

既存建物群の低炭素化に向けた
エネルギーマネジメントに関する
研究

Practical study on save energy and peak shaving
for the existing buildings

河村 貢

(KAWAMURA Mitsugu)

2017 年

目次

はじめに	-----1
第1章 研究の目的と論文の概要	-----3
1.1 取り組みの背景と研究目的	-----3
1.1.1 社会的な背景と中部大学の取り組み	
1.1.2 既往の関連の研究について	
1.1.3 研究の目的	
1.1 論文の概要	-----5
1.2 参考文献	-----7
第2章 省エネルギーについての社会動向とこれまでの取り組み	-----9
2.1 省エネルギーに関する社会的動向	-----11
2.1.1 国際的な動向と日本の政策	
2.1.2 国内の動向	
2.2 これまでの省エネルギー業務の取り組み	-----17
2.3 単体建物での取り組み	-----18
2.3.1 省エネルギー診断とエネルギー消費構成	
2.3.2 用途別のエネルギー消費の特徴	
2.3.3 医療用途でのベース電力消費の課題	
2.3.4 大規模施設での取り組み（期間の拡大）	
2.4 複数建物での取り組み	-----32
2.4.1 遠隔地多棟型（対象の拡大と電力ピーク抑制）	
2.4.2 遠隔地多棟型（対象の拡大と低炭素化）	
2.4.3 隣接地多棟型（適用技術の拡大と建物間でのエネルギー利用）	
2.5 第2章のまとめ	-----49
2.6 参照資料と参照論文	-----50

第3章 理系学部での電力ピーク平準化と低炭素化の実証研究	51
3.1 研究対象の建物概要	52
3.1.1 エネルギー消費の位置づけ	
3.1.2 対象学部の建物構成	
3.1.3 エネルギー消費の特徴	
3.1.4 実験研究機器の概要	
3.2 適用したスマートグリッドシステム	56
3.2.1 電力消費側の節電システム（節電ナビゲーション）	
3.2.2 電力供給側の発電システム（マイクログリッドシステム）	
3.2.3 節電システムの役割分担	
3.3 節電効果の推定	60
3.3.1 電力ピーク平準化量	
3.3.2 省エネルギー量（低炭素化量）	
3.4 実証結果	63
3.4.1 電力ピーク平準化効果	
3.4.2 省エネルギー効果（低炭素化効果）	
3.4.3 室用途別の電力消費原単位	
3.5 考察	69
3.5.1 節電効果の検証	
3.5.2 前年度との効果の比較	
3.6 第3章のまとめ	74
3.7 本研究に関わる論文と参考文献	75

第4章	大学キャンパスの電力ピーク平準化と低炭素化の実証研究	76
4.1	中部大学の施設概要	77
4.1.1	建物概要	
4.1.2	設備概要	
4.1.3	エネルギー消費の概要	
4.2	理系、文系等のエネルギー消費の特徴と対策	81
4.3	キャンパスグリッドシステムの構築	83
4.3.1	二層型グリッドシステムの概要	
4.3.2	節電対策の概要	
4.3.3	発電設備の概要	
4.4	効果の内訳	87
4.4.1	節電ナビのピーク電力平準化効果	
4.4.2	マイクログリッドのピーク電力平準化効果	
4.4.3	節電メールによるベース電力の低減効果	
4.4.4	昼間電力の削減効果	
4.4.5	太陽光発電の効果と課題	
4.4.6	コージェネの効果	
4.5	考察	94
4.5.1	電力ピーク平準化について	
4.5.2	低炭素化について	
4.5.3	経年の取り組みの効果	
4.5.4	学部のスマートグリッドとの比較	
4.5.5	低炭素化量のベンチマーク評価	
4.6	第4章のまとめ	99
4.7	本研究に関わる論文	101

第5章 二層型グリッドモデルの評価と今後	-----102
5.1 中部大学の将来達成値の推定	-----103
5.1.1 設備更新の原単位の把握	
5.1.2 低炭素化の可能量の推定	
5.1.3 電力ピーク平準化の可能量の推定	
5.1.4 他の取り組みとの比較	
5.2 四地域実証との比較と今後	-----113
5.2.1 四地域スマートコミュニティ実証の概要	
5.2.2 BEMS 機能について	
5.2.3 節電機能と発電機能の比較	
5.2.4 地域との低炭素化モデルに向けて	
5.3 エネルギーマネージメントの事例と波及効果	-----119
5.3.1 学内での活動（学生 NPO との連携）	
5.3.2 学外への発信（中部大学シンポジウム）	
5.3.3 システムのハード、組織、ソフト	
5.4 第5章のまとめ	-----134
5.5 参照資料	-----135
謝辞	
参考資料	-----137
(1) 清水建設CSR報告書特集記事 （取り組みを段階毎にまとめたもの）	
(2) 経産省スマートコミュニティ事例集 （経済産業省の全国の事例から当該を抜粋）	
(3) 中部大学スマートグリッドの取り組みの要約版	

はじめに

2015年のCOP21のパリ協定から、日本は2030年までにCO₂排出量を26%削減する事が国際的な約束となった。これを受けて、エネルギー白書では2030年に向けて建物の徹底した省エネルギーと再生可能エネルギーの推進および、新たなエネルギーシステムが方針に掲げられた。この為には、ZEB等の低炭素化建物への建替えはもとより、CO₂排出の大多数を占める既存建物への適用性の高い低炭素化技術の研究や実証が重要となる。

一方、多数の既存建物を所有する中部大学では、キャンパスの拡大や実験研究機器の増設に伴って2010年夏期にはキャンパスの電力引き込み容量が電力インフラの上限に近づく事態となり、電力ピークの平準化と電力消費量の削減が喫緊の課題となっていた。これに加えて、東日本大震災に起因する2011年度の節電要請を受けて、中部大学では省エネルギー活動とその取り組み組織を強化しこれに対応した。この取り組みによって、2011年度は一定の成果を達成できたものの、多棟多室で構成され多様なエネルギー消費となる大学施設の施設管理は容易ではない状況であった。

このような背景において、2012年度から、中部大学と清水建設の間で、この多棟の建物での節電と発電の最適化を目指し、施設管理者と施設利用者が節電に協働するスマートグリッドシステムの共同実証が着手された。このスマートグリッドは、2014年からキャンパスに展開されて、建物群を管理する学部グリッドと学部群を管理するキャンパスグリッドの二層型グリッドのマネージメントシステムが構築された。

これは図-1に示す、学部を地域の街区に、キャンパスを街区から成る地域に見立てて、街区での節電と発電および、相互の電力消費の融通を行い電力利用の最適化を行うキャンパス版のスマートコミュニティを目指したものである。

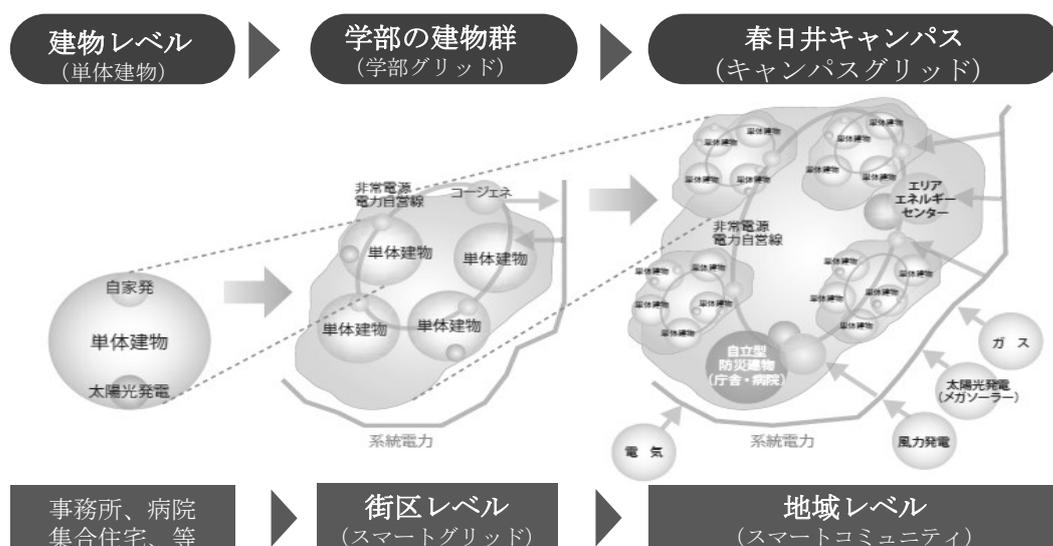


図-1 スマートグリッドから地域低炭素化への展開のコンセプト

本論文は、このエネルギーに対する社会的な課題を背景とした建物の省エネルギーについての取り組みおよび、2012年度からの5年間の中部大学のキャンパスを対象としたスマートグリッドの実証研究をまとめている。この研究は、既存の多棟施設を対象に、低炭素社会に向けた更なる省エネルギーと再生可能エネルギーを利用した、今後の低炭素化モデルとして参照されることを目標としたものである。

第1章

研究の目的と論文の概要

第1章

研究の目的と論文の概要

1.1 取り組みの背景と研究の目的

1.1.1 社会的な背景と中部大学の取り組み

2015年のパリ協定を受けて、エネルギー白書では2030年度に向けて更なる省エネルギーと再生可能エネルギーの推進の方針が立てられ、東日本大震災に起因する電力ピークの平準化が社会的課題となっている。

一方、電力の消費側の中部大学では、2010年度に消費電力が契約電力を超過した事および、2011年度の節電要請を受けて省エネルギー活動を強化し対応したが、多棟多室の建物構成の特徴を持つ大学施設の管理は、容易ではない状況であった。

大学施設についての既往の研究では、理系学部の実験研究機器等による電力の多消費が明らかになっており、中部大学においても、実験研究機器と想定され通年消費されるベース電力消費が年間の電力消費量の7割を占めた、実験機器や施設運用の重複によってピーク電力を生じ、低炭素化（省エネルギー）と電力ピーク平準化に大きな課題であった。

図-1-1は、2011年度より中部大学の大規模なキャンパスを対象に、3章と4章で述べるスマートグリッドを適用して上記の課題について取り組み、2015年度にはCO₂排出量原単位で30%の省エネルギー（低炭素化）となったことを示している。この取り組みについての実証研究を本論文でまとめている。

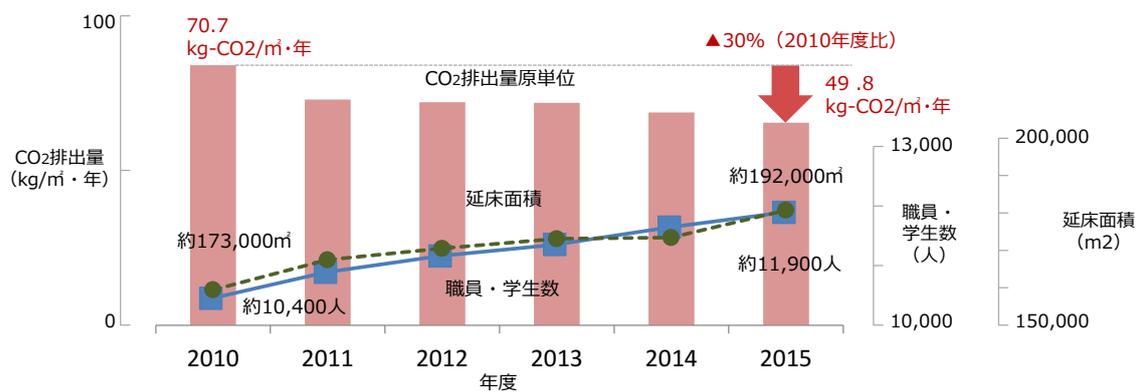


図-1-1 中部大学のキャンパスの低炭素化の実績

1.1.2 既往の関連の研究について

大学施設の多様なエネルギー消費について多くの研究が行われてきた。

エネルギー消費の研究については、多棟多室である施設の実態把握が必要であり、張らは、理工系キャンパスにおける実績から、講義室、研究室等の年間電力消費と日電力消費をパターン化した¹⁻¹⁾。三瀬らは、エネルギー需要の推定からベース電力の存在を明らかにし¹⁻²⁾、菊田らは、多様な大学施設のエネルギー消費特性を分類¹⁻³⁾した。宋らは、非空調エネルギーを考慮したエネルギー消費の分離推定法を提案¹⁻⁴⁾し、大橋らは、大規模な総合大学のエネルギー消費について、文系理系のカテゴリ分けをして、実測に基づいたエネルギー消費分析を行っている¹⁻⁵⁾、¹⁻⁶⁾。

理系建物の大きなベース電力の課題が明らかとなり、大橋らは、理系研究施設について、詳細な電力消費測定からの実態をふまえた省エネルギー手法を、シミュレーションにより定量評価している¹⁻⁷⁾。また、大学施設のような多数室の建物設備の運用については、山元ら¹⁻⁸⁾によって、空調や照明等の個別分散機器の使用状況が調査され、停止忘れが多くみられ、非使用室の設備機器の管理の重要性が示された。

一方、電力ピーク抑制については、東日本大震災による電力需給逼迫を背景として、張らは、大学施設について東日本大震災前後の省エネルギー対策の実施効果を調査¹⁻⁹⁾し、日本サステナブル協会や学会により、震災前後の建物用途毎や具体的な対策についての全国的な調査がなされた。¹⁻¹⁰⁾、¹⁻¹¹⁾、¹⁻¹²⁾

ICTによる通信技術を取り入れたピーク電力の平準化についての研究も行われ、迫らは、インターネットを利用して電力消費のパターンを調査し、異なる用途の建物の組合せで電力ピーク抑制モデルを示し、多数棟のマネジメントの有効性についての報告¹⁻¹³⁾を行っている。また、藤山らは、実験研究機器の電力使用について、スマートフォンを用いた見える化による管理手法を報告し¹⁻¹⁴⁾、迫田らは、震災直後の電力需要対策として、省エネルギー、ピークカット、運転停止の3つの段階を設定し、意識向上による省エネルギーの取り組みを報告している¹⁻¹⁵⁾。

また、2011年より北九州等の四地域において、発電と節電を組み合わせたスマートコミュニティの取り組みが行われ、約2割のピーク電力平準化等の成果が実証されている¹⁻¹⁶⁾。

このように大学のエネルギー消費の状況は、文系理系などの学部の用途によって多様である。また、建物が多棟多室で構成され、個別分散型空調などの多数のエネルギーを消費する機器が設置されているので、それらの管理が課題となる。これには、近年の多棟の建物群を対象としたスマートコミュニティの管理システムが有効と考えられる。

1.1.3 研究の目的

2030年の低炭素化目標に向けて、更なる省エネルギーと再生可能エネルギー推進の政策が取られている。省エネルギー法では、事業者単位での所有建物群のエネルギー消費の削減義務（低炭素化）が課されている。

上記の社会的な課題に対して、CO₂排出量の大多数を占める既存建物に適用性の高い対策が重要であるものの、運用されている既存建物には、新築の様な新しい省エネルギー技術の適用は制限され、改修による新技術の適用には、新築から約20年後の更新時期¹⁻¹⁷⁾まで待たねばならない。

この様な背景において、既存の多棟の建物から成る大学キャンパスに、既往の研究で課題とされている実験研究機器まで含んだ更なる節電と、太陽光発電の再生可能エネルギー利用を行うスマートグリッドシステムを適用し、低炭素化と電力ピーク平準化に取り組んだ。本研究の目的は、この取り組みを実証し、今後も社会的に必要とされる既存の多棟建物の低炭素化と電力ピーク平準化に、参照されるモデルとすることである。

1.2 論文の概要

本章に続く2章では、近年の建物のエネルギーに関する社会動向の概要と、これを受けた建物のエネルギー消費の対策と課題についてまとめ、本研究の対象とした中部大学のキャンパスでの実証研究に至る経緯を整理している。

2章の前半は、単棟の単年度から複数棟の複数年度に、対象と期間が拡大された省エネルギーの取り組みとその課題についてまとめている。

2章の後半は、低炭素化としての量の削減に加えて、東日本大震災以降の大きさである電力ピークの平準化について、遠隔地多棟型や隣接地多棟型の建物群を対象にした取り組みとその課題についてまとめている。

3章では、既存の理系学部の建物の低炭素化と電力ピーク平準化の実証研究について述べる。既往の研究によって理系学部の実験研究機器による電力の多消費が明らかになっており、研究対象とした中部大学の生命健康科学部においても、実験研究機器等によるベース電力が年間の電力消費量の6割を占めていることおよび、電力ピーク時の具体的な対策と多棟多室の建物管理が課題となっていた。

適用したスマートグリッドシステムは、このベース電力の節電とピーク電力の平準化を行って、エネルギー消費の最適化を目指したものである。

ピーク電力の平準化には、事前に電力消費の一日のプロフィールを予測し、リアルタイムで対策を行う必要がある。また、低炭素化には、ベース電力の主な要因と考えられる実験研究機器の節電が効果的となる。このスマートグリッドは、各教職員と節電ナビゲーションシステムを利用して実験研究機器も含めた節電を行い、発電側は太陽光発電等の発電を電力消費予測に従って蓄放電するマイクログリッドを用いて、節電と発電の双方で省エネルギー(低

炭素化)と電力ピーク平準化を行うものである。

4章では、キャンパスに展開された学部グリッド群と、この上位のキャンパスグリッドから成る二層型グリッドの実証研究について述べる。

既往の研究では、キャンパス全体に一元化したシステムを適用し実証した事例が少なく、施設管理面からも、キャンパス全体のエネルギー管理システムが課題であった。

この二層型グリッドは、一層目は各学部の建物群をマネジメントし、二層目はキャンパスの各学部群をマネジメントするものである。

具体的には、CO₂排出(低炭素化)の大きな要因は、電力消費量の70%を季節変動によらないベース電力が占め、これは主に実験研究機器や設備機器の稼働によるものであった。この不特定多数の機器の節電には、キャンパスの受電点の電力消費予測から、節電メールを各学部へ配信し、運用によるベース電力の削減を図った。

キャンパスのピーク電力の要因については、夏冬の空調の電力消費ピークと、厚生部門のクラブ活動や大型実験機器等の施設運用のピークが重複して生じていた。前者は受電点の電力消費予測から、厚生部門の電力ピーク時にマイクログリッドの放電を行い、後者は実験時間のシフトを研究者にナビゲーションして、ピーク電力の平準化を図った。

5章の前半では、この二層型グリッドモデルの将来の効果量と機能の評価を試みた。

効果量(低炭素化)としては、これまでの運用による節電と発電に、設備更新による効果を加えて、2030年のCO₂排出削減目標から評価した。

機能としては、2011年度からの行政主導で行われた北九州等の四地域スマートコミュニティの総括で記述されている制御、節電、発電機能を指標として評価した。

また、上記の評価を経て、今後の地域への展開についての考察を加えている。

5章の後半では、今後の参照資料として、クラウドシステムを利用した施設利用者との省エネルギー活動の事例と、今回のエネルギー管理の基本となったソフトとハードの主な資料および、この取り組みの波及効果として産学官に展開された中部大学シンポジウムの概要について記述した。

1.3 参考文献

- 1-1) 張 健、許 雷：コージェネレーションシステムを用いた大学キャンパスにおけるエネルギー調査－需要側の電力消費の実態 その2、日本建築学会環境系論文集, 第 673号, pp. 185-192, 2012. 3
- 1-2) 三瀬農士、佐藤春樹：慶応義塾大学湘南藤沢キャンパスにおける電力および冷暖房需要の推定, 日本建築学会環境系論文集, 第 609号, pp. 55-62, 2006. 1
- 1-3) 菊田弘輝、羽山広文：大規模総合大学キャンパスのエネルギー消費構造の分析, 北海道大学札幌キャンパスを対象として、日本建築学会環境系論文集 第 80 巻第 711 号, pp. 461-469, 2015. 5
- 1-4) 宋 城基：多様な空調システムが混在する大学キャンパスのエネルギー消費実態調査研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 156, 2010. 3
- 1-5) 大橋 巧、宮崎正幸、下田吉之：大規模総合大学施設におけるエネルギー消費実態に関する研究 電力日負荷曲線の実測データを用いた大阪大学のエネルギー消費特性分析, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻第 684 号, pp. 193-201, 2013. 2
- 1-6) 大橋 巧、宮崎正幸、下田吉之：理科系研究施設の電力消費実態と省エネルギー手法の定量評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻第 688 号, pp. 529-536, 2013. 6
- 1-7) 大橋 巧、宮崎正幸、宅 康平、下田吉之：理科系研究施設におけるエネルギー消費内訳の推計, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻第 689 号, pp. 443-450, 2014. 5
- 1-8) 山元武士、早川 眞：大学施設におけるビル用マルチ空調機の省エネルギーに関する研究 夜間の一斉停止の効果, 空気調和・衛生工学会論文集, PP. 43-49 No. 154, 2010. 1
- 1-9) 張 健、許 雷、中島 祐輔、高口 洋人：超高層大学におけるエネルギー消費に関する調査－東日本大震災前後夏期におけるエネルギー消費量の比較、日本建築学会環境系論文集, 第 699号, pp. 451-458, 2014. 5
- 1-10) DECC 非住宅建築物の環境関連データベース、(一社) 日本サステナブル協会、2016. 6
- 1-11) 依田他：非住宅（民生業務部門）建築物のエネルギー消費量夏季節電対策の実態調査（大学・研究機関とスポーツ施設）、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 161-164, 2012. 9
- 1-12) 高口他：東日本震災後の夏期節電状態, 非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース（DECC）の構築と解析 その2、日本建築学会環境系論文集, 第 703号, pp. 795-801, 2014. 9
- 1-13) 迫 博司、野城智也、馬郡文平：デマンドレスポンスに資するリアルタイムモニタリングを用いた建物群の電力デマンドマネジメントの有効性に関する考察, 日本建築学会技術報告集, 第 19 巻第 43 号, pp1171-1174, 2013. 10

- 1-14) 藤山拓哉、谷口力也、野城智也：多主体で構成される建物の総合的エネルギーマネジメントに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp659-660, 2014. 9
- 1-15) 迫田一昭、岡本泰英、柳原隆司、磯部雅彦：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その9 東京大学における電力需給対策に向けた取組, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2012. 92
- 1-16) 次世代エネルギー・社会システム実証事業～総括と今後について～、資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部、平成 28 年 6 月 7 日
- 1-17) (財) 建築保全センター：建物のライフサイクルコスト 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修, p. 292-313 , 平成 17 年度

第2章

省エネルギーについての社会動向と これまでの取り組み

第2章

省エネルギーについての社会動向とこれまでの取り組み

建物の省エネルギーの取り組みは、社会的な動向に影響を受ける。2章では、この主な社会動向とこれを受けた建物側の取り組みについての知見と課題をまとめ、これらを考慮した、3章以降の中部大学のキャンパスの建物群での実証研究に至る経緯を整理している。

近年の建物のエネルギーについての主な社会的な動向を表-2-1に、各政策の目標値と実績を表-2-2にまとめた。

表-2-1 建物のエネルギー関連の主な社会動向の概要

年度	2005～2009	2010～2014	2015～2019	2020～2030
締約国会議(COP)	・京都議定書発効(COP3)		・パリ協定(COP21)	・2030年(2013年比▲26%)
省エネルギー法	・熱電のエネルギー一体管理	・事業者単位のエネルギー管理	・事業者のクラス分け評価制度	
自治体(東京都)	・地球温暖化対策計画書制度	・第一計画期間	・第二計画期間(目標▲20%)	
経済産業省		・四地域スマートコミュニティ実証	・ネガワット取引等の取り組み	
エネルギー関連		・東日本大震災 ・節電要請	・エネルギーミックスの発表 ・電力小売自由化	・送配電分離

2000年前後では、建物のライフサイクルコストが建設費の約3倍となることから、エネルギー費は更新費、維持保全費のライフサイクルコストの3つの要素のひとつとして、コストの削減としての取り組みが主な目的であった。

2005年の京都議定書の発効に伴って、二酸化炭素排出量の過半を占める建物のエネルギー消費の削減についての社会的なニーズが高まり、省エネルギーの目的は、前述のコストに加えてCO₂排出量の削減が加わった。

2010年には、省エネルギー法が建物単位であったものに事業者単位が加わり、対象が拡大され、複数の所有建物群を対象とした複数年度にわたるエネルギーマネジメントが必要となった。

2011年の東日本大震災では、沿岸部の発電所や配電網の被災によってエネルギーが途絶したので、生活や仕事の継続に影響を受け、在館者の為に建物の非常時の発電機能が重要な事項となった。また、原子力発電所の停止によって国内の電力供給能力が限られたため、量の削減である低炭素化に加えて、大きさである電力ピークの平準化が社会的な課題となり、2011年度以降は全国的な節電要請が出された。

また、2011年から更なるエネルギーの有効利用を目的として、建物単体での省エネルギー

一に加えて、ICT 技術を利用し建物間等でのエネルギーの有効利用を行う、四地域でのスマートコミュニティ実証事業が行われた。

表-2-2 省エネルギーに関する主な政策目標と実績のまとめ

項目	政策、法律、調査等	内容
政策	地球温暖化対策計画	・日本の目標はCO ₂ 排出量の2030年に2013年比26%削減 (上記の内で業務その他の部門は40%の削減目標)
	エネルギーミックス	・徹底した省エネルギーにてエネルギー消費を17%削減 ・再生可能エネルギーの推進により19~20%削減 ・二酸化炭素排出係数0.37 kg-CO ₂ /kWhに低減
	省エネルギー法	・事業者単位の省エネルギー管理(年平均1%削減)
代表的な取組の実績	東京都環境確保条例	・CO ₂ 排出量の削減実績14.1%(2005年比の2012年度実績) ・2011年度の節電要請時は7割の事業所でピーク電力20%削減
	空気調和・衛生工学会の節電対策の実態調査	・2011年度節電要請時の調査 (事務所用途でピーク電力平準化14%、一次エネルギー14%削減)

2.1 節では、これらの建物のエネルギーに関する社会動向について概要を整理し、この政策等のもとで行われた代表的な取り組み事例と実績についてまとめている。

2.2 節以降は、建物側の取り組みの記述となっている。まず、建物の電力消費プロフィールによって用途毎のエネルギー消費の特徴をまとめ、2.3 節では、単体建物での取り組み、2.4 節では複数建物での取り組みについての知見と課題をまとめている。これらの取り組みでは、期間、対象および技術が拡大されて、3 章と 4 章の中部大学キャンパスの多棟建物での低炭素化と電力ピーク平準化の実証研究に至る経緯となっている。

2.1 省エネルギーに関する社会的動向

建物の省エネルギーは、社会的な政策や動向を受けて取り組みの目的や対象が変化する。本節では、近年の国内外の動向の中で、主なものについて概要をまとめた。

2.1.1 国際的な動向と日本の政策

球温暖化が世界的な課題と成り、1992年のリオ・デ・ジャネイロにおいて開催された環境と開発に関する国際連合会議（UNCED）において、採択された地球温暖化問題に関する国際的な枠組みを設定され、気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）が、1994年に発効された。

1997年の第3回締約国会議（COP3、京都会議）においては、法的拘束力のある数値目標を定める京都議定書が採択され、日本では2005年に公布及び告示され日本の目標は1995年比6%の削減となった。

2015年の第21回締約国会議（COP21、パリ会議）において2020年以降の地球温暖化対策を定められた。これを受け、日本は2030年度に2013年比で温室効果ガスを26%削減する約束草案を提出した。

2016年に地球温暖化対策計画²⁻¹⁾が閣議決定され、そこでの部門ごとの排出量の目標は、表-2-1-1に示す様に、一般の建物が該当する業務その他部門については、2013年度の排出量279百万t-CO₂から2030年度の排出量168百万tCO₂の削減となり、排出量削減率は約40%とされた。

表-2-1-1 エネルギー起源二酸化炭素の各部門の排出量の目安

	2005年度 実績	2013年度 実績	2030年度の 各部門の 排出量の目安
エネルギー起源CO ₂	1,219	1,235	927
産業部門	457	429	401
業務その他部門	239	279	168
家庭部門	180	201	122
運輸部門	240	225	163
エネルギー転換部門	104	101	73

[単位：百万t-CO₂]

（「地球温暖化対策計画、平成28年5月18日」第3節、温室効果ガス別その他の区分ごとの目標より抜粋）

2.1.2 国内の動向

(1) エネルギーミックス

2016年に経済産業省は原子力や火力、水力など各種方式を組み合わせた図-2-1-1の2030年時点での「望ましい電源構成（ベストミックス）」案を公表した²⁻²⁾。

ここでの主な方針は、建物の徹底した省エネルギーの推進、再生可能エネルギーの最大限の導入および、これらを掘り起こすエネルギーマネジメントなどを進めていくこととされた。

また、電力の二酸化炭素排出係数は、図-2-1-2に示すように0.37kg-CO₂/kWhが目標とされた。

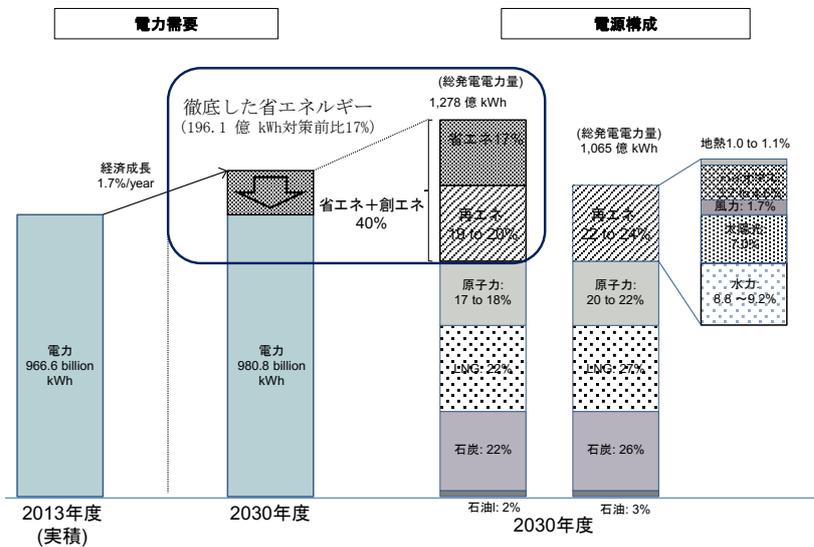


図-2-1-1 エネルギーミックス（経済産業省 エネルギー白書（2016年）より）

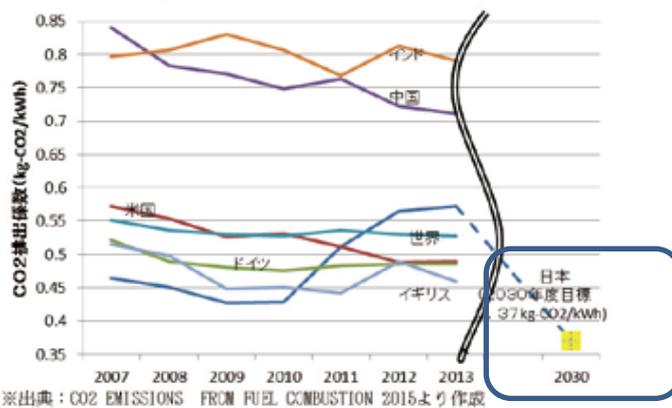


図-2-1-2 各国のCO₂排出係数実績と日本の2030年度目標
 （経済産業省 エネルギー白書（2016年）より）

(2) 省エネルギー法の改正

前述の社会動向のもと、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（以下「省エネルギー法」）が順次改正された。近年の主な改正点は下記の2点である。

2008年に事業者単位制が加わり、企業は所有施設全体の省エネルギー対策を求められたことおよび、担当者の明確化のために企業側にエネルギー管理統括者及びエネルギー管理企画推進者の届け出が必要となった。図-2-1-3に省エネルギー法での建物単位から事業者単位への改正についての資料²⁻³⁾を示す。

2011年の東日本大震災の原子力発電所の停止に伴って、発電能力の上限に近づき、全国的な節電要請が出された。省エネルギー法においても、電力平準化が事業者として取り組むべき項目と成り、省エネルギーには量と電力ピークの両方についての削減計画が必要となった。図-2-1-4に、電力ピーク平準化の管理についての資料²⁻⁴⁾を示す。

