

フロア単位の電力計測を実現するための大型電流計測センサの動作テストおよび導入

— 東 6 号館 4 階を計測対象として —

落合隆夫¹, 和田紀子¹, 竹内純人¹

Electric Power Measurement of The Building E-6 by High Current Sensors

Takao OCHIAI, Noriko WADA, Sumito TAKEUCHI

Abstract

To measure the high current value, we introduced 500 Amps-scale AC-current sensors, and evaluated their performance. The Building E-6 is one of the most electric power-consumption buildings in The University of Electro-Communications. We focus on the 4th floor in the Building E-6 to measure power consumption precisely.

We checked panelboard view and distribution board in the Building E-6, and arranged 200 A-scale test environment by improving 5 A-scale evaluation equipment. It might be useful for systematic and wide-area power saving in the future.

Keywords: *Current Sensor, Electricity Measurement, Power Saving*

1 はじめに

1.1 背景

教育研究技師部では 2013 年度より「消費電力計測プロジェクト」、通称 ECO(Electricity Consumption Observer/Optimizer) プロジェクトを立ち上げた。これは組織的な節電活動に対する社会的要求に応えるべく、IEEE1888 (通称 FIAP) 規格²をベースとした ICT システムの活用によって電気通信大学 (以下、本学) 内の施設における電力使用状況の自動計測、自動通知を目指すものであり、2016 年現在も鋭意活動中である。

本プロジェクトの成果として、2014 年度までに構築した電力計測システムによって、施設内の詳細な電力使用状況、具体的には、

- 建屋内のフロア
- 研究室
- コンセント

などの単位で電力使用状況をほぼリアルタイムに把握することが可能となった。また、種々のシステム強化/改善により、システム全体の安定稼働および無人化運用も併せて実現している [1]。

2014 年度までに構築した電力計測システムの全体概要を図 1 に、Web ページによる電力使用状況の確認結果を図 2 に示す³。

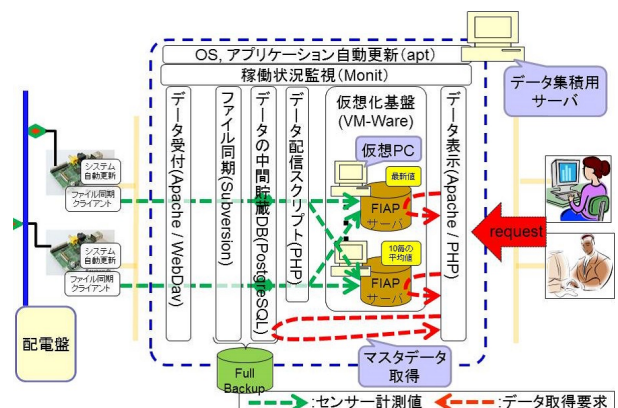


図 1: 電力計測システムの全体概要

Received on September 5, 2016.

¹ 電気通信大学教育研究技師部

² 東大グリーン ICT プロジェクト IEEE1888(FIAP) システムの概要: <https://www.gutp.jp/fiap/outline.html>

³ 計測状況は 2016 年 9 月現在、<http://eco.tech.uec.ac.jp/ecop/> にて Web 公開中 (学内専用) である。

フロア名	部屋名	負荷名称	直近11分の移動平均		10分毎の平均	
			日時	計測値	日時	計測値
D棟202	物理 大実験室	実験装置(12.8.3.4.5)プロジェクト24台	2015-03-17T11:18:00.000-09:00	0.000	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.8400
D棟202	物理 大実験室	実験装置(12.8.3.4.5)プロジェクト24台	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	1.393	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.8600
D棟202	物理 大実験室	湿度(%)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	36.3	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	36.2000
D棟202	物理 大実験室	温度(℃)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	17.1	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	17.1000
D棟204	物理 音の共鳴実験室	実験装置(ハセット)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	0.440	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.3200
D棟204	物理 音の共鳴実験室	実験装置(ハセット)プロジェクト21台	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	0.850	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.3600
D棟204	物理 音の共鳴実験室	湿度(%)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	33.1	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	33.2556
D棟204	物理 音の共鳴実験室	温度(℃)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	17.5	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	17.4333
D棟206	物理 教員控室	サーバ室 204, 206, 209 照明回路	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	0.135	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.1050
D棟206	物理 教員控室	20x室照明回路	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	0.192	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.1290
D棟206	物理 教員控室	温度(℃)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	16.1	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	16.1000
D棟206	物理 教員控室	湿度(%)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	37.0	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	37.1700
D棟209	物理 エアトラック実験室	実験装置(11(ハセット, 電子天秤))	2015-03-17T11:17:00.000-09:00	0.970	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.6200
D棟209	物理 エアトラック実験室	実験装置(11(ハセット)プロジェクト21台)	2015-03-17T11:17:00.000-09:00	1.107	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	0.7400
D棟209	物理 エアトラック実験室	湿度(%)	2015-03-17T11:16:00.000-09:00	36.3	2015-03-17T11:10:00.000-09:00	36.0778

