1 はじめに

一般に多数の計算機を運用するデータセンターでは 計算機の安定稼働と省電力化という2つの目的を達成 するために、計算機室の環境の監視が行われている。 例えばさくらインターネット株式会社の石狩データセンターではシュナイダーエレクトリック株式会社の環 境監視装置を導入し、計算機室の温度、湿度、電力等 の監視を行っている[1]. 国立天文台天文データセン ターにおいても2009年以来計算機室の環境の監視を行い、計算機の安定稼働と省電力化に努めてきた.

計算機の安定稼働を達成するためには計算機を様々 な脅威から守る必要がある. 安定稼働の妨げとなる脅 威にはネットワークセキュリティの問題や計算機の誤 設定等のデジタル的な脅威と, 計算機室の温度異常, 湿度異常,漏水,火災,劇物の漏洩,人的ミスと人の出 入り等の物理的脅威が存在する[2]. 後者の物理的脅 威は計算機室内の環境を監視することで多くの場合は 未然に防ぐことができる. 例えば米国暖房冷凍空調学 会 (ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) では計算機の設置環境 として乾球温度が18-27°C, 露点温度が-9-15°C, 相 対湿度が60%以下であることを推奨しており[3],推 奨外の環境では計算機の性能の低下や故障の可能性が 高くなる。空調機の故障等で推奨外の環境になったと しても、計算機室内の環境を監視することで異常を検 知し、可能な限り迅速に対応することが可能になる.

省電力化を達成するためには計算機室の空調設備の最適化が必要となる. 計算機が発する熱量は計算機ラック1台あたり5-10kW程度であり, 計算機の安定稼働の為には一般的なオフィスの10倍以上の冷却エネルギーが必要と言われている[4]. 空調設備の省電力化は計算機の安定運用に関わる問題のため容易ではないが, エアフローマネジメントによって熱溜まりや過冷却を解消することで冷却効率を高め, 適切な空調運転を実施することにより消費電力を抑えることが可能と指摘されている[5]. 計算機室内の環境をシミュレートしたり[5], 実際に環境の監視を行うことで熱溜まりや過冷却を発見し[6], 適切な空調運転, 送風, グリル床の位置変更, 障害物の除去等を実施することで省電力化を達成することができる.

天文データセンターは国立天文台三鷹キャンパス内にあるすばる棟データアーカイブ室(以降, DA室), 南棟観測データベース室(以降, 観測DB室), 南棟第二観測データベース室(以降, 第二観測DB室)という3部屋の計算機室を管理しており, それぞれの計算機室の環境監視を行ってきた. しかし2009年度に導入した既設の環境監視装置には, 以下の問題があった. 装

置を導入してから10年の月日が経っているため経年劣化による故障の恐れがある。旧製品故に故障時に保守を行えず環境監視を行えなくなる危険性がある。装置の管理ソフトウェアが古いためセキュリティ上の問題からネットワークを介して装置の管理と測定データの収集を行えず非効率的である。計算機ラックや分電盤の増設により環境を監視できていない機器が存在する。また、過去の測定データの検索並びに可視化の為の機能が存在しないため、中長期的な環境の変化を捉えるための統計的解析やグラフの作成に多大な労力がかかるという問題も存在していた。

そこで我々は既設の環境監視装置に存在する問題を解決し、計算機の安定運用と省電力化に資するために、2018年度に新たな環境監視システムを構築した、環境監視システムはIT関連企業によってサービスとして販売されており、既設の環境監視装置は~600万円の費用をかけてその構築を外注していた。しかし本システムではその構築と運用開始後の保守性に鑑みて、システムの構築を自ら行った。

本論文では2章で本システムに求められる機能について論じ、3章で本システムの構築について、4章で運用と利用状況について述べる。5章で本システムを利用した消費電力の評価を行い、最後に6章でまとめを行う。

2 本システムに求められる機能

環境監視システムの構築に際し、既設の環境監視装置に存在する問題を解決して計算機の安定運用と省電力化を達成するために必要な機能について検討を行った。本システムに求められる各機能について次に列挙する.

(a) 計算機室の温度及び湿度の監視機能 計算機や無停電電源装置(UPS: Uninterruptible Power Supply)には、機器が吸気する空気の推奨温度と相対湿度(以降、湿度)が定められている。一例として天文データセンターが所有するデル株式会社製計算機の推奨吸気温度と湿度は10-35°C及び20-80%であり、富士電機株式会社製UPSの推奨吸気温度と湿度は15-25°C及び30-70%である。推奨環境外での使用は結露や高温による機器の故障につながるため、機器が吸気する空気の温度及び湿度を監視し、適切な環境を維持する必要がある。既設の環境監視装置では温度を測定できていない計算機ラックが存在していた。また湿度の監視は行っていなかった。

- (b) 分電盤の電流,電圧,電力の監視機能 電源環境が計算機に影響を与える現象として,過電流,過電圧,電圧変動,瞬停,停電等が挙げられる.分電盤の主幹及び各開閉器の電流,電圧,電力を監視することで,回路容量以上の使用による開閉器の遮断等の顕在化し得る問題を未然に予測し対処することができる.また,測定対象の全計算機室の全分電盤の電力を常時測定することで,これらの計算機室において使用されている電力量を把握することができる.既設の環境監視装置では電力を測定できていない分電盤が存在していた.
- (c) 異常値の通報機能 測定値が異常な値を示しても管理者がそのことに気づかなければ問題に対処できない. 測定値が設定した閾値を超えた場合に管理者に電子メールでその旨を通知する機能が求められる. 既設の環境監視装置はその管理ソフトウェアが古く, セキュリティ上の問題からネットワークに接続されていなかったため. 通報機能を使用できていなかった.
- (d) 測定データのデータベース化機能 環境監視装置を導入することでリアルタイムに異常値を検出できる一方,中長期的な計算機室の温度と湿度の変化,並びに分電盤の電流,電圧,電力の変化を検出することはできない.測定データをデータベース化することで過去のデータを簡単に検索することが可能となり,中長期的な変化を捉えるための統計的解析を効率的に行えるようになる. 既設の環境監視装置にデータベース機能は存在せず,データの検索に多大な労力が必要であった.
- (e) 測定データの可視化機能 データベース化された 測定データをグラフで閲覧できる機能を構築すること で、中長期的な環境の変化を視覚的に捉えることが可能になる. また環境情報のグラフは業務で頻繁に求められるため仕事の効率化につながる. 既設の環境監視 装置には可視化機能が存在せず、データの可視化に多大な労力が必要であった.
- (f) 遠隔地からの制御・監視機能 建屋も階層も異なる3部屋の計算機室に設置される環境監視装置を効率的に運用するために、構築するシステムは装置の制御と環境の監視をネットワークを介し遠隔地から一元で管理できることが望ましい、既設の環境監視装置ではその管理ソフトウェアが古いため、セキュリティ上の問題からネットワークを介して装置の管理と測定データの収集を行うことが出来ず非効率的であった。

3 環境監視システムの構築

2章で述べた機能を実現するために構築した環境監視システムについて紹介する. 3.1節では本システムの全体構成を, 3.2節では環境監視装置の構築について, 3.3節ではデータベース機能の構築について, 3.4節ではウェブインターフェース機能の構築についてそれぞれ述べる.