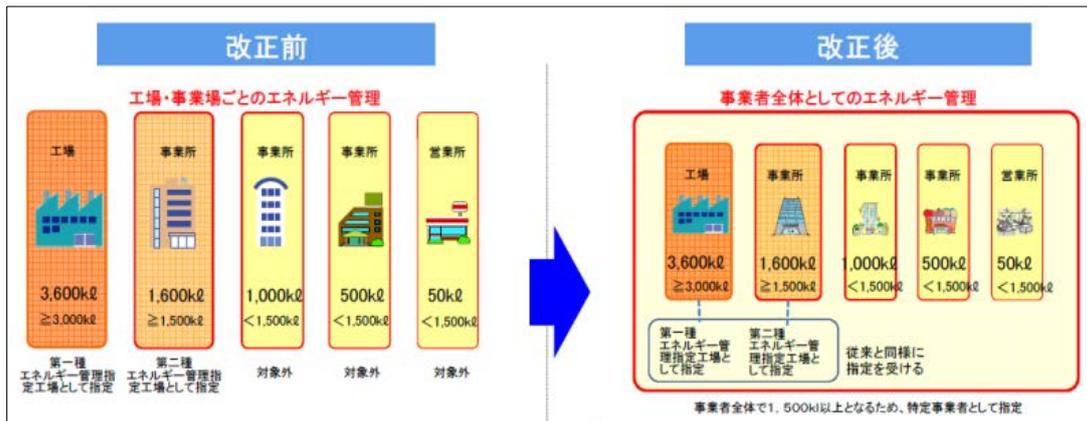


図-2-1-3 省エネルギー法の事業者単位への改正

((「工場等に対する省エネルギー法の施行状況等について」資源エネルギー庁、平成23年1月)より一部抜粋)

- 電気の需要の平準化に資する措置を実施した事業者が、省エネ法上不利な評価を受けないよう、新たな原単位を策定。

新たな原単位として、

➡ **電気需要平準化評価原単位**を策定

○工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準(抜粋)

- エネルギーの使用の合理化の基準(略)
- エネルギーの使用の合理化の目標及び計画的に取り組むべき措置

事業者は、上記Iに掲げる諸基準を遵守するとともに、その設置している工場等における**エネルギー消費原単位及び電気の需要の平準化に資する措置を評価したエネルギー消費原単位(以下「電気需要平準化評価原単位」という。)**を管理し、その設置している工場等全体として又は工場等ごとに**エネルギー消費原単位又は電気需要平準化評価原単位を中長期的にみて年平均1パーセント以上低減させることを目標として、技術的かつ経済的に可能な範囲内で、1及び2に掲げる諸目標及び措置の実現に努めるものとする。**

図-2-1-4 省エネルギー法の電力ピーク平準化対策の追加

((「省エネルギー法の改正について」資源エネルギー庁、平成26年4月)より一部抜粋)

(3) 社会的な取り組みの実績例

本研究の目的とする低炭素化と電力ピーク平準化について、社会的に取り組まれた他事例の中から、代表的な東京都環境確保条例の実績²⁻⁵⁾と四地域スマートコミュニティの実証事業²⁻⁷⁾および、2011年からの節電要請による電力ピーク平準化についての日本建築学会の全国調査²⁻⁸⁾の概要についてまとめた。

1) 自治体(東京都)での取り組み

各自治体の取り組みの中で、東京都の環境確保条例は代表的な取り組みで、下記に実績をまとめた。この条例では、年間のエネルギー消費が、省エネルギー法の対象事業所と同様に原油換算1500kL/年以上の事業所を対象としている。

図-2-1-5の低炭素化の実績²⁻⁵⁾は、2005年度比で2012年度には14.1%の削減を達成されている。このうち2011年の節電要請年度に6.8%削減となっており、ほぼ半分が節電要請年度に達成されている。この2011年度の節電対策は、表-2-1-1の事業者のアンケート調査²⁻⁶⁾から、主に施設運用による節電であったことが分かる。

エネルギー消費量が1500kL/年以上の事業所(図-2-1-5でのキャップ&トレード制度の対象事業所)では、取り組みが強化されておりこれを上回る22%の削減実績となっている。また、電力の平準化については、表-2-1-2のアンケート調査²⁻⁶⁾では、2011年度には70%の数の事業所で20%以上のピーク電力の抑制を達成しているが、2014年にはリバウンドし、20%の電力ピーク削減を達成した事業所数は70%から34%に低下している。

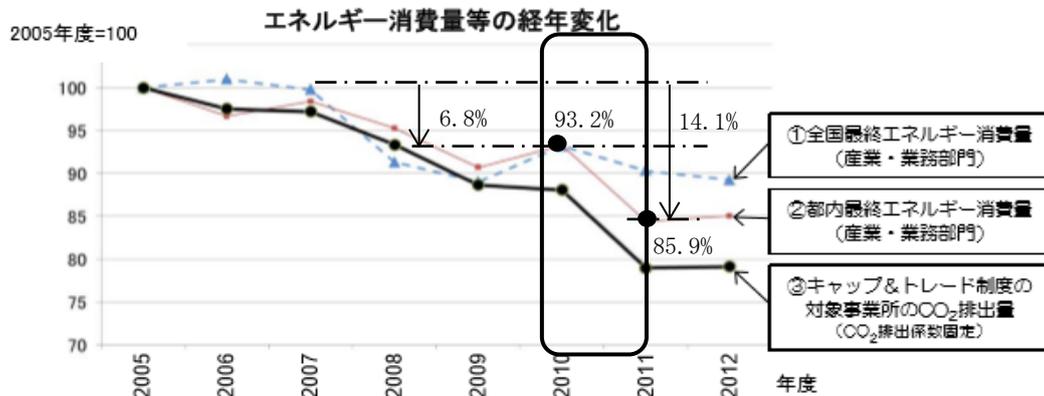


図-2-1-5 「東京都環境局グリーンビルレポート」²⁻⁵⁾より抜粋

表-2-1-2 事業所の具体的取り組みの事例

「大口需要家(大規模事業所)に対するアンケート調査結果」²⁻⁶⁾より抜粋

節電項目	具体的な対策	2011年度	2014年度
		採用率 [%]	
ピーク電力抑制	20%以上のピーク電力を削減	70	34
省エネルギー	室温の緩和(28℃設定等)	68	39
	CO ₂ 濃度管理	62	66
	空調開始時間と始業時間を同時に	39	35
	ピーク時間の熱源強制停止	55	-
	照明の間引き	80~83	-
	LED照明への順次更新	69	79

2) 四地域のスマートコミュニティ実証

2011年度より2014年度にかけ、建物間等での更なるエネルギー有効利用を目指して、横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市の四地域においてスマートコミュニティの取り組みが実証²⁻⁷⁾された。

ここでのスマートコミュニティの定義は、コミュニティ単位で、分散型エネルギーをITや蓄電池等を活用したエネルギーマネジメントシステムを通じ、エネルギー需給を総合的に管理・最適化するとともに、高齢者の見守りなどの他の生活支援サービスも取り込んだものとされた。

この取り組みの成果のひとつとして、電力ピーク平準化の実績を図-2-1-6に示す。これは、電力ピーク時間帯に高めの電力料金を設定したもので、平準化効果は約15%から22%となっている。

北九州市		2012年度実証結果 (サンプル数: 180)		2013年度実証結果 (サンプル数: 178)		
電気料金(※1)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)
TOU	-(※4)	-(※4)	-(※4)	-(※4)	-(※4)	-(※4)
CPP=50円	-18.1%	5%水準	-19.3%	1%水準	-20.2%	1%水準
CPP=75円	-18.7%	5%水準	-19.8%	1%水準	-19.2%	1%水準
CPP=100円	-21.7%	1%水準	-18.1%	1%水準	-18.8%	1%水準
CPP=150円	-22.2%	1%水準	-21.1%	1%水準	-19.2%	1%水準
けいはんな		2012年度実証結果 (サンプル数: 681)		2013年度実証結果 (サンプル数: 635)		
電気料金(※2)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)
TOU(20円上乗せ)	-5.9%	1%水準	-12.2%	1%水準	-15.7%	1%水準
CPP(40円上乗せ)	-15.0%	1%水準	-20.1%	1%水準	-21.1%	1%水準
CPP(60円上乗せ)	-17.2%	1%水準	-18.3%	1%水準	-20.7%	1%水準
CPP(80円上乗せ)	-18.4%	1%水準	-20.2%	1%水準	-21.2%	1%水準

(※1) 北九州市実証では、夏季のピーク時間帯は午後1時～5時、冬季のピーク時間帯は午前8時～10時、午後6時～8時

(※2) けいはんな実証では、夏季のピーク時間帯は午後1時～4時、冬季のピーク時間帯は午後6時～9時

(※3) 統計的有意性とは、その効果が単なる偶然により生ずる可能性を表したものを。

(※4) 北九州市実証の被験者は、既にTOU契約に加入している180世帯であったため、TOUの効果と比較検証することができなかった。

21

[出典] 京都大学大学院 依田教授、政策研究大学院大学 田中教授及びボストン大学経済政策研究所 伊藤助教授による統計的検証結果

図-2-1-6 四地域実証でのピーク電力平準化実績

「次世代エネルギー・社会システム実証事業（総括と今後）」²⁻⁷⁾より抜粋

3) 2011年度の節電要請時のピーク電力平準化と省エネルギーの実績調査

日本建築学会で行われた東日本大震災後の夏期節電状態の調査²⁻⁸⁾からの抜粋を表-2-1-3及び表-2-1-4に示す。これによると、ピーク電力削減率は事務所平均で約13%、大学と専門学校では約12%、一次エネルギー削減率は事務所用途で約14%、大学と専門学校では16%の実績となっている。表-2-1-5に示すこの時の節電対策は、緊急の対策であったことから運用による対策となっているが、建物運用によって12~14%の低炭素化とピーク電力の平準化が可能であることを示している。

表-2-1-3 2011年8月のピーク電力削減率[%]の実績(2010年比)

	事務所	デパート、スーパー	ホテル、旅館	病院	大学、専門学校
北海道	1.3	-	4.1	6.0	6.7
東北	23.6	-	13.8	9.7	23.7
北信越	20.3	15.9	0.8	2.0	-
関東	18.2	17.4	11.1	7.5	11.6
中部	6.7	4.2	7.8	8.3	12.1
関西	11.1	4.8	6.3	1.6	-
中国・四国	9.7	2.9	0.9	-0.3	-
九州	14.2	11.0	4.1	4.9	-
全国	13.1	10.4	7.7	3.9	12.1

表-2-1-4 4月から9月の一次エネルギーの削減率[%]の実績(2010年比)

	事務所	デパート、スーパー	ホテル、旅館	病院	大学、専門学校
北海道	7.4	-	9.1	4.0	3.3
東北	20.0	27.0	16.8	12.9	27.7
北信越	14.9	13.9	12.1	5.5	-
関東	21.4	21.5	16.3	13.7	23.5
中部	6.7	4.2	7.8	8.3	12.1
関西	12.7	8.3	8.0	3.5	-
中国・四国	8.7	5.3	4.8	3.7	-
九州	8.7	12.4	3.5	0.4	7.9
全国	14.3	15.4	11.3	6.8	16.0

表-2-1-5 具体的な節電対策

区分	節電対策
空調	使用していない部屋の空調停止
	冷房温度の適正化
	ブラインド等による日射遮蔽
	冷房運転時間の削減
	空調機器の分散起動
照明	業務に支障のない範囲での消灯
	事務室、ロビー等の照明の間引き
他	エレベーター等の使用抑制
エネルギー消費の把握	電力ピーク時間帯の把握
	他のビルのエネルギー消費量データの参照

2.2 これまでの省エネルギー業務の取り組み

表-2-2-1に2003年度から筆者が携わった省エネルギー関連業務の変遷をまとめた。これらは前述の建物のエネルギーに関する社会動向に影響を受けており、期間が複数年に拡大され、対象が建物単体から複数棟に拡大され、適用技術も節電に発電が加わったものとなった。また、目的は量としての低炭素化に、大きさとしての電力ピーク平準化が加わったものと変化した。

これらの省エネルギー関連業務での課題と知見を、2.3節では建物単体について、2.4節では複数建物について述べる。

表-2-2-1 省エネルギー業務のこれまでの取り組みの概要

対応する章、節	記述項目	目的	手法	課題	知見
2.3節 単体建物での取り組み	1. 省エネ診断	コスト	チューニング 省エネ機器更新	・受電点データ程度での分析	・効果の簡易算出法（消費先別の効果把握）
	2. 用途別の特徴	コスト	日電力プロフィール分析 （空調、照明等）	・エネルギー消費先別の構成の把握	・用途別の特徴と課題（施設運用との密接な関連）
	3. 建物部位別の分析（病院用途）	消費構成の把握	季節別プロフィール分析	・ベース電力削減方法	ベース電力（医療機器）が低炭素化の大きな課題
	4. 大型施設の取り組み（期間の拡大）	CO ₂ 削減	建物更新計画による中期取り組み	・利用者、技術者の参画	・省エネルギー更新計画
2.4節 複数建物での取り組み	1. 遠隔地多棟（対象施設の拡大）	ピーク電力平準化	建物管理者・利用者との協働	・電力ピーク予測 ・情報の共有	・利用者との合意形成
	2. 遠隔地多棟（対象施設の拡大）	CO ₂ 削減	大型施設と支店群別の対策	・複数施設の一元管理（クラウド利用等）	・企業のエネルギー消費構成（大型施設が過半を占める）
	3. 隣接地多棟（適用技術の拡大）	CO ₂ 削減 ピーク電力平準化	適用技術の拡大（発電と熱の建物間利用）	・デマンドレスポンスの推進	・異種用途でのピーク平準化 ・多数地間の面的な高度利用
3章、4章 中部大学での取り組み	1. 一敷地多棟（中部大学）	CO ₂ 削減 ピーク電力平準化	多棟に一元化したシステムの適用（スマートグリッド）	・エネルギーマネージメントの継続（組織とツールの維持）	・実験機器の節電 ・ピークとベース電力別の対策

2.3 単体建物での取り組み

2.3.1 省エネルギー診断とエネルギー消費構成

2005年の京都議定書の発効に伴って、省エネルギーは、二酸化炭素排出量の過半を占める建物のエネルギー消費の削減について社会的なニーズが高まり、前述のコストに加えてCO₂削減の目的が加わった。建物の用途や同用途建物であってもエネルギーの使用状況は運用状況によって異なるので、省エネルギー効果は建物の調査に基づき算出する必要がある。

大多数の建物の具体的な省エネルギー効果を算出するためには、建物のエネルギー消費の構造が把握できるデータが整備されている必要があるが、このような建物は少数なのが現状である。

既存建物の計量は、受電点の電力消費と都市ガスの支払いの伴う月毎の消費量のみであることが多い。限られたデータをもとに、後述する電力消費プロフィールの分析から省エネルギーの項目と効果量を算出する手法を作りだし、建物の省エネルギーに関する知見をまとめた。また、最後にこの診断業務を通じての、課題と問題点をまとめている。

(1) 省エネルギー診断の手順

1) 手順

建物の主要な診断は、省エネルギー診断と耐震診断および、劣化診断の3つである。省エネルギー診断が他の診断と異なるのは、対象物が目視できるか否かと運用によって変化することである。よって省エネルギー診断は、エネルギー消費のグラフ化（見える化）を行い、年間の消費量エネルギー消費量の位置づけと運転状況を把握することから始まる。春夏秋冬の代表週の時刻別エネルギー消費データから季節毎の変化や昼夜や平日と休日の変化を確認し、課題の抽出と対策の特定化を行う手順となっている。

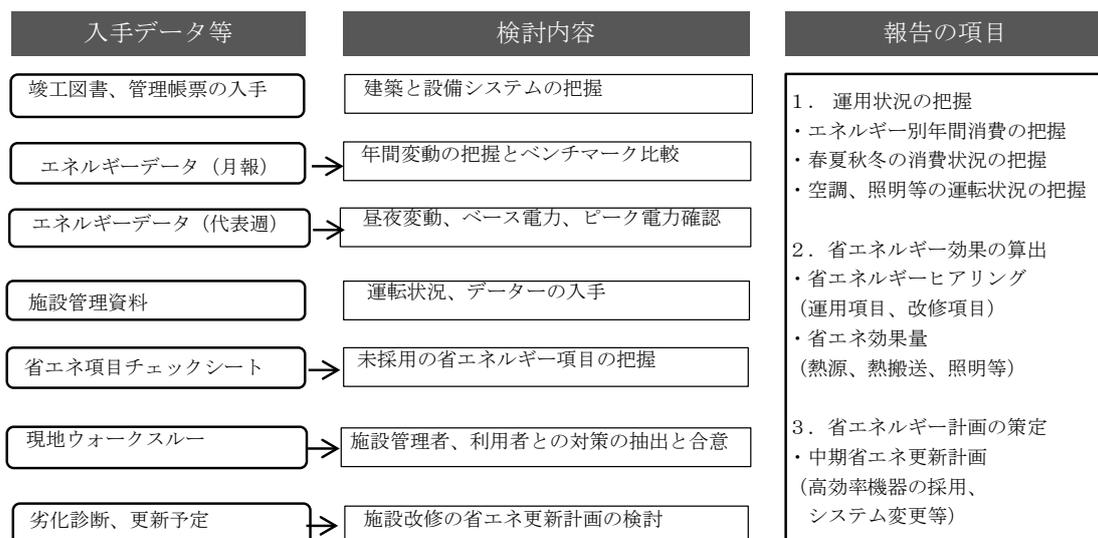


図-2-3-1 省エネルギー診断の作業フロー

2) 省エネルギー項目の抽出

省エネルギー項目についても、春夏秋冬の変化や運転が異なってくるので、調査日の状況で判断は難しい。よって運用と更新のアンケート票に施設管理者にヒアリングすることで、採用済と未採用の省エネルギー項目や、採用が難しい項目の要因の解決案を検討し、建物運用に整合した省エネルギー項目を設定する。具体的には、図-2-3-2 示す省エネルギー項目について現状での採否をヒアリングし、図-2-3-3 と図-2-3-4 に示す運用と更新による採用度を把握する、ここで未採用のものが省エネルギー項目の候補となる。

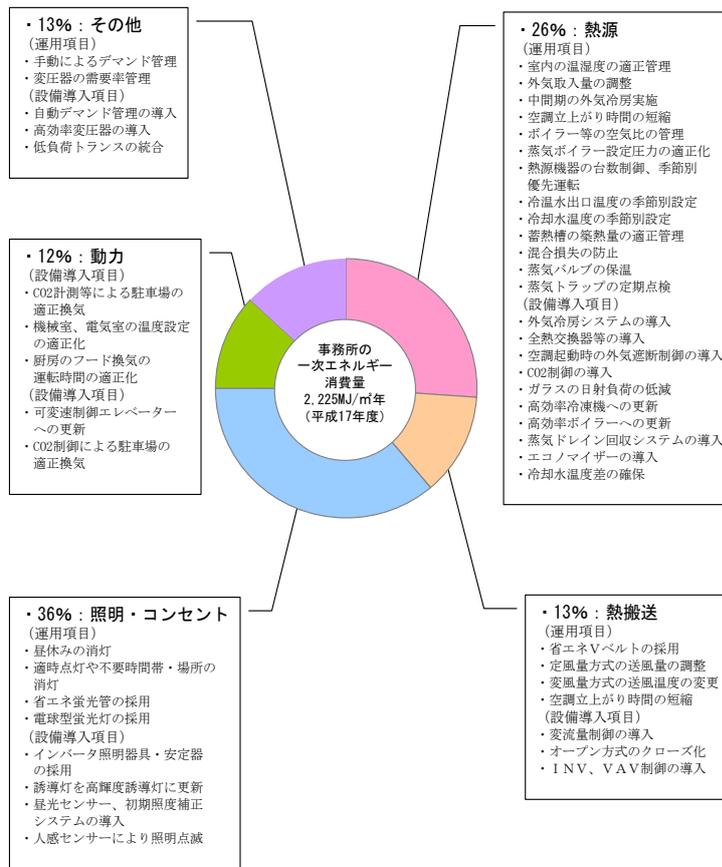


図-2-3-2 エネルギー消費先の割合と省エネルギー項目(事務所)(省エネルギーセンター)

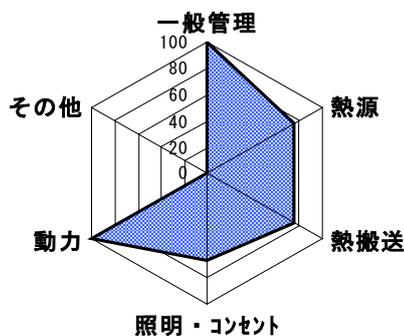


図-2-3-3 運用の省エネルギー採用状況例

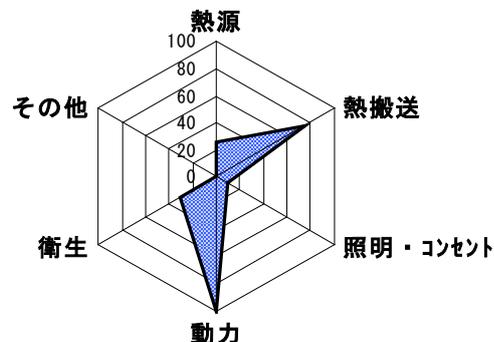


図-2-3-4 改修の省エネルギー採用状況例

3) 省エネルギー量の算出 (季節別重ね合わせ図)

実際のエネルギー消費量を把握するには、熱源、熱搬送、照明、コンセント、OA 機器や装置に区分されていることが望ましいが、現状は電力管理の面から、三相の動力と単相の電灯コンセントで計量されていることが多い。

これを補完するために、春夏秋冬のプロフィールの重ね合わせ図より、照明やコンセント、冷暖房用の熱源動力等のエネルギー消費量を把握する。機器更新による効率の向上率やチューニングの省エネルギー率、運転時間の適正化等の対策は、上記の各々のエネルギー消費量に省エネルギー対策の効果量を掛け合わす事で算出される。

具体例として、電力の季節別重ね合わせ図の事例を、季節別の代表日を平日について図-2-3-5 に、休日について図-2-3-6 に示す。この事例では、40%程度のベース電力消費が確認され、冬期と夏期の比較から 30%程度のピーク電力差は、冷凍機の稼働によるものと想定される。これに冷凍機の運転改善や更新による効率を掛け合わせて、省エネルギー量やピーク電力平準化を算出する。

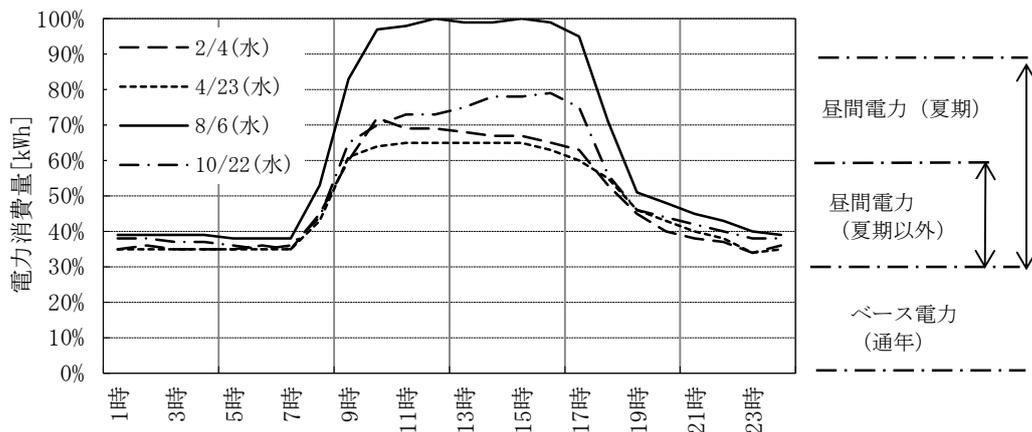


図-2-3-5 重ね合わせ図 (夏期の代表週の電力消費)

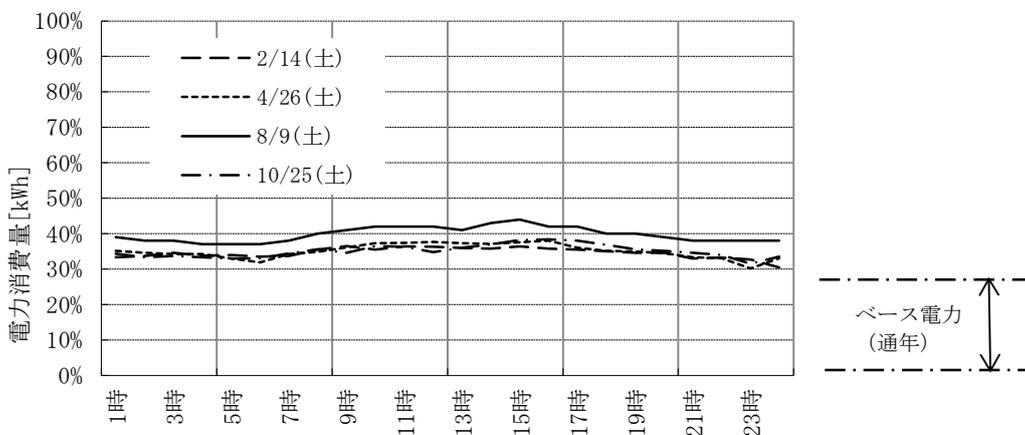


図-2-3-6 重ね合わせ図 (冬期の代表週の電力消費)

(2) 省エネルギー効果

前述のような手順によって実施した2008年度までの省エネルギー診断実績のうち、省エネルギー率まで算出した事例が113件あり、それらの散布図を図-2-2-7に示す。

建物毎の省エネルギーの実行状況によって省エネルギー効果に開きがある。平均の省エネルギー効果は7.1%であり、単年度の診断と対策では、省エネルギー効果は比較的小さいものに留まっている。

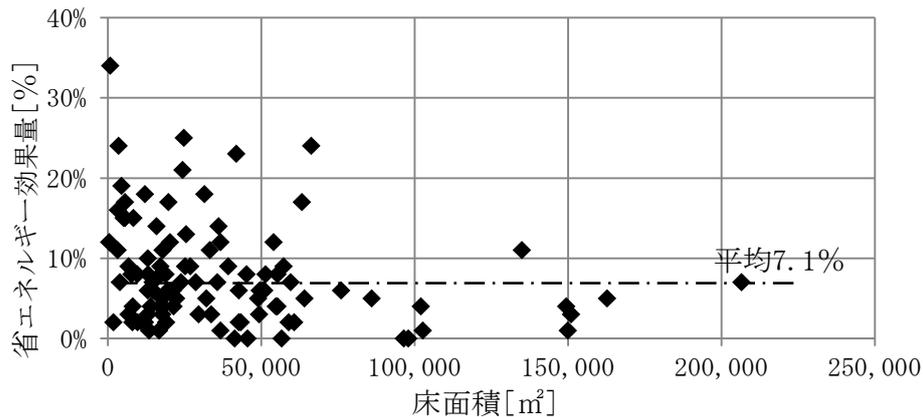


図-2-3-7 省エネルギー診断での平均省エネルギー率

(3) 建物のエネルギー管理の課題

省エネルギー診断を通じて、既存の建物のエネルギー管理の主な課題を下記にまとめた。既存建物の省エネルギーには、建物の代表点の電力データから、季節別や時刻別データに分析してエネルギーの消費先の使用量を把握し、運用を加味して省エネルギー項目を抽出し、大きい効果のものから実施していくことが適している。

1) エネルギー計量

- ・建物がある程度の年数を経ている為、今日でのBEMSが設置されていないことが多い。また、比較的新しい建物でも小規模の場合には設置されていない場合が多い。
- ・都市ガスや油の計量は、時刻別の計量は行われていないことが多い。

2) 計量点

- ・配電システムとしての管理のために、強電や弱電の配電系統毎の計量となり、エネルギー消費先やシステム毎には計量されていない事が多い。

3) 個別分散機器

- ・現地での手動発停となっており、パッケージ型空調機や照明器具などのような個別分散機器の数が多く管理が難しい。

4) エネルギー管理

- ・施設管理者で行われており、施設利用者の参画は基本的に無い。

2.3.2 用途別のエネルギー消費の特徴

建物のエネルギー消費は、設計内容によって多様であり、建物の運用が竣工時から変化し、そのままエネルギーの消費の変化に現われる。

ここでの知見は、一点目は、建物によって多様なプロフィールとなるが、個別のプロフィールが毎日繰り返されることである。建物のエネルギー消費（電力消費）は、用途によって様々なプロフィールとなり、建物固有のものである。設計や建物運用で決定されたプロフィールは毎日繰り返し現われ、空調の季節変動分が変化していく。

二点目は、医療施設や研究施設では、医療機器や研究機器の待機電力が主となるベース電力が、エネルギー消費量の過半を占めている事である。建物形態が多棟多室で構成されていることもあり、対策として施設利用者との連携した不要な機器の停止についての仕組みが必要と考えられる。

以下に、省エネルギー対策の基本となる、各用途のエネルギー消費プロフィールの特徴について述べる。

(1) 事務所施設の特徴

事務所施設は、図-2-3-8 の日電力モード図の様に 24 時間消費のベース電力に昼間の空調、照明の設備機器とコンセント電力消費が乗った形となる。

ベース電力と昼間電力の 20%程度となり、ベース電力の消費は昼間電力に比べて小さい。昼間電力は朝の出勤時の前から立ち上がり、昼間のピーク時に昼休みの消灯が行われればその分の電力消費が削減される。就業時間以降は従業員の退館の状況に応じて電力消費が午前 0 時に向けてなだらかに減少するが、空調や照明の消し忘れがあるとこの電力消費カーブは凸型の形状となる。

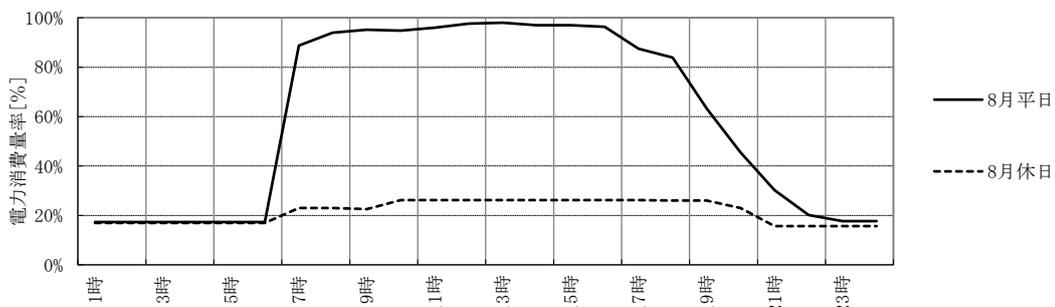


図-2-3-8 事務所施設の日電力消費

(2) 病院施設の特徴

図-2-3-9 は病院施設の電力消費の模式図である。事務用途に比べてベース電力の割合が50%以上と大きいことである。この事例ではベース電力と昼間電力の割合が1対1程度となっており、ベース電力は平日と休日に関わらず年間を通じて消費されるのでエネルギー多消費型の用途となる。ベース電力の要因は、主に医療機器の電力消費と考えられ、昼間は事務等の管理部門と外来部門の電力消費と考えられる。

ベース電力は医療機器の待機電力が大きな要因と想定されるが、具体的な節電対策は、医療行為との関連があるので関係者との協議が必要となる。

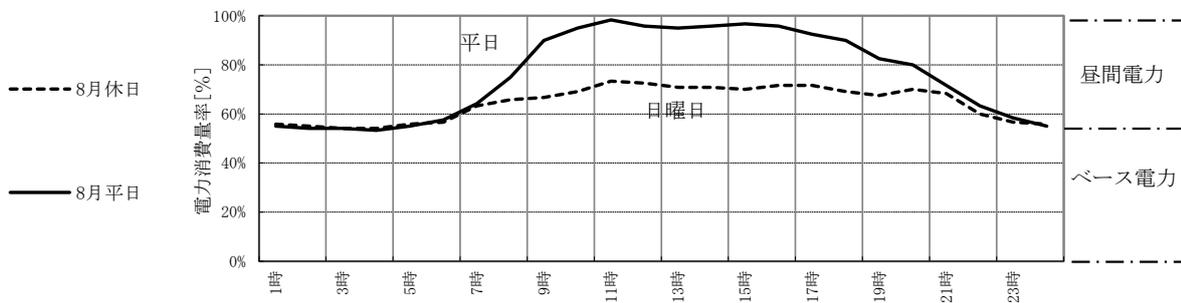


図-2-3-9 病院施設の日電力消費

(3) 物販施設の特徴

図-2-3-10 の物販施設の電力消費の模式図では、事務用途と同じくベース電力と昼間電力の差が大きく、この事例では、1対10程度となっている。

また、朝の立ち上がりと夕方の立下りが、開店と閉店に伴って電力消費は急上昇と急低下する特徴があり、事務用途の様に残業の影響が無い。週末も開店しているので休日が少ないことも特徴であり、年間のエネルギー消費の多い用途となる。