図 2: Web ページによる電力使用状況の確認結果

1.2 大型電流計測センサの導入とフロア単位の電力計測の実現

上記成果を踏まえ 2015 年度は、電力計測対象の拡大を目標の一つに挙げて、プロジェクト活動を推進することとした。2014 年度までは共通教育部の協力を得て、主として、

- D 棟 2 階 物理実験室
- 西 3 号館 5 階 吉田研究室

に設置されている分電盤に電流計測センサを取り付け、学内 LAN を経由する形で電力使用状況のデータ収集を行っていた。この方式に一定の安定稼働の目処が立ったこともあり、2015 年度は、学内において従来より電力計測の要望が強く上がっている建屋、具体的には東 6 号館の各階（フロア）を対象とした電力計測に取り組んだ。

東 6 号館は、本学が建屋単位での消費電力量を把握するために 2010 年度より構築／運用している『電力見える化システム』⁴において、消費電力量が突出して多く観測されている建屋であり、フロア／研究室（実験設備）／コンセントの各単位で電力使用内訳を明らかにし、節電に繋げたいとの要望が以前から寄せられていた。しかしながら、そのためには多大な追加費用が掛かることもあり、なかなか解決には至らずにいた。そこで、施設課および先進理工学専攻の協力のもと、教育研究技師部にて構築した電力計測システムを活用し、まずは東 6 号館のフロア単位での電力使用状況の把握に取り組むこととした次第である。

東 6 号館の電力使用状況の計測実現にあたっての取り組み事項を次に挙げる。

- 東 6 号館の各フロアに伸びている電力線と分電盤の調査と分類
- 新規計測設備の導入と設置
- 大型電流計測センサの動作テスト

詳細は後述するが、これまでの ECO プロジェクトにおいて電力計測対象としてきた電線は、電流量 30A 程度の小口のものが主であった。しかしながら、東 6 号館のフロアに電力を供給する電線は定格電流 300A となっており、これに対応すべく、最大 500A まで計測可能な大型の電流計測センサを導入し、併せて動作テストも実施した。

本稿では、2015 年度に実現した東 6 号館の電力使用状況の部分計測について、その取り組み過程を詳報する。最後に ECO プロジェクトにおける今後の展望について述べる。

また、上記事項の推進に先立ち、教育研究技師部では 2015 年度学内業務改善プロジェクトに『消費電力削減を実現するための消費電力計測システムの開発と計測データの分析』と題して応募し、採択された。これに伴い大学予算の利用が許可され、新規の電力計測機器の購入、サーバ機器の強化費用などに活用したことを付記しておく。

2 電力計測対象の拡大

2.1 対象建屋の選定

2014 年度までの活動において、構築した電力計測システムにて西 3 号館および D 棟の計測が可能となった成果を踏まえ、電力計測対象のさらなる拡大が、2015 年度の方針として再確認された。新規計測先としての有効性の検証にあたり、まずは次の 2 点を指標とし、本学導入済みの『電力見える化システム』および公開されている各建屋の図面を用いて調査を実施した。

1. 建屋毎における総消費電力量
2. 建屋内における単位面積当たりの消費電力量

上記指標 1 に基づき各建屋の総消費電力量を調査した結果、2014 年度含め、いずれの年度においても東 6 号館が突出して高いことが判明した (図 3)。

⁴電気通信大学 電力見える化システム:
<http://www.uec.ac.jp/about/activity/setsuden/mieruka.html>

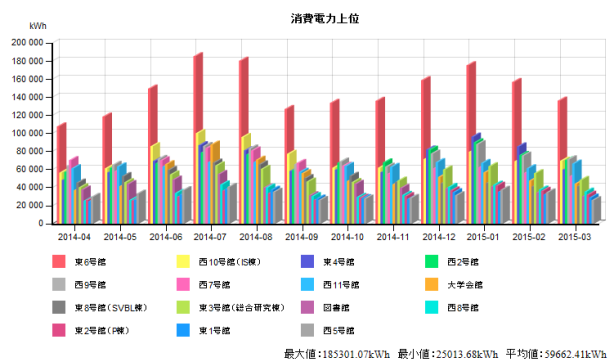


図 3: 2014 年度における月ごとの消費電力上位の建屋⁴

図 3 で示されている『東 6 号館』としての計測範囲は、同館 1 階の研究設備センター使用分を除く電力となっており、主に 2 階から 9 階までの 8 フロア分の合計となっている。東 6 号館の特徴としては、光学や物性、加えて化学系の研究室と実験設備が多数入居していることが挙げられる。