3.1 システム構成

図1は環境監視システムのシステム構成図である. 本システムは各計算機室に設置された環境監視装置, 測定データをデータベース化するデータベース機能部 分,データを可視化するウェブインターフェース機能 部分から構成される.

環境監視装置は各計算機室の環境情報を測定するための装置部分を指す.温度センサー,湿度センサー,電流センサー,電力計,本体装置及び中継サーバから構成されており,DA室,観測DB室,第二観測DB室の各計算機室にそれぞれ装置一式が設置されている。本体装置は各センサーを制御して,温度,湿度,電流,電圧,電力の各情報を常時測定している。中継サーバは本体装置から2分毎に瞬時値を受信し,測定データをテキストファイルとして管理,保存している。システム構築に用いたセンサー類や計算機群の詳細については後述する。

データベース機能は環境監視装置が測定したデータを集約し、リレーショナルデータベースとして保持する機能を提供する部分を指す、可用性向上のため、2台のサーバにデータベース機能が実装されており、レプリケーション機能によって一方のサーバのデータベースがもう一方のサーバに複製同期される。中継サーバに保管されたデータを1時間毎に受信してデータベース化している。

ウェブインターフェース機能は任意の情報をデータベースから検索し、グラフとして出力する機能を提供する部分を指す。1台のサーバにデータの検索とグラフ化を行うためのウェブインターフェース機能が実装されており、使用者がブラウザ上で任意の情報と期間を選択することでそのグラフを閲覧することができる。

表1に本システムに用いた計算機の仕様をまとめる. 中継サーバは各計算機室で別の用途に使用中の機器を 活用したり引退したサーバを再利用したため、その仕 様が不揃いとなっている. またデータベースサーバに は本システム以外のデータベースも実装されているた め、本システムに本来必要な性能に比べ高性能な仕様 となっている.

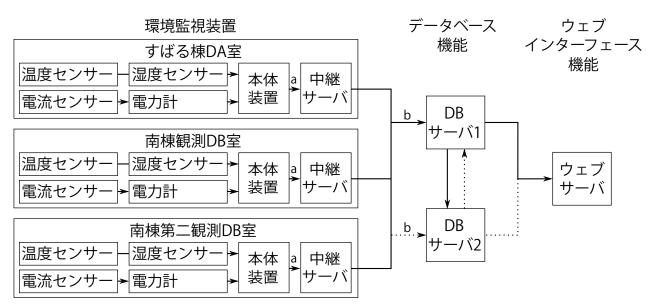


図1:環境監視システムのシステム構成図. 矢印付き実線は通常時のデータの流れを表し, 矢印付き点線はDBサーバ1が故障した際のデータの流れを表す. a: 環境情報の測定は2分毎に行われ, データが中継サーバへと送信される. b: 中継サーバに集約されたデータは1時間毎にDBサーバに送信されデータベース化される.

表1:使用している計算機の一覧.

	CPU	Intel Xeon E5-2407 4core 2.20 GHz	
中継サーバ (DA室)	RAM	8 GB	
	OS	CentOS Linux release 7	
中継サーバ(観測DB室)	CPU	Intel Pentium N4200 4core 1.10 GHz	
	RAM	4 GB	
	OS	Ubuntu 18.04 LTS	
中継サーバ(第二観測 DB室)	CPU	Intel Xeon E5-2623 v4 4core 2.60 GHz	
	RAM	16 GB	
	OS	Red Hat Enterprise Linux Server release 7	
DBサーバx2	CPU	Intel Xeon E5-2603 v4 6core 1.70 GHz	
	RAM	32 GB	
	OS	CentOS Linux release 7	
ウェブサーバ	CPU	Intel Xeon E3-1220 v5 4core 3.00 GHz	
	RAM	16 GB	
	OS	CentOS Linux release 7	

3.2 環境監視装置の構築

環境監視装置はその構築がIT関連企業によってサービスとして販売されている. 既設の環境監視装置は~600万円の費用をかけてその構築を外注していた. 本システムではシステムの構築を自ら行うことで, 外注した場合は~1200万円の費用がかかるところを, 機能が向上したにもかかわらず~400万円に抑えることができた.

ここでは環境監視装置の構築を,使用機器の紹介,機器の導入,通報機能の設定,環境情報の測定とデータ出力,測定データの公開という項目に分け,それぞ

れ述べる.

(1) 使用機器

環境情報を測定する機器には温度、湿度、電流、電圧、電力という情報が測定可能であり、かつ建屋も階層も異なる3部屋の計算機室に設置された機器の制御と測定値の監視を、ネットワークを介して遠隔から行える機能が必要であった。これらの仕様を満たす測定機器を検討した結果、パナソニック株式会社の「環境監視・電源管理システム」の機器を導入することになった。

導入した機器は本体コントローラM, 温度センサー,

湿度センサー,多回路エネルギーモニタ本体ユニットと増設ユニット、CTである(本論文では本体コントローラMを本体装置,多回路エネルギーモニタ本体ユニットと増設ユニットを電力計、CTを電流センサーと呼称する).本システムの環境監視装置はこれらの測定機器と中継サーバから構成されている.各機器の役割は次の通りである.

- (a) 本体装置 本体装置は測定機器を制御するための装置である (図2左端). 電力計を最大8個まで,温度センサーと湿度センサーを合わせて最大20個まで接続することができる. 本体装置の制御は内蔵されたウェブサーバ機能を使ってネットワークを介して遠隔から行うことができる. また SNMP エージェント機能が実装されているため, SNMPマネージャ機能を有する機器から測定データを取得することができる. 本体装置には測定データを蓄積する機能が無いため,中長期的な環境の変化を捉えるためには測定データを別の機器に移動し保管する必要がある.
- (b) 温度センサー・湿度センサー 温度センサーと湿度センサーは温度と湿度を測定するための機器である(図2左から2番目). 両センサーは二口のポートを持っており、本体装置のセンサーポートからセンサー同士をセンサーケーブルで直列に繋いで使用する.
- (c) 電力計 電力計は分電盤の主幹及び各開閉器の電流、電圧、電力を測定するための機器である(図2右から2番目)、本体装置のRS-485ポートに接続して使用する。電圧測定のために電圧測定端子を分電盤の主幹に配線し、電流値測定のために電流センサー(図2右端)を主幹及び各開閉器に配線する。電流センサーは最大4個まで、増設ユニットを接続すれば最大16個まで接続できる。
- (d) 中継サーバ 中継サーバは本体装置から測定 データを取得し、管理、保存するためのサーバである. サーバの仕様は表1を参照されたい、中継サーバは本

体装置からデータを取得するために各計算機室の本体装置と同じセグメントのネットワークに接続されている.2分毎に本体装置から測定データの瞬時値を取得し、取得したデータをテキストファイルとして管理、保存する.また3.2節(4)で述べる通り、測定データを月次データファイルとして整理、保存している.