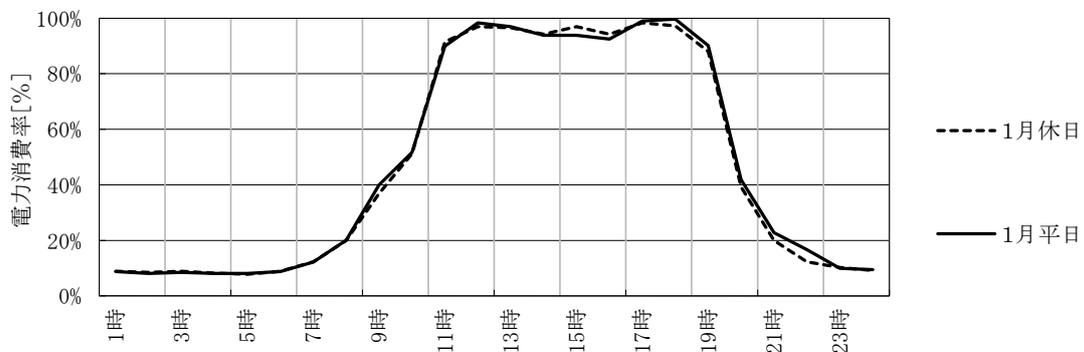


図-2-3-10 物販施設の日電力消費

(4) 宿泊施設の特徴

図-2-3-11 に宿泊施設の電力消費の模式図を示す。熱源は地域冷暖房を受け入れているので季節間の格差は比較的少なくここでは夏期のものを示している。電力消費の特徴は、朝の外出時と夜の帰宅時にピーク電力を生じているが、夜間の就寝時間以外の電力消費はほぼ一様であることである。このベース電力消費は昼間の約60%と大きく、休日が無いのでエネルギー多消費型の用途となる。客室等の多数室の構成となる用途なので、昼間の客室の不在時の空調や照明の停止が大きな省エネルギー項目となる。

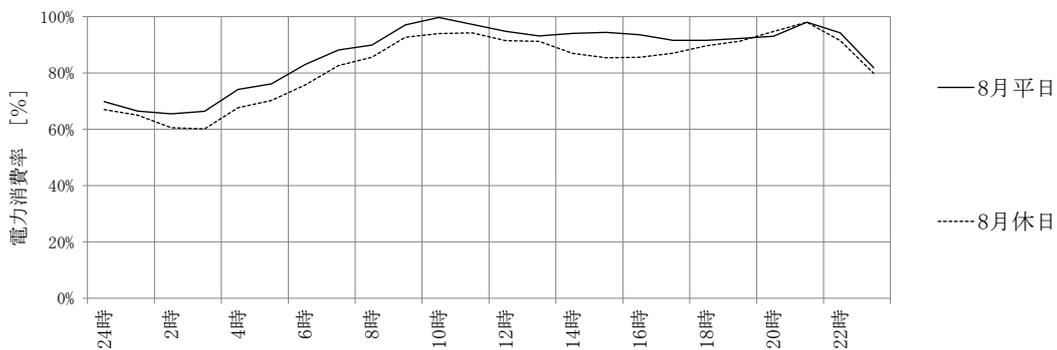


図-2-3-11 宿泊施設の日電力消費

(5) 教育施設の特徴

文系大学ではエネルギーの消費先は、空調と照明が大部分となるが、理系大学においては実験研究機器と研究室の空調照明のエネルギー消費が大きくなる。

図-2-3-12 の事例は理系学部が比較的多い中部大学の事例である。休校日である年末年始のベースの電力消費が通年継続するので、低炭素化にはこの電力消費の低減が大きな効果を持つことになる。

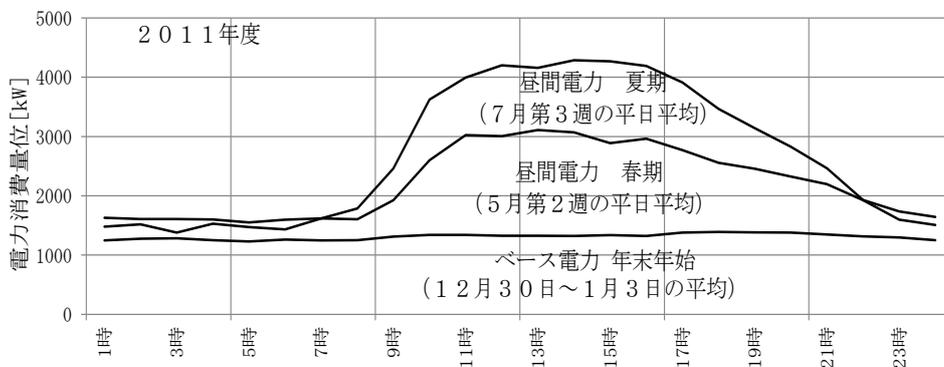


図-2-3-12 教育施設の日電力消費

2.3.3 医療用途でのベース電力消費と課題

用途別の電力消費の特徴の概要について前節で述べた。ここでは、ベース電力が課題となっている医療用途について、2007年度の5つの総合病院のエネルギー消費調査²⁻⁹⁾で得られたエネルギー消費の構成について述べる。また、ひとつの病院の部門別でのエネルギー実測を行った事例から、医療機器等の電力消費の詳細^{2-10), 2-11)}について述べる。

エネルギー消費は医療機器によると考えられるものが多く、この調査結果では、文献²⁻¹²⁾より更に電力消費が多くなっていた。これらの対策は、制御ができるものと制御が相応しくないものがあり、これらの省エネルギーについて施設利用者との合意形成が今後の課題である。

1) エネルギー消費の概要

図-2-3-13に5つの病院の一次エネルギー消費のプロットを示す。各病院のエネルギー消費の平均値は、図-2-3-14の省エネルギーセンターのベンチマークの3,431MJ/年m²とほぼ同等となっており、対象は一般的なエネルギー消費の病院と考えられる。

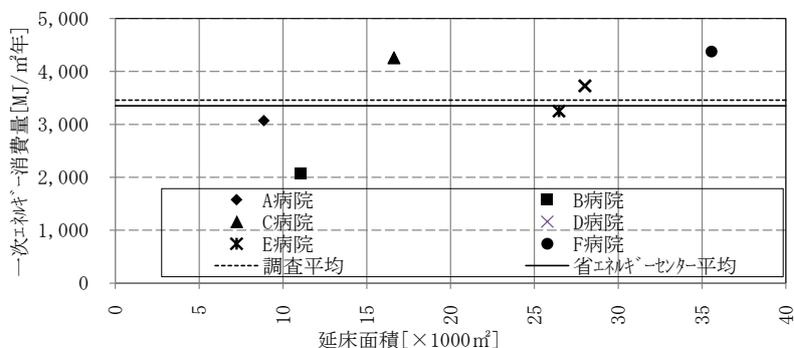


図-2-3-13 5病院の一次エネルギー消費量

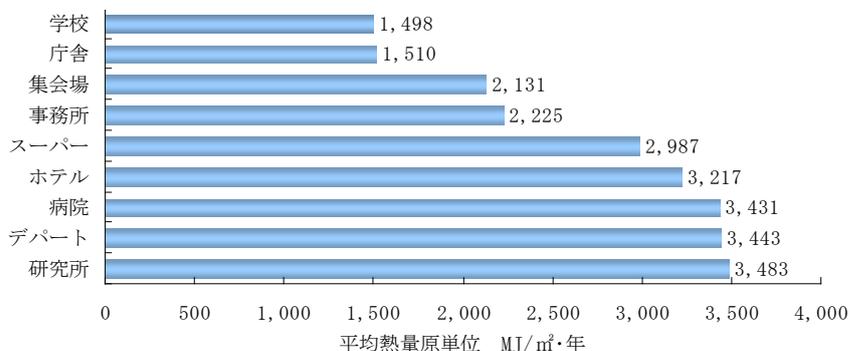


図-2-3-14 エネルギー消費のベンチマーク (省エネルギーセンター)

2) 日電力消費の特徴

日消費電力のピーク電力比率を示したものを夏期について図-2-3-15に、冬期を図-2-3-16に示す。実線は文献²⁻¹²⁾のものであるが、調査した病院の場合は24時間のベース電力消費が、文献より多くなっており、近年さらに医療系の機器の待機電力の増加していると考えられる。通年の電力消費率の変化を図-2-3-17に示す。季節変動の割合が小さいことから、空調による電力消費より定常的な電力消費が大きいことを示している。

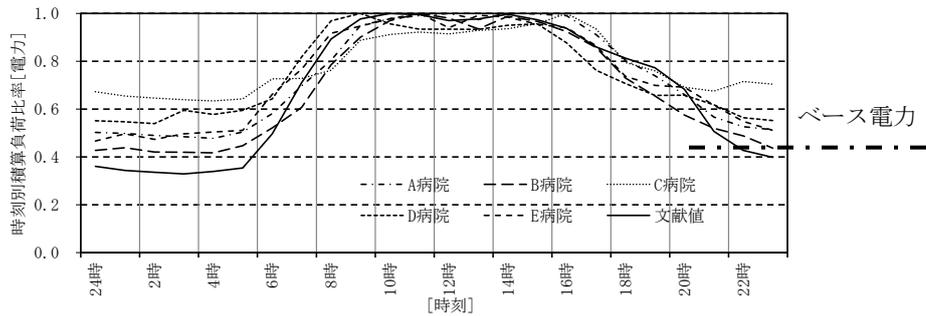


図-2-3-15 病院の日電力消費負荷率（夏期）

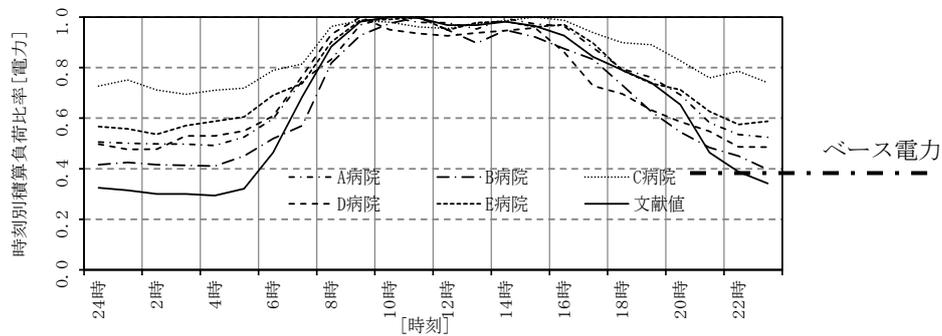


図-2-3-16 病院の日電力消費負荷率（中間期）

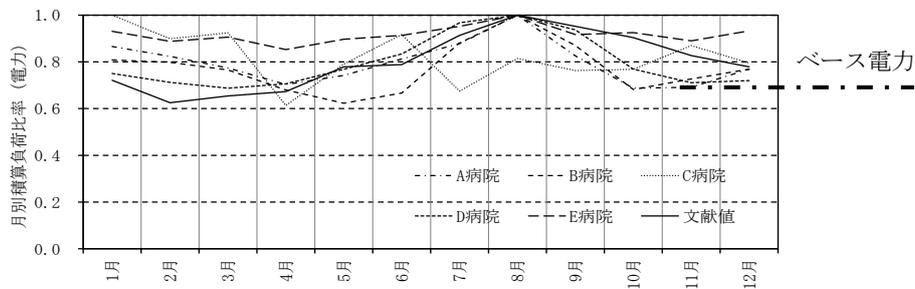


図-2-3-17 病院の年間の電力使用率の推移

3) 部門別の電力消費の特徴

前述の5つの総合病院に事例に引続き、ここでは、部門毎のエネルギー消費を実測した事例^{2-10), 2-11)}について述べる。

この事例での一次エネルギー消費量の内訳を図-2-3-18に示す。86%が電力、14%が都市ガスとなり、ガスの使用先は給湯消費が主である。

次に、図-2-3-19の病院の代表的な部門である外来、診療、病棟のエネルギー消費の原単位では、診療部門が大きく、病院全体の約2倍となっている。

図-2-3-20の部門別のエネルギー消費量については、熱源、診療と外来部門が大きく、この3つで病院全体の79.7%を占めている。図-2-3-21の消費先では電灯コンセントと一般動力で67%を占めていた。

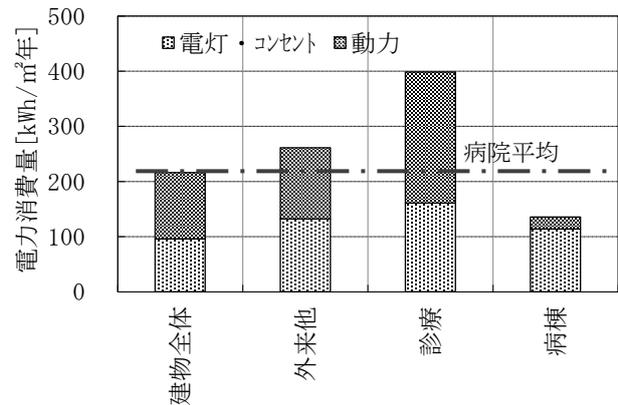
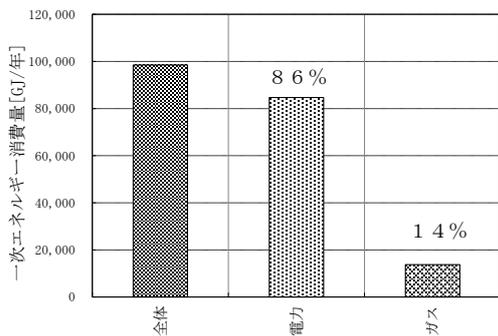


図-2-3-18 5病院のエネルギー消費割合

図-2-3-19 病院の部門別電力消費 (K病院)

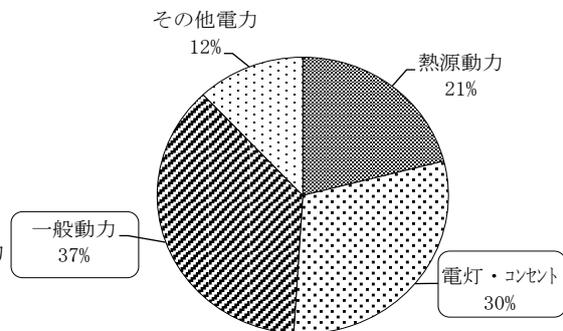
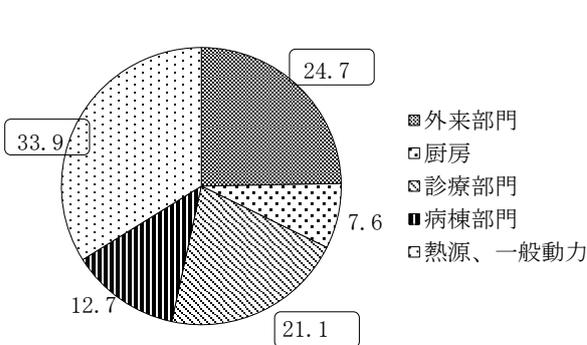


図-2-3-20 部門別電力消費割合 [%]

図-2-3-21 消費先別電力消費割合 [%]

4) 部門のエネルギー消費の特徴

図-2-3-22、図-2-3-23、図-2-3-24 は病棟、診療と外来の日電力消費のプロフィールである。

診療部門の電灯コンセントと動力消費の原単位が 20~30W/m²と大きく、昼間に平坦な約 45W/m²のピークがあるが、夜間にも 30W/m²のベース電力消費がある。これは、医療機器の待機電力と考えられ、外来部門においても同様な傾向があることから、医療施設の省エネルギーには、建物設備に加えて医療機器の節電が課題であることが分かる。

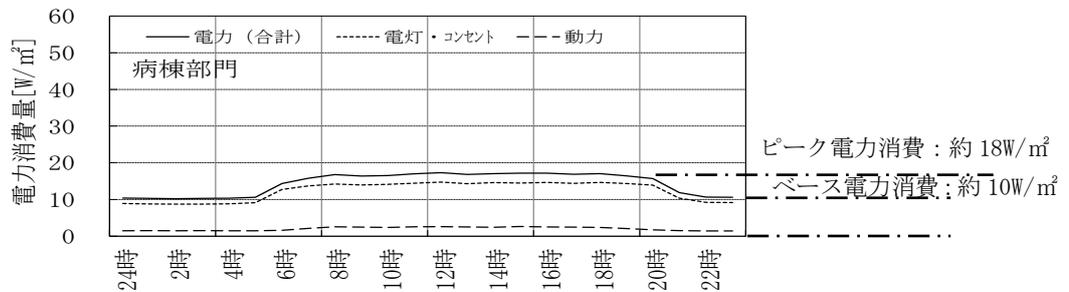


図-2-3-22 病院の部門別の日電力消費 (病棟)

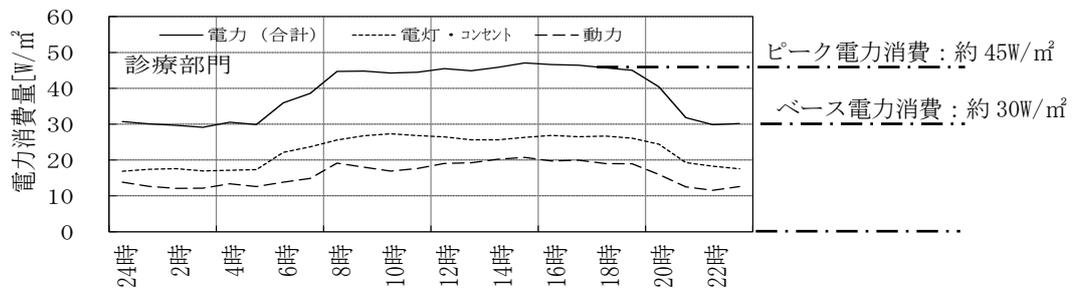


図-2-3-23 病院の部門別の日電力消費 (診療)

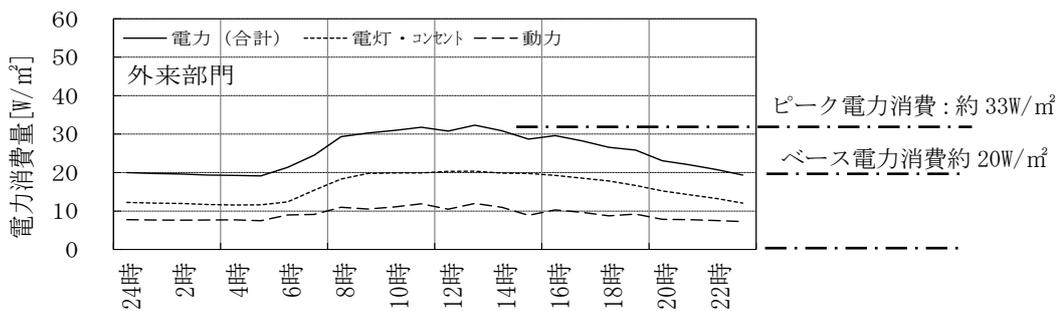


図-2-3-24 病院の部門別の日電力消費 (外来)

2.3.4 大規模施設での取り組み（期間の拡大）

竣工後約20年後に訪れる設備機器の更新や建物改修が重要な機会であり、計画的な省エネ対策によって大きくエネルギー消費を削減することができる。

ここでは、大規模な事務用途のA建物とB建物について、十数年間のエネルギーマネージメントを行った事例について述べる。

これらの建物では、省エネルギーの取り組みの領域を、機器の単純更新に加えて運用の変化に応じた設備システム更新まで広げたことで、3割程度の大きな省エネルギー効果を得ている。

(1) 事務用途建物の事例 (A 建物の場合)

A 建物は竣工後約 30 経過したテナントビルで、建築設備の更新時期に省エネルギーの継続的な取り組みを行った建物である。

この事務所系建物の CO₂ 排出量削減の推移を図-2-3-26 に示す。経年の省エネルギー効果の合計値は 28%の削減実績となった。

省エネルギー効果の内訳を表-2-3-1 に示す。運用によるものが 6%、設備更新によるものが 22%である。この省エネルギーの内訳は、空調ポンプのクローズ化(閉回路化)が 41%、照明の LED 更新で 30%の割合で、システムの更新が大きな省エネルギー効果に結び付いた事例である。

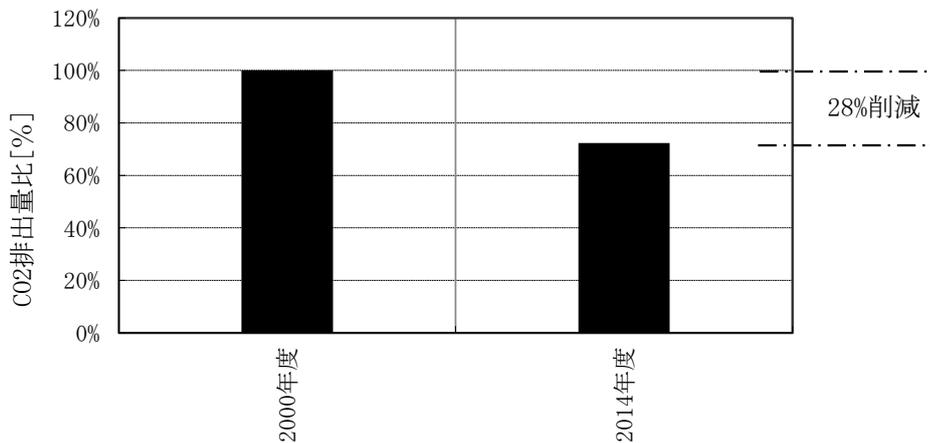


図-2-3-25 CO₂ 排出量の推移

表 2-3-1 省エネルギー効果の内訳

分類	省エネルギー項目	効果割合 [%]
運用	照明安定器更新等	6
更新	空調ポンプクローズ化	41
	照明 LED 化	30
	トランス更新	6
	自動制御導入	8
	誘導灯等更新	8
	高効率モーター	1
合計		100

(2) 事務用途建物の事例 (B 建物の場合)

B 建物の場合は、CO₂排出量が2004年度比33%の削減率となった事例である。内訳を表-2-3-2に示す。省エネルギーの取り組みの効果の内訳は、運用と節電要請の対応で効果の48%、改修は52%となった。この改修には、熱源設備と空調ポンプのシステム更新が含まれている。また、2011年度は、節電要請による空調や熱源の輪番停止が実施され、この運用に節電効果は24%であった。

省エネルギー効果は、運用、更新、システム更新の総合的かつ、複数年度の取り組みによって大きなものとなっている。

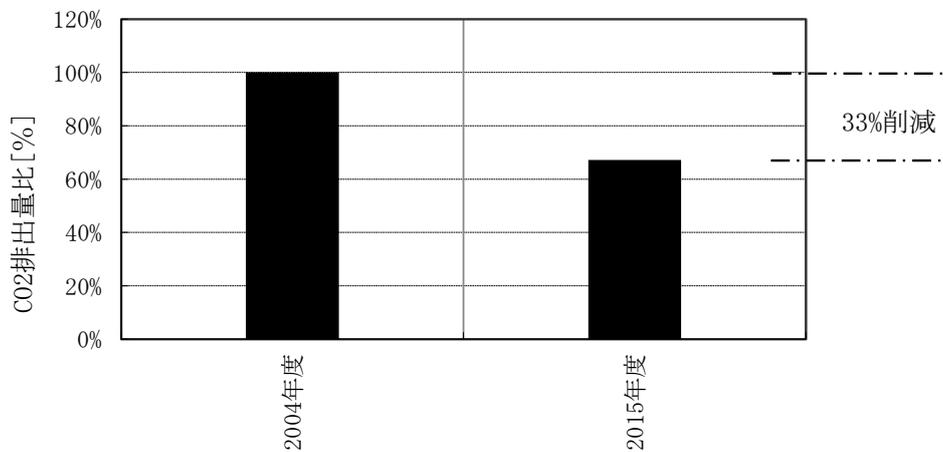


図-2-3-26 CO₂排出量の推移

表-2-3-2 省エネルギー効果の内訳

分類	省エネルギー項目	効果割合 [%]
運用	照明安定器更新等	24
	節電要請への対応	24
更新	熱源の更新	52
	空調ポンプの更新	
	空調機の改修	
	エレベーター更新	
	誘導灯等更新	
	照明の人感センサー設置	
合計		100

2.4 複数建物での取り組み

前節の単体建物の省エネルギーに引続き、本節では複数建物群での省エネルギーの取り組み事例について述べる。事例はそれぞれ、CとDの事例では、2011年の節電要請を受けた遠隔地多棟型の約30棟の建物群で電力ピーク抑制に取り組んだもの、次にEとFの事例は、省エネルギー法の事業者単位の所有施設群での省エネルギー（低炭素化）に取り組んだもの、最後に隣接地多棟型の建物群において電力と熱の面的なスマートエネルギー利用に取り組んだものである。

2.4.1 遠隔地多棟型（対象の拡大と電力ピーク平準化）

（1）取り組みの背景と効果

2011年度の全国的な節電要請から、各事業者は複数建物の低炭素化に加えて、電力ピークの平準化に取り組むことになった。

本節の事例では、緊急的な節電要請であったので対策は建物の運用によるものになっている。電力ピーク抑制効果は、節電要請に対応した2011年より更に17から22%程度の大きなものとなったが、この要因として、一元化した取組であったことと、施設管理者や利用者との事前の節電対策の事前の合意形成を行ったこと等が考えられる。

（2）施設利用者との合意形成と電力消費予測

運用による節電のために、施設管理者と施設利用者との具体的な対象について建物の共同視察を行い、事前に節電内容の合意を取得した。ここでは、建物のピーク電力の出現時間に、省エネ行動を啓発するための電力消費予測が懸案事項となった。

（3）取り組みの概要

ここでは、C事業者とD事業者の事務用途の所有建物群の2012年の節電要請年の電力ピーク平準化の取り組みの内容と効果について述べる。

1) 節電項目の抽出

同種の用途建物となるので、省エネルギー項目は各建物で同様となるのでひとつの省エネ項目チェックリストとその採否で対策項目は決定される。表-2-4-1に節電チェックリストの事例を示す。内容は、対策と採否と節電対象機器の数量の記入および、機器の電力消費量からの効果量の算出となっている。

2) 節電の合意形成

節電項目は、事前に施設管理者と建物調査を行い、運用状況から採否について合意していく。これによって、施設利用者和管理者の合意形成も同時に行われることになる。

3) 節電の課題

この取り組みで課題となったのは、建物管理の常駐者がいない建物で、電力ピーク時に対策が難しい。もう一点は、設備機器の制御が自動制御となっていないことで、ここでは手動での節電対策となった。

表-2-4-1 節電対策チェックリストの事例

節電対策チェックリスト			
分類	実施状況凡例 ○:実施済 ×:未実施 -:対象外	採否	KW 計算根拠
空調 個別空調 (ビルマルチ)	日中は、専用部のブラインドやカーテン等を閉め、日射負荷を低減する	○	$0 \text{ KW} \times 0.05 \text{ (外皮)} \times 0.020 \times = 0.0 \text{ KW}$ (最大電力:2004kW)
	夜間は、ブラインドやカーテン等を開けておく。	-	
	専用部の室温設定の見直し(例 夏季26℃~28℃)	○	$0 \text{ KW} \times 0.452 \text{ (熱負荷)} \times 0.023 \times = 0.0 \text{ KW}$
	専用部の空調の閉鎖運転、輪停停止	-	最大電力量 $\text{KW} \times 0.118 \text{ (ファン動力)} \times \text{停止率} \times = 0.65 \times 0.7 = \text{KW}$
	専用部空調の定時停止	-	レタブル比 報告率
	空調温度制御用のセンサーの近くに発熱する機器をおかない(コピー機など)	-	レタブル比 エンタルジ差 全熱効率率
	外気処理空調機、ロスナイの閉鎖停止	-	延床面積 $\text{m}^2 \times 0.65 \times 5 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.095 \text{ W/kg} \times 50\% \div \text{COP}(3.0) = \text{KW}$
	専用部空調デマンド制御設定(機種メーカーによる)可能か	-	最大電力量 $\text{KW} \times 0.303 \text{ (空調)} \times \text{PAC割合}(\%) \times 0.65 \times 0.2 = \text{KW}$
	専用部空調の連続運転(夜間も運転)電力使用量は増加	-	立上りピーク電力量と12時の電力量の差 レタブル比 削減率(設定率30%の場合)
	エアコン室外機へ、ピーク時間帯に放水する(又は、放水装置の設置する)	-	最大電力量 $\text{KW} \times 0.303 \text{ (空調)} \times \text{空冷割合}(\%) \times \text{エネカット削減率} = \text{KW}$
	サーバー室の空調の適切な温度設定(機器に対する風向の調整の実施)	-	$0.5 \text{ KW/m}^2 \times \text{床面積} \text{m}^2 \div \text{COP}(3.0) \times 10\% = \text{KW}$
	夏期ハイパワーカーの水熱源水温度を下げる。(外気温度+6℃)	○	18497.9kWh $\div (19 \times 22 \times 0) = 8.89\text{kW}$ 削減率
照明	ダウンライトをLED電球に変更する	-	器具容量差 $\text{W} \times \text{変更台数} = \text{W}$
	昼休み、不要時間帯の消灯を徹底する	-	
	専用部日中の窓側エリアを消灯する	-	照明器具容量 $\text{W} \times \text{消灯台数} = \text{W}$
	専用部照明の閉引きまたは照度変更自動調光設備の有無(例700lx~400lx)	○	34,111 $\text{m}^2 \times 0.6 \times 5 \text{ W/m}^2 \times = 102,333 \text{ W}$ 消灯率 50%
装飾照明(ライトアップ、デザイン照明、サインなど)の消灯	-	レタブル比 消灯前後の容量差 $20.448\text{kW}/\text{階} \times 16\text{階} \times 0.5 = 163.6\text{kW}$	
コンセント	OA機器をこまめにスイッチオフする(省エネ機能の設定)	-	
	使用しない機器のコンセントをこまめに抜く(待機電力の防止)	-	
	自動販売機を省エネタイプに交換(ピークカット対応機種)、又は停止	-	定格容量 $\text{W} \times \text{停止台数} \times (\text{稼働率}) 30\% = \text{W}$
	コピー機の稼働台数制限	-	定格容量 $\text{W} \times \text{停止台数} \times (\text{稼働率}) 30\% = \text{W}$
	プリンタ類の稼働台数制限	-	定格容量 $\text{W} \times \text{停止台数} \times (\text{稼働率}) 30\% = \text{W}$
	電気ポット、電子レンジの使用中止(中止可能な場合のみ、実施する)	-	定格容量 $\text{W} \times \text{停止台数} \times (\text{稼働率}) 30\% = \text{W}$
	冷蔵庫を、トップランナー機種に更新する	-	定格容量 $\text{W} \times \text{停止台数} \times (\text{稼働率}) 10\% = \text{W}$
	冷蔵庫の温度設定を高⇒低に変更する	-	定格容量 $\text{W} \times \text{停止台数} \times (\text{稼働率}) 10\% = \text{W}$
	ハンコップアウトよりノートブック(ラップトップ)に更新、ピーク時電源オフ又は輪番充電	-	
	手元スイッチ付タップを利用する(OA機器コンセントとして)	-	
その他	パソコン本体及び画面のスリープモード設定	○	$77 \text{ W} \times 36\% \text{ (削減率)} \times 30\% \text{ (設定率)} \times 1935\text{台} = 16,091 \text{ W}$ MSのレポートから
ワークスタイル	食堂営業時間の短縮	-	
	定時退社の推進	-	
	フロアごとの輪番	-	$6\% \text{ (レタブル比)} \times 1 \text{フロア分} = \text{W}$
	最寄駅は階段利用の推奨(2up3down)	-	最大電力量 $\text{KW} \times 2.5\% \text{ (ELV定格容量)} \times 3.0\% = \text{KW}$
	夜間勤務にシフト	-	
	夏季休暇の義務化または分散化	-	
	休日シフト、輪番休業	-	
	在宅勤務	-	
クールビズ、経費の奨励	-		