一方、上記指標 2 に基づき各建屋の消費電力量を調査したところ、次の建屋が上位になることが判明した。

- 東 8 号館
- 西 11 号館
- 研究設備センター（東 6 号館 1 階）

原因を施設課の担当者に確認したところ、上記建屋はいずれも半導体におけるクリーンルームや大型の実験設備が設置されている建屋であり、大口の消費電力元がすでに判明していることが報告された。一方で、東 6 号館の総消費電力量は絶対値として過大であり、その原因はなお不明であることも併せて報告された。

以前から電力使用状況の解明が強く望まれていた東 6 号館であるが、この結果に基づき、改めて新規電力計測の最優先対象として認識し、ECO プロジェクトの活動として電力計測を開始することとした。

2.2 電力計測範囲の検討と決定

構築済みの電力計測システムにおける電力計測機器の設置条件として、分電盤一つにつき一つ以上のセンサコントローラ、3 線式電線 1 セットにつき 2 つの電流計測センサが必要となる。加えて近くに有線ネットワークの接続口があることが望ましい。一方で、東 6 号館のような古い建屋の電力系統では、受電設備の一次側が大きくまとめであり、二次側は規則性なく各部屋個別の分電盤へ供給されているものが多く、そのために個別に計

測設備を導入するのが困難という特徴がある。東 6 号館は特に、2 階から 8 階まで多数の研究室、実験室が配置されており、これらのすべてに電流計測センサを取り付けるのは、予算および作業量の両面から難しい状況にあった。

このような状況を踏まえ、可能な限り 1 フロアをカバーし、少ないセンサコントローラおよび電流計測センサによって効率よく広い面積を測定できるかという観点に絞って、東 6 号館内の調査を進めることとした。実際の調査にあたっては、東 6 号館の改修工事時に作成された電気設備の配線図を施設課から受領し、このうち分電盤結線図と配線系統図を精査した。

この結果、電気設備図面は単相 3 線式 100V / 200V の一般負荷 (コンセント、照明系統など)、三相 3 線式 200V の動力 (高負荷の装置用) に分かれており、東 6 号館では 1 階の電気室にて各階へ送る電気を制御していること、およびこの電気室における各電線は、1 本あたり最大 300A の定格電流まで耐えられるよう設計されていることを確認した。同様に各電線のうち、東 6 号館 4 階に電力を供給している電線 EL-5 および EL-6 を測定すれば、同階の一般負荷にあたる消費電力量をほぼ測定することが可能であると判明した。

東 6 号館 1 階電気室に配線されている電線 EL-5 の写真を図 4 に、電線 EL-5 / EL-6 による電流供給先の範囲を図 5 にそれぞれ示す。

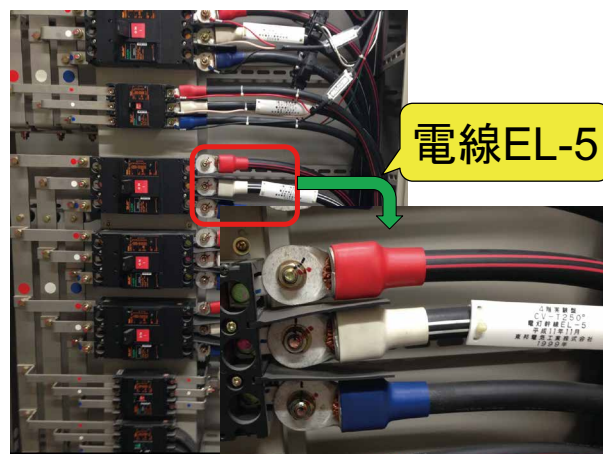


図 4: 計測対象とした電線 EL-5

⁴電気通信大学『電力見える化システム』より出力、転記。

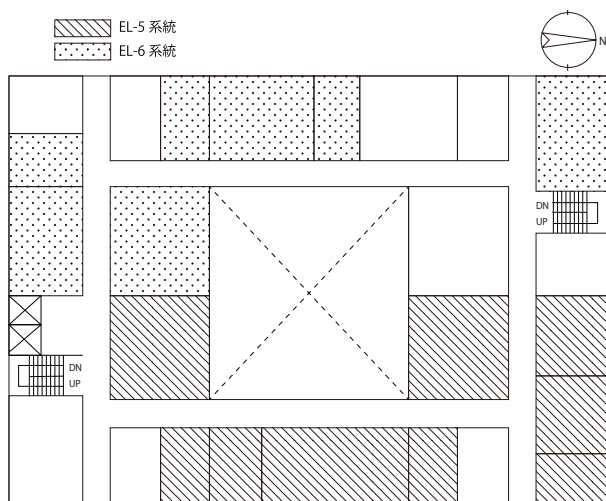


図 5: 東 6 号館 4 階のうち電線 EL-5/EL-6 の電力系統に含まれる部分

分電盤図には、設計時の許容電流算定のために接続が想定される負荷機器も記載されており、それによると電線 EL-5 / EL-6 は数百から数千 VA の負荷として標準的なコンセントからの電力で動作する実験装置や PC、周辺機器、といった用途で電力が使用されていることも判明した。