(2) 機器の導入

測定機器の設置には電気工事士の資格を持つ作業者が必要であったため、多摩電設工業株式会社に設置を依頼した。DA室の工事は2018年11月26日から28日に、観測DB室と第二観測DB室の工事は2018年02月18日から19日に行われ、各計算機室で温度センサー、湿度センサー、本体装置、電力計、電流センサーの設置と配線ケーブルの取り回しが行われた。DA室と観測DB室の一部の分電盤については電力計用の空きブレーカが無かったため、三鷹キャンパスの法定停電日である2018年12月08日に開閉器の新設工事と電力系の設置工事を実施した。

表2は各計算機室に導入した測定機器の一覧である. DA室の面積と分電盤数が~203 m²と10面である一方, 観測 DB室は~107 m²と5面, 第二観測 DB室は~95 m²と5面であり, DA室は他の計算機室に比べ約2倍の面積と分電盤数を持つ. したがって DA室には多くのセンサーを導入する必要があったが, 本体装置は8個の電力計と合わせて20個の温度センサーと湿度センサーしか管理できないことと, 温度センサーと湿度センサーのケーブルは最大100 mまでしか延長できないため, DA室には本体装置を2つ導入した.

図3は温度センサー及び湿度センサーの配置図である. 見やすくするために計算機ラックと空調機以外の設置物は表示していない. 温度センサーは各計算機が吸気する空気の温度と空調機の稼働状況を把握するために,各計算機ラック列の前面側と空調機の吸い込み口及び吹き出し口に取り付けた. 湿度センサーは計算機室内で絶対湿度が変化する要因が計算機室に設置された加湿器の運転と外気の流入程度しか考えられず,局所的に湿度が大きく変化するとは考えにくいため.



D-3

| D-4
| |





本体装置

温度・湿度センサー

電力計

電流センサー

図2:環境監視・電源管理システムの機器.

表2: 測定機器の一覧.

機器名	型*	計算機室	設置数	センサー名
本体装置 BCTN250	BCTN2500	DA室	2	
		観測DB室	1	
		第二観測 DB室	1	
温度センサー BC	DCDV2010	DA室	26	A-1-A-15(A-4を除く),B-1-B-14(B-7, B-13を 除く)
	BCRN2010	観測DB室	18	C-1-C-19(C-5を除く)
		第二観測 DB室	8	D-1-D-10 (D-2, D-4を除く)
湿度センサー BCRN		DA室	4	A-4, A-16, B-7, B-13
	BCRN2020	観測DB室	2	C-5, C-20
		第二観測 DB室	2	D-2, D-4
電力計 BT3720		DA室	10	AP-1-AP-4, BP-1-BP-6
	BT3720	観測DB室	6	CP-1-CP-6
		第二観測 DB室	4	DP-1-DP-4
電流センサー BT BT	BT37061K (100 A) BT37062K (250 A) BT37064K (400 A) BT37065K (50 A)	DA 室	22	AP-1-1-AP-1-7, AP-2-1, AP-3-1-AP-3-4, AP-4-1, BP-1-1, BP-2-1-BP-2-2, BP-3-1, BP-4-1-BP-4-2, BP-5-1, BP-6-1-BP-6-2
		観測 DB室	9	CP-1-1-CP-1-4, CP-2-1, CP-3-1, CP-4-1, CP-5-1, CP-6-1
		第二観測 DB室	9	DP-1-1-DP-1-3, DP-2-1-DP-2-2, DP-3-1, DP-4-1-DP-4-3

^{*} 全てパナソニック株式会社製.

1本体装置あたり2個の湿度センサーを導入し疎に設置した.

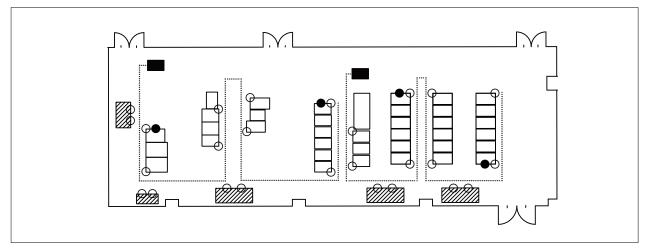
表3は電力計及び電流センサーの設置状況である. 本システムの構築以降に増設された分電盤を除き,各計算機室の全ての分電盤の電力を監視できている.基本的に分電盤1面につき1個の電力計を設置しているが,分電盤内に上流系統の異なる開閉器がある場合は複数の電力計を設置し、異なる分電盤であっても上流系統が同じ場合は複数の分電盤を1個の電力計で監視している.

(3) 通報機能の設定

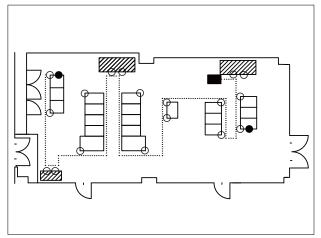
環境監視装置を運用するにあたり,通報機能の設定を行った.通報機能とは各センサーが測定した温度,湿度,電流,電圧の値が予め設定しておいた上限値を超えた場合,あるいは下限値を下回った場合に,管理者に電子メールでその旨を即座に通報する機能である.上限値と下限値は個々のセンサー毎に設定することができる。本システムでは各センサーの上限値と下限値を一部のセンサーを除き次のように設定した.

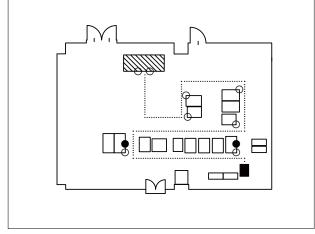
(a) 温度センサーの上限値と下限値 温度センサーの 上限値は、計算機ラック列の前面と空調機の吸い込み 口に設置したものは30度に、空調機の吹出し口に設置 したものは23度にそれぞれ設定した. 計算機室では計算機が吸気する空気の温度がASHRAEの定める推奨温度範囲内に収まるように空調機の設定温度と空気の流れを調整しており、測定場所によって異なるが概ね20度から25度の温度を保てている. 測定値が上限値を超えた場合は空調機の故障等の異常が発生したことを示す. なお下限値は15度に設定したが、計算機が稼働している限り室温は上昇し続けるため下限値を下回ることはない.

- (b) 湿度センサーの上限値と下限値 湿度センサーの 上限値と下限値は、それぞれ70%と30%に設定した. 計算機室の湿度はASHRAEが定める推奨露点温度範 囲内に収まるように加湿器で調整しており、概ね50% の相対湿度を保てている. 測定値が上限値を超えるか 下限値を下回った場合は、漏水や加湿器の故障等が疑 われる.
- (c) 電流センサーの上限値 電流センサーの上限値は 電流計を設置した主幹及び各開閉器の回路容量の90% の値に設定した. 例えば回路容量が200Aの場合上限 値は180Aとしている. 使用電流値が回路容量を超え た場合開閉器が遮断され運用中のシステムが停止する ため, 通報を受けた場合は分電盤の使用状況を確認す



DA室





観測DB室 第二観測DB室

図3:各計算機室に設置した温度センサーと湿度センサーの配置図(縮尺:~1/200). 白丸が温度センサー, 黒丸が湿度センサー, 黒四角が本体装置, 点線がセンサーケーブル, 白四角が計算機ラック, 斜線四角が空調機を表す. 計算機ラックと空調機以外の設置物は省略している.

べきである.

(d) 電圧センサーの上限値と下限値 電圧センサーの上限値と下限値は100V電源の場合は98Vと105Vに、200V電源の場合は192Vと216Vに設定した. 電圧の降下及び過剰な電圧は運用中のサーバの誤動作,停止、故障の原因となるため、通報を受けた場合はその原因を検討すべきである.