4) 節電実績

ピーク電力平準化の計画値と実績値を図-2-4-1 と図-2-4-2 に示す。実績値はC事業者の約20棟が約23%、D事業者の約10棟が17%となった。比較対象の年度は全国的な節電要請に対応した2011年度であるので、大きな節電効果を得たことになり、前述の東京都での取り組みでは6.8%に比べると高い効果量である。要因としては、施設管理者と施設利用者との節電の合意形成を事前に合意していたことが考えられる。

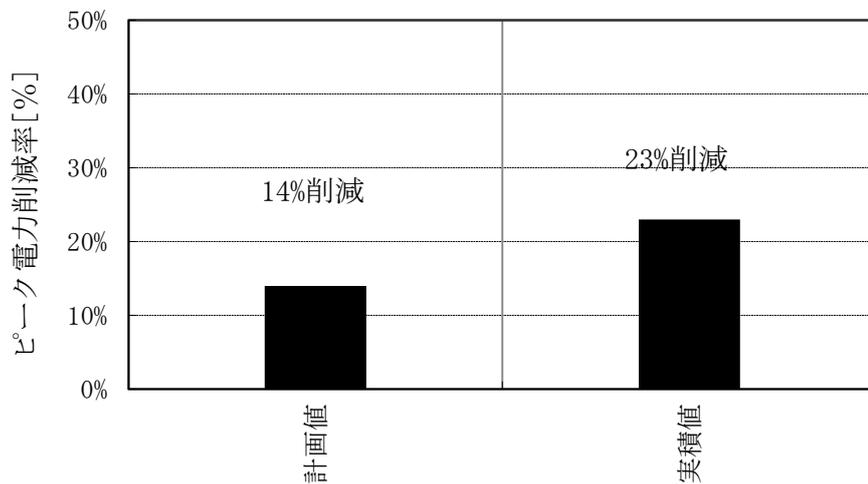


図-2-4-1 C事業者のピーク電力削減計画値と実績値

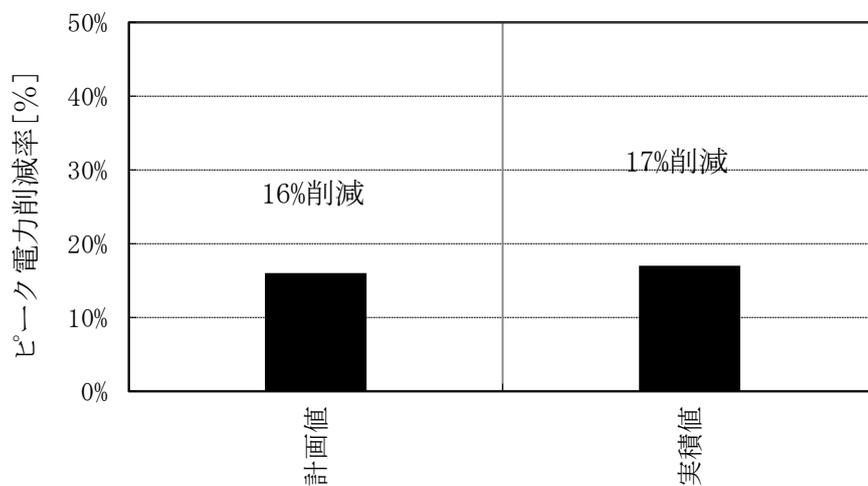


図-2-4-2 D事業者のピーク電力削減計画値と実績値

2.4.2 遠隔地多棟型（対象の拡大と低炭素化）

（1）取り組みの背景と方針

2010年には、省エネルギー法に事業者単位が加わり、事業者としての所有施設建物群全体のエネルギー消費のマネジメントが必要となった。

所有施設の中で大型施設は事業者全体のエネルギー消費の過半を占めるので、大型施設の建物更新は重要な省エネルギーの機会となる。前述の様に、運用、更新、システム更新の総合的な対策によって、大きな省エネルギーが可能となるので、建物単体だけでなく、事業者の所有施設全体の省エネルギー対策に結びつくこととなる。

本節では、建物の竣工後約20年の更新期に、省エネルギー更新計画を作成した事例について述べる

（2）所有建物群のエネルギー消費の特徴

事業者の所有建物の構成は、一般に本社と開発センター等の大型建物と、販売店や営業所といった比較的小型かつ多数同種の遠隔地の建物となる場合が多い。

エネルギーの消費の特徴は、図-2-4-3 および、図-2-4-4 に示す模式図の様にE事業者とF事業者は共に、本社やセンター等の大型施設が約45～50%エネルギーを消費している。大型施設で過半を占めるので、営業店等の小型施設は1施設当たり総エネルギー使用量の1%前後に留まる事が多い。大型建物の中でセンターが更新期に入っておりまた、施設運用も変化していたので、機器更新と合わせて省エネルギー化を行う省エネルギー更新計画によって対策とした。

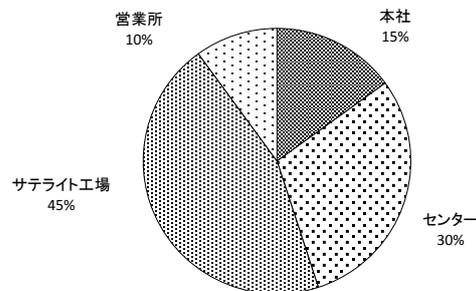


図-2-4-3 E事業者の所有施設のエネルギー消費

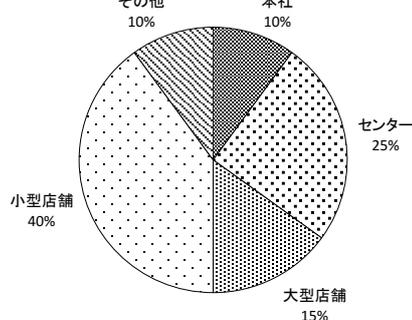


図-2-4-4 F事業者の所有施設のエネルギー消費

(3) 大型施設での対策（省エネルギー更新計画）

省エネルギーの対策は、建物設備の老朽化に従った高効率機器への更新が一般的である。大型施設は、設計時点から運用が変化している場合がある。この事例の開発センターではサーバーの省電力化やクラウド化等の社会的な変化が起こっていた。熱源や電源の負荷率の低下していたので機器のダウンサイジングによる高効率運転や、冬期の外気を利用したフリークーリング等の自然エネルギー利用等のシステム更新を含めた省エネ対策とした。

更新計画については、図-2-4-5の事例の様に、劣化更新項目から省エネルギー関連項目を抽出し、上記の省エネルギー対策を反映したものとした。この計画による省エネルギーの年次効果を算出し、計画的な建物の更新計画に伴って中期的なエネルギーマネージメントが実施されていくことになる。

	(周期)	早急な更新が必要(A)		修繕計画が必要(B)			今後の修繕計画(C)	今後修繕計画(D)
		築30年	築31年	築32年	築33年	築34年	築35～39年目	築40～44年目
建築		サッシ改修 共用部内装改裝		内装更新			屋上防水 外壁改修	
電気設備			誘導灯更新 防災設備等更新 弱電設備更新	蛍光灯Hf化 人感センサー制御			発電機更新 誘導灯バッテリー交換	トランザクション更新 照明更新
空調設備	空冷チラー更新 全熱交換機		空冷PAC更新 自動制御更新	空調機CO2濃度制 空調機変風量制御 空調ホップINV化		換気ファンINV導入	PAC更新 厨房排気ファン更新	空調機更新 換気ファン更新
衛生設備		給水ホップ更新	便所内装補修	排水設備補修			受水槽更新 便器補修 消火設備更新	洗面器更新
搬送設備							ELV更新	

◻ : 省エネルギー更新 ◯ : 劣化更新

図-2-4-5 省エネルギー更新計画の事例

(4) 省エネルギー効果

省エネルギー効果量は表-2-4-2 と表-2-4-3 に示す結果で、E 事業者は約 21.9%、F 事業者は 19.1%の省エネルギーが可能であった。いずれも 2 割程度の省エネルギー率となり、センターは全体の 3 割程度のエネルギー消費を占めていることから、図-2-4-6 と図-2-4-7 のように、事業者としては所有施設全体で 5~6%の省エネルギー効果があることになり、これは省エネルギー法上での削減目標の 5~6 年分に相当する。

表-2-4-2 大型施設の省エネルギー項目と効果量 (E 事業者)

省エネルギー項目	削減率[%]
運用の改善 (中間期冷水温度変更、冷凍機の運転時間変更等)	1.8
機器更新 (照明の更新、人感センサー制御、等)	1.3
システム更新 (冷却水の暖房利用等)	18.8
合計	21.9

表-2-4-3 大型施設の省エネルギー項目と効果量 (F 事業者)

省エネルギー項目	削減率[%]
運用の改善 (運転時間の短縮、外気導入量の削減等)	2.1
機器更新 (照明の更新、人感センサー制御、インバーターの導入等)	5.7
システム更新 (熱源、自然エネルギー利用等)	11.2
合計	19.1

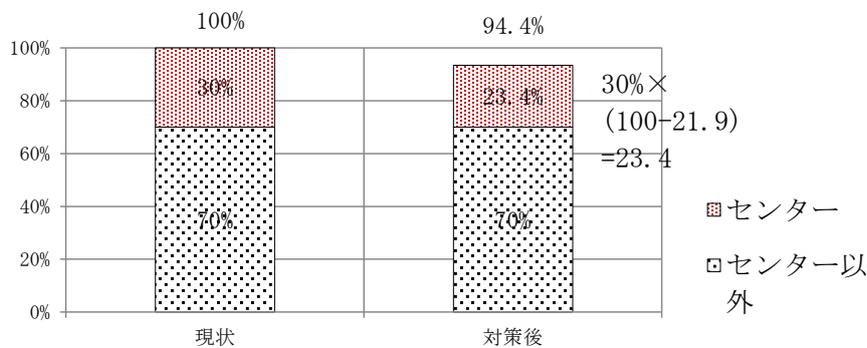


図-2-4-6 E 事業者の施設全体の省エネルギー効果

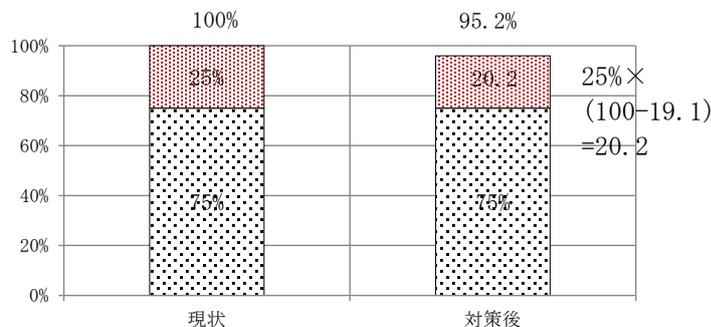


図-2-4-7 F 事業者の施設全体の省エネルギー効果

2.4.3 隣接地多棟型（適用技術の拡大と建物間でのエネルギー利用）

これまでは、主に単棟の建物について、運用から更新までの範囲や期間の拡大によって省エネルギー効果を向上した事例について述べてきた。

本節では、複数棟で電力の自営線や熱導管を設置して面的なエネルギーの高度利用を行った事例^{2-13), 2-14)}について述べる。

単体建物での省エネルギー化に加えて、複数棟でのエネルギーの更なる有効利用等を図るために、北九州等の四地域でのスマートコミュニティの実証が行われた。スマートコミュニティの定義は、分散型エネルギー源を持ち、エネルギー管理システム(EMS)を通じてエネルギーの需給を総合的に管理・最適化するとともに、高齢者の見守りなどの生活支援サービスを取り込んだ社会システムとされ²⁻⁷⁾、図-2-4-8に示すオアーゼ芝浦は、後述する機能面からこのスマートコミュニティの定義に沿うものである。

(1) 取り組み内容

1) 取り組みの背景

2011年の東日本大震災による原子力発電所の停止に伴って、広範囲な停電が生じ、全国的な節電が要請され、電力ピークの平準化と非常時のエネルギーの自立性が、低炭素化に加えて社会的な課題となった。

また、自立分散型電源の普及のために、電気事業法等の規制が緩和された。

2) 取り組みの意義

この取り組みの主な意義は、異種用途の建物間での面的なエネルギーの有効利用したこと、エネルギー事業者でない一般事業者が行えたことおよび、都市計画等の枠組の無い



図-2-4-8 オアーゼ芝浦の概要

既成市街地で行ったことである。また、システムが汎用技術で成り立ち、スマートエネルギー利用の展開モデルとなり易いことも特徴である。

3) 取り組みの概要

オアーゼ芝浦は、公道を挟んだ3敷地に、昼間に業務を行うオフィス2棟と、主に夜間に過ごすことが多い集合住宅1棟の職住複合用途建物である。平常時は生活に伴う冷房、暖房、給湯のエネルギーを必要とし、震災等の非常時は生活を継続させるためのエネルギーの確保が必要になる。

異種用途の建物群であれば、一様なエネルギー需要でないのでエネルギーの融通利用と、各々のピーク電力のずれによる平準化が可能となる。また、建物が発電機能を持てば、エネルギーの自立性が確保できると共に、ピーク電力平準化の課題にも対応できる。

自立分散電源であるコージェネと公道下に自営線と熱導管の敷設によって、3敷地間で電力と熱エネルギーの融通を可能にすれば、平常時の低炭素化と非常時の防災性の向上を実現できる。具体的には、電力については、異種用途間でのピーク電力時間帯の位相差とデマンドレスポンスおよび、コージェネ発電によってピーク電力の平準化を行った。

熱については、デシカント空調を設けて夏期においても廃熱の利用と夜間の隣棟の集合住宅の給湯に利用し、廃熱の利用率を向上してコージェネの設置要件を満たした。

非常時の防災電力については、電力とガスの二重のインフラを引込み、電力途絶時には信頼性の高い中圧ガスでのコージェネ発電を、防災電力として自営線を介して各棟に配電し、エネルギーの自立性を高めている。

図-2-4-9に示す3棟で囲われた中通りでは、前述のスマートコミュニティの社会システムへの貢献として、日常は空間の緑化と歩行者施設や商業施設で憩いと賑いを提供、非常時には港区の防災備蓄倉庫や緊急避難テラス、一時滞在スペースの提供して、地域の環境と防災機能の向上に貢献している。



- ①緊急避難テラス
- ②自営線、熱導管
- ③非常時の電力供給
- ④港区防災備蓄倉庫
- ⑤応急活動スペース
- ⑥一時滞在スペース
- ⑦一体化した緑化
- ⑧歩行者利用施設
- ⑨商業施設等

図-2-4-9 中通りの環境と防災施設

(1) 計画概要

異種用途の多棟間でのエネルギーの有効利用の具体的な計画内容について順次述べる。

1) 電力ピークの平準化

下記の3つの要素によってピーク電力の平準化を計画した

- ① 電力ピーク時間の異なる異種用途建物群での一括受電
- ② コージェネによる発電
- ③ デマンドレスポンスによる電力ピーク時の節電

以下に計画概要について述べる

① 異種用途での電力ピークの平準化

事務用途は昼間に、住宅は夜間に、電力のピークを生じるので、異種用途の一括受電によって受電電力が平準化される。図-2-4-10の複数建物の一括受電した場合の図-2-4-11の電力デマンドのシミュレーションでは、3棟のピーク電力の合計値722kWに対して、3棟一括受電のピーク電力合計値は640kWとなり、ピーク電力平準化効果が82kWが見込めた。

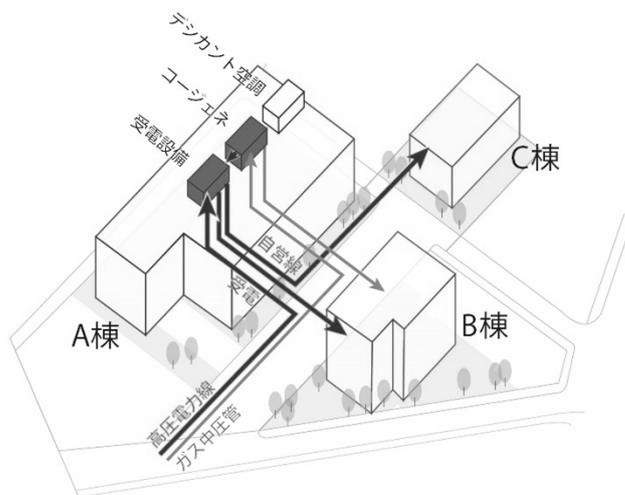


図-2-4-10 電力配電計画の概要

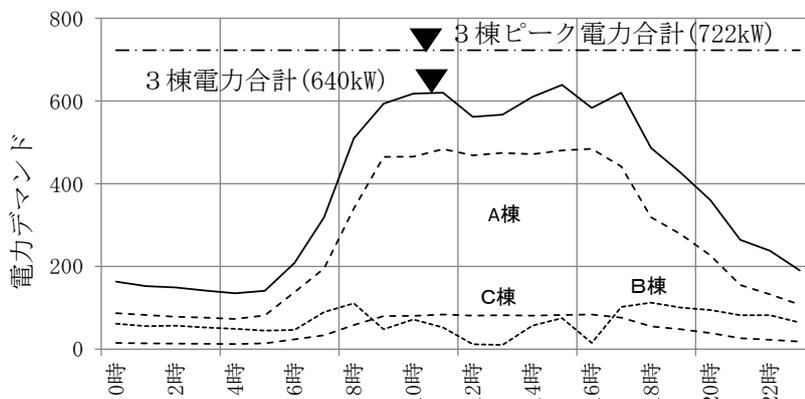


図-2-4-11 3棟の日電力消費の検討 (夏期)

② 節電によるピーク電力の低減

電気事業法上の特定供給の要件で、発電容量はB棟とC棟の電力値の50%を供給する規定に沿うものとなる。図-2-4-13の様に、B棟とC棟はそれぞれ100kWのピーク電力と想定され合計200kWとなり、コージェネの発電量はその50%の100kWで計画した。

③ デマンドレスポンス

節電側は、電力消費の予測が目標値を超えると予想される場合は、共用部の廊下等の照明や空調の緩和を行うデマンドレスポンスによって、電力消費を削減する計画とした。

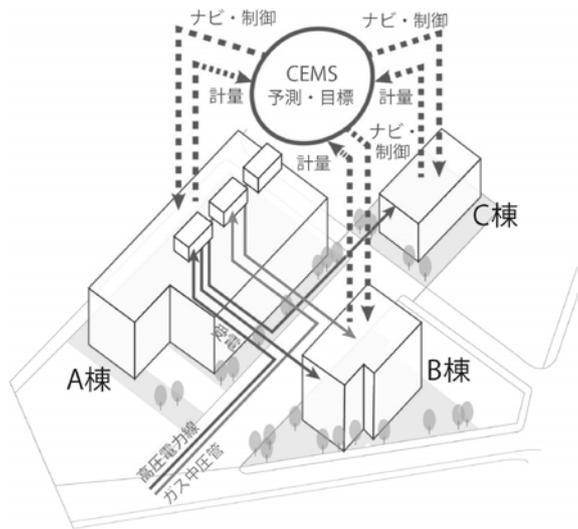


図-2-4-12 CEMSの制御の概要

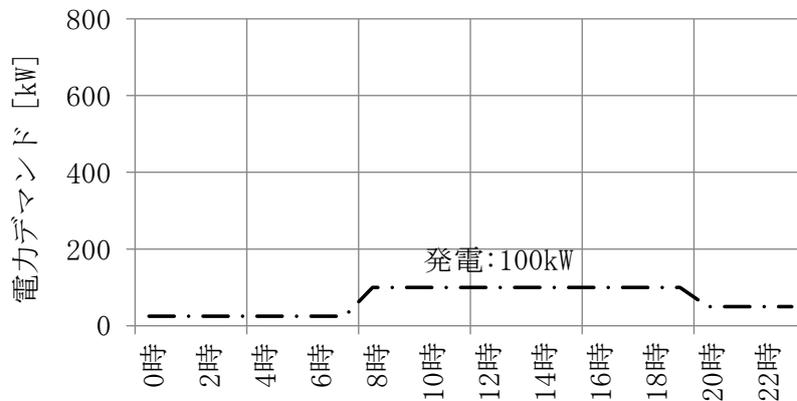


図-2-4-13 発電とデマンドレスポンスによる節電量の検討 (夏期)

④ 発電によるピーク電力の平準化

電力ピークの異なる3建物の電力をA棟で一括受電し、コージェネによる発電と合わせて、特定供給のしくみで他の2棟に供給する。需要側のCEMSによる節電制御と合わせて受給双方の最適制御でピーク電力を平準化する。図-2-4-14では、上記の3棟一括受電のピーク電力平準化と発電と節電によって受電電力は、デマンドレスポンスを除いて184kW、722kWから540kWの約25%の削減が見込めた。

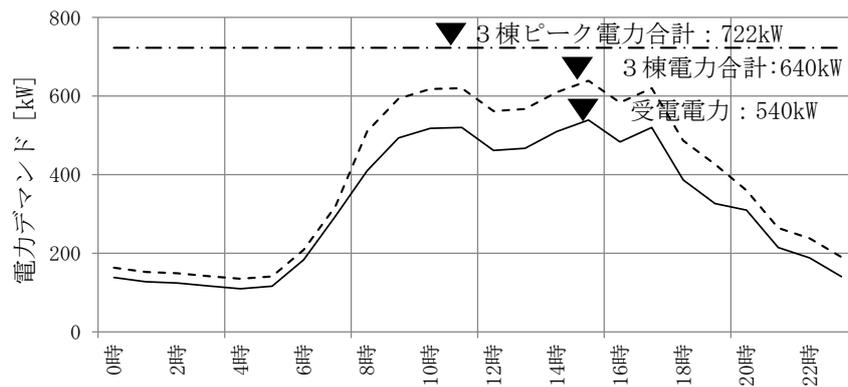


図-2-4-14 受電電力と3棟のピーク電力の検討 (夏期)

2) 熱の面的利用による低炭素化

都市部では夏期の廃熱の利用先が少なく、コージェネが成立する要素が給湯熱需要の大きい病院やホテルに限られている。図-2-4-15 に示すように、コージェネが一般の市街地でも成立する為には、夏期においても廃熱を利用するデシカント空調の採用と隣棟の集合住宅の給湯への面的利用によって廃熱利用率を向上し、都市部でのコージェネの成立とエネルギー利用効率の向上による低炭素化を図った。

図-2-4-16 および、図-2-4-17 の廃熱利用の検討から、廃熱の利用が一定見込めると考えられた。

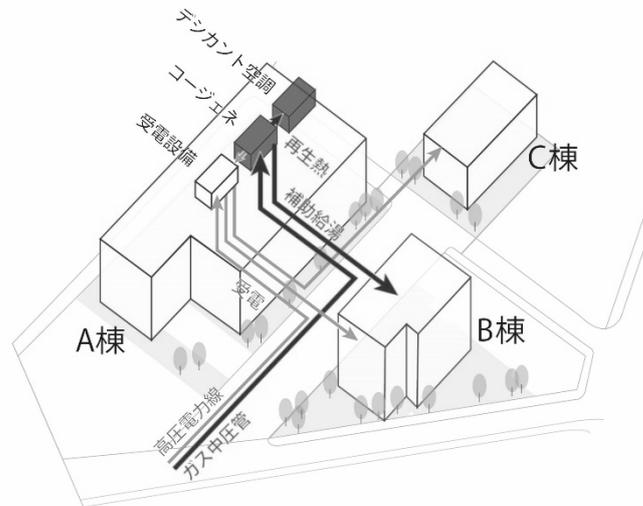


図-2-4-15 熱の面的利用の概要

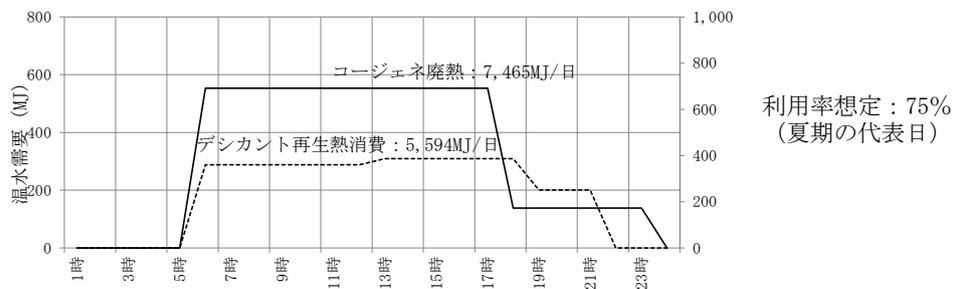


図-2-4-16 コージェネ廃熱のデシカント空調再生熱利用の検討

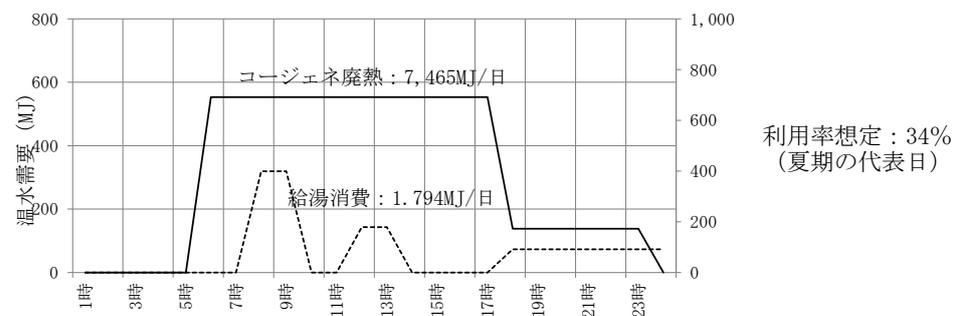


図-2-4-17 コージェネ廃熱の給湯への利用の検討 (夏期)

3) 停電時の発電電力の融通

建物の非常電源の設置義務は消防法上の活動に寄与するものに限られ、東日本大震災の教訓から、日常の業務や生活を維持する自立分散電源の確保が課題となった。

オアーゼ芝浦では、図-2-4-18 および、図-2-4-19 の様に、コージェネの常用発電を、3棟間に敷設された電力の自営線を介して、面的に防災電源として利用することで、B棟やC棟の給水やエレベーターの稼働が可能となり、生活や業務の継続が可能となる。

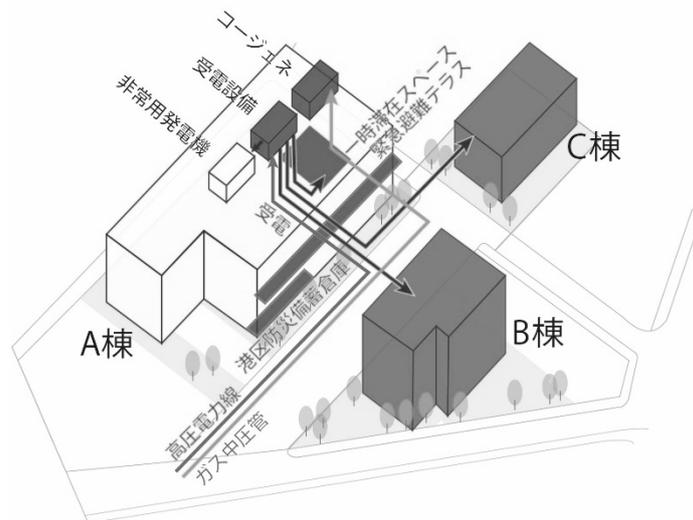


図-2-4-18 停電時の防災電力融通の概要

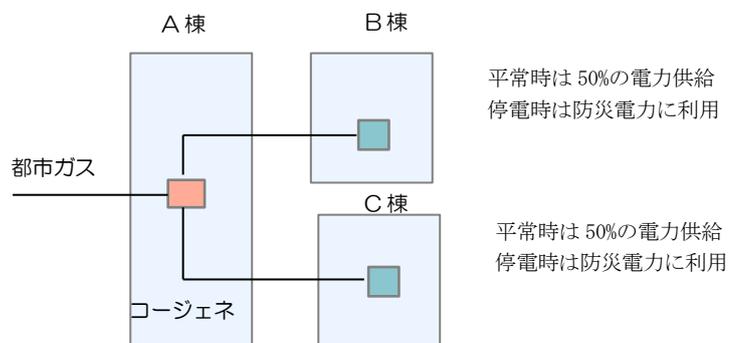


図-2-4-19 電力の配電概要

(4) 運転実績

1) ピーク電力平準化の効果

① 一日の実績

年間のピーク電力日となった2016年度の8月9日の実績を図-2-4-20に示す。受電値は711kWに対して3棟のピーク電力の合計値は840kW、平準化率は15.4%であった。各棟のピーク電力時間を図中の矩形枠で示す。異種用途建物のピーク電力の発生時間の位相差による平準化効果が分かる。平準化量は129kWとなり、この時のコージェネの発電は96kWであったので前述の平準化効果は33kWとなる。これを割合に換算するとそれぞれ、発電で11.4%、建物のピーク電力の時間の位相差やデマンドレスポンスで残りの3.9%となる。

目標の削減率の25%に未達となった要因は、まず、異種用途の一括受電によるピーク位相のずれとデマンドレスポンスによる削減予測値68kWが、実績では33kW(削減率にして約8%低下)となり17%に低下したことと、計画時の3棟のピーク電力合計値の722kWに対して今年度の実績は840kWと14%大きくなったので、相対的に平準化率が17%から15%に低下したことである。

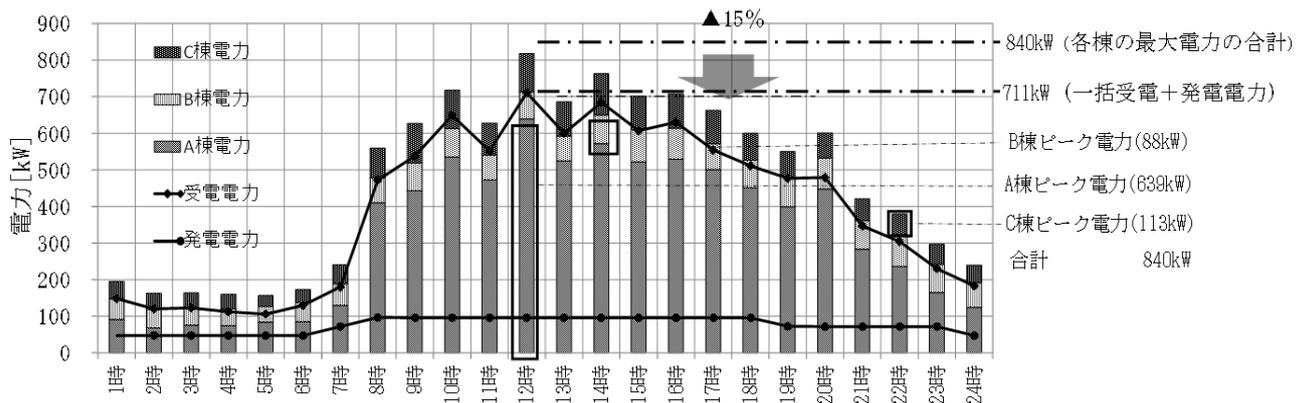


図-2-4-20 ピーク電力日の電力平準化 (2016年8月9日)

② 年間の実績

2016年度の各月の電力ピーク日の受電電力値とオアーゼ芝浦の3棟のピーク電力合計値についての年間の実績を図-2-4-21と表-2-4-4に示す。各棟のピーク電力合計値が632kWに対して受電電力値が532kWとなり、年間の平均の電力平準化は100kWとなった。電力平準化率は、各棟のピーク電力時間帯が異なることと発電と節電制御によって15.8%となった。このうち、異種用途のピークのずれとデマンドレスポンスによるピーク電力平準化効果は、表-2-4-4より年間平均5.5%である。デマンドレスポンスのみの平準化率は、事務所専用部の空調の緩和等が運用上実行され難く、詳細な効果量の検討から約10kW程度で、削減率に換算すると1.4%程度に留まっている。