上記の結果に基づき、東 6 号館の電力計測の足がかりとして、まずは電線 EL-5 / EL-6 の電力計測に着手することとした。

3 新規計測設備の導入と設置

3.1 新規センサ機器の導入

先述の調査で電力計測対象とした電線 EL-5 / EL-6 の電線はいずれも、単相 3 線式、電流量 300A、径 30φ という仕様であるが、これまでの ECO プロジェクトにおいて電力計測対象としてきた電線は、電流量 30A 程度のものが主であった。そのため、電線 EL-5 / EL-6 を計測するためには、300A 以上の電力計測が可能な大型電流計測センサの調査と購入に加え、試行錯誤的な実作業として次の項目が必要となることが見込まれた。

1. センサコントローラである Raspberry Pi の新規設定、動作確認
2. 新規電流計測センサ単体の動作テスト

上記のうち、特に項目 1 については、過去のプロジェクト活動におけるセンサ接続／動作確認の経験から、多大な時間が必要となることが見込まれた⁶。この段階で

⁶具体的には、センサの種類毎／型式毎に、データ取得コマンドのパラメータを変えては正しくデータ計測が行われるかどうかを確認する、という作業が必要であることが見込まれた。

の ECO プロジェクトの主目的は、計測要望度合いの高い施設の電力使用状況を把握するというものであった。そのため、今回は項目 1 の過程は省略し、新規導入のセンサに対する動作保証がなされたセンサコントローラを外部業者から購入することとした⁷。

この方針に基づき市販の電流計測センサの調査を行ったところ、株式会社ユー・アール・ディー⁸が販売するクランプ型交流電流センサを導入することで、電線 EL-5 / EL-6 の電力計測が可能であるとの見通しに達した。当該センサの型式、仕様を表 1 に示す。

表 1: 電線 EL-5 / EL-6 計測用センサの型式と仕様

型式	CTL-36-CLS
適用電流	0.1～500A
径	36φ

また、上記センサとの接続が可能なセンサコントローラは、株式会社フタバ企画⁹から販売されていることも確認できたため、同社に CTL-36-CLS との接続動作保証を依頼した上で、新規センサ設備を一括購入した。購入したセンサ機器の種類と金額（いずれも税抜き）を表 2 に示す。

表 2: 新規に購入した計測機器と金額

機器名	個数	単価	合計
クランプ型センサ (CTL-36-CLS)	4	¥4,300	¥17,200
センサ接続ケーブル	4	¥1,200	¥4,800
IEEE1888 エネルギー診断メータ	1	¥21,750	¥21,750

上記は今後の電力計測先の拡張あたって、所要経費の目安となるものである。

なお、電線 EL-5 / EL-6 はともに単相 3 線式の電線となっているため、それぞれの電流量計測にあたり 2 個のクランプ型センサが必要となる。そのため、クランプ型センサの購入個数は合計 4 個となっている。

3.2 IEEE1888 エネルギー診断メータの仕様

上記で購入した IEEE1888 エネルギー診断メータの仕様について述べる。これは接続された電流計測用センサに対して、(60 秒毎など) 定期的にデータ計測を行い、取得した計測値を IP ネットワーク経由でサーバに自動送信する機能に特化したマイコンボードである。具体

⁷項目 2 については、第 4 節にて詳説する

⁸<http://www.u-rd.com/>

⁹<http://www.futaba-kikaku.jp/>

的には次の機能を備えており、本装置を用いることで、IEEE1888¹⁰ に対応した ICT システムに分電盤の電力計測情報を取り込むことができる [2]。

- 一般的な LAN (IP ネットワーク) 経由で、計測値を IEEE1888 サーバ [3] に定期送信する (ただし、計測データの蓄積 (一次記憶) はできない)
- 1 台につき最大 5 個のセンサを接続可能
- 単相 3 線式の電線用に、特定の 2 個のセンサの合計値を自動算出する
- 対応電圧は 100V~440V
- IP アドレス / DHCP / DNS / NTP などの IP(v4) ネットワーク設定が可能

ECO プロジェクトにて構築した電力計測システムは、全面的に IEEE1888 サーバの利用を取り入れているため、構築済みのシステムに大きな変更を施すことなく利用できることも、本品購入の大きな理由となっている。

3.3 設置する計測設備の構成

IEEE1888 エネルギー診断メータは IP ネットワーク経由で計測データを送信できる仕様となっている。そのため、電力計測システムの中心部であるデータ集積用サーバにデータを直接送信することも可能であるが、計測データを蓄積する機能を持たないため、次の事象が発生した場合には、計測データが消失してしまうことになる。