(4) 環境情報の測定とデータ出力

環境情報は本体装置によって常時測定されているものの、本体装置には測定データを蓄積する機能が無いため、中長期的な環境の変化を捉えるためには測定データを定期的に別の機器に移動しなければならない。本システムでは2分毎に本体装置から測定データの瞬時値を中継サーバに送信している。本体装置にはSNMPエージェント機能が実装されているため、中継

サーバでsnmpget等のコマンドを実行することで本体装置から測定データの瞬時値を取得することができる. 測定データを取得するために作成したbashスクリプトをOSのcrontab機能を使って2分毎に実行することで, データの取得を実現している. 取得間隔が2分である理由は, 中継サーバが全てのデータを本体装置から取得するために必要な時間を十分に確保するためである. 取得した情報は中長期的な環境の変化を捉えるために利用されるので, 2分間隔の測定データでも十分である. 計算機に影響を与え得るような2分以内の急激な環境の変化は本体装置の通報機能で検知し, 対応することになる.

中継サーバが収集したデータは次のようにファイルに書き出される。温度センサーと湿度センサーの測定データは本体装置毎に、日付(YYYY/MM/DD)、時刻(hh:mm:ss)、UNIX時間(sec)、各温度センサー及び湿度センサーの測定値($^{\circ}$ C or $^{\circ}$)がスペース区切りで

表3:電力計・電流センサー設置状況.

計算機室	分電盤	開閉器	電流センサー	電力計	
DA室	空調制御盤	主幹1	AP-1-1	AP-1	
		主幹2	AP-1-2		
		空調機1	AP-1-3		
		空調機2	AP-1-4		
		空調機3	AP-1-5		
		空調機4	AP-1-6		
		加湿器(すばる棟共同利用室)	AP-1-7		
	(降圧トランス系統)	加湿器	AP-2-1	AP-2	
	分電盤-D	主幹	AP-3-1	AP-3	
		大規模解析システム商用系	AP-3-2		
		UPS (大規模解析システム)	AP-3-3		
		UPS (共同利用運用機器)	AP-3-4		
	電算機分電盤No.2	主幹(MDAS・太陽アーカイブ商用系)	AP-4-1	AP-4	
	電算機分電盤No.3	主幹(MDAS商用系)	BP-1-1	BP-1	
	分電盤-F	主幹(HSC)	BP-2-1	BP-2	
		UPS (HSC)	BP-2-2		
	電算機分電盤No.1 主幹(HSC·MASTARS 商用系)		BP-3-1	BP-3	
	降圧トランス開閉器盤	降圧トランス(旧光赤外部)	BP-4-1	BP-4	
		降圧トランス (HSC)	BP-4-2	-	
	分電盤-B			BP-5	
	分電盤-C	主幹(HSC)	BP-6-1	BP-6	
	分電盤-A	主幹(壁コンセント)	BP-6-2		
観測DB室	空調制御盤	主幹	CP-1-1	CP-1	
		空調機1	CP-1-2	-	
		空調機2	CP-1-3	1	
		空調機3	CP-1-4	-	
	 (降圧トランス系統)	加湿器	CP-2-1	CP-2	
	分電盤1	主幹(SMOKA 商用系)	CP-3-1	CP-3	
	分電盤2	主幹(SMOKA商用系)	CP-4-1	CP-4	
	MKIネットワーク分電盤	主幹(情報セキュリティ室)	CP-5-1	CP-5	
	UPS系分電盤	主幹 (SMOKA)	CP-6-1	CP-6	
第二観測 DB 室	3P-4分電盤	主幹1(共同利用運用機器)	DP-1-1	DP-1	
N)—EVIN DD ±	空調制御盤	主幹	DP-1-2		
		空調機	DP-1-3	-	
	3P-4 分電盤	主幹2(JVO)	DP-2-1	DP-2	
	3P-5 分電盤	主幹(壁コンセント)	DP-2-2		
	UPS系分電盤	主幹(JVO商用系)	DP-3-1	DP-3	
	空調制御盤	加湿器1	DP-4-1	DP-4	
		加湿器2	DP-4-2		
		加湿器3	DP-4-3	1	

ファイルに書き出される。全部で4台の本体装置を導入しているため、1回あたり4個のファイルが生成される。電力計及び電流センサーの測定データは電力計毎に、日付(YYYY/MM/DD)、時刻(hh:mm:ss)、UNIX時刻(sec)、電力(kW)、力率、積算電力(kWh)、R相電圧(V)、S相電圧(V)、R相電流

(A)、S相電流(A)、T相電流(A)、電流センサー番号がスペース区切りでファイルに書き出される。電力計配下に複数の電流センサーが接続されている場合は、電流センサーの数だけ同様の情報が書き出される。全部で20台の電力計を導入しているため、1回あたり20個のファイルが生成される。

中継サーバが生成するファイルの数は1回あたり24個となるため、2分毎にデータを収集した場合の1日あたりのファイル数は17280個である。ファイル数が膨大でデータ管理及び利用の観点から望ましくないため、別途月次データファイルを作成し管理することにした。

月次データファイルは当月の月初から月末までの間に測定されたデータを1つのファイルにまとめたものであり、温度センサーと湿度センサーの測定データをまとめた月次データファイルと、電力計と電流センサーの測定データをまとめた月次データファイルが作成される。前述した測定データを取得する自作のbashスクリプトに測定データを月次データファイルに追記する機能を組み込んでおり、2分毎に測定データが月次データファイルに追記される。

中継サーバにバックアップ機は存在しないが、月次 データファイルは1時間毎にデータベーサーバに送信 されデータベース化されている。したがって中継サー バが故障したとしても測定データは守られる。

(5) 測定データの公開

測定データは天文データセンターの職員用ウェブページと、3.4節で述べる環境情報閲覧用ウェブページで閲覧することができる。職員用ウェブページでは最新の月次データファイルが公開されており、測定データを数値として確認することができる。環境情報閲覧用ウェブページでは3.4節で述べる通り、任意の情報と期間を選択することでグラフとして過去の測定データを閲覧することができる。

3.3 データベース機能

データベース機能は本システムの内,環境監視装置が測定したデータを集約し,リレーショナルデータベースとして保持する機能を提供する部分を指す.

本機能の目的は測定データをデータベース化することで過去のデータを簡単に検索できるようにし、中長期的な変化を捉えるための統計的解析を効率的に行えるようにすることにある。測定データを可視化するだけならば環境監視システムを販売している会社が提供あるいは販売しているソフトウェアや、Zabbix等のオープンソースの監視ソフトウェアを導入することで過去のデータを閲覧することができる。しかし明示的にデータベースを構築することで自由度の高い検索が可能となり、R等の外部ソフトウェアを使った時系列モデルフィッティング等の解析が行いやすくなる。将来的に省電力化のための統計的解析を行うことが予想されたため、本システムでは測定データのデータベース化を行うことにした。

ここでは本機能の構築を、機器構成、データベース 化する情報、テーブル定義、テーブルファイルのサイ ズ、データベース化機能の実装、データベースのバッ クアップという項目に分け、それぞれ述べる。

(1) 機器構成

データベース機能はリレーショナルデータベース管理システムであるPostgreSQL 10.7をインストールした2台のデータベースサーバによって実現されている(サーバの仕様は表1を参照). 2台のデータベースサーバはレプリケーション機能により,一方のサーバ(マスターサーバ)のデータベースがもう一方のサーバ(スレーブサーバ)に複製同期される可用性の高い構成となっている. 平常時はマスターサーバのみが中継サーバからデータを受信しており,マスターサーバが故障した際はスレーブサーバが代わりに中継サーバからデータを受信することとなる.