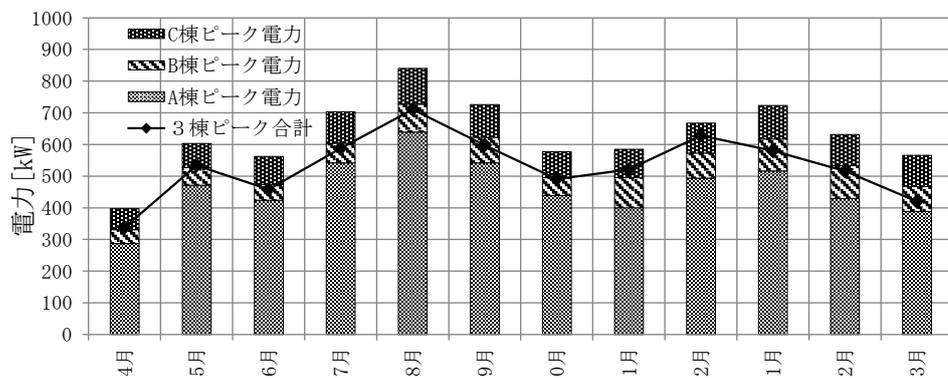


図-2-4-21 電力平準化率の推移 (2016年度)

表-2-4-4 電力平準化率の推移 (2016年度)

月		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	平均
オアーゼのピーク受電電力	kW	338	534	458	588	711	598	491	521	628	580	516	420	532
オアーゼのピーク受電電力 (発電除く)	kW	386	558	555	661	807	694	563	570	677	570	590	517	596
各棟のピーク電力合計	kW	397	603	562	703	840	726	577	585	667	723	631	566	632
電力平準化率 (発電除く)	%	2.8	7.5	1.2	6.0	3.9	4.4	2.4	2.6	(1.5)	21.2	6.5	8.7	5.5
電力平準化率 (発電含む)	%	14.9	11.4	18.5	16.4	15.4	17.6	14.9	10.9	5.8	19.8	18.2	25.8	15.8

2) 低炭素化の効果

① 年間の実績

2016年度の年間と代表日の廃熱の空調と給湯利用の実績を図-2-4-22に示す。

年間の廃熱利用については、空調には夏期のデシカントの再生熱と冬期の暖房に利用の状況が現れている。給湯利用については、給水温度の変化に伴い冬期の利用が多くなっている。年間のコージェネの総合効率は約58%となり、発電と廃熱の相互の利用によって45.3tCO₂/年の削減となった。

② 代表日の廃熱利用

図-2-4-23に示す一日の熱利用については、冬期の暖房に廃熱が効率よく利用され、給湯には朝晩に利用されている事が分かる。

給湯利用がやや少なめとなったのは、下記の2点が考えられる。

一点目は全150戸の中で、家庭用住戸の26戸に廃熱が利用されたことおよび、元各住戸のガス瞬間湯沸かし器の給水に廃熱を利用したので、給湯機の入り口最高温度がガスの安定燃焼の為に30℃が上限となっており、市水温度から30℃までが、廃熱利用の範囲に留まったことである。

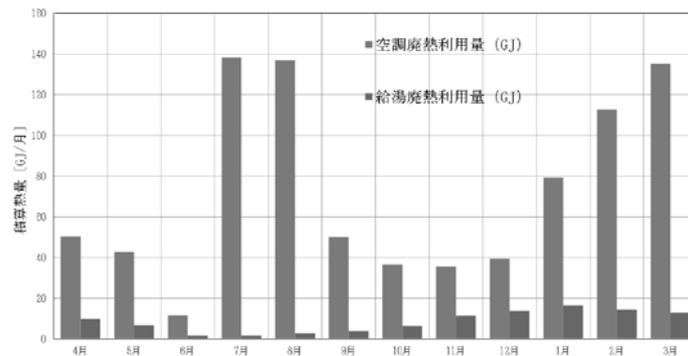
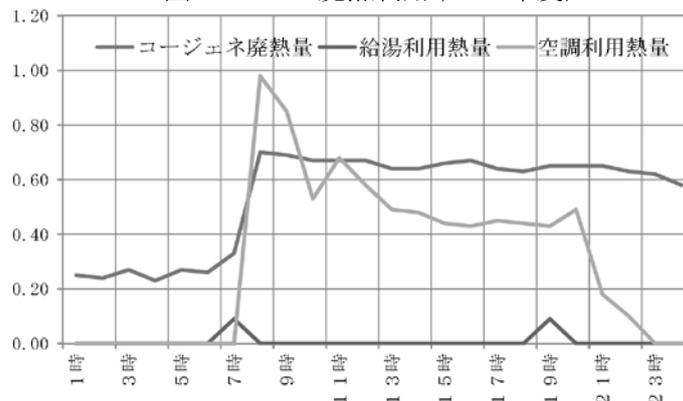


図-2-4-22 廃熱利用(2016年度)



コージェネ廃熱量 : 11.6GJ/日
 空調利用量 : 6.5GJ/日 (利用率 56%)
 給湯利用量 : 0.4GJ/日 (利用率 3%)
 廃熱利用率 : 59%

図-2-4-23 廃熱利用(3月15日)

3) 室内環境

室内温湿度の事例を図-2-4-24 に示す。デシカント空調によって、室内は45%程度の快適な空間となり、室温が27°Cと高めに運用され、省エネルギーと快適性が両立している。

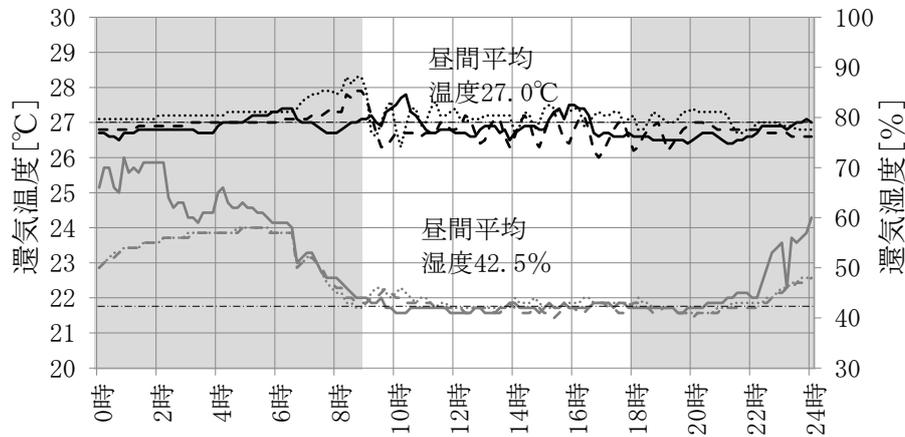


図-2-4-24 室内温湿度の事例 (9月6日)

(5) まとめ

現状でのピーク電力の平準化と低炭素化の実績をまとめる。

1) ピーク電力の平準化

- ① 電力ピーク日の平準化は15.4%となった。内訳は、異種用途の電力ピーク位相のずれとデマンドレスポンスによるものが3.9%、発電によるものが11.4%である。年間では、各月のピーク日の平均で36kW、平準化率は4.2%となった。
- ② ピーク電力は計画時の722kWに対して、840kWの大きいものとなり、相対的に平準化率は低下した。これは、個別空調機の休日明けの起動時に大きなピークとなる傾向があることと、電力ピーク日の最高外気温が37.7°Cと設計外温度より高いことが要因と考えられ、今後は個別空調機器の順次起動等の運用による平準化が懸案事項となった。
- ③ デマンドレスポンスの実績値は約10kWと想定される。計画値より小さくなったのは、予めの節電の合意形成の余地と、事務用途なので大部屋で非使用室が少なく空調の停止が比較的難しいこと等が考えられる。

2) 低炭素化

- ① コージェネの総合効率は58%となり、低炭素化効果は43.5tCO₂/年となった。総合効率が比較的低いのは、湯沸かし器への給水温度の上限があり、廃熱の利用の制限があった。課題として今後の計画に反映していきたいと考える。

2.5 第2章のまとめ

これまでの省エネルギー関連業務での知見と課題について以下にまとめる。

(1) 省エネルギー診断

計量について、既存建物はある程度の経年を経ている為 BEMS がないことが多くまた、配電設備の管理のために配電系統毎となり、エネルギー消費先別となっていない。この場合、電力プロフィールによる熱源や照明等のエネルギー消費量の把握が有効となる。

(2) 単体建物での取り組み（用途別のエネルギー消費の特徴）

医療施設等では、医療機器の消費電力が主と考えられるベース電力が、エネルギー消費量の過半を占め、季節間の変動は少ない。個別のプロフィールが毎日繰り返されるので、エネルギーを多消費する要因となっている。

課題として、施設利用者との連携した不要な機器の停止の仕組みが必要と考えられる。

(3) 単体建物での取り組み（大規模施設での取り組み期間の拡大）

建物竣工後約20年後の設備機器の更新や建物改修が省エネルギー対策に重要な機会である。省エネルギーの取り組みの領域を、建物運用の改善や機器更新に加えて運用の変化に応じた設備システム更新まで広げたことで、28～30%の大きな省エネ効果となる。

(4) 遠隔地多棟型の建物群（対象の拡大と電力ピーク抑制）

運用による電力ピーク抑制には、施設管理者と施設利用者の省エネルギーの合意形成が必須であり、事例では節電要請年から更に16.9～22.9%平準化の高い実績となった。

ここでは、建物のピーク電力の出現時間に省エネ行動を啓発するための電力消費予測と実績の開示が懸案事項となった。

(5) 遠隔地多棟型の建物群（対象の拡大と低炭素化）

事業者の保有施設の中で、大型施設が事業者の所有建物のエネルギー消費の51～55%を占めていた。省エネルギー法が事業者単位での管理が必要となり、この大型施設における機器更新等と整合した省エネルギー更新計画が有効ある。

ここでは、事業者として一元化したエネルギー管理システムが必要となった。

(6) 隣接地多棟型の建物群（建物間でのエネルギー利用）

異種用途の建物群の場合に、一括受電によって各々のピーク電力のずれと発電による平準化が可能となり、取り組み事例では15.4%のピーク電力平準化効果があった。

コージェネの熱の各用途建物間での融通利用による平常時の低炭素化の他に、震災等の非常時において建物のエネルギー自立性の向上が得られた。

2.6 参照資料と参照論文

参照資料

- 2-1) 地球温暖化対策計画、平成 28 年 5 月
- 2-2) エネルギー白書、経済産業省、2016 年
- 2-3) 工場等に対する省エネルギー法の施行状況等について、資源エネルギー庁、平成 23 年 1 月
- 2-4) 省エネルギー法の改正について、資源エネルギー庁、平成 26 年 4 月
- 2-5) 東京都グリーンビルレポート 2015、東京都環境局
- 2-6) 東京都における「2014 年夏の節電対策の実施状況」等、東京都、2015 年 3 月
- 2-7) 次世代エネルギー・社会システム実証事業～総括と今後について～、資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部、平成 28 年 6 月 7 日

参照論文

- 2-8) 高口他：東日本震災後の夏期節電状態, 非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース（DECC）の構築と解析 その 2：日本建築学会環境系論文集, 第 703 号, pp. 795-801, 2014. 9
- 2-9) 黒田 英男、河村 貢、浅谷 貴樹、馳平 心：近年の総合病院における消費実態調査、空気調和・衛生工学会大会学術論文集, pp89-92、2009. 9
- 2-10) 黒田 英男、河村 貢：榊原記念病院の部門別エネルギー消費実態について（第一報：病院全体のエネルギー消費実態の概要）、日本建築学会学術講演梗概集、pp1383-1384、2007. 8
- 2-11) 黒田 英男、河村 貢、浅谷 貴樹、馳平 心：榊原記念病院の部門別エネルギー消費実態について（第二報：部門・エリア別エネルギー消費）、日本建築学会学術講演梗概集、pp1262-1263、2008. 9
- 2-12) 空気調和・衛生工学会：都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価、1994 年 6 月
- 2-13) 牛山、高橋、下田、染谷、伊藤、河村：小規模既成市街地のスマートコミュニティ計画に関する研究（第 1 報）、空気調和・衛生工学会大会学術論文集, pp89-92、2015. 9
- 2-14) 牛山、高橋、下田、伊藤、河村：小規模既成市街地のスマートコミュニティ計画に関する研究（第 2 報）、空気調和・衛生工学会大会学術論講演文集, pp61-64、2017. 9

第3章

理系学部での電力ピーク平準化と 低炭素化の実証研究

第3章

理系学部での電力ピーク平準化と低炭素化の実証研究

前章では、対策のために電力消費のプロフィールの把握の重要性と、効果の向上のために取り組み期間の拡大、対象建物の拡大、適用技術の拡大について述べた。そこでは、施設利用者との合意形成や複数建物での一元化した管理システム等が課題であった。

既往の研究では、大学施設の季節変動によらない非空調エネルギー消費の存在^{1-3),1-4)}と理系学部の実験研究機器の電力の多消費^{1-5),1-6),1-7)}が報告されている。一方、中部大学では、電力ピーク時の具体的な対策と、多棟多室の建物管理が課題となっていた。

本章の研究目的は、図-3-1に示す理系学部の建物群を対象にした、電力の節電と発電の双方を一元化して制御するスマートグリッドの実証³⁻¹⁾である。このシステムの節電側には、理系施設にて大きなベース電力消費の課題となっている実験研究機器の節電を行うために、学内の各施設利用者とのメールシステムを利用した節電ナビゲーションを、発電側には、太陽光発電の電力を蓄放電するマイクログリッドを適用した。これらは、電力の予測システムによって制御され、節電と発電の双方の最適な省エネルギーを行い、メールやエネルギー情報の開示によって施設利用者との協働の促進を目指したものである。

実証では、節電ナビゲーションの予報が前日に配信されるので、事前に実験研究機器や研究室の空調や照明が節電される行動が取られ、図-3-2のように、電力のピーク抑制と同時にベース電力の低減から省エネルギー（低炭素化）にも効果が現れる知見を得た。

本章では、スマートグリッドの節電効果について実証研究し、4章のキャンパスへのシステムの展開につなげて行く。

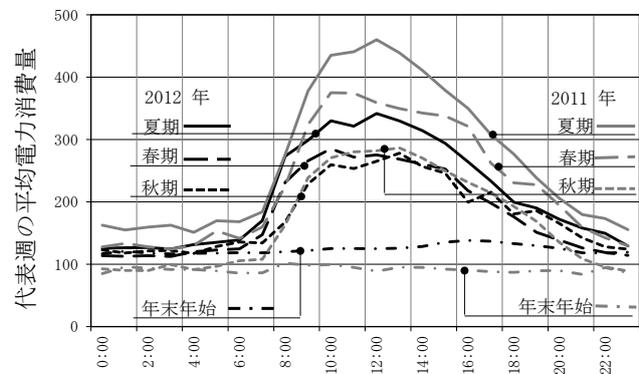
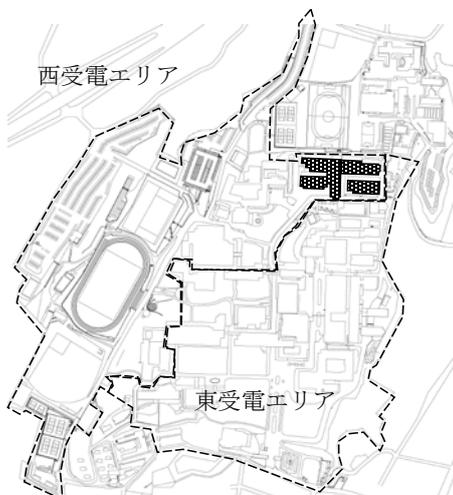


図-3-1 中部大学キャンパスと生命健康科学部 図-3-2 実証前後の電力消費プロフィール

3.1 研究対象の建物概要

3.1.1 エネルギー消費の位置付け

今回の研究対象の中部大学は、37.5万m²の敷地に文系と理系の7学部を擁する建物70棟、延べ面積約173,000m²（2010年時点）の総合大学である。図-3-1にキャンパスの概要を示す。キャンパスは西と東受電エリアの2箇所受電となっている。

図-3-1-1に東京都環境確保条例で公開されている教育施設の医学系を除くCO₂排出量データを示す。これによると、中部大学の施設規模は平均より大きく、単位面積あたりのCO₂排出量原単位（以下CO₂排出量原単位）は70.7kgCO₂/m²年（2011年）であり理系大学の平均よりやや上に位置付けられる。

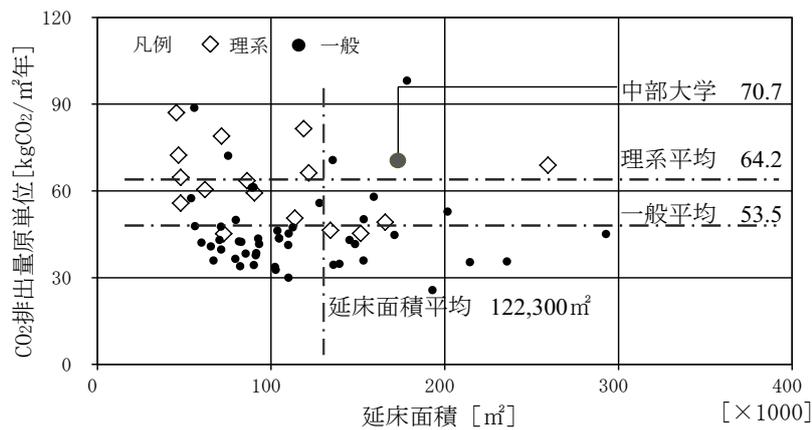


図-3-1-1 教育施設のCO₂排出量（東京都）と中部大学の位置づけ

3.1.2 対象学部の建物構成

今回の研究対象とした生命健康科学部は、中部大学の西受電エリアに属する理系学部で、1,430kWの契約電力の内、最大の472kWの電力を使用する。年間のエネルギー消費に伴うCO₂排出量原単位は、54.2kgCO₂/m²年で教育施設では平均的な排出量である。

学部の建物は、下図に示すように、既存の3棟と新築1棟から成り、床面積は約20,200m²、低層階に食堂・厨房等の共用部と講義室、高層階は実験室と研究室が配置されている。

用途の比率は、講義室が約18%、廊下、食堂等の共用エリアが約39%、研究室と実験室が約43%で、節電が一般に難しい実験室と研究室的割合が約半分を占めている。

設備は、ガス式個別空調、HF型照明が設置されており、教育施設としては一般的な設備内容である。

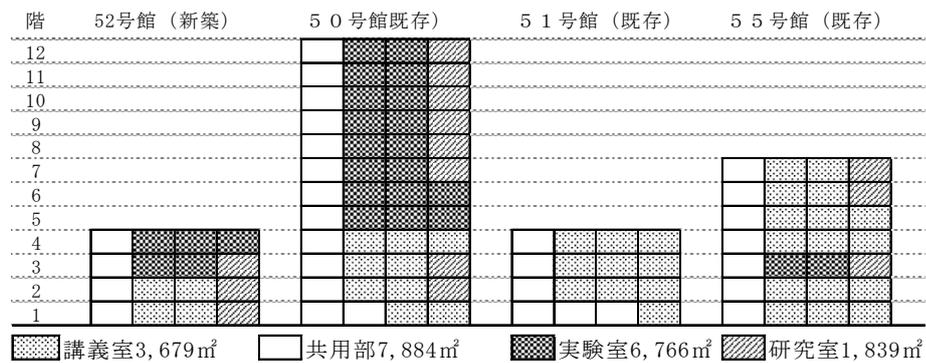


図-3-1-2 生命健康科学部の建物構成

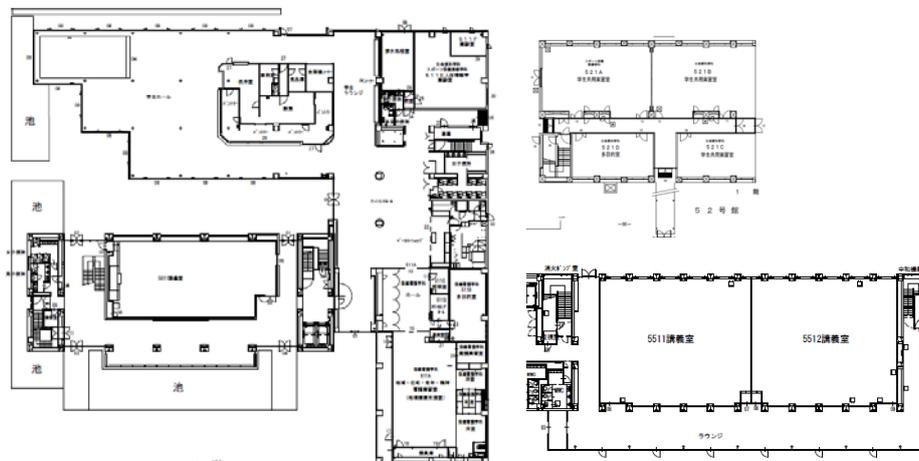


図-3-1-3 生命健康科学部の平面図

3.1.3 エネルギー消費の特徴

年間のエネルギー消費実績を図-3-1-4に示す。ガス式空調である為、都市ガスの消費が外気温の変動に従い変化し、電力量消費の変動幅は年間を通じて小さい。

春期と秋期の中間期は、4月15日から6月15日と9月15日から11月15日まで原則空調は行われず、空調が必要な場合は申請を行う事となっている。中間期の申請については、学部の全275室の内、約3割の78室の申請がありその内の66室が実験室であった。実験室の申請の理由は、機器発熱による室温上昇と実験環境の維持となっている。

2011年の電力消費データから、電力消費の代表週の平均値の重ね合わせ図を図-3-1-5に示す。年末年始のベース電力は、実験研究機器の電力消費と考えられ約100kWとなっている、年間に換算すると876MWhとなり、2011年度の当学部の電力使用量1,548MWhの約6割を占め、他の理系の教育施設と同様に、実験研究機器の電力使用が省エネルギー上の大きな対象となることを示している。また、ベース電力は、夏期のピーク電力472kWの約2割を占め、平準化にも寄与できる事が分かる。

中間期は、主に照明の電力消費がベース電力に乗り、夏期は、講義室や共用部等の空調と保管庫等の実験研究用の冷却設備の電力消費が更に加算されたものと考えられる。

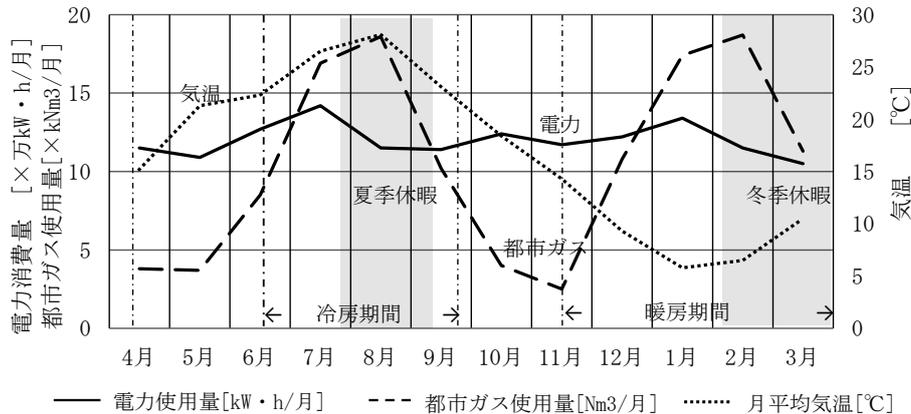


図-3-1-4 年間エネルギー消費

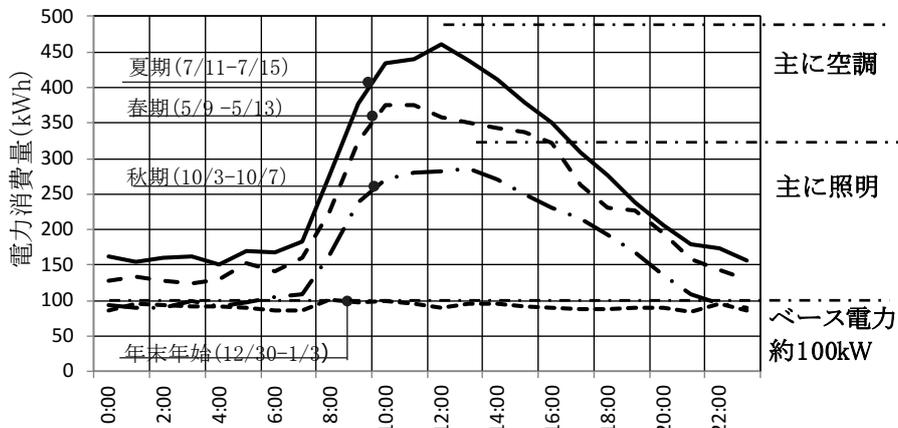


図-3-1-5 季節別電力消費プロフィール (2011年)

3.1.4 実験研究機器の概要

実験研究機器は、資産台帳に 4,573 台登録され、その内訳を表-3-1-1 に示す。約 45%が電力を使用しない什器、計器類であり、節電対象は残りの 2,468 台の機器となる。

表-3-1-1 生命健康科学部の資産台帳の分類

分類	主な機器	台数 [台]	割合 [%]	小計 [台]
什器	作業台、棚等	1,340	29.3	2,105
計器類	顕微鏡、天秤等	765	16.7	
OA 機器	パソコン等	573	12.5	2,468
機器	分離機、培養器, 等	1,895	41.5	
合計		4,573	100	4,573

3.2 適用したスマートグリッドシステム

3.2.1 電力消費側の節電システム（節電ナビゲーション）

電力消費側の節電システムは、図-3-2-1 に示す様に、主に実験室と研究室を対象とした節電ナビゲーション（以降、節電ナビ）と講義室と共用部を対象とし運転モード切替え、室温設定緩和などの自動制御の2つより成る。

より効果的な節電の為に、電力消費量の6割を占める実験研究機器の使用まで踏み込む必要があるが、使用者の意図を考慮しない制御は適切でない。よって、節電ナビは、学内のメールシステムを利用し、実験研究者を介して機器の節電をするものとした。

節電の対象機器は、実験研究者に挙げてもらい、表-3-2-2 の様に、節電レベルに応じた段階的なものとした。この様に事前の合意によって、研究への影響が回避できる事がシステムの特徴である。

電力量の需要予測は、天気予報による気温、湿度データと電力消費データの重みづけで算出され³⁾²⁾、学部の電力ピークの超過の可能性により、節電ナビは、予報、注意報（L1）、警報（L2）の3段階に分けて、節電担当者のPCまたは携帯に配信し、実施内容が返信される。節電ナビの実例を図-3-2-3 に、配信タイミングと電力消費予測と実績の概要を図-3-2-4 に、生命健康科学部のスマートグリッドシステムの概要を図-3-2-5 に、それぞれ示す。

システム	自動制御	節電ナビ
概要		
節電方法	自動制御	手動操作
対象室	主に講義室、共用部	主に実験室、研究室
対象機器	照明、空調	機器、照明、空調
レベル	3段階：予報、注意報（L1）、警報（L2）	

BEMS: エネルギーマネジメントシステム、GW: ゲートウェイ (通信機器)

図-3-2-1 節電システムの概要

表-3-2-2 節電ナビの種類

種類		配信時間	配信根拠
予報		前日 17 時	翌日の予測が目標の 90%を超過
L1	注意報	当日 8 時	当日の予測値が目標値の 90%を超過
L2	警報	即時	30 分後予測値が目標値の 95%を超過

生命健康科学部				
50・51号館	52号館	55号館	405	406
室名	401	402	405	406
空調 (120W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する
照明 (100W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する
パソコン (100W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する
遠心分離器 (1,000W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する

図-3-2-3 節電ナビの例

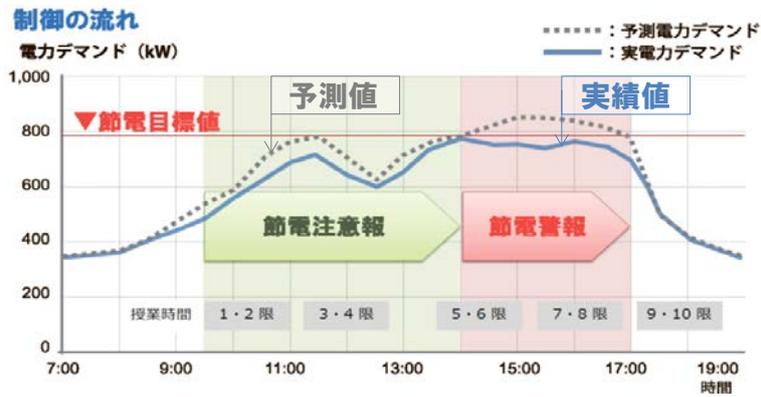


図-3-2-4 電力消費予測と節電ナビの配信の概要

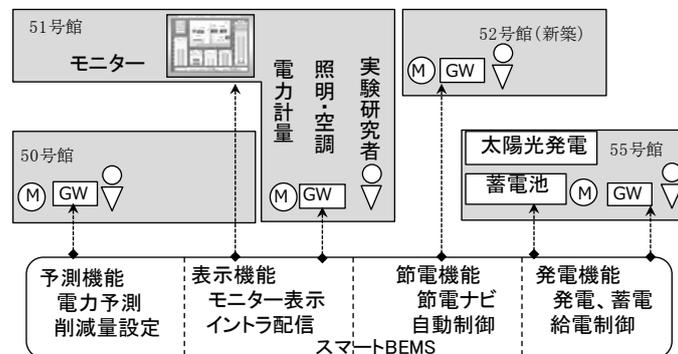


図-3-2-5 スマートグリッドシステムの機能と概要 (学部グリッド)

3.2.2 電力供給側の発電システム（マイクログリッドシステム）

図-3-2-6は、スマートグリッドの節電と発電機能の概要である。図中の電力の発電側には、太陽光発電を蓄電池に貯め電力のピーク予測に従って給電し、効率良くピークの平準化を行うマイクログリッドシステムを設けた。

システムは、屋根の空スペースを利用し、20kWの太陽光発電パネルと蓄電池（144kWh）の構成である。この太陽光発電設備は、停電時にも電灯やコンセントに電力を供給し、震災時等の学部のエネルギー自立性に寄与できるものとしている。

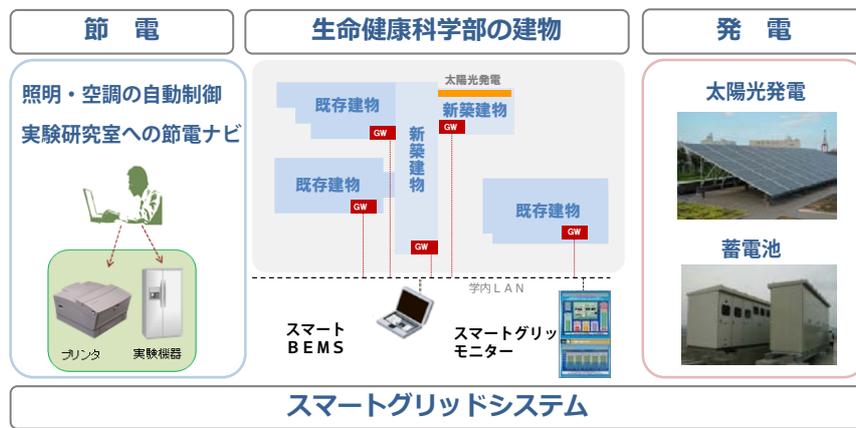


図-3-2-6 スマートグリッドシステムの節電と発電の機能の概要

3.2.3 節電システムの役割分担

以上の節電と給電を、電力の計量値と電力消費の予測値から最適に制御するシステムをここでは学部グリッドと称し、概要を図-3-2-5 に示した。

各システムの役割は、図-3-2-7 の山型の電力消費プロフィールにおいて、節電ナビは実験研究機器によるベース電力を、自動制御は空調と照明の昼間電力を、太陽光発電のマイクログリッドはピーク電力の削減を分担する。雨天時の太陽光発電が期待できない場合は、節電ナビと自動制御の節電対策となるが、この様にエネルギー消費に対して全般的に取り組む事で、節電効果を高める様に考慮している。