- 学内 LAN に障害が発生した場合
- データ集積用サーバが稼働停止となった場合 (障害発生時、メンテナンス時など)

上記事象が発生した場合でも、データ計測の連続性を担保するため、計測データ一次蓄積用の小型 PC、および無停電電源装置 (UPS) も併せて導入することとした。これに学内 LAN 接続用のブロードバンドルータを加え、これらを東 6 号館電気室に設置する計測設備一式とした。

電線 EL-5 / EL-6 に取り付けけた計測設備一式の論理構成を図 6 に示す。

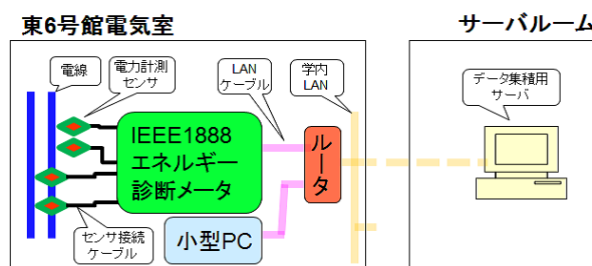


図 6: 東 6 号館電気室に設置する機器の構成¹⁰

上図で、電力計測データのフローは次の順番となっている。

1. 電流計測センサ
2. IEEE1888 エネルギー診断メータ
3. 小型 PC
4. データ集積用サーバ

IEEE1888 エネルギー診断メータとデータ集積用サーバの間に小型 PC が仲介することで、計測データの多重化保存も併せて実現されることとなる。また、今回 IEEE1888 エネルギー診断メータに設定した電力計測間隔は、60 秒毎に 1 回としている。

3.4 新規計測設備の設置

上記の過程を経て東 6 号館電気室に設置した計測設備および、これらの動作確認用 Web ページの画面をそれぞれ図 7、図 8 に示す。

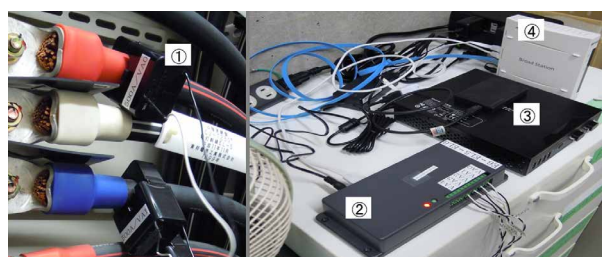


図 7: 東 6 号館電気室に新規設置した計測設備

- ① 電線 EL-5 / EL-6 に取り付けけたクランプ型センサ
- ② IEEE1888 エネルギー診断メータ
- ③ 計測データ一次蓄積用の小型 PC
- ④ 学内 LAN 接続用のルータ

¹⁰次世代 BEMS (Building Energy Management System) やスマートグリッド向けに開発され、2011 年に国際標準化された通信規格。

¹⁰UPS は省略している。

教育研究技師部 ECOプロジェクト 電力センサー計測状況

配線系統	フロア	負荷内訳 (分電盤名称)	直近の計測値		10分間の平均		30分間の平均		1時間間の平均	
			日時	計測値[VA]	日時	計測値[VA]	日時	計測値[VA]	日時	計測値[VA]
EL-5: 500A×2	東6-4F	L-413	2016-03-30 T15:11:00	6686	2016-03-30 T15:10:00	6680.7	2016-01-18 T16:00:00	0.0	2016-01-18 T15:00:00	0.0
	東6-4F	L-416								
	東6-4F	LP-419-1								
	東6-4F	LP-419-2								
	東6-4F	LP-422								
	東6-4F	LP-423A								
	東6-4F	LP-423B								
	東6-4F	LP-426								
EL-6: 500A×2	東6-4F	LP-427	2016-03-30 T15:11:00	2475	2016-03-30 T15:10:00	2042.7	2016-01-18 T16:00:00	24066.7	2016-01-18 T15:00:00	29066.7
	東6-4F	LP-439								
	東6-4F	LP-402								
	東6-4F	L-403								
	東6-4F	LP-405								
	東6-4F	LP-409								
	東6-4F	LP-433								
	東6-4F	LP-435								

図 8: 東 6 号館 4 階 (電線 EL-5 / EL-6) の電力計測状況確認 Web ページ ¹¹

4 大型電流計測センサの動作テスト

上述した新規計測設備の設置に先立ち、購入した電流計測センサの動作テストを実施した。詳細を以下に述べる。

4.1 消費電力 (交流電流) を測定する方法とは

我々が毎日使っている電気は交流電気信号、つまり時間とともに大きさと極性が変化する電気の波である。この性質のため、大きさと極性が変化する直流電気信号よりも測定が難しい。そこで交流電気信号も直流電気信号と同等に扱え、比較可能な値として実効値が用いられている。本稿でも断りのない限り、電流・電圧の値を実効値として扱っている。実効値は次の (1) 式で定義される。