(2) データベース化する情報

データベース化する情報は各計算機室の温度,湿 度、電流、電圧、電力の測定データである、温度及び 湿度の測定データのデータベース化には温度センサー 及び湿度センサーの月次データファイルを利用し、電 流、電圧、電力の測定データのデータベース化には電 力計及び電流センサーの月次データファイルを利用 する. データベース化の頻度は1時間に1回, 直近1時 間分の測定データをデータベース化する。したがって 受信した月次データファイルの中で使用するデータは 直近1時間分のデータのみである。2分毎に月次データ ファイルが更新されているにもかかわらずデータベー ス化の頻度を1時間に1回とした理由は、データベース 化の目的が中長期的な環境の変化を捉えることにあり 速報値を見るためではないことと、データベース化に よってデータベースサーバにかかる負荷と月次データ ファイルの転送によるネットワークトラフィックを減 ずるためである.

(3) テーブル定義

表4は環境情報データベースのテーブル定義の一覧である。テーブルは各計算機室の環境情報毎に作成しており、テーブル名のda、db、db2はそれぞれDA室、観測DB室、第二観測DB室の、t、h、c、v、pはそれぞれ温度、湿度、電流、電圧、電力のテーブルであることを表している。

各テーブルは測定日時を収めるカラムと測定データを収めるカラムから構成される. 測定日時を格納するカラム date は TIMESTAMP型で定義し, 主キーを設定した. 各測定データの有効桁数は最大でも4桁である

表4:テーブル定義.

計算機室	情報	テーブル	カラム
DA室	温度	da_t	date, a_1, a_2, a_3, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_10, a_11, a_12, a_13, a_14, a_15, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_8, b_9, b_10, b_11, b_12, b_14
	湿度	da_h	date, a_4, a_16, b_7, b_13
	電流	da_c	date, ap_1_1_r, ap_1_1_s, ap_1_1_t, ap_1_2_r, ap_1_2_s, ap_1_2_t, ap_1_3_r,
			ap_1_3_s, ap_1_3_t, ap_1_4_r, ap_1_4_s, ap_1_4_t, ap_1_5_r, ap_1_5_s, ap_1_5_t,
			ap_1_6_r, ap_1_6_s, ap_1_6_t, ap_1_7_r, ap_1_7_s, ap_1_7_t, ap_2_1_r, ap_3_1_r, ap_3_1_t, ap_3_1_t, ap_3_2_r, ap_3_2_t, ap_3_3_r, ap_3_3_t, ap_3_4_r, ap_3_4_t, ap_4_1_r,
			ap_5_1_t, ap_5_2_r, ap_5_2_t, ap_5_5_r, ap_5_5_t, ap_5_4_r, ap_5_4_t, ap_4_1_r, ap_4_1_t, bp_1_1_r, bp_1_1_s, bp_1_1_t, bp_2_1_r, bp_2_1_t, bp_2_2_r, bp_2_2_t,
			bp_3_1_r, bp_3_1_t, bp_4_1_r, bp_4_1_s, bp_4_1_t, bp_4_2_r, bp_4_2_s, bp_4_2_t,
			bp_5_1_r, bp_5_1_t, bp_6_1_r, bp_6_1_t, bp_6_2_r, bp_6_2_t
	電圧	da_v	date, ap_1_1_r, ap_1_1_s, ap_1_1_t, ap_2_1_r, ap_3_1_r, ap_3_1_t, ap_4_1_r,
			ap_4_1_t, bp_1_1_r, bp_1_1_s, bp_1_1_t, bp_2_1_r, bp_2_1_t, bp_3_1_r, bp_3_1_t, bp 4 1 r, bp 4 1 s, bp 4 1 t, bp 5 1 r, bp 5 1 t, bp 6 1 r, bp 6 1 t
	電力	da p	date, ap 1 1, ap 1 2, ap 1 3, ap 1 4, ap 1 5, ap 1 6, ap 1 7, ap 2 1, ap 3 1,
	-2/3		ap_3_2, ap_3_3, ap_3_4, ap_4_1, bp_1_1, bp_2_1, bp_2_2, bp_3_1, bp_4_1,
			bp_4_2, bp_5_1, bp_6_1, bp_6_2
観測DB室	温度	db_t	date, c_1, c_2, c_3, c_4, c_6, c_7, c_8, c_9, c_10, c_11, c_12, c_13, c_14, c_15, c_16, c_17, c_18, c_19
	湿度	db_h	date, c_5, c_20
	電流	db_c	date, cp_1_1_r, cp_1_1_s, cp_1_1_t, cp_1_2_r, cp_1_2_s, cp_1_2_t, cp_1_3_r,
			cp_1_3_s, cp_1_3_t, cp_1_4_r, cp_1_4_s, cp_1_4_t, cp_2_1_r, cp_3_1_r, cp_3_1_t, cp_4_1_r, cp_4_1_t, cp_5_1_r, cp_5_1_t, cp_6_1_r, cp_6_1_t
	電圧	db_v	date, cp_1_1_r, cp_1_1_s, cp_1_1_t, cp_2_1_r, cp_3_1_r, cp_3_1_t, cp_4_1_r,
			cp_4_1_t, cp_5_1_r, cp_5_1_t, cp_6_1_r, cp_6_1_t
	電力	db_p	date, cp_1_1, cp_1_2, cp_1_3, cp_1_4, cp_2_1, cp_3_1, cp_4_1, cp_5_1, cp_6_1
第二観測 DB室	温度	db2_t	date, d_1, d_3, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_10
	湿度	db2_h	date, d_2, d_4
	電流	db2_c	date, dp_1_1_r, dp_1_1_s, dp_1_1_t, dp_1_2_r, dp_1_2_s, dp_1_2_t, dp_1_3_r, dp_1_3_s, dp_1_3_t, dp_2_1_r, dp_2_1_t, dp_2_2_r, dp_2_2_t, dp_3_1_r, dp_3_1_t,
			dp_1_3_s, dp_1_3_t, dp_2_1_t, dp_2_1_t, dp_2_2_t, dp_3_1_t, dp_3_1_t, dp_4_1_r, dp_4_2_r, dp_4_3_r
	電圧	db2_v	date, dp_1_1_r, dp_1_1_s, dp_1_1_t, dp_2_1_r, dp_2_1_t, dp_3_1_r, dp_3_1_t, dp_4_1_r
	電力	db2_p	date, dp_1_1, dp_1_2, dp_1_3, dp_2_1, dp_2_2, dp_3_1, dp_4_1, dp_4_2, dp_4_3

ため、測定データを入力するカラムはREAL型で定義した。測定データを収めるカラムには各センサーの名前を与えたが、電流と電圧はR相、S相、T相の情報をそれぞれ測定しているため、位相名をカラム名末尾に与えた。

(4) テーブルファイルのサイズ

測定データのデータベース化にあたり、データを格納するテーブルのファイルサイズの見積もりを行った.ファイルサイズの見積もりは、サーバのディスク容量やデータのデータベース化頻度を決定する上で必須の作業である.

PostgreSQL 8.3以降ではテーブルのファイルサイズ FS(byte)を

$$\mathrm{FS} = 8192 \times \mathrm{ceil}\left(\frac{\mathrm{RN} \times \mathrm{TS}}{((8192 \times \mathrm{FF}) - 24)}\right) \tag{1}$$

で見積もることができる[7]. ここでRNはレコード数, TS は行の平均サイズ (byte), FFはFILLFACTORである.