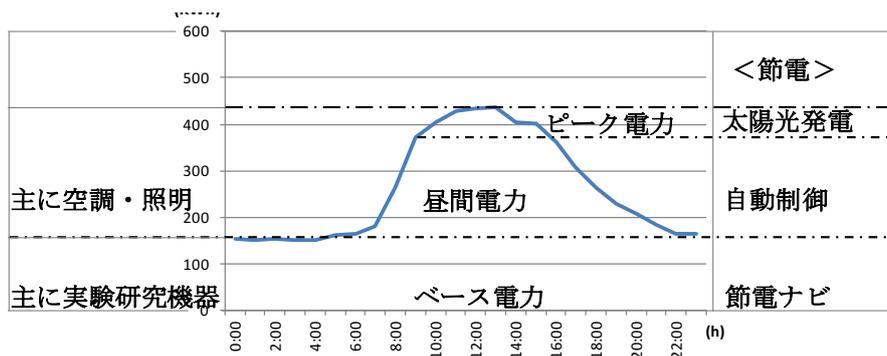


図-3-2-7 電力消費と節電システムの役割分担

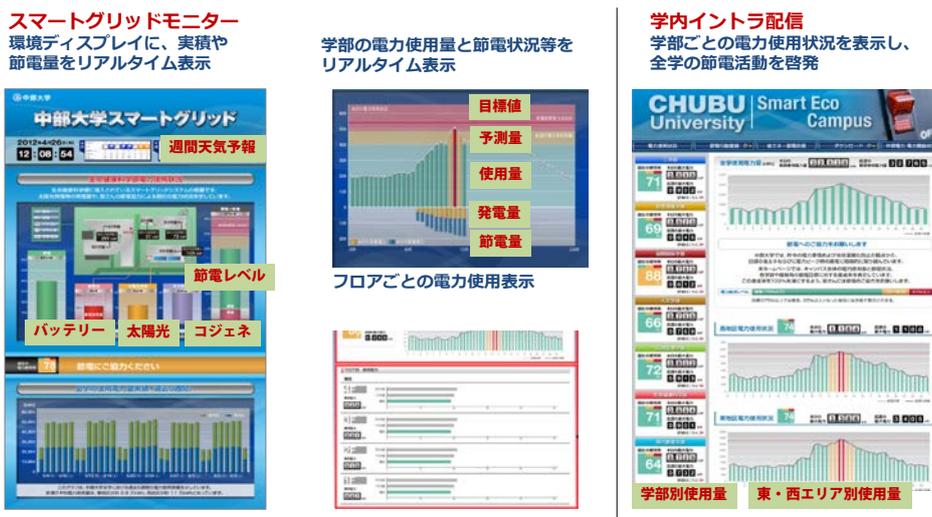


図-3-2-8 エネルギーモニターと学内イントラの配信

3.3 節電効果の推定

3.3.1 電力ピーク平準化量

(1) 節電ナビゲーションによる節電電力

実験研究者が登録し、節電対象として予め了解が得られた機器の台数は950台となり、その内訳は表-3-3-1に示す通りである。前述の表-3-2-1の資産台帳機器2,468台に対して、節電対象機器は約4割を占める。講義や実験を行っている状況での節電行動と考慮すると高い協力状況と考えられる。

節電ナビの対象エリアは、主に実験研究室となり、節電対象機器の台数は、研究室の空調・照明が約2割、実験研究機器が約8割で、定格電力の合計は165kWである。

節電電力は、機器の需要率と協力率を、ヒアリングから設定し、注意報(L1)で16kW、警報(L2)で13kW、合計29kWを見込んだ。これは、節電登録機器の定格電力165kWの18%、学部のピーク電力472kWに対しては6.1%に相当する電力である。

(2) 自動制御による節電電力

自動制御の対象は主に講義室と共用部の照明と空調である。空調の室温の緩和や休憩時間の停止、照明の休憩時間の消灯等を学部担当者と設定した。対象の空調・照明機器リストを表-3-3-2に示す。対象機器の定格使用電力は423kW、負荷率を想定し、注意報で43kW、警報でこれに39kWの計82kW(学部ピーク電力の17.4%)の節電電力となる。

表-3-3-1 節電ナビによる節電量の推定

機器	台数 [台]	定格 電力 [kW]	使用 電力 [kW]	節電量		小計 [kW]
				L1 [kW]	L2 [kW]	
空調	87	5	2	1	1	2
照明	131	18	14	7	6	13
機器	732	142	15	8	6	14
合計	950	165	31	16	13	29

表-3-3-2 自動制御による節電量の推定

機器	定格 電力 [Kw]	使用 電力 [kW]	節電量		小計 [kW]
			L1 [kW]	L2 [kW]	
照明	186	124	29	10	39
空調	237	183	14	29	43
合計	423	307	43	39	82

(3) 太陽光発電設備の給電電力

供給電力は、太陽光発電の変動する発電に蓄電池からの放電が補填され、20kW（学部ピーク電力の4.2%）となる。

(4) 電力ピーク平準化の推定量

これまでの節電予想値を表-3-3-3にまとめた。合計は131kWとなり、生命健康科学部のピーク電力値の27.8%と推定される。

表-3-3-3 電力ピークカット電力の推定値の合計

区分	対象エリア	平準化量 (kW) (kW)	割合(%)
節電ナビ	実験室、研究室	29	5.7
自動制御	講義室、共用部	82	16.2
太陽光発電	学部	20	4.0
合計		131	-27.8
合計値は2011年のピーク電力に対して			-27.8%

3.3.2 省エネルギー量（低炭素化量）

室用途毎の照明と空調の定格使用量に、稼働率と対策内容から省エネルギー量を算出したものを表-3-3-4に示す。(実験研究機器については、表-3-3-1の節電ナビによる節電電力が夏期と冬期の電力ピーク時間帯に削減されるとして算出) 省エネルギーの推定量は、電力 2.4%、都市ガス 6.4%、CO₂換算値で 3.4%となった。

表-3-3-4 省エネルギー量の推定

電力	対象	対策	削減率 [%]	削減量 [MW・h/年]
共用部 講義室	照明	昼休み消灯等	10	13.3
	空調	休憩時停止等	5	2.9
実験室 研究室	照明	昼休み消灯	10	8.8
	空調	室温の緩和	5	10.6
実験用	機器	電力ピーク時間帯の停止		1.9
合計	() は、2011年度電力消費量 (1,548MWh) 比の削減率			37.5 (-2.4%)

都市 ガス	対象	対策	削減率 [%]	削減量 [Nm ³ /年]
共用部 講義室	GHP	室温の緩和	10	3,760
	GHP	授業毎発停		
実験室 研究室	GHP	室温の緩和	10	4,060
	GHP	室温の緩和		
合計	() は 2011年度都市ガス消費量 (122,976Nm ³) 比の削減率			7,820 (-6.4%)

3.4 実証結果

実証期間は、2012年7月2日から8月3日。建物利用者側の学部の教職員138名全員を対象とし、授業や実験の実施状況は例年通りである。

節電メールの配信を表-3-4-1に示す。実証期間中は平日23日の内の15日に節電メールが配信され、電力ピークを記録したのは7月18日となった。

表-3-4-1 実証期間中の節電メールの配信状況

日時	曜日	予報	注意報	警報	最高気温 ℃	平均気温 ℃	電力消費量 (3号館含む) kWh	備考
7月2日	月	○	○		31.9	26.2	492.1	
7月3日	火				24.6	22.6	427.0	
7月4日	水	○	○		31.6	26.4	451.9	
7月5日	木				28.5	26.0	434.1	
7月6日	金				26.7	23.6	411.0	
7月7日	土				23.4	23.9		土曜日
7月8日	日				30.5	24.9		日曜日
7月9日	月				30.3	25.4	431.3	
7月10日	火				31.0	26.0	463.5	
7月11日	水			○	28.5	25.3	486.5	
7月12日	木			○	27.0	25.4	468.3	
7月13日	金	○	○	○	30.7	26.9	492.1	
7月14日	土				32.4	27.9		土曜日
7月15日	日				32.2	28.2		日曜日
7月16日	月			○	32.8	28.2	528.1	
7月17日	火	○	○	○	35.0	29.2	531.9	
7月18日	水	○	○	○	35.0	29.8	561.8	電力ピーク日
7月19日	木	○	○	○	35.6	31.0	522.0	
7月20日	金				30.3	25.1	480.4	システムの誤報
7月21日	土				22.9	22.0		土曜日
7月22日	日				27.6	23.2		日曜日
7月23日	月	○		○	31.3	26.6	485.8	
7月24日	火	○	○		34.0	28.5	477.9	
7月25日	水	○	○	○	34.5	30.0	535.3	
7月26日	木	○	○	○	36.1	30.8	518.1	
7月27日	金	○	○	○	36.6	31.0	515.7	
7月28日	土				36.9	31.1		土曜日
7月29日	日				34.1	29.3		日曜日
7月30日	月	○		○	34.4	29.4	520.3	システムの誤算出
7月31日	火	○		○	33.0	29.0	500.4	
8月1日	水	○	○	○	34.6	29.6	526.2	
8月2日	木	○	○		33.5	29.4	479.8	
8月3日	金	○	○		34.6	29.2	472.3	
合計		15	13	13				

3.4.1 電力ピーク平準化効果

(1) 実証期間中の効果

2011年と2012年の7月の各平日の最高気温におけるピーク電力のプロットを図-3-4-1に示す。図中の線はそれぞれの年の平均値である。2012年は2011年に比べて平均77kWのピークカット効果となった。

(2) ピーク電力週間の効果

2011年の電力ピーク日の7月12日と、2012年に記録した7月18日を含む一週間の平日のピーク値を表-3-4-1に示す。

外気の最高気温は2011年の平均34.0℃に対して2012年は平均33.7℃でほぼ同等である。ピーク電力値は2011年の7月12日の472kWに対し2012年は7月18日の357kWとなり、削減値は、115kW（24.4%）、平均削減値は95kW（20.1%）となった。

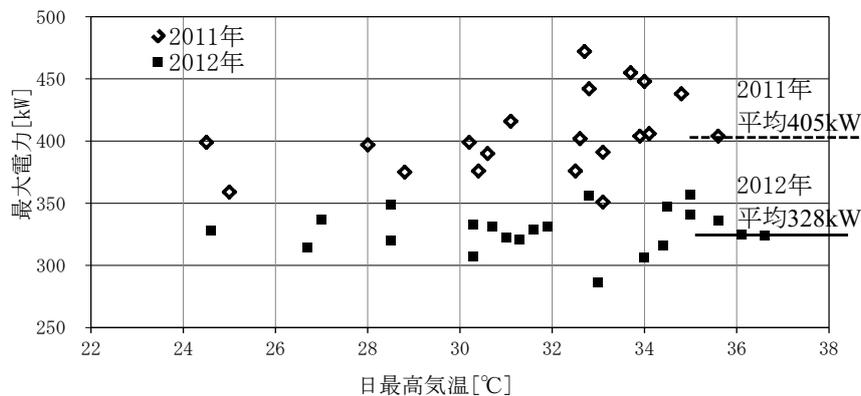


図-3-4-1 最高気温とピーク電力値

表-3-4-2 電力ピーク週の比較

2011年			2012年			電力ピークカット効果 [kW]
7月	最高気温 [°C]	ピーク電力 [kW]	7月	最高気温 [°C]	ピーク電力 [kW]	
11日	33.7	455	16日	32.8	356	99
12日	32.7	472	17日	35.0	341	131
13日	33.9	404	18日	35.0	357	47
14日	34.0	448	19日	35.6	322	126
15日	35.6	404	20日	30.3	333	71
平均	34.0	437	平均	33.7	342	95

(3) ピーク電力日の効果

図-3-4-2 にピーク電力を記録した 2011 年 7 月 12 日と 2012 年 7 月 18 日の電力の日グラフを示す。

2012 年度は 0 時から 7 時の電力消費の削減量をベース電力として、これが 27kW 低下した。昼間は、このベース電力に節電ナビと自動制御の節電、及び太陽光発電が加わって電力消費が抑制され、15 時にピーク電力値は 357kW となっている。

(4) 太陽光発電のピークカット効果

ピーク発生日の 7 月 18 日の太陽光発電パネルと蓄電池からの給電電力を図-3-4-3 に示す。発電電力は午後から曇って低下、蓄電池からの放電で補って 13 時には最大給電電力 22kW となった。15 時に BCP 用蓄電率下限の 50% となったので蓄電池からの供給が停止し、学部の使用電力は図-3-4-2 に示した 15 時の電力ピーク値 357kW となった。13～14 時点で電力ピークカット効果は 22kW (2011 年度比 4.7%) となっており、有効な動作が実証できている。

ここで、BCP とは Business Continuity Plan (事業継続計画) のことである。

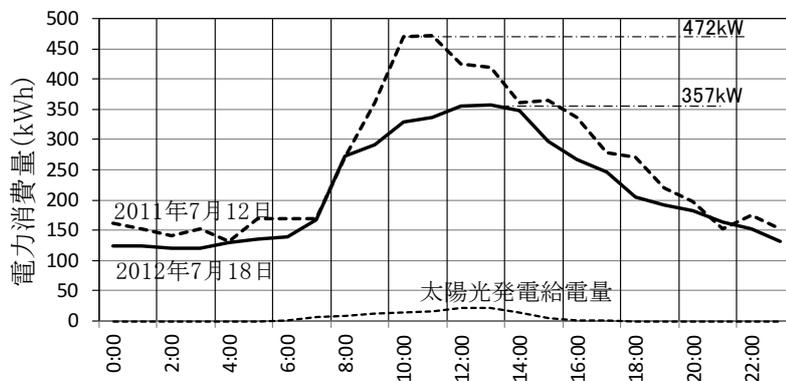


図-3-4-2 日電力プロフィール

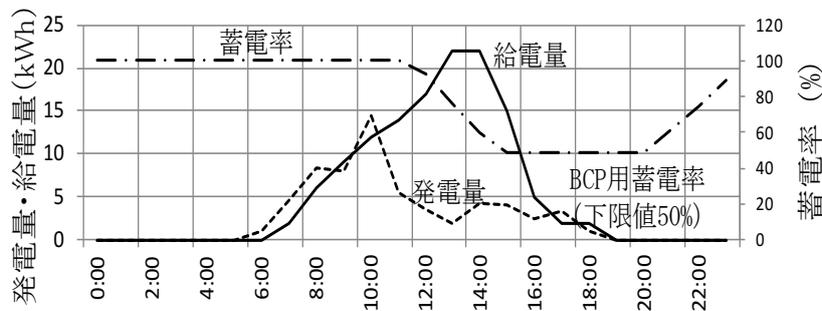


図-3-4-3 太陽光発電電力量

3.4.2 省エネルギー効果（低炭素化効果）

電力と都市ガス消費量、太陽光発電量の実績値を表-3-4-3 に示す。月間の電力と都市ガス消費はそれぞれ 13.2%、29.1%の大きな削減率となった。これを CO₂ 排出量に換算すると合計で 22.2tonCO₂、前年度比 19%の削減となった。年度では 65.4tonCO₂、前年度比 6.3%の削減となった。

月間の省エネルギー量について、電力が推定より大きくなったのは、前述のベース電力の低下が大きく寄与している。2011年と2012年の7月のベース電力の平均低減量は約 20kWh であるので月間では約 14,900kWh となり、表-3-4-3 の削減量 20,249kWh の約 7割に当たる。よって、電力の省エネルギー量 13.2%の内の 9.7%は、このベース電力の低減によるものと考えられる。

都市ガスの削減効果は、表-3-3-4 では昼間のみの空調運転として推定したが、図-3-4-5 に示す空調屋外機の電力消費データでは、昼間の約 60kWh に対して 20kWh の 24時間のベース稼働があった。空調の都市ガスのベース消費の低減によって電力同様の効果をもたらしたと想定される。

冬期については、節電ナビの動作は夏期の 30回に対し 6回に留まり、ピーク電力値と電力消費量は共に夏期と同等となった。冬期のベース電力が前年に比べて上昇した状況を踏まえると節電効果が維持されていると考えられる。

年度の省エネルギー量については、空調が原則半年停止する事により削減量は低下する。一方、今回の取り組み期間は7月からの第3四半期であることから削減率は割り引かれるので、年度では一定量の効果を得ていると言える。

表-3-4-3 エネルギー消費量と創エネルギー量の実績

エネルギー消費量 (7月)	2011年	2012年	削減量	削減率 [%]
電力 [kWh]	152,983	132,734	20,249	13.2
都市ガス [Nm ³]	18,740	13,289	5,451	29.1
CO ₂ 排出量 [t]	116.9	94.7	22.2	19.0

エネルギー消費量 (年度)	2011年	2012年	削減量	削減率 [%]
電力 [kWh]	1,548,328	1,455,662	92,666	6.0
都市ガス [Nm ³]	122,976	114,028	8,948	7.2
CO ₂ 排出量 [t]	1,033.1	967.7	65.4	6.3

創エネルギー量	7月 [kWh/月]	年度 [kWh/年]
太陽光発電 (寄与率)	3,017 (2.0%)	17,260 (1.1%)

3.4.3 室用途別の電力消費原単位

本節では、建物室用途毎の特徴的な電力消費のベンチマークを作成し、空調や照明機器の消費電力原単位を把握して、今後の省エネルギー効果の算出に利用できる目的とする。

生命健康科学部のスマートグリッドの実証期間中に得られた分電盤レベルの実データからこの原単位について考察する。

(1) 講義室と共用部の電力消費

代表的な講義室と共用部の分電盤の計量値を図-3-4-4に示す。昼間の電力消費については、授業に従った電力使用となっている。電力の使用は主に照明とコンセントと考えられ、14kWであり、配電エリアの床面積 2,113 m²で除す、5.5W/m²となる。照明の様に、室内の一定照度を確保する為に設置されている機器は、床面積にほぼ比例するので、生命健康科学部の床面積 22,300 m²を掛けると 123kW となり、図-3-2における電力使用プロフィールの春秋の中間期と年末年始の差の約 150kW に相当すると考えられる。ベース電力は 3kW であり、常夜灯等と考えられ、同様に床面積あたりは 1.4W/m²となり、学部面積を掛けると 30kW となる。

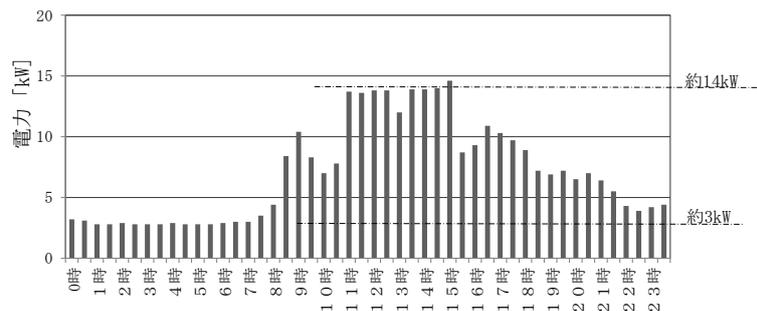


図-3-4-4 講義室、共用部の電力使用 (50号館 1~4階電灯コンセント)

(2) 空調の電力消費

次に各建物の屋外機に分電盤の計量値を図-3-4-5に示す。生命健康科学部は、主にガス空調であるが、ここでの屋外機は主に低温保管庫等の実験用空調の屋外機である。

ピーク電力が約 60kW、ベースの電力使用が約 20kW、となり、この電力使用量は下記の季節別の電力プロフィールの夏期と春秋の中間期のピーク電力差に、また、ベース電力は夏期とその他の季節のベース電力差の一部と考えられる。また、夜間にも約 20kW の昼間の約 1/3 の電力消費があり、24時間空調の運転を示している。

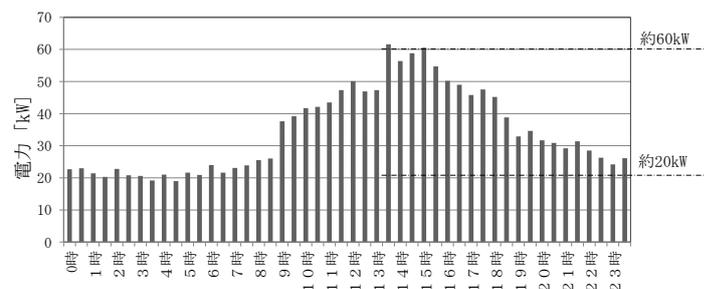


図-3-4-5 空調屋外機の電力使用 (50,51,55号館)

(3) 実験室の電力消費

実験室の電力使用を図-3-4-6 に示す。

24 時間系の実験機器の電力消費を表している。4kW の電力は床面積あたりの電力消費原単位は 8.6W/m²となり、生命健康科学部の実験室面積 8,343 m²を掛けると 72kW となる。図-3-4-4 の共用部のベース電力 30kW と加算すると 102kW となり、図-3-4-7 のベース電力の主な消費先と考えられる。

以上の代表的な盤レベルの電力使用量から、生命健康科学部の電量消費の構造がおおよそ推定できた。この様な電力消費プロフィール分析の手法によって、限られた計測点からピーク電力平準化や低炭素化の対策とおおよその効果量を把握ができ、他の建物への展開可能と考える。

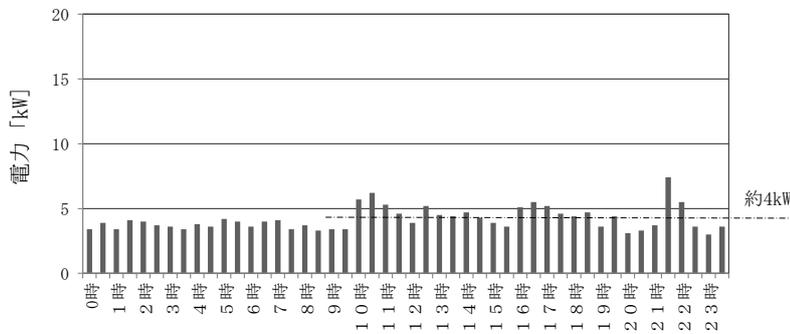


図-3-4-6 実験室、研究室の電力使用 (50号館8階学生実験室)

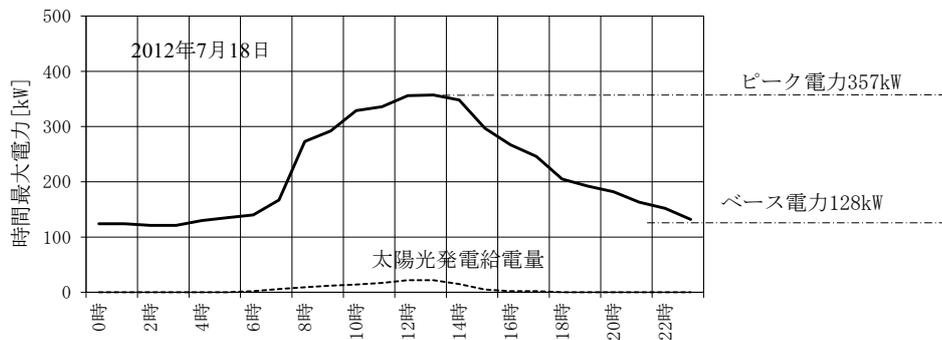


図-3-4-7 電力ピーク日の電力消費

表-3-4-4 生命健康科学部の電力消費の原単位

項目	講義室、共用部		実験室		空調 電力量	合計 [kWh]
	原単位 [W/m ²]	電力量 [kWh]	原単位 [W/m ²]	電力量 [kWh]		
夜間	1.4	30	8.6	72	20	122
昼間	5.5	123	8.6	72	60	255

3.5 考察

本章では、施設運用と再生可能エネルギー利用による節電効果および、節電行動と実績を纏め、それらの詳細から節電電力の内訳を推計する。

3.5.1 節電効果の検証

(1) 節電行動の分析

月間の節電行動の実績を表-3-5-1 に、日レベルの節電行動の実績を図-3-5-1 に示す。節電協力者数は延べ90名で学部教職員の約65%に当たる。実証期間では7月25日の55名（教職員構成比40%、以下同じ）、機器台数では19日の270台（節電対象機器の28%）が最大であった。平均としては、38名（28%）が節電行動を実施し、192台（20%）が節電している結果を得た。

時刻レベルの節電行動実績を図-3-5-2 に示す。朝8時の注意報メールに対して節電行動のピークは8時30分、警報に対して12時45分となっている。前者は授業開始前、後者は昼休みであり、節電行動は授業時間を避けて行われている。

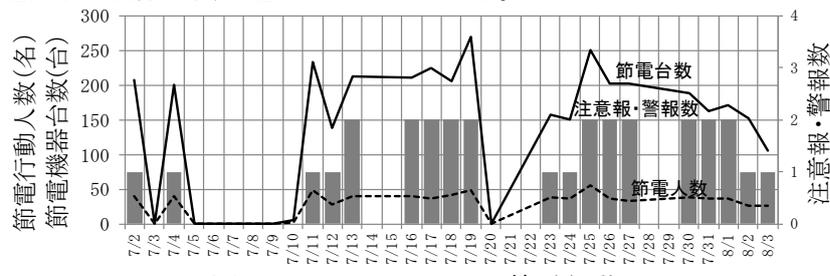


図-3-5-1 日レベルでの節電行動

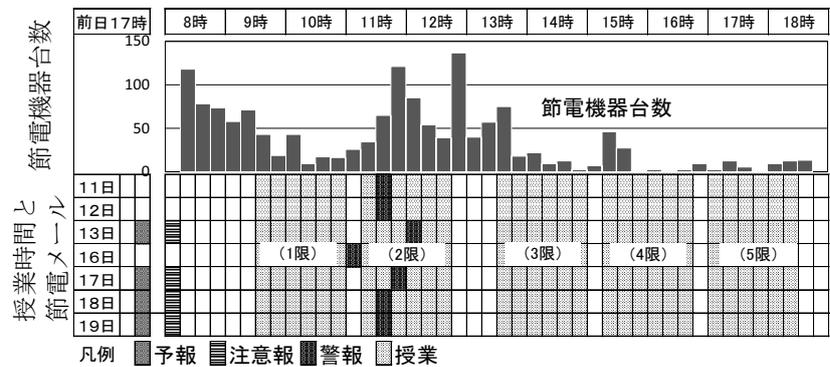


図-3-5-2 時刻レベルでの節電行動

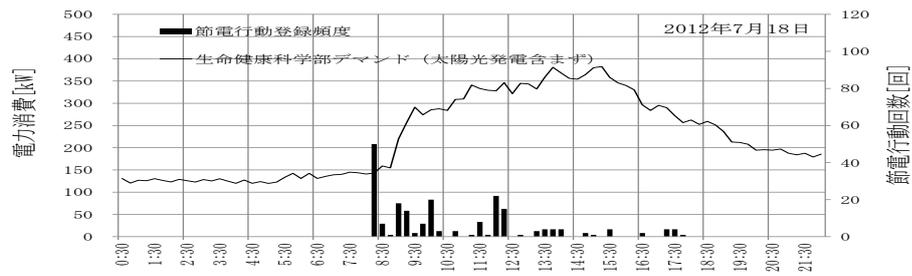


図-3-5-3 ピーク電力日の電力消費と節電行動

表-3-5-1 節電行動実績

(節電ナビ)添付資料6

節電行動登録実績(7/2-8/3)

2012.9.5

節電協力者 No.	7月																				8月			総計	登録 回数			
	2月	3月	4月	5月	6月	9月	10月	11月	12月	13月	16月	17月	18月	19月	20月	23月	24月	25月	26月	27月	30月	31月	1月			2月	3月	
1																										1	1	
2																											31	10
3																											1	1
4																											1	1
5																											15	2
6																											31	16
7																											1	1
8																											14	14
9																											3	2
10																											21	14
11																											6	1
12																											3	3
13																											124	17
14																											20	4
15																											26	8
16																											8	1
17																											36	18
18																											2	2
19																											2	2
20																											80	13
21																											146	17
22																											8	8
23																											50	12
24																											686	16
25																											15	8
26																											9	4
27																											82	8
28																											18	15
29																											29	8
30																											157	7
31																											115	17
32																											199	17
33																											7	1
34																											1	1
35																											7	6
36																											1	1
37																											35	2
38																											1	1
39																											7	3
40																											85	16
41																											50	18
42																											8	2
43																											5	2
44																											2	1
45																											48	19
46																											113	15
47																											16	16
48																											15	7
49																											1	1
50																											68	16
51																											3	3
52																											1	1
53																											29	8
54																											53	10
55																											28	14
56																											1	1
57																											28	10
58																											1	1
59																											145	18
60																											24	7
61																											1	1
62																											10	2
63																											2	2
64																											3	3
65																											70	17
66																											22	12
67																											6	5
68																											87	10
69																											16	8
70																											14	14
71																											47	13
72																											1	1
73																											36	18
74																											114	16
75																											1	1
76																											73	8
77																											70	19
78																											4	4
79																											7	1
80																											45	12
81																											35	7
82																											17	5
83																											33	15
84																											16	10
85																											1	1
86																											108	17
87																											37	7
88																											48	10
89																											15	12
90																											24	6

登録数(台)	208	0	201	0	1	0	5	233	138	213	210	225	206	270	0	158	151	250	202	202	
--------	-----	---	-----	---	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	--

(2) 電力ピークカット効果の内訳

節電の内訳を推定する為に、同じ曜日で節電ナビが無い7月10日と有る7月17日の分電盤のデータから節電電力を積み上げた。分電盤のデータ例を図-3-5-4と図-3-5-5に、節電電力を表-3-5-2に示す。朝8時の注意報(L1)での節電電力は6kWと少なく、11時の警報(L2)によるものは、45kWとなった。

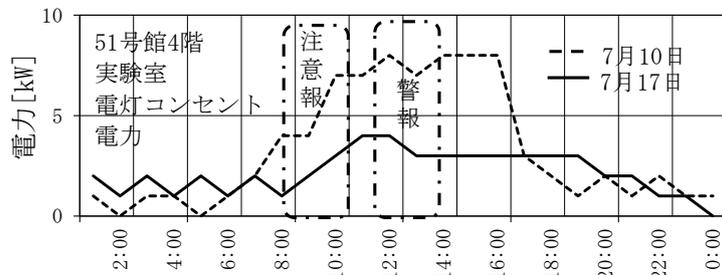


図-3-5-4 分電盤の節電状況例 (51号館実験室)

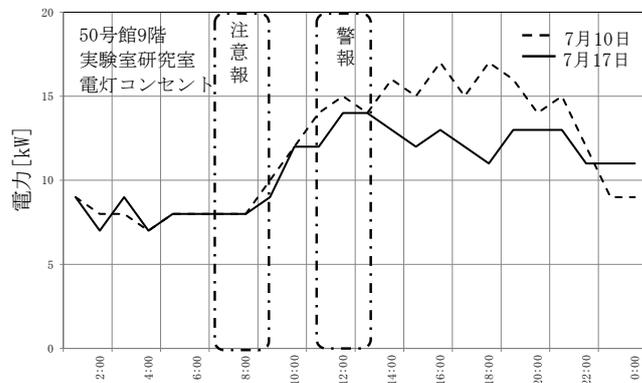


図-3-5-5 分電盤の節電状況例 (50号館実験研究室)

表 3-5-2 ピークカット効果の分電盤毎の集計 [kW]

レベル	節電ナビ		自動制御		合計	
	推定	実績	推定	実績	推定	実績
L1	16	4	43	2	59	6
L2	13	18	39	27	52	45
合計	29	22	82	29	111	51

これまでの電力ピークカット効果の内訳を、表-3-5-3 にまとめた。ここでは、推定値と実績値の違いについて考察する。

自動制御の節電について、推定値の 82kW に対して実績値は 29kW と大きく異なった。空調の節電電力を、表-3-3-2 では負荷率を約 8 割として算出した。一方、図-3-4-5 に示す空調機の屋外機の電力消費では、定格電力の合計 237kW の空調設備の昼間の消費電力は約 70kW である。従って電力負荷率は 30%が妥当であった。これについては、大学における個別空調の研究^{3-3),3-4)}において個別機器の 60%が 25 %以下の低い熱負荷率であった状況が報告されており、今回も同様と想定される。