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |V(t)|^2 dt} \quad (1)$$

ここで T は信号の周期、 t は時刻である。消費電力を測定する際には、電流の実効値を電氣的測定により求めることになる。電流の実効値測定用システムは、概ね交流電流センサ (検出器)、実効値計算回路 (信号処理部)、データ収集用 PC の 3 つの要素で構成されることが多い。まず、交流電流センサ (磁性体でできたドーナツ状のコア) に配線を通し、そこに流れる電流をセンサにより交流電圧に変換する。次にセンサから出力された交流電圧は実効値計算回路による二乗・平均化・平方根演算を経て実効値として出力される。最終的に、求められた実効値は PC 等の保存媒体によってデータとして記録される。ここで消費電力の値には有効電力 (Wh) と皮相電

力 (VA) があり、本プロジェクトでは皮相電力 (VA) を測定していることに注意されたい。(電流電圧の実効値を V, I として、有効電力は $V * I \cos \theta$ (θ は電流・電圧の波の位相差)、皮相電力は $V * I$ で定義される。)

4.2 100A 級の電流でのテストを可能にする方法

4.2.1 テストにあたっての懸案事項

ECO プロジェクトにて構築した電力計測システムの当初の計測対象は、『電力見える化システム』が対応していないコンセントや小規模分電盤であった。これらの定格電流は最大でも 100A (実際は 10-50A の範囲であろう) であるため、最大電流が 80A の電流センサを用いて測定を行っていた。今回新たに、東 6 号館電気室の電線が計測対象となり、測定電流範囲が以前の 10A 級から 100A 級に拡大することとなったが、学内の設備にてテスト可能な電流は 5A であったため、簡単には対応できないことが判明した ¹³。

500A 級の電流センサが 100A の領域で、仕様と遜色ない性能を発揮するか確認するためには、100A 級の交流電流源が必要となる。ここで、電流センサのテスト用に特化した 100A 出力回路も作製可能ではあったが、万が一の場合にこうむる損害を考慮して選択肢から外すことにした。代替案として最大 5A 出力可能な学内設備によるテスト環境をそのまま利用する形で、等価的に 100A 級での電流センサのテストを可能にする方法を検討した。

4.2.2 起磁力の原理を利用して等価的に電流を増やす方法

ここで、電流センサの原理について述べる。電流センサは磁性体でできたドーナツコアに配線を 2 本巻き付けたものである。一方の配線に電流 I を流すと右ねじの法則に従って磁束 ϕ がコア内に発生する。このとき、他方の配線をコアに n 回巻きつけて抵抗 R_L を接続すると出力電圧 V_2 が得られる。 V_2 は次の (2) 式で与えられる

$$V_2 = \frac{R_L}{n} N_1 I_1 \quad (2)$$

ここで磁気回路のオームの法則における電流と磁束の関係に着目する。

¹¹2016 年 9 月現在、<http://eco.tech.uec.ac.jp/ecop/> にて公開中 (学内専用) である。

¹³学内設備のテスト環境は単巻摺動変圧器 (スライダック)、絶縁用変圧器 (感電等の 事故対策)、複数個の白熱電球 (負荷) から構成されている。スライダックにより絶縁用変圧器への入力電圧の振幅を変化させると、負荷に流れる電流を変化させることができる。負荷に流れる電流の最大値は、白熱電球の接続個数により調整可能である。

$$F = NI = R_m \phi \quad (3)$$

(3) 式は磁気抵抗が定数と仮定できる場合に成り立つ。 NI は起磁力、 N は巻き数、 R_m は磁気抵抗、 ϕ は磁束である。(2), (3) 式には共通して巻き数と電流の積、つまり、起磁力の項が含まれる。起磁力に着目すると、小さな電流でも複数回巻きすれば1回巻き 100A (例: $NI = 20 \text{ 回} \times 5 \text{ A} = 1 \text{ 回} \times 100 \text{ A}$) と同等の磁束を誘起可能であり、結果として同程度の大きさの出力電圧が得られる可能性があるということを示唆している。このことを確かめるために、1回巻きと複数回巻きで電流センサの入力電流-出力電圧特性を測定し、得られた特性の傾きを統計手法により定量比較を行った。

4.2.3 電流センサのテスト方法および測定結果

学内設備によるテスト環境は実効値で 0.5-5A の電流が出力可能である。このテスト環境で得られたデータに統計解析を施すために、デジタルマルチメータの統計機能 (平均値・標準偏差測定モード) を利用して、起磁力 (巻き数×入力電流) および出力電圧の実効値の平均値と標準偏差を測定した。これらの結果から重み付け線形最小二乗法を用いて傾きの推定値と 95% 信頼区間を算出するプログラムを用いて1回巻きと複数回巻きについて両対数プロットの傾きとその 95% 信頼区間の比較を行った。図9に電流センサの出力電圧の起磁力依存性のグラフを示す。