上式を使って環境情報データベースに必要なディスク領域のサイズを概算してみる. レコード数RNは、測定データを2分間隔でデータベース化した場合、年間262800行となる. 行の平均サイズTSは、TIMESTAMP型のカラムを8 byte、REAL型のカラムを4 byte とした場合、カラム数が最も多いテーブルda_tで220 byte となる. FILLFACTOR を0.8 としてファイルサイズFSを求めると、1テーブルあたりの年間データサイズは~72 MB以下となり、全15テーブルの年間データサイズは~1 GBとなる. テーブルは1 TBのディスク上に保管されているため、本システムの寿命を10年としても十分ディスク領域には余裕があることがわかる.

(5) データベース化機能の実装

データベースサーバで測定データをデータベース化するためには、中継サーバからの月次データファイルの受信、月次データファイルからの直近1時間分のデータの抽出、抽出したデータのデータベース化を行わなければならない。本システムではbashでスクリプトを開発しこれらの機能を実装した。

スクリプトは毎時05分にサーバの crontab 機能によって定期的に実行されるように設定されている. 例えば00時05分にスクリプトが実行された場合,前日の23時00分から23時59分までの測定データがデータベース化される. スクリプトの実行結果はログファイルに記述され,毎日00時05分に前日のスクリプトの全実行結果の概要が管理者にメールで通知される.

本スクリプトには定期的に測定データをデータベース化するだけでなく、任意の日時の測定データのデータベース化機能も併せ持っている。データベース化に失敗したデータがあったとしても、日時を指定してスクリプトを実行することでデータの挿入及び上書きを行うことができる。

(6) データベースのバックアップ

3.3節(1)で述べたとおりデータベースサーバはレプリケーション機能を使ったデータ可用性の高い構成としている。しかしレプリケーション機能は万能ではなく、マスターサーバでデータベースの削除等の誤操作を行ってしまった場合、スレーブ側にも即座にその操作が反映されてしまう。データベースを保護するために本システムではPostgreSQLのdb_dump機能を使ってデータベースのコールドバックアップを行っている。db_dumpはOSのcrontab機能を使って1日1回実行しており、1ヶ月前までのデータベースを完全に保持している。

3.4 ウェブインターフェース機能

ウェブインターフェース機能は本システムの内,任 意の情報をデータベースから検索しグラフとして出力 する機能を提供する部分を指す.

本機能の目的は測定データを可視化することで、中長期的な環境の変化を視覚的に捉えられるようにすることにある。3.3節で述べたとおり、測定データを可視化するソフトウェアには環境監視システムを販売している会社が提供あるいは販売しているソフトウェアや、Zabbix等のオープンソースの監視ソフトウェア等が存在する。一方これらの機能を自作する利点として、ニーズに応じたグラフを作成することが可能になることと、機能的に単純になるためシステム管理者の移行

が容易に行えるということが挙げられる。業務上月毎の環境情報グラフの作成が毎月必要であることと,本システムを運用するADC共同利用運用開発室には常勤職員がおらず管理者の変更が起こり得るため,単純なウェブインターフェース機能を自作し実装することとなった。

ここではウェブインタフェース機能の構築を,機器構成,ウェブインタフェース機能の実装,システムのバックアップという項目に分け,それぞれ述べる.

(1) 機器構成

ウェブインターフェース機能を実装するサーバとして、ウェブサーバソフトウェアであるApache HTTP Server 2.4をインストールしたサーバを1台用意した(サーバの仕様は表1を参照). 1TBのHDDを2台内蔵しており、RAID1で運用している。ウェブサーバはデータベースサーバと連携する必要があるため、データベースサーバと同一のネットワークに接続している.接続中のネットワークは天文台ネットワークであるが、本ウェブインターフェース機能は天文台関係者向けであり外部に公開することは無い.

(2) ウェブインターフェース機能の実装

ウェブインタフェース機能の実装にはHTTP, CSS, PHP7, PHPlot等の言語及びソフトウェアを使用した. 本機能はグラフ化したい情報並びに期間等を選択するためのウェブページ, データベース検索とグラフ化を行うためのスクリプト, 作成したグラフを表示するためのウェブページから主に成り立っている.

図4はグラフ化したい環境情報並びに期間等を選択するためのウェブページである。本ウェブページは温度及び湿度の検索箇所、電流及び電圧の検索箇所、電力の検索箇所にそれぞれ分かれている。それぞれの検索箇所の検索フォームで可視化したいデータの選択、データのプロット方法(元データか日毎平均値か日毎最大値)、表示期間、グラフの縦軸の最小値と最大値を選択し、問い合わせボタンを押すことで、測定データをグラフとして閲覧することができる。

問い合わせボタンが押されるとデータベース検索とグラフ化を行うためのPHPスクリプトに、選択されたフォームの情報が送信される。本PHPスクリプトでは選択されたフォームの情報からSQL文を生成してデータベースに発行する。検索結果はPHPlotによってPNGファイルとしてグラフ化され、ウェブブラウザに表示される。データベースとの通信はSSL化されており、またPHPスクリプトはSQLインジェクション等様々な脆弱性に対応したセキュアなスクリプトとなっている。

図5と図6は2019年04月01日の、図7と図8は2019年04



図4:グラフ化したい情報並びに期間等を選択するためのウェブページ.この選択状態で問い合わせボタンを押すと,図5の画面に遷移する.

月01日から04月30日までのDA室の大規模解析ラック列北側の温度及び湿度のグラフと、分電盤-Dの主幹のR相電流及び電圧のグラフである。グラフ化したいデータを選択するときに複数のデータを指定することで、複数のデータを同一のグラフ内に同時に表示することができる。また温度と湿度あるいは電流と電圧など異なる情報を同一グラフ内に同時に表示することも可能であり、両者の相関を視覚的に確認することができる。グラフの表示期間は日単位から年単位まで対応しており、様々な期間の環境の変化を視覚的に捉えることができる。

すばる棟DA室 電流(table: da_c)

ap_1_1_R(空調制御盤CP-1·主幹1·R相)

(3) システムのバックアップ

ウェブサーバのデータはRAID1によって二重に保護されているが、ファイルの削除等の誤操作を行ってしまった場合はセカンダリのHDDにもその操作が反映されてしまいファイルが失われてしまう。作成した

スクリプト等を保護するために、データを同HDD内の別領域にコピーするスクリプトをOSのcrontab機能で1日1回実行し、1ヶ月前までのデータを保持している.