空調の電力負荷率を 30%に見直し表-3-5-3 の推定値の修正欄に纏めた、自動制御の節電電力は、注意報 (L1) で 34kW、警報 (L2) で 21kW、修正値の合計は 104kW となり、ほぼ実績値の 100kW 程度となる。

次に、注意報 (L1) の節電電力は、推定値の 59kW に比べて実績値は 6kW の少ない値となった。注意報の節電効果が少ない要因は、前日の予報レベルで予め機器が停止されていたことや注意報レベルでの節電行動が日常化したことと考えられる。

実証終了後のヒアリングでの主要な意見は「授業中等即時対応できないので予め行動した」、「日常的に節電行動を取る癖がついた」等であり、節電行動の日常化を示している。よって、注意報での節電の多くは、ベース電力の低下に移行したことを示し、電力ピーク平準化対策が省エネルギー対策にも移行したことと想定される。

以上より、電力ピークカット効果の実績値 100kW の内訳は、節電ナビが 22kW(22%)、自動制御 29kW (29%)、ベース電力の低減が 27kW(27%)、太陽光発電が 22kW(22%)と考えられる。

表-3-5-3 電力ピークカット効果の推定値と実績値 [kW] 注 † 空調の電力負荷率の修正値

内訳	推定値			推定値の修正			実績値		
	ナビ	自動	小計	ナビ	自動	小計	ナビ	自動	合計
L1	16	43	59	16	34 †	50	4	2	6
L2	13	39	52	13	21 †	34	18	27	45
小計			111			84	22	29	51
ベース			-			-			27
太陽光			20			20			22
合計			131			104			100

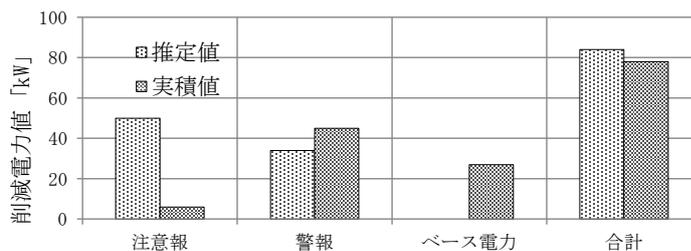


図-3-5-7 ピーク電力削減の要因推定

3.5.2 前年度との効果の比較

実証前と実証後の季節別の代表週の平日の電力消費の平均値を図-3-5-8に示す。ピーク電力が各季節で低減され、ベース電力も年末年始の値に対して季節変化が少なくなり、年間を通じて電力消費が抑制されている。本実証の節電システムによって、電力ピークの平準化と省エネルギーの双方に効果が得られた事を示している。

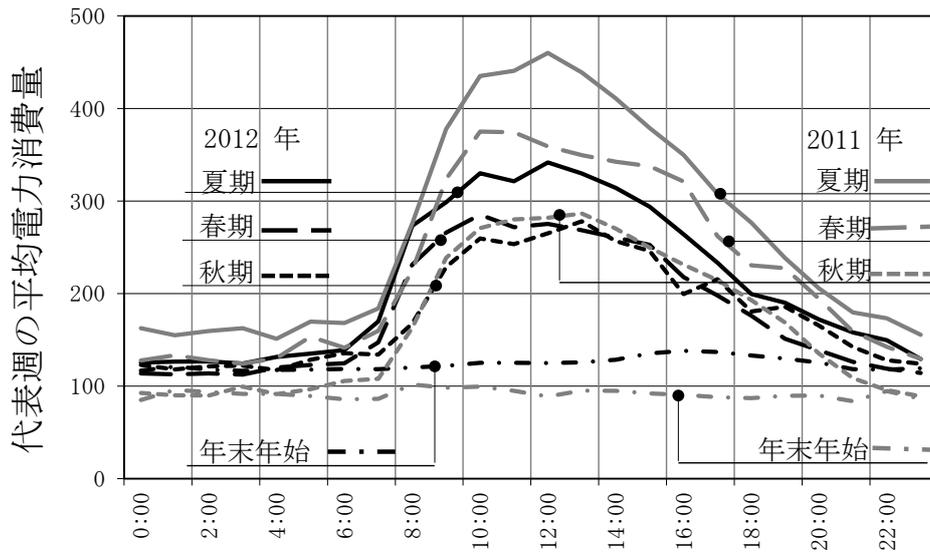


図-3-5-8 季節別電力使用プロフィール（実証前と実証後）（再掲）

3.6 第3章のまとめ

本研究では、既往の研究で理系学部の課題となっている実験研究機器まで踏み込み、電力ピーク平準化と低炭素化の取り組みを行った。事業者として懸案であった施設利用者と協働する一元化した施設マネジメントシステムとして、メールシステム等を利用した既存建物に多適用性の高いシステムを適用し、節電要請年度の2011年度に比べて更に、電力ピーク平準化24.4%、低炭素化19%の高い効果を発揮した。この電力ピーク平準化、省エネルギーと低炭素化及び、実験研究機器の節電の効果を実証した。

(1) 電力ピーク平準化

前年のピーク電力値に対し最大で115kW（前年比24.4%減）削減の電力ピークカット効果を実現した。このうち太陽光発電によるものが22kW（4.7%）であった。削減電力の内訳は、節電ナビが22%、自動制御29%、ベース電力の削減が27%と考えられ、おおよそ8割が運用によるもので、太陽光発電の22%がこれに加えられる。

(2) 省エネルギー（低炭素化）

実験室と研究室への節電ナビゲーションにより、電力ピーク平準化対策に加えて日常の節電が進み、理系の学部にて課題となっているベース電力の削減に繋がった。この結果、月間での省エネルギー量は電力13.2%、都市ガス29.1%の高い省エネルギー量となった。CO₂削減率は月間19.0%、年間6.3%となり、施設運用で一定の低炭素化が可能な事を示した。

(3) 更なる節電マネジメントシステム

実験研究機器の40%が節電に登録され、比較的高い割合が節電対象となり、平均28%の実験研究者が節電に参加し、機器台数の20%が節電された。これから、前章で課題とされた一元化した節電システムを適用し、施設利用者との合意形成が取られたと見なせる。

節電ナビゲーションによる節電電力は、22kW（節電対象機器の定格電力の13.3%）と考えられる。

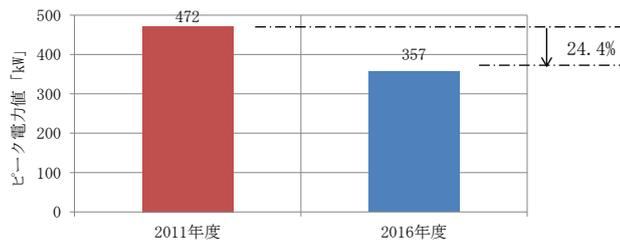


図-3-6-1 ピーク電力削減値の比較

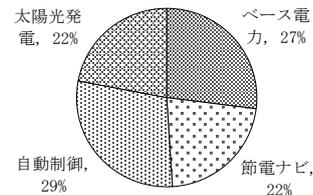


図-3-6-2 ピーク電力削減の内訳

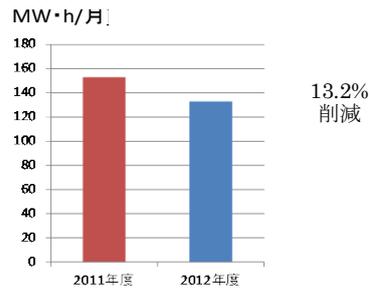


図-3-6-3 7月の電力消費の比較

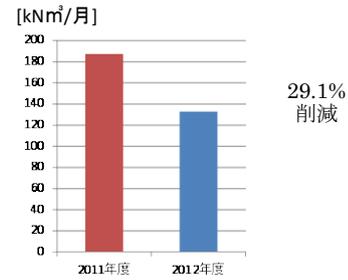


図-3-6-4 7月の都市ガス消費の比較

3.7 本研究に関わる論文および、参照論文

本研究に関わる論文

- 3-1) 河村 貢、古川 慧、関 泰三、大野智之、吉田正明、岡澤 岳、小林勝広、大山俊雄、山羽 基、横江 彩：多棟の既存建物の低炭素化に向けたエネルギーマネジメントに関する研究（第一報），空気調和・衛生工学会論文集, No.241, pp.21-28, 2017.4
- 3-2) 古川 慧、岡澤 岳、佐藤和浩、行本正雄、山羽 基、常川光一：中部大学における多棟エネルギーマネジメントの開発と実証, 電気設備学会全国大会講演論文集, 第 32 回 2014.8

参照論文

- 3-3) 岡本泰英、迫田一昭、赤司泰義、柳原隆司、野城智也：大学のサステナブル化に関する研究 その 8 個別分散熱源の改修結果と考察, 日本建築学会大会学術梗概集, 2014.9
- 3-4) 恒川和久、埴 雄太、太幡英亮、谷口元：国立大学におけるエネルギーマネジメント（その 1）,（その 2）, 日本建築学会日本建築学会学術講演梗概集, pp.1163-1166, 2011.8

第4章

大学キャンパスの電力ピーク
平準化と低炭素化の実証研究

第4章

大学キャンパスの電力ピーク平準化と低炭素化の実証研究

本章の背景は、既往の研究ではキャンパス全体を対象に一元化したシステムによって実証した事例は少なくまた、中部大学ではキャンパス全体のエネルギーマネジメントシステムの構築が喫緊の課題となっていたことである。

前章で実証されたスマートグリッドを図-4-1に示す様にキャンパス全体に展開し、この複数の学部グリッド群を管理するキャンパスグリッドを構築して、図-4-2に示す二層型グリッドとした。本章の研究目的は、この二層型グリッドシステムの機能と効果を実証⁴⁻¹⁾することである。

この二層型グリッドでは、東西の受電点を管理するキャンパスグリッドは、使用電力の超過予測によって、下位の学部グリッドの節電制御を行うと共に、東西のマイクログリッドに放電指令を出力し、受電電力の超過を防ぐ制御を行う。

実績は、大震災前の2010年度比で、CO₂排出量原単位は2016年度に28%の削減と、電力ピーク平準化34%を達成し、中部大学のCO₂排出量原単位は、図-4-3に示す様に理系大学相当であったものが、一般の平均値まで低減された。

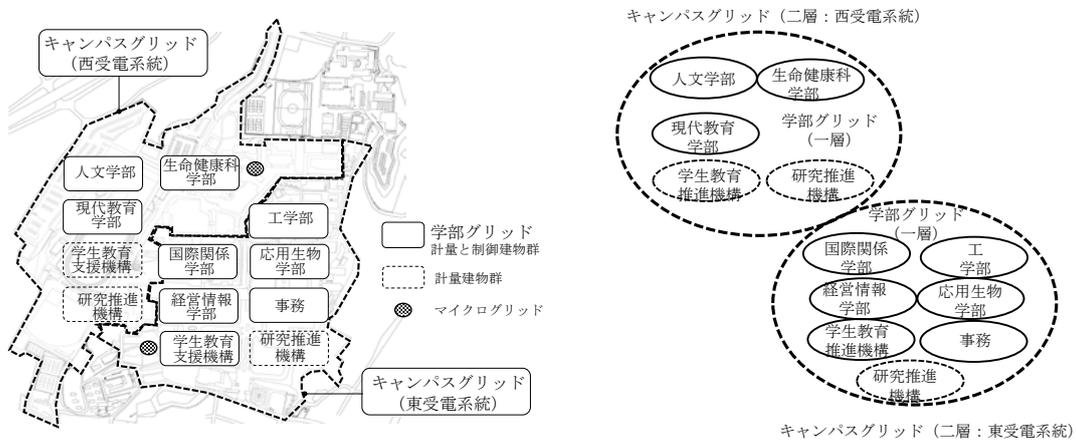


図-4-1 学部グリッドとキャンパスグリッド (二層型グリッド)

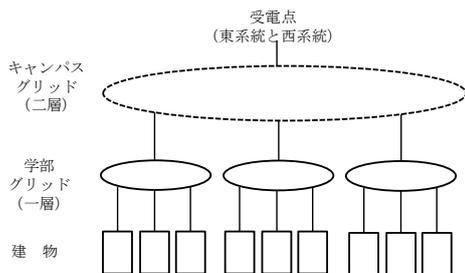


図-4-2 二層型グリッドの構成

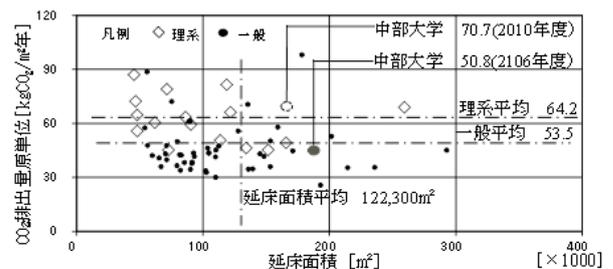


図-4-3 教育施設のCO₂排出量原単位と中部大学

4.1 中部大学の施設概要

4.1.1 建物概要

図-4-1-1に、キャンパスの東西の受電系統と学部・部門の建物を示す。

表-4-1-2に、これらの建物を電力消費の特徴に従って、理系、文系、グラウンドや体育館の厚生部門、サーバーセンター等の研究支援部門、事務関連の管理部門の5つのカテゴリーに区分した。

カテゴリー別の床面積割合は、理系学部と関連の研究支援部門は全床面積の約42%、文系学部は約22%、厚生部門は約24%であり、理系関連施設の割合が大きい。

また、建物の新築により、2016年度には延床面積が約12%増の192,000 m²まで増加している。

4.1.2 設備概要

空調設備の形式については、比較的小規模の8棟が中央式であるが、基本的に個別分散型となっており、屋内機の台数で合計約4,100台の個別式分散型空調（このうちの電力によるもの以降、EHP、都市ガスによるもの以降、GHP）が、ほぼ同数設置されている。照明設備の形式については、約半数がFL式、残りはHF式で、LEDは未導入であった。この様に、中部大学は個別分散機器が多数設置された教育施設として一般的な設備内容である。

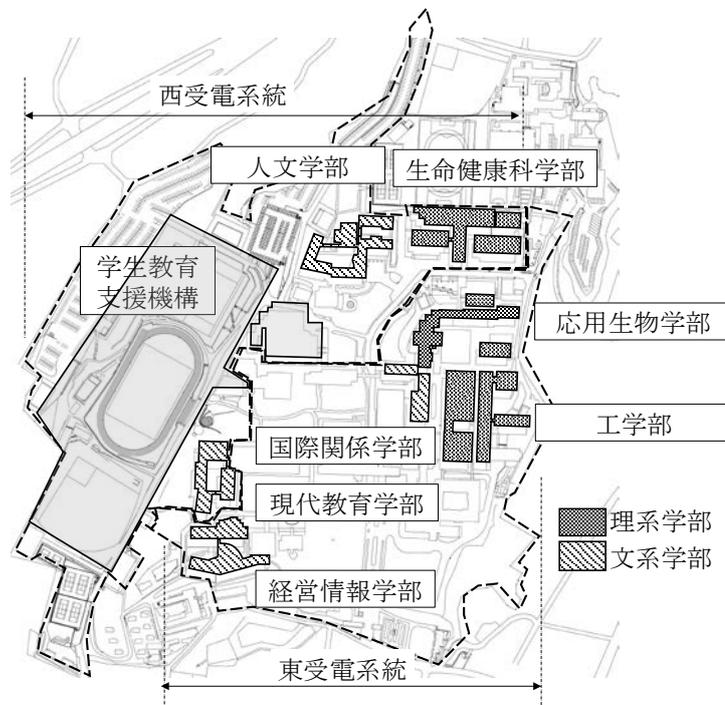


図-4-1-1 キャンパスの概要と学部、部門

4.1.3 エネルギー消費の概要

(1) キャンパス全体

表-4-1-1 に示す 2011 年度の一次エネルギー消費量原単位は、1,193MJ/m²年であり、このうちの 80%が電力、19%が都市ガス、1%が重油の消費となっている。カテゴリー別の電力消費量は、表-4-1-2 より、理系学部と関連施設が 52%、文系学部が 14%、厚生施設が 13%の内訳となっている。

このエネルギー消費量は、大学施設の調査⁴⁾²⁾の平均値 928MJ/m²年より約 30%大きい。また、CO₂排出量原単位については、2010 年度は 70.7kgCO₂/m²年^{注1)}となっており、東京都環境確保条例で公表されている教育施設の理系平均値の 64.2kgCO₂/m²年より大きい(4.5.5 節参照)。

これらから、中部大学のエネルギー消費は、理系大学に近い位置づけと考えられる。

表-4-1-1 エネルギー消費量(2011 年度)

種別	エネルギー消費量	一次エネルギー消費量	割合[%]
電力	17,210 [GWh/年]	17,1582 [GJ/年]	80%
都市ガス	918 [kN m ³ /年]	41,289 [GJ/年]	19%
重油	66 [kL/年]	2,581 [GJ/年]	1%
合計		215,451 [GJ/年]	100%
単位面積当たり		1,193 [MJ/年・m ²]	

表-4-1-2 カテゴリー区分と電力消費量(2011 年度)

カテゴリー	学部、部門	床面積 [m ²]	受電系統	電力消費量[MWh/年]	
理系	工学部	27,079	東	3,025	
	応用生物学部	15,958		2,783	
文系	国際関係学部	10,452		814	
	経営情報学部	8,354		551	
研究	研究推進機構、他	7,766		1,105	
厚生	学生教育推進機構	26,357		1,367	
	教育支援機構	5,737		527	
管理	事務, 図書館等	22,686		3,576	
理系	生命健康科学部	20,200		西	1,548
文系	現代教育学部	9,734			325
	人文学部	10,983	778		
研究	研究推進機構	3,867	380		
厚生	学生教育支援機構	11,374	686		
合計		180,547	17,210		

理系学部等 74,870 m²、文系学部 39,523 m²、厚生施設 43,468 m²

(2) 年間のプロフィール

図-4-1-2 にキャンパス全体の年間のエネルギー消費を示す。

中間期は、冷暖房が原則停止する施設運用で、必要な部屋は空調の申請が必要となっている。

都市ガスは、主に個別式空調の約半数と中央式熱源に消費され、外気温の変化に伴って消費量が変化している。

これに対して、電力は季節変動が比較的少ない。これは、空調以外の定常的な電力消費が多いので、季節変動部分が相対的に小さくなっているためと考えられる。

2011年度の夏と中間期の春の代表週の平日平均および、年末年始の平均日電力消費を図-4-1-3に示す。

12月30日から1月3日の年末年始の休校日の電力消費は、主に24時間稼働するような実験研究機器による消費と考えられ、年間を通して消費される。これをベース電力として、年末年始の平均値は1,309kWとなる。これは、年間では約11.5GWh/年となり、表-4-1-2の年間電力消費量17.2GWh/年の約7割に相当する大きな電力消費である。

春期の日電力消費は、空調が原則停止されるので、このベース電力に主に照明等の電力消費が乗り、夏は、更に空調の電力消費が乗った形と考えられる。これらの夏や中間期の日電力消費からベース電力を差し引いたものを、昼間電力として、空調と照明の電力消費の削減を検討した。

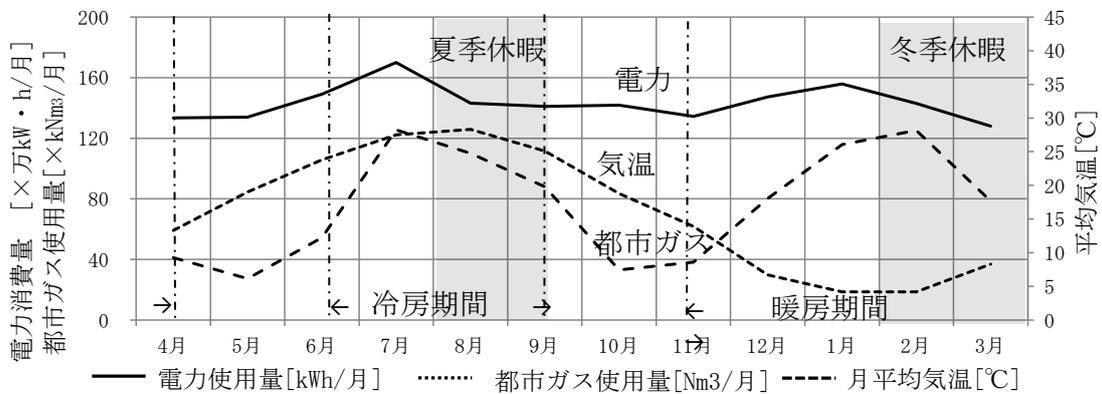


図-4-1-2 エネルギー消費

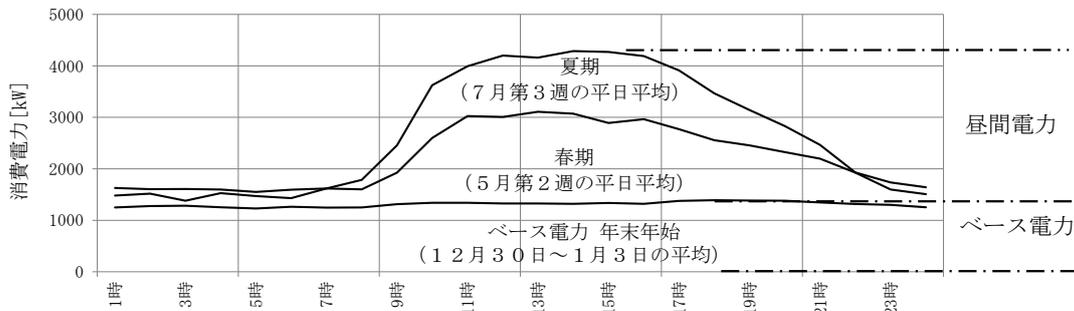


図-4-1-3 代表週の平均日電力消費

(3) ピーク電力

1月冬期代表週の東西の受電系統別の日電力消費を図-4-1-4と図-4-1-5に示す。ピーク電力については、東受電系統は昼間に不定期なピークを持つ特徴があり、大型の実験機器の稼働の影響と考えられた。西受電系統は、卒論等の作業で電力消費が夕方も高止まりしているところに、厚生部門のクラブ活動によってグラウンドや体育館の照明が点灯され、夕方のピークとなっていた。

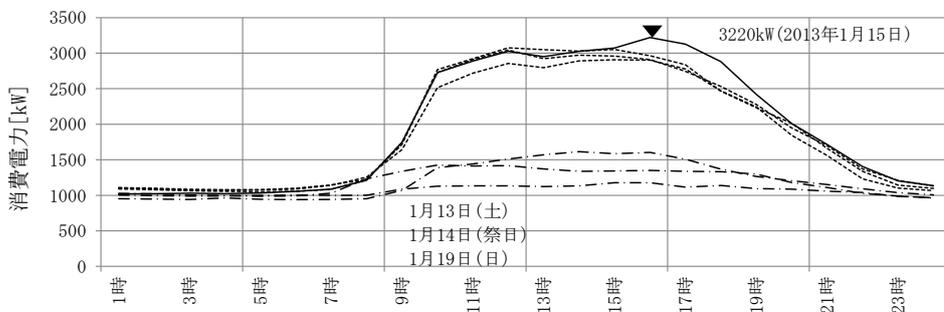


図-4-1-4 東受電系統のピーク電力

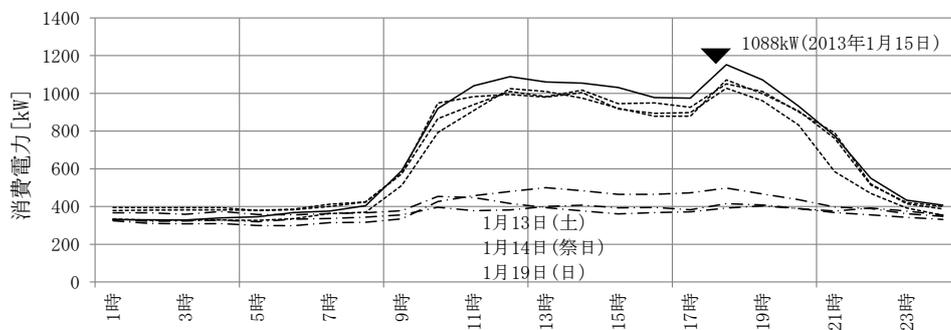


図-4-1-5 西受電系統のピーク電力

4.2 理系、文系等のエネルギー消費の特徴と対策

前述の理系、文系、グラウンドや体育館の厚生部門、サーバーセンター等の研究支援部門、事務関連の管理部門の5つのカテゴリから各カテゴリでの代表学部を、理系は工学部、文系は国際関係学部、厚生部門はグラウンドと体育館等の教育支援機構について、表-4-2-1に示す季節別代表週の平均電力消費をそれぞれ、図-4-2-1、図-4-2-2、図-4-2-3に、原単位を表-4-2-2にまとめた。

図-4-2-1に示す理系の工学部の電力消費の特徴は、ベース電力値が $10.2\text{W}/\text{m}^2$ と大きいことである。ベース電力は、12月30日～1月3日の年末年始の休校日の電力消費であり、年間を通じた消費となっている。これは、主に実験研究機器の稼働によるものと考えられる。このベース消費量 $244.8\text{Wh}/(\text{日}\cdot\text{m}^2)$ は、夏期の日消費量 $380.8\text{Wh}/(\text{日}\cdot\text{m}^2)$ の64%に相当する大きなもので、この削減が効果的な省エネルギーに結び付く。

文系の特徴は、日電力消費量から年間を通じて消費されている上記のベース電力を差し引いたものを昼間電力とすれば、表-4-2-2において、この昼間消費量が $151\text{Wh}/(\text{日}\cdot\text{m}^2)$ と理系より大きいことである。これは、文系学部の建物には実験室が無いので講義室の割合が大きくなり、講義室用の空調と照明の稼働率が比較的高くなることが要因と考えられ、空調と照明の制御と機器効率の改善が効果的と考えられる。

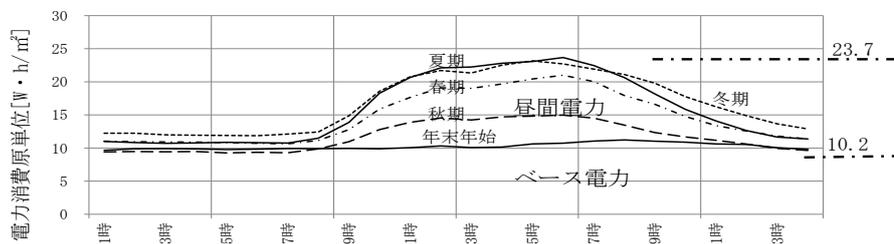


図-4-2-1 (工学部) 季節代表週の平均電力消費 (2013)

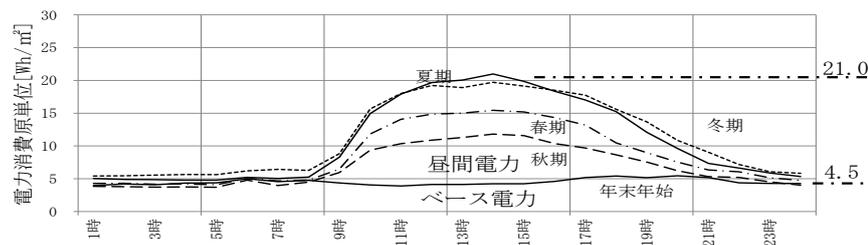


図-4-2-2 (国際関係学部) 季節代表週の平均電力消費

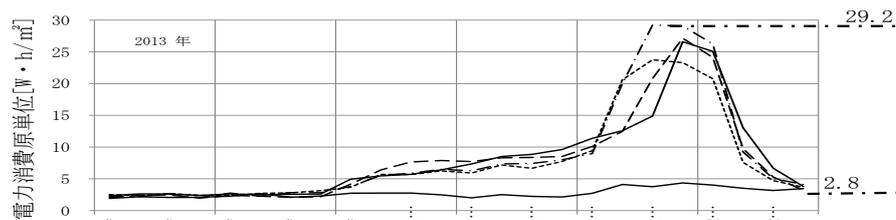


図-4-2-3 厚生部門の季節代表週の平均電力消費

図-4-2-3 に示す厚生部門の特徴は、夕方に先鋭的なピークを生じ、ピーク電力値は 29.2W/m^2 と他のカテゴリーに比べて大きいことである。これは、図-4-1-1 に示すキャンパスの敷地の大きなエリアでのクラブ活動等により施設利用が夕方に集中することが背景となっている。電力の消費先は主に照明と考えられ、照明の効率向上が効果的な電力ピークカットにつながるかと想定される。

表-4-2-1 季節別代表週の期間

春期	5月第2週平日の平均	
夏期	7月第3週平日の平均	電力ピーク月
秋期	10月第2週平日の平均	
冬期	1月第3週平日の平均	電力ピーク月
年末年始	12月30日～1月3日平均	

表-4-2-2 電力消費原単位 (2013年度)

項目	工学部	国際	厚生
ピーク電力値 (夏期) [W/m^2]	23.7	21.0	29.2
ベース電力値 (冬期) [W/m^2]	10.2	4.5	2.8
日消費量 (夏期) [$\text{Wh}/(\text{日}\cdot\text{m}^2)$]	380.8	259.0	191.1
昼間消費量 (夏期) [$\text{Wh}/(\text{日}\cdot\text{m}^2)$]	136.0	151.0	123.9
ベース消費 (年末年始) [$\text{Wh}/(\text{日}\cdot\text{m}^2)$]	244.8	108.0	67.2

4.3 キャンパスグリッドシステムの構築

生命健康科学部のスマートグリッドの実証を経て、システムが全学に展開された。図-4-3-2に示す9つの学部グリッドと、その上位の東西の受電系統のキャンパスグリッドに区分して、電力需給の管理単位とした。また、太陽光による発電・蓄電・放電機能を持つシステムをマイクログリッドと呼び、全体のシステムに統合している。

4.3.1 二層型グリッドシステムの概要

スマートBEMSは、学内のエネルギー計量システムおよび、イントラに接続され、各グリッドのエネルギー消費状況の一元管理と、節電メールの配信が可能となった。

図-4-3-1の制御システムにおいて、学部やキャンパスのエネルギーの予測を気象予報やこれまでの実績から算出する。図中の中央にあるBEMSは、電力管理値とこの予測値の差から節電目標量を算出し、図の下部の設備機器の自動制御やマイクログリッドの放電制御を行う。合わせて図中の右の大学のイントラを介して、施設利用者に予報や注意報の節電メールを配信し、自動制御に依らない実験研究機器や研究室の設備機器の節電を要請する。

図中左下の計量システムからリアルタイムの計量値から、節電目標値を超過すると予測された場合は、節電警報を該当の学部グリッドやキャンパスグリッドに配信して節電活動を促す。