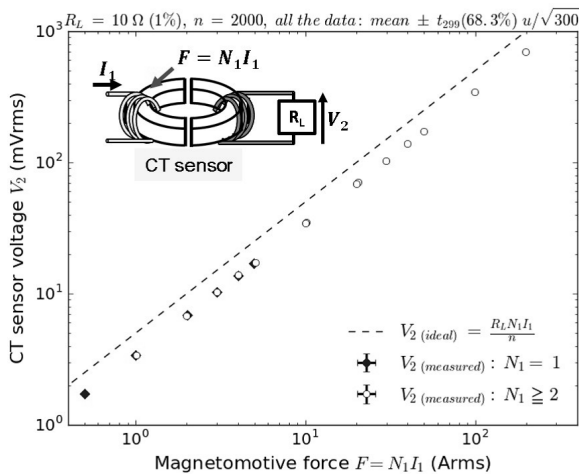


図9: 電流センサ (No.00) の出力電圧-起磁力 (巻き数×電流) 特性

測定範囲は起磁力で 0.5-200A であるため両対数プロットを用いた。破線は理想的なコア (完全リング形状、全体に均一な巻き方を意味する) の特性を示す。測定点は

全て 300 点分の平均値と自由度 (300-1) の student-t 分布による補正を施した標準誤差 (68.3%) をエラーバーとしてプロットした¹⁴。また、1回巻きと複数回巻きのデータは各々異なるシンボルでプロットした。図9から、電流センサの出力電圧の実測値は理論値の 70% 程度である。この理由には電流センサのコアが分割コア (つまり、完全な環状構造でない) であること、配線が局所的に密にまかれていることによる磁束の損失が原因と考えられる [4]。次に1回巻きと複数回巻きの特性の傾きを定性的に比較した。グラフから両者の傾きはほぼ等しいと判断した。4つの交流電流センサの特性の傾きが定性的に類似の傾向を示したので、自作プログラムで重み付け最小二乗法による傾きの推定値を算出し、定量的な評価を行った (表3)。

表3: センサ出力電圧の起磁力 (巻き数 $N \times$ 入力電流 I) 特性の傾きの推定値と 95% 信頼区間

電流センサ	1 回巻き ($N_1 = 1$)	複数回巻き ($N_1 \geq 2$)
No.00	3.4127 ± 0.0003	3.4898 ± 0.0001
No.01	3.4382 ± 0.0003	3.4243 ± 0.0001
No.02	3.4239 ± 0.0004	3.4701 ± 0.0001
No.03	3.4401 ± 0.0004	3.4824 ± 0.0001

表3の結果から、各センサにおいて1回巻き、複数回巻きの特性の傾きの推定値が2%程度のずれであること、センサ毎の傾きのばらつきも2%程度であることが分かった。以上のことから線形性がよい領域においては複数回巻きでの結果を1回巻きでの結果と同等にあつかえる可能性が示唆された。

ただし、今回テストしたセンサの個数は4つであるため、結果の有意性を主張することは難しい。今後、センサの個数を増やして、センサの性能のばらつきに関する基礎データを充実させる必要がある。

5 まとめ

5.1 本活動の貢献

本稿では、2章にて東6号館における電気設備の調査過程を、3章にて新規計測設備の導入過程を述べた。また、4章にて、電流計測センサの動作テスト過程を述べ、設置した計測設備の信頼性の担保がなされていることを示した。

今回設定した IEEE1888 エネルギー診断メータの電力計測間隔は、60 秒毎に1回としている。実際の計測設備の設置は2016年2月に実施しており、2016年9月現

¹⁴ただし、標準誤差が平均値の1%未満であるため、グラフ上では確認できない。

在まで約 7ヶ月以上にわたる連続計測が実現している。また、サーバシステムの方も 2015 年度学内業務改善プロジェクトの予算から強化費を割当て、サーバ性能の向上、処理方式の改善を実現し、こちらも同様の期間中、停電時を除き一度もシステム断が発生しておらず、計測データの取りこぼしなども起きていない。

東 6 号館はこれまで、学内において突出して高い消費電力量が観測されているにもかかわらず、その原因や消費量の内訳を正確に把握することはできない状態にあった。全容解明に至るには、未だ多くのセンサ機器や付随する諸作業が必要であるが、その足がかりを ECO プロジェクトにて実現できたと考える。

5.2 新規計測先と過去の計測結果を分析した上で判明した課題

今回は、予算と人的に可能な作業量の都合により電線 2 系統までの計測となったが、省エネに向けた分析のためには今後の設備拡張により照明や動力系統まで測定できることが望ましい。