4 運用及び利用状況

すばる棟DA室 電圧(table: da v)

ap_1_1_R(動力盤・空調制御盤CP-1・R相)

4.1 運用状況

本システムはDA室の環境監視装置が2018年11月30日に、観測DB室の環境監視装置が2019年02月20日に、第二観測DB室の環境監視装置が2019年02月29日に稼働開始し、データベース機能及びウェブインターフェース機能が2019年03月29日に稼働開始した。2019年5月現在、環境監視装置、データベース機能、ウェブインターフェース機能とも細かな設定改善等は発生したが、概ね順調に稼働している。

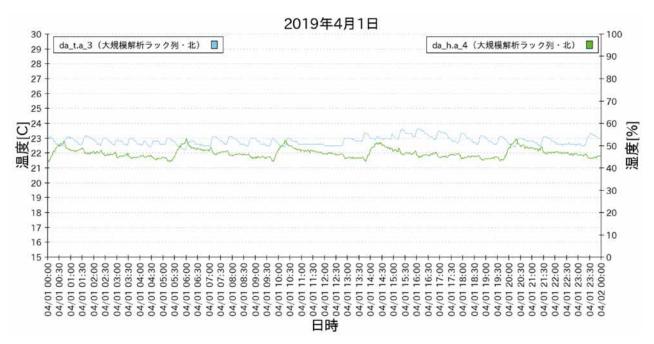


図5:2019年04月01日のDA室の大規模解析ラック列北側の温度及び湿度のグラフ. 青線が温度(テーブルda_tのカラムa_3)を表し、緑線が湿度(テーブルda_hのカラムa_4)を表す.

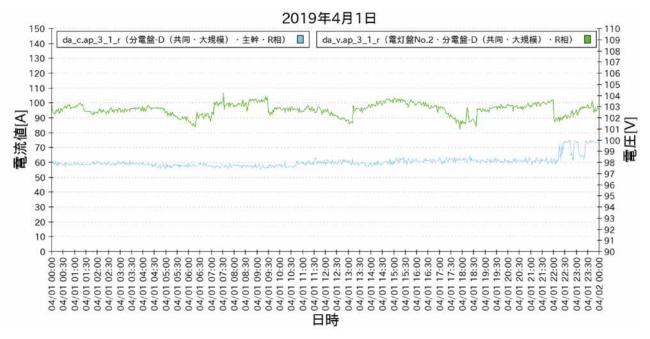


図6:2019年04月01日のDA室の分電盤-Dの主幹のR相電流及び電圧のグラフ. 青線が電流(テーブルda_cのカラムap_3_1_r)を表し、緑線が電圧_テーブルda_vのカラムa_4)を表す.

4.2 利用状況

本システムは現在次のような用途に利用されている.

(1) 環境異常の検知

測定データが異常な値を示した場合に環境監視装置がその旨を管理者に電子メールで通報することで,環境異常の検知及び問題への対処を可能な限り迅速に行

えるようになった. 実例として2019年03月04日にDA 室で工事が行われた際に環境監視装置から通報が発生 した事例が挙げられる.

当該の工事は一部の空調機を停止する必要があった ため予め一部の計算機を停止していたが、予想以上に 室温が上昇し吸気温度が30度に達した箇所もあった。 通報を受けた後各システムの運用に影響しない機器を できる限り停止して室温の上昇を抑えることで、シス

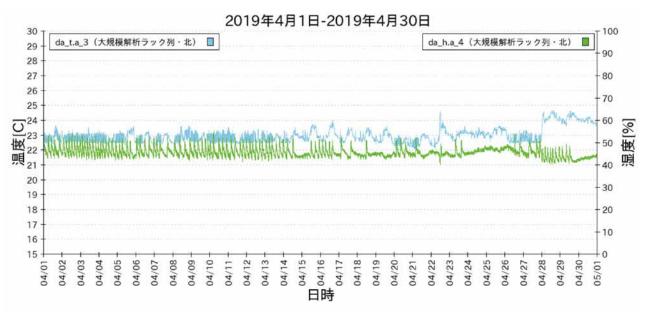


図7:2019年04月01日から2019年04月30日までのDA室の大規模解析ラック列北側の温度及び湿度のグラフ. 青線が温度(テーブルda_tのカラムa_3)を表し、緑線が湿度(テーブルda_hのカラムa_4)を表す.

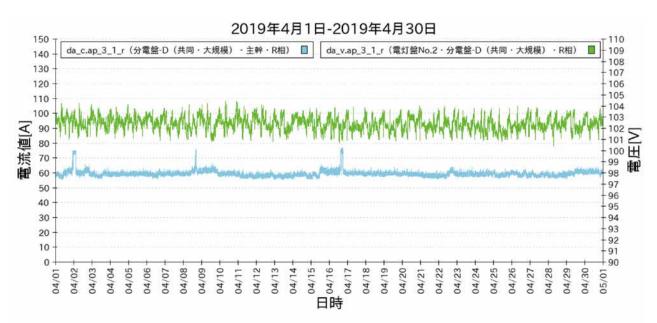


図8:2019年04月01日から2019年4月30日までのDA室の分電盤-Dの主幹のR相電流及び電圧のグラフ. 青線が電流(テーブルda_cのカラムap_3_1_r)を表し、緑線が電圧(テーブルda_vのカラムa_4)を表す.

テムの運用を継続することができた.

(2) 測定データの統計量の算出

測定データをデータベース化したことによって過去 の測定データを簡単に検索することが可能となり、効 率的に統計量の算出を行えるようになった。例えば天 文データセンターの各計算機室で消費されている総電 力を簡単に算出できるようになったことが挙げられる。

各計算機室で消費されている総電力を明らかにする ことは、三鷹キャンパスでの電力資源の配分や省電力 化を実施する上で重要である.しかし2009年度に導入した環境監視装置は測定データをデータベース化できていなかったため,各計算機室の総消費電力を知るためには多数の測定データファイルから必要な値を読み取り、計算を行うスクリプトを作成して実行しなければならなかった.また一部の分電盤に電力計が設置されていなかったため値が不正確であった.

一方本システムでは測定データがデータベース化されているため、SQL文を使って総消費電力を迅速かつ簡単に求めることができる. 2019年度4月度の平均消

費電力はDA室が~120kW, 観測DB室が~42kW, 第二 観測DB室が~24kWであった. したがって天文デー タセンターが消費している総電力は~186kW程度であ ることが初めて明らかになった.

(3) 測定データの可視化による中長期的な環境の変化の把握

測定データをグラフとして閲覧することで、中長期的な環境の変化の把握と、将来発生し得る問題の予測及び対処を行えるようになった。実例としてDA室の分電盤-F(HSC)の使用電流値が徐々に上昇していった事例が挙げられる。

分電盤-F (HSC) の主幹のR相電流値は2019年3月前半は90A前後であったものの、2019年4月末には120Aまで上昇した。主幹の電気容量は150Aであるためまだ余裕があったが、電気容量を超えた場合は主幹が遮断されるため注意喚起として分電盤を使用しているプロジェクトに作成したグラフを提供した。電流値が上昇した原因は機器を全力運転していたことであり、トラブルを未然に防止することができた。この時は先方もサーバの機能を使って使用電流量を把握していたため、双方で状況を確認できていた。

環境情報のグラフは会議資料として提出を求められることも多く、本機能のおかげで仕事を効率化することができた。

5 本システムを利用した消費電力の評価

本システムを構築したことで計算機の安定運用に資することができた一方、省電力化についてはその方法や計画を策定できていない。ここでは天文データセンターの省電力化に向けて取り組むべき課題について考察する。

省電力化を達成するためには先ず現在の電力の使用状況を把握しなければならない。電力の使用状況をデータセンター毎の規模や環境に関係なく一般化して表すことができる指標として、Power Utilization Effectiveness (PUE)とData Center Infrastructure Efficiency (DCiE)が米国の団体であるThe Green Gridから提唱されている。PUEはデータセンターで消費された全ての電力を計算機(サーバ、ストレージ機器、ネットワーク機器等)が消費した電力で割ったものであり、

$$PUE = \frac{P_{\text{TOTAL}}}{P_{\text{IT}}} \tag{2}$$

で表される. 一方DCiEはPUEの逆数の百分率であり、

$$DCiE = \frac{1}{PUE} \times 100$$
 (3)

で表される。ここで P_{TT} は計算機が消費する電力、 P_{TOTAL} はデータセンターで消費される全ての電力を表す。PUEは1に近いほど、DCiEは100%に近いほどエネルギー効率が良いことを表し[8]、日本のPUEの平均値は1.91程度[9]、外気冷却を導入した高効率なデータセンターでは1.1程度[1]の値となっている。通常PUEとDCiEはある一定期間における P_{TT} と P_{TOTAL} の平均値を使って求められ、目的に応じて日平均、週平均、月平均、年平均の値を使用する。一方、 P_{TT} は計算機の使用状況によって時々刻々と変化するため、瞬間値を利用したPUEとDCiEは指標としての役割を果たさないとされる[10]。

上式を使って天文データセンターの2019年4月度 の平均PUE及びDCiEを概算してみる. 計算機が消 費する電力PITを求めるために計算機に電力を供給し ている分電盤の電力を調べるとDA室が~84kW, 観 測 DB 室が~27 kW, 第二観測 DB 室が~18 kW であっ た. しかし分電盤の配下にUPSが接続されている場 合はUPSの消費電力を除かなければならない. UPS の消費電力は測定していないため各社が公開している UPSの定格消費電力を減ずると、DA室が~76kW、観 測DB室が~27kW, 第二観測DB室が~17kWで, 合計 ~120kWであった. 一方データセンターが消費する全 電力は、各計算機室で消費された電力に、計算機室を 運用するためのオフィスで消費した電力を加算した ものである. 残念ながら計算機室以外の電力は測定 していないため、ここでは計算機室で消費された電 力をデータセンターが消費した電力として扱う. 計 算機室の電力PTOTALはDA室が~121kW, 観測DB室が ~42 kW, 第二観測 DB室が~24 kW, 合計~187 kWで あった. したがって天文データセンターのPUE及び DCiE は~1.55以上及び~64%以下である.

省電力化を行うためには計算機室の空調設備の使用電力を減らす必要がある。PUEとDCiEの定義に基づくと省電力化の対象は、計算機が消費する電力とそれ以外の機器や設備が消費する電力とに分けられる。計算機が消費する電力を減らすためには消費電力の低い計算機を導入したりサービスの縮小等を行う必要があるため現実的ではない。一方計算機以外に消費される電力の中では空調機に消費される電力の割合が最も多い。実際天文データセンターの各計算機室で空調機が消費した電力はDA室が~28kW,観測DB室が~15kW,第二観測DB室が~6kW,合計~49kWであり,計算機室で消費された電力の3分の1以上を占める。したがって天文データセンターの省電力化を達成するためには空調設備の省電力化を図らなければならない。

空調設備の省電力化は計算機室内に存在する熱溜ま りや過冷却を発見し、適切な空調運転、送風、グリル 床の位置変更、障害物の除去等を実施することで達成できる。幸い本システムの温度センサーは全ての計算機ラック列の温度を監視できているため、適切な温度の空気を各計算機に送風できているか判断することができる。今後は現実的な対応として、各計算機が吸気する空気の温度が適切に保たれるようにこれらの措置をとるところから省電力化を図っていきたい。

6 まとめ

本論文では、天文データセンターが管理する国立天 文台三鷹キャンパスの3計算機室の環境を監視するためのシステムの構築について報告した。本システムの 概要を以下にまとめる。

- ・各計算機室の環境監視装置を既設のものから刷新した. 温度, 電流に加え, 湿度と電圧と電力を連続的に測定し, 計算機室の環境異常を迅速に検知できるようになった. また, システムの構築を自ら行ったことで経費の大幅削減に成功した.
- ・測定データを整理して保管するために可用性の高い データベース機能を構築し、データの検索と統計量 の算出を容易にした.
- ・測定データをグラフとして閲覧するためのウェブインターフェース機能を開発し、任意の期間における任意の測定データを閲覧できるようにした。これにより、中長期的な環境の変化を視覚的に捉えられるようになった。

本システムの稼働により、既設の環境監視装置の問題点を解決して計算機の安定運用に資する環境監視を実現した。さらに、本システムで取得される各測定値は、計算機室における計算機の運用をより効率的かつ省電力なものにするための定量的な評価を行う上で重要な基礎データとなることを示した。

鞛餹

本システムの構築にあたり、 天文データセンター 及び施設課の方々から助力と助言を頂いたことに感謝する. また本システムの構築には多くのフリーソフトウェアを利用している. これらの開発者の皆様に感謝する.

参考文献

- [1] シュナイダーエレクトリック株式会社: 導入 事例さくらインターネット株式会社, http:// catalog.clubapc.jp/pdf/cr/sakura-internet_1509.pdf, シュナイダーエレクトリック株式会社 (2012) (最終閲覧日: 2019年10月04日).
- [2] クリスチャン・コーワン, クリス・ガスキンス: データセンターの物理的脅威の監視手法ホワイトペーパー102 改訂3, http://www.apc.com/ whitepaper/?wp=102, シュナイダーエレクトリック株 式会社 (2012) (最終閲覧日: 2019年10月04日).
- [3] ASHRAE TC9.9: Data Center Power Equip-ment Thermal Guidelines and Best Practices, http://tc0909.ashraetcs.org/documents/ASHRAE_TC0909_Power_White_Paper_22_June_2016_REVISED.pdf, ASHRAE (2016) (最終閱覧日:2019年10月04日).
- [4] 豊原範之: さくらインターネット石狩データセンター外気冷房により空調エネルギー年間80%削減を実現,エレクトロヒート, No. 196, 8-13 (2014), ISBN 978-4-7741-6709-1.
- [5] 吉田公彦, 海老原克司: データセンターのエアフローマネージメント, azbil Technical Review, 2014年4月発行号, 22-27 (2014).
- [6] 福本邦夫,田村信之,石橋秀規:データセン ターにおけるIT負荷とファシリティエネルギー の最適化, FUJITSU, **61**, 3, 255–260 (2010).
- [7] 勝俣智成,佐伯昌樹,原田登志:内部構造から 学ぶPostgreSQL設計・運用計画の鉄則,株式会 社技術評論社 (2014).
- [8] グリーンIT推進協議会:新データセンタエネルギー効率評価指標 DPPE(Datacenter Performance per Energy)測定ガイドライン(Ver2.05), https://home.jeita.or.jp/greenit-pc/sd/pdf/dppe_j_Measurement_Guidelines.pdf, グリーンIT推進協議会事務局(2012)(最終閲覧日:2019年10月04日).
- [9] 宮本啓志: OSS とクラウドを活用したBCP対策 セミナー講演資料「世界初の寒冷地型エクスト リームデータセンターとは」, https://aoimoricb.co.jp/ material/pdf/MonthtlySeminar_intro_160826_.pdf, 青い森クラウドデータベース株式会社 (2016) (最終 閲覧日: 2019年10月04日).
- [10] ニール・ラスムセン: データセンタにおける 電力効率の測定ホワイトペーパー154 改訂0, http://www.apc.com/whitepaper/?wp=154, シュナ イダーエレクトリック株式会社 (2008) (最終閲 覧日:2019年10月04日).