本学の電気使用傾向については、2014 年 4 月から 6 月の D 棟物理実験室の測定結果より、照明機器にてフロア全体を照らした状態では、1フロアの総電力のうちに常に 40%前後を照明設備が占めることが判明している。また、西 3 号館 5 階では同期間に、計算機の多い研究室環境が、1 日をとおして単相 100V / 200V 一般負荷電力全体の 70% から 80% を使用しているということが判明している。また、同フロアの空調にあたる動力系が、100V と 200V を合わせた全体の消費電力のうち 100V 系の半分程度であった。これらの割合は建屋や階によって異なると考えられるが、同種の用途で部屋を使用している場合の傾向として有効な知見であると考えられる。

2013 年 11 月に東京工業大学において開催された第 1 回大学連携スマートキャンパスシンポジウム [5] では、省エネのために大学の研究を控えることは差し支えがあるため、可能な限り実験研究用電力以外の部分で省エネ努力をすべきということが提唱されている。

東 6 号館のように古い建屋の一般負荷と動力は、実験研究用の電力と環境維持用の電力が混在している。そのため、西 3 号館や D 棟のように個別の負荷を割り出し傾向を分析するには、各部屋にある分電盤を計測する必要がある。この点を、今後のプロジェクト活動における課題として付記しておく。

5.3 今後の展望

2015 年度の取り組み成果を踏まえて、ECO プロジェクトにおける今後の展望を述べる。

5.3.1 電力計測ポイントの拡充

下記施設を新たな計測対象として検討を行い、関係部署（先進理工学専攻など）からの許可を得た上で、施設課と協働で電力計測環境を構築する。

- 東 6 号館におけるその他の電力線
- 学内のオープンラボ施設
- その他、優先度の高いと判断された施設など

5.3.2 電力使用状況を通知するための仕組みの構築

利用者に効果的な節電を促すための仕組みとして、電力計測ポイント毎のリアルタイムな電力使用状況について、次のような注意喚起環境やアプリケーションを開発し、実運用につなげることを検討中である。

- Web ページにおけるグラフ表示など、視覚による電力使用状況の提示
- 電子メール、Twitter、SNS などによる自動通知
- 電力計測データの自動分析／レポート作成モジュールの実装
- 電力使用状況を音声で通知するアプリの開発

5.3.3 電力計測システム専用のセンサコントローラモジュールの開発

今回導入した計測設備一式の価格は、センサなどの計測機器類に約 4 万円、計測拠点単位に設置する PC / ネットワーク機器 / UPS に約 5 万円となっている。この中でも特にセンサコントローラは、単体で 2 万円を超える価格となっており個別の分電盤に設置するには高価すぎる大きな懸案事項となっている。そのため、下記 3 つの要件を満たした専用のセンサコントローラモジュールを試作 / 運用し、より手軽かつ安価に電力計測設備を拡充可能な体制を構築することを検討中である。

- 1 セットあたりの組立材料費 5,000 円程度
- 平易な組立てと設置
- 365 日以上安定した連続動作

本モジュールの適用先は当面、電力計測プロジェクトのセンサ設備となるが、将来的に他のセンサネットワーク設備への適用や、製作のノウハウを教育研究に還元するなどの展開も視野に入れて、活動を推進する予定である。

謝辞

教育研究技師部 消費電力計測プロジェクトは電気通信大学業務改善プロジェクトの支援を受けて活動しています。実際の電力計測にあたっては、先進理工学専攻、共通教育部、施設課各位のご協力をいただいています。また、学内ネットワークの利用には情報基盤センターおよび東6号館ネットワーク管理係各位のご協力をいただいています。この場を借りて感謝申し上げます。最後に、システムの構築、プロジェクトの推進に尽力いただいている教育研究技師部のプロジェクトメンバー諸氏に感謝申しあげ、謝辞とします。

参考文献

- [1] 竹内純人：“コンセント単位での計測を可能としたフリーソフトウェアツールによる消費電力値自動収集システムの実装と改善”，電気通信大学紀要, 28(1), pp.61-69, 2015
- [2] 株式会社フタバ企画：“IEEE1888 多回路エネルギー診断メータ イーサーネット (有線) 版 取扱説明書”，<http://manualzilla.com/doc/6719406/> (2016年9月1日閲覧)。
- [3] 落合秀也（江崎浩監修）：“スマートグリッド対応 IEEE 1888 プロトコル教科書”，初版, 株式会社インプレスジャパン, 2012, p8.
- [4] 山村英穂：“改訂新版 定本トロイダル・コア活用百科 トロイダル・コイルの理論・製作と応用回路”，改訂版第7版, CQ 出版株式会社, 2015, p42.
- [5] 東京工業大学：“第1回大学連携スマートキャンパスシンポジウム”，http://aes.ssr.titech.ac.jp/wp-content/uploads/download/pdf/SC_Sympo.pdf (2016年9月1日閲覧)