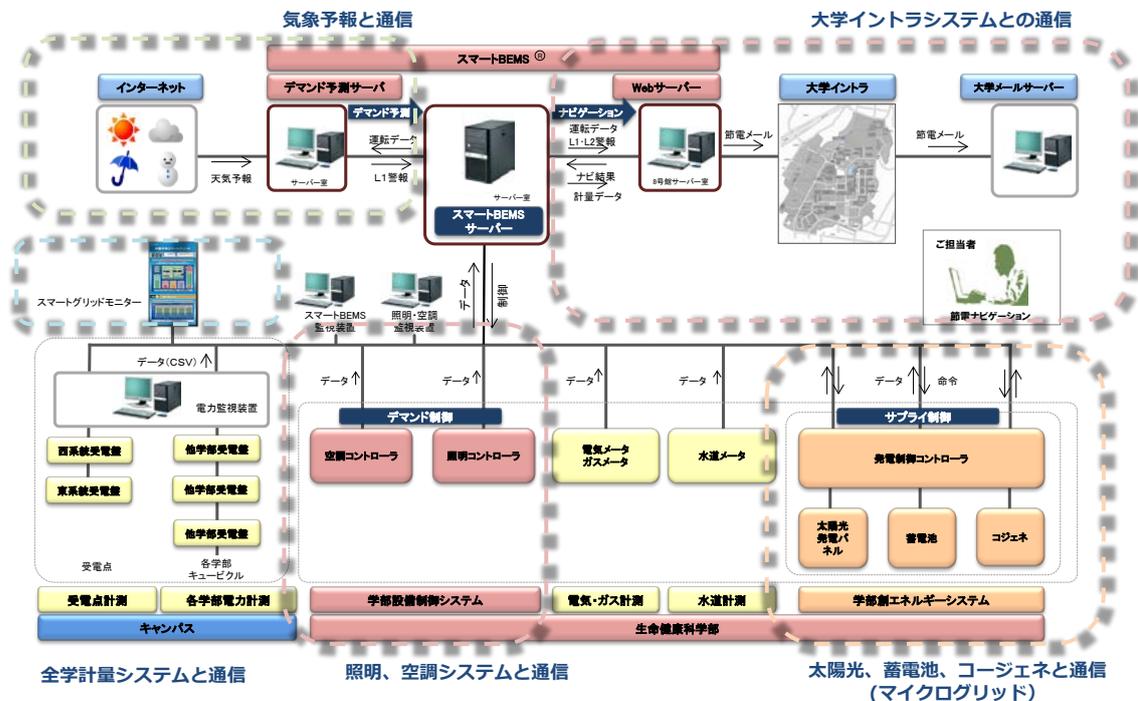


図-4-3-1 スマートグリッドの制御システム

学部とキャンパスグリッドの概要を図-4-3-2に示す。図-4-3-3で、学部グリッドがここで述べている一層目で、その上位にキャンパスグリッドが二層目に位置付けられる。

各グリッドの制御概要を図-4-3-4に示す。各学部グリッドとキャンパスグリッドの電力消費予測は、気象予報と電力消費実績の重み付けで算出される。学部グリッドでは、各々の電力消費が、節電目標値の90%に達した時間に注意報(L1)と95%の警報(L2)の2段階で、節電メールの配信および、空調と照明の自動制御による節電を行う。

東西のキャンパスグリッドは、自体の消費予測と各学部グリッドの電力消費合算値を管理する。目標値を超過すると予測された場合は、受電システム内の全学部グリッドに、前述の節電メールの配信と自動制御が実行され、節電を行う。

発電側には、マイクログリッドが西受電系統の生命健康科学部に続いて、東受電系統の学生教育推進機構にも設置された。注意報(L1)の配信時に放電して、学部グリッドおよび、各受電系統の電力ピークの平準化を行う。

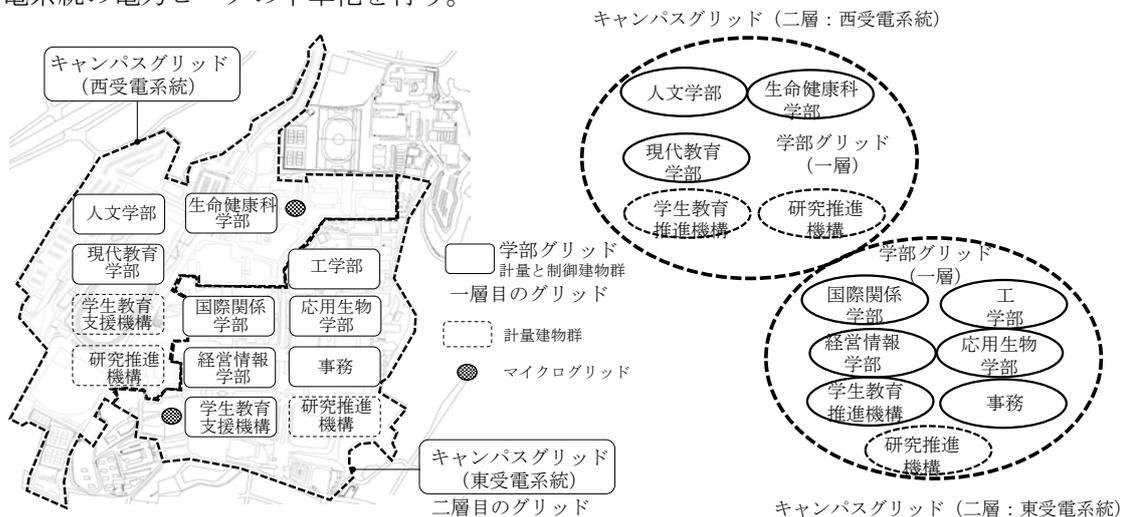


図-4-3-2 学部グリッドとキャンパスグリッド (二層型グリッド) (再掲)

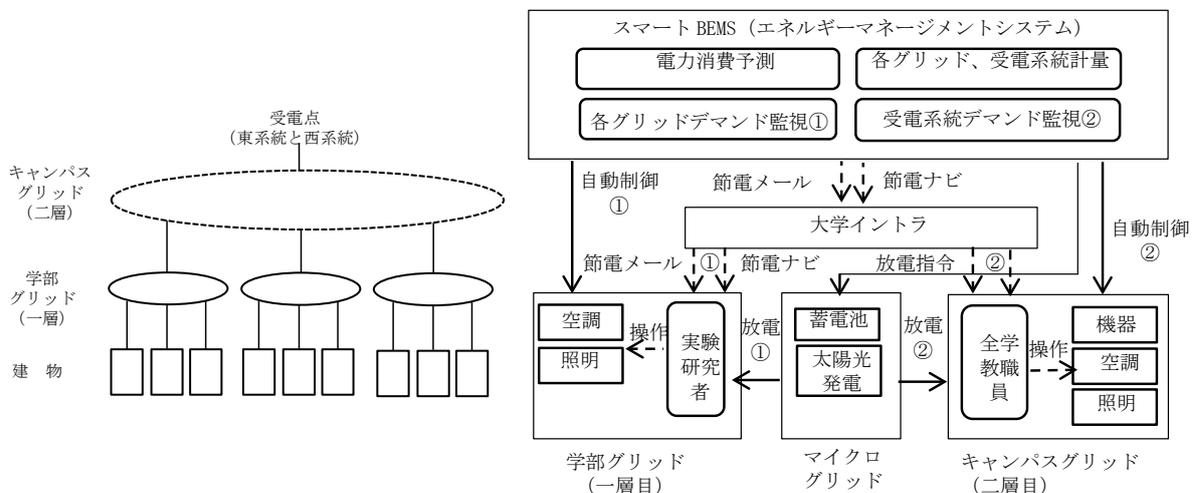


図-4-3-3 二層型グリッドの構成 (再掲)

図-4-3-4 二層型グリッドの制御概要

4.3.2 節電対策の概要

キャンパスの電力消費の課題と対策を表-4-3-1にまとめ、次に対策の内容について述べる。図-4-1-4と図-4-1-5に示すピーク電力は、夏冬の空調の電力消費ピーク期間に、特定の大きな電力消費が重なって生じていた。

東受電系統では、図-4-4-2に示す18号館(工学部構造実験棟)での大型実験装置の運転により、ピークを発生していたので、システムの節電ナビに別報⁴⁾に示す実験設備スケジューリング手法を取入れ、図-4-4-1に示す実験スケジューリングシステムを導入して、大型実験機器の稼働時間のシフトの要請を行った。西受電系統のグラウンドと体育館の照明は、シフトが難しいので、マイクログリッドからの給電によってピーク電力の平準化を行った。

昼間電力の削減については、自動制御は主に共用部や講義室の空調と照明を節電し、節電メールは自動制御に相応しくない実験室と研究室および、空調と照明設備の非自動化エリアに配信され、不要な機器の節電を行う。

ベース電力の低減については、自動制御による消し忘れ防止および、上記の節電メールによって自動制御の対象からはずれた空調、照明および、実験機器の停止を推進した。

これらの節電対策は、節電ナビは特定された対象機器の節電要請、節電メールは不特定の設備機器や実験機器の節電要請、自動制御は特定の設備機器の節電制御の区分としている。また、自動制御と節電メールの節電内容は、表-4-3-2を基準とした。

表-4-3-1 課題と対策

目的	節電				発電	
	ピーク		昼間	ベース	全般	
対象機器	特定		特定	不特定		
	大型実験機器	照明	空調照明	実験機器 空調、照明		
節電機能	節電ナビ	マイクログリッド	自動制御	節電メール	太陽光発電	コージェネ
節電対策	ピークシフト	給電	不要な機器の停止 消し忘れ防止		自然エネルギー	発電廃熱利用

表-4-3-2 用途毎の自動制御と節電メールの基準

用途	レベル	注意報(L1)		警報(L2)	
	手法	空調	照明	空調	照明
共用部	自動	室温緩和	部分消灯	空調停止	消灯
講義室	自動	—	—	室温緩和	—
実験室	メール	室温緩和	部分消灯	室温緩和	部分消灯
研究室	メール	室温緩和	部分消灯	送風運転	部分消灯

4.3.3 発電設備の概要

発電設備の一覧を表-4-3-3に示す。太陽光発電については、前述のマイクログリッドの他に、太陽光発電パネルが各学部設置された。

コージェネは、年間の温水需要のある系統に設置され、東受電系統では恒温恒湿空調の動物飼育室、西受電系統では温水プールに、温熱需要量に見合う容量とした。

表-4-3-3 発電設備の概要

発電設備	マイクログリッド		太陽光発電	コージェネ
	太陽光発電	蓄電池		
西受電系統	22kW	144kWh	17kW	25kW×2 台台
東受電系統	80kW	90kWh	111kW	35kW×1 台

4.4 効果の内訳

ここでは、実施内容と各対策の効果の内訳について述べる。

4.4.1 節電ナビのピーク電力平準化効果

図-4-4-2 は 18 号館の建築構造実験棟の振動実験台の稼働が、ピーク電力を押し上げていることを示している。図-4-4-3 は 18 号館の夏期と冬期の代表週の週平均電力消費のピーク値である。2011 年度より低減傾向にあり、174kW 削減できている。実験装置の運用は研究計画にもよるので、スケジューリングシステムの効果と判断できない部分も含まれる。

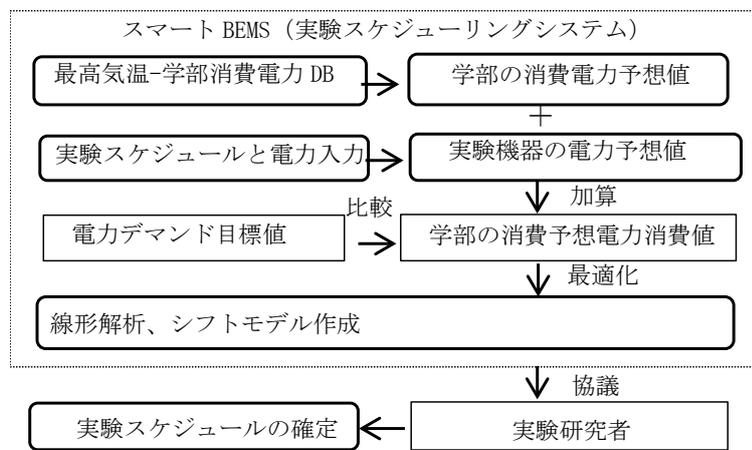


図-4-4-1 実験スケジューリングシステムの概要

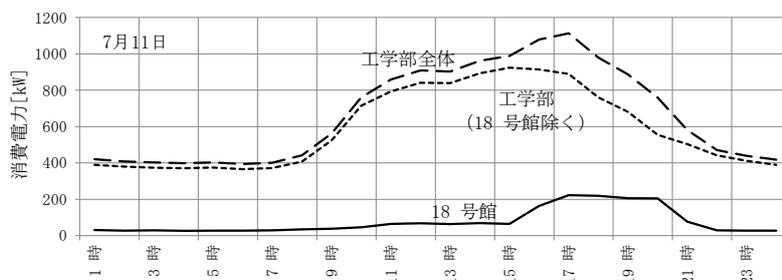


図-4-4-2 工学部と 18 号館の日消費電力

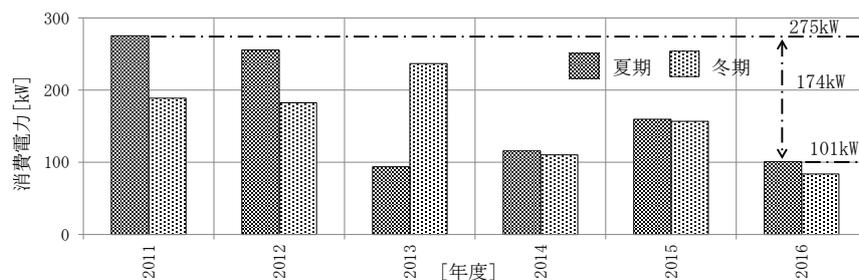


図-4-4-3 18 号館の代表週のピーク電力の推移

4.4.2 マイクログリッドのピーク電力平準化効果

西受電系統の注意報（L1）の時点で、生命健康科学部グリッドのマイクログリッドに放電指令を出し、ピーク電力の平準化を図った。

図-4-4-4 の制御が行われた日のデータでは、18時30分の西受電系統の注意報の時点で蓄電池が放電され、約22kW補てんされており、電力ピーク平準化効果が確認できた。

図-4-4-5 に2016年度の冬期代表週の東西受電系統の電力消費を示す。対策前の図-4-1-4 と図-4-1-5 に比べて、スマートグリッドによる電力ピーク平準化効果が確認できる。

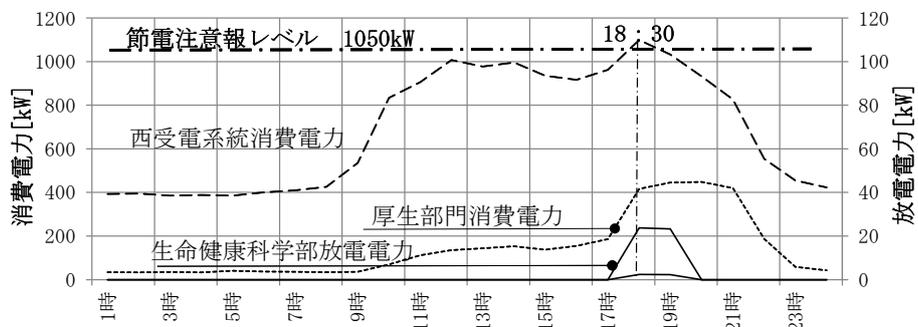


図-4-4-4 厚生部門の電力消費とマイクログリッドの放電

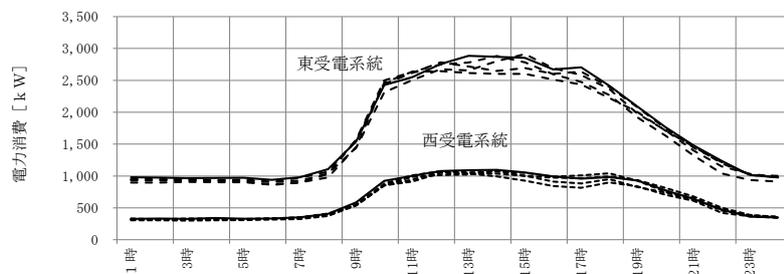


図-4-4-5 冬期代表週の電力消費重ね合わせ図

4.4.3 節電メールによるベース電力の低減効果

図-4-4-6に年末年始のベース電力消費の平均値を示す。ベース電力は、2011年度に比べて2016年度は121kW低下した。通年の消費であるので年間に換算すると約1.06GWh/年の削減量となる。

図-4-4-7に、電力ピーク月の1月と7月の東西受電系統の節電メールの配信数の推移を示す。取り組み期間の当初は、多くの注意報と警報が配信されたので節電の意識が高まり、不要な機器の停止が定着して、上記のベース電力の低減につながったと想定される

学部毎の年末年始のベース電力の変化を図-4-4-8に示す。理系学部では、ベース電力の削減量が、文系学部に比べて効果大きい。これは空調と照明の設備機器の節電よりも理系学部は実験研究機器の節電の余地が大きい事を示していると考えられる。

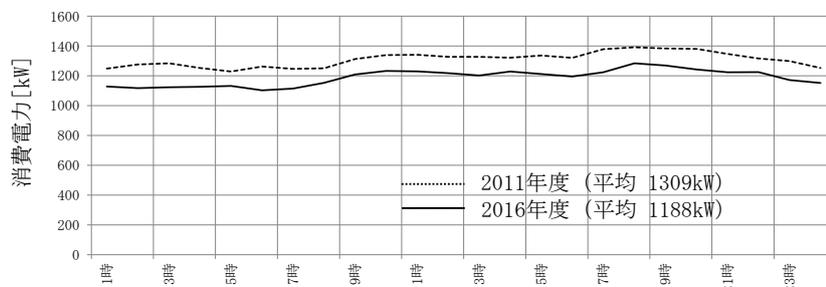


図-4-4-6 年末年始の平均日電力消費の推移



図-4-4-7 電力ピーク月の節電メールの配信数の推移

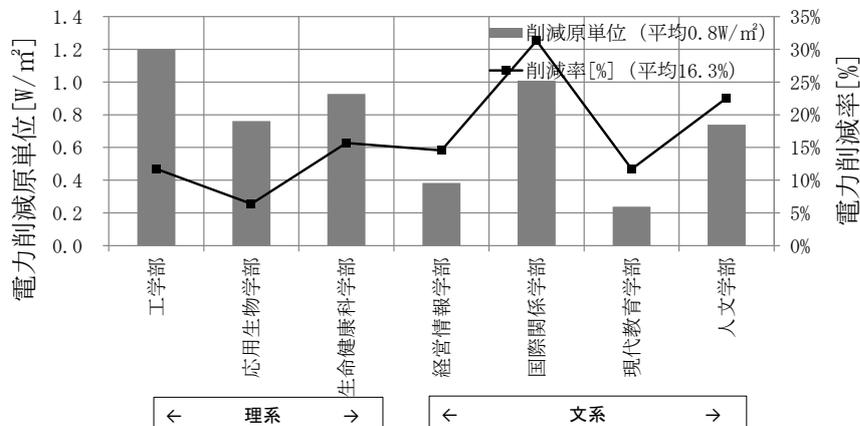


図-4-4-8 各学部のベース電力の削減効果原単位

4.4.4 昼間電力の削減効果

設備機器の更新毎に BEMS に接続し、自動制御エリアを拡大しました、制御が相応しくない実験室等は節電メールによる節電協力を取得して、自動とメールによる節電エリアは表-4-4-2 となった。前述の表-4-3-2 の節電基準から、節電協力に合意されたものの効果は、対象面積に 5.1.1 節での国際関係学部原単位を掛け合わせ、表-4-4-3 に示すピークカット効果は約 90kW となった。表-4-4-1 ではこの自動制御と節電メールによる節電エリアを示しており、協議エリアは全学の42%、そのうちの約3割の12%が節電協力を得られるエリアとなっている。

2015 年度以降ピーク電力値が低下して、注意報や警報が配信されていないので実績になっていないが、今後、建物の増築等によってピーク電力が上がると想定される場合は、予め施設使用者と了解された有効な節電対策（デマンドレスポンス）となる。

表-4-4-1 節電エリア及び効果（割合は全床面積比を示す）

項目	建物 [棟]	建物面積 [m ²]	節電エリア [m ²]	積み上げ値 [kW]
制御対象	19	80,620(42%)	24,700(12%)	88.5
主要建物	47	115,200(60%)	-	-

表-4-4-2 建物毎の節電制御対象エリアの面積

NO	建物		照明	空調		
	名称	延べ床面積 [m ²]	制御対象 面積[m ²]	制御対象面積 [m ²]		
				全エリア	左記での EHP エリア	
1	1 4 号館	4,089	2,064	2,850		GHP 主
2	3 0, 3 1 号館	7,801	1,908	-		GHP 主
3	3 2, 3 3 号館	5,711	1,765	444		GHP 主
4	5 0 号館	14,754	3,930	1,767	264	GHP/EHP
5	5 1 号館	↑	1,871	1,473		GHP 主
6	5 2 号館	2,148	230	2,349	264	GHP/EHP
7	5 5 号館	6,581	951			GHP 主
8	不言実行館	5,613	2,318	1,827		GHP 主
9	1 0 号館	6,964	-	264	264	EHP
10	2 0 号館	5,518	-	2,409		GHP 主
11	2 1, 2 2 号館	8,354	-	366	183	GHP/EHP
12	7 0, 7 1, 7 2 号館	9,734	-	1,892	946	GHP/EHP
13	1 1 号館	2,446	-	972		GHP 主
14	1 7 号館	907	-	66	33	GHP/EHP
合計	1 9 棟	80,620	15,037	16,679	1,954	

表-4-4-3 節電効果量の算出

節電対象機器		照明	空調 (GHP)	空調 (EHP)	
削減対象床面積		15,037	16,679	1,954	
削減値原単位	W/m ²	4	1	6	国際関係学部原単位を使用
削減量 (面積×原単位)	kW	60.1	16.7	11.7	
削減量合計	kW	88.5			

表-4-4-4 空調照明機器の遠隔制御の変化

受電系統		管理制御		備考		
		2010年	2016年	2016年		
東受電系統		空調	照明	空調	照明	
工学部	3号館			PAC-S		
	6号館	個別集中監視		PAC-S		
	7号館			BEMS接続		
	8号館			BEMS接続		
	14号館	—	—	BEMS接続	BEMS接続	
	18号館					対象空調なし
応用生物学部	5号館			BEMS接続		
	30号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	31号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	32号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	33号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	36号館					
国際関係学部	11号館			BEMS接続	BEMS接続	
	19号館			19北はPAC-S		
	20号館			BEMS接続	BEMS接続	
経営情報学部	21号館	タイマ制御		スマートスクリーン		中央式空調
	22号館	個別集中監視		BEMS接続		中央式空調(一部)
事務	1号館			BEMS接続		
	2号館			BEMS接続		
	メモリアルホール					中央式空調
学生教育推進機構	10号館	個別集中監視		BEMS接続		
	9号館	個別集中監視		PAC-S		
	12号館					
	キャンパスプラザ	タイマ制御		—		中央式空調
	不言実行館	—	—	BEMS接続	BEMS接続	中央式空調
研究推進機構	体育文化センター					中央式空調
	16号館	個別集中監視		—		
教育支援機構	23号館	個別集中監視		—		
	24号館					
図書館		個別集中監視		個別集中監視		中央式空調
生命健康科学部	17号館			BEMS接続	BEMS接続	
東系統合計	31棟			16棟	9棟	
	内空調建物30棟	5/28棟(空調建物)	/28棟(空調建物)	16/30棟(空調建物)	9/30棟(空調建物)	
西受電系統		空調	照明	空調	照明	
生命健康科学部	50号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	51号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	52号館	—	—	BEMS接続	BEMS接続	
	55号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
	70号館	個別集中監視		BEMS接続	BEMS接続	
現代教育学部	71号館	個別集中監視		BEMS接続		
	72号館	個別集中監視		BEMS接続		
	72号館	個別集中監視		BEMS接続		
人文学部	25号館	個別集中監視		BEMS接続		
	26号館			BEMS接続		
	27号館					
	28号館					
実験動物教育研究センター	53号館					中央式空調
	フロンティア研究棟					2017年解体
	高電圧実験室					対象空調なし
	超伝導実験棟					
学生教育推進機構	29号館	個別集中監視				
	体育館	個別集中監視(一部)				
	武道体育館	個別集中監視				
	グラウンド					対象空調なし
	テニスコート					対象空調なし
	その他					対象空調なし
西系統合計	18棟(グラウンド等除く)	7棟		9棟	4棟	
	内空調建物は17棟	7/16棟(空調建物)	/16棟(空調建物)	9/17棟(空調建物)	4/17棟(空調建物)	
全学合計	49棟(グラウンド等除く)					
	内空調建物は47棟	12/44棟(空調建物)	/44棟(空調建物)	25/47棟(空調建物)	13/47棟(空調建物)	

4.4.5 太陽光発電の効果と課題

太陽光とコージェネの2016年度の発電量は、図-4-4-12に示す様に約0.93GWh/年となり、内訳はコージェネ0.63GWh/年、太陽光発電が0.30GWh/年であった。

図-4-4-10に2016年度の7月平日の日最高気温とピーク電力および、その時の太陽光発電電力を示す。これから太陽光発電の平均のピークカット効果は83kWとなる。

気温が高く電力需要が多い日に、雲量の急増に伴い発電電力が低下する日があり、その日の発電状況を図-4-4-11に示す。注意報が配信されず、マイクログリッドから給電されなかったため発電電力が急落していた。太陽光発電の理想的な発電電力は想定できるので、急激な発電電力の低下に給電が追随するためには、マイクログリッドの放電制御の改良も今後の懸案事項となる。現状でのピーク削減値は、東西のマイクログリッドの放電設定値の合計40kWとなる。

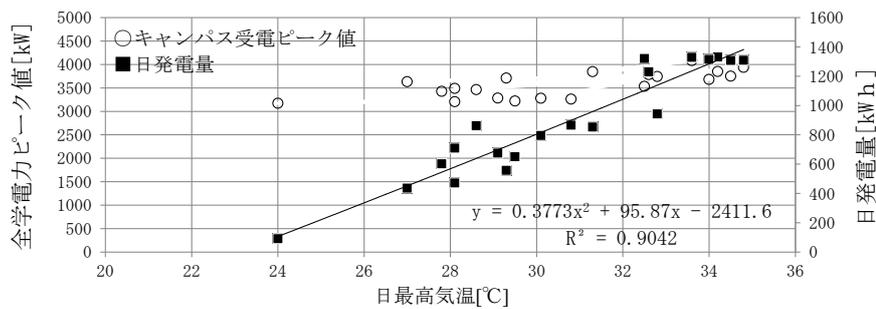


図-4-4-9 日最高気温とキャンパス受電ピーク値と太陽光の日発電値

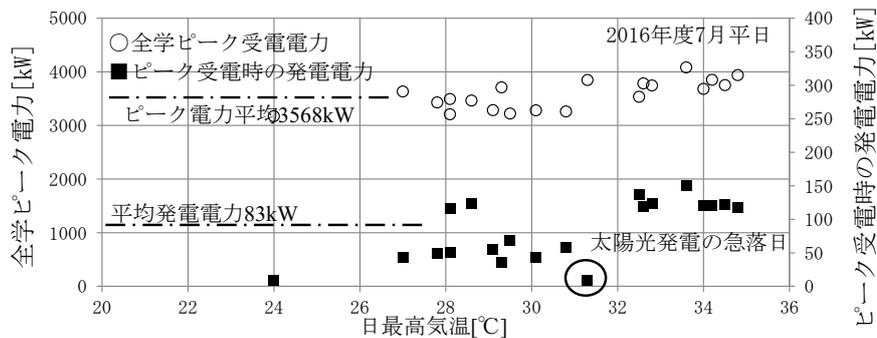


図-4-4-10 日最高気温とピーク受電値およびピーク受電時の太陽光発電値

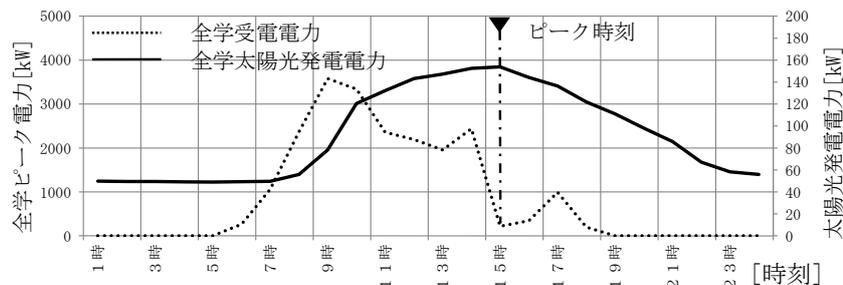


図-4-4-11 太陽光発電の急落日の受電と発電

4.4.6 コージェネの効果

図-4-4-13 は、コージェネの実績である。廃熱利用は部分負荷になる場合があり、総合効率は55%に留まった。低炭素化量は202tonCO₂/年、発電電力は定格の85kWとなった。

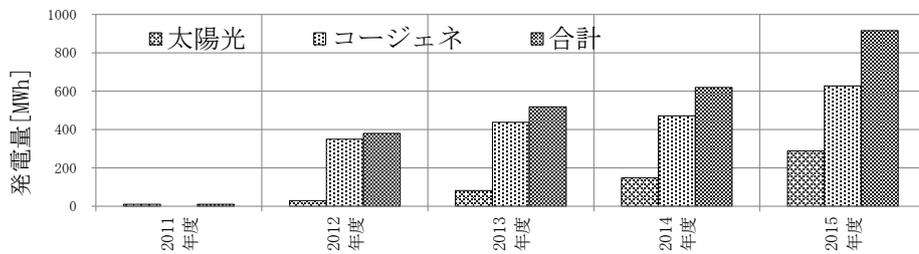


図-4-4-12 太陽光とコージェネの発電量の推移

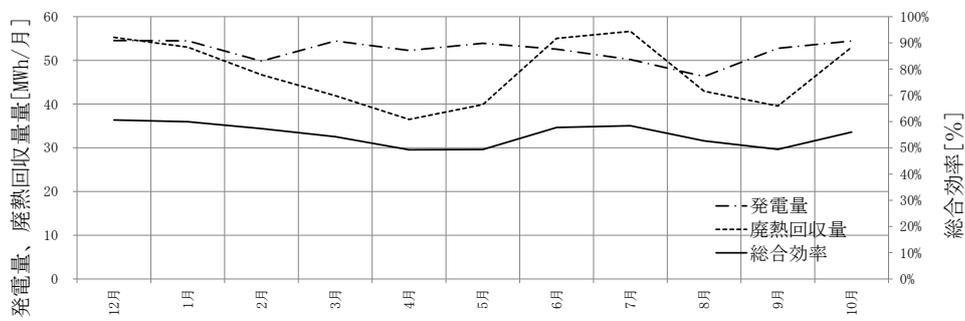


図-4-4-13 コージェネの運転実績^{注3)}

4.5 考察

表-4-5-1 にエネルギー消費の実積を、表-4-5-2 にこれまでの各対策の効果量を推定値としてまとめた。実積値と推定値は、多少の違いがあるもののほぼ同量となっている。

4.5.1 電力ピーク平準化について

表-4-5-2 において電力ピーク平準化効果は、ピーク電力の削減の 38%とベース電力の低減の 26%の合計で 64%を占め、スマートグリッドによる節電が大きな効果となっている。また、前述の表-4-4-3 の昼間電力の 90kW の削減効果は、実証期間中には配信されず実積となっていないので未参入としている。マイクログリッドの給電 40kW についても、節電注意報が配信された場合であるので、本表では未算入とした。

表-4-5-1 エネルギー消費の実積値

年度		2011	2016	実績値[%]
ピーク電力値	kW	4,608	4080	-528(-11%)
電力消費量	GWh/年	17.2	15.0	-2.2(-13%)
都市ガス消費量	× 10 ³ Nm ³ /年	918	1053	+135(+15%)
CO ₂ 排出量	tonCO ₂ /年	10,602	9,637	-965(-9%)
一次エネルギー消費量	TJ/年	215	198	-17(-9%)
延べ床面積	× 10 ³ m ²	181	192	+11(+6%)

表-4-5-2 電力ピーク平準化と低炭素化の内訳の推定

目的	節電 (スマートグリッドの機能)				発電		推定値
	ピーク電力	昼間電力	ベース電力	全般			
対象	特定		不特定	全般			
機能等	大型実験機器 (実験スケジュー)	グラウンド照明 マイクロ グリッド制御	制御 自動制御	非制御 節電メール	太陽光発電	コージェネ	
方法	シフト	給電	不要機器の停止	消し忘れ防止	自然エネ利用	発電利用	
ピーク平準化効果	174(38%)	(40)	(90)	121(26%)	83(18%)	85(18%)	463
節電量[GWh/年]	—	0.13(7%)	(0.02)	1.06(53%)	0.17(9%)	0.63(32%)	1.99
低炭素化量[tonCO ₂ /]	—	64(7%)	(11)	518(60%)	83(10%)	202(23%)	867

4.5.2 省エネルギー（低炭素化）について

表-4-5-2の低炭素化量の各項目についても、スマートグリッドの効果が全体の67%となっており、とりわけベース電力の低下の効果が60%と大きい。

図-4-5-1は、季節別の代表週の平日平均の電力消費である。2011年度から2016年度にかけて、ピーク電力とベース電力が削減されていることが分かる。

図-4-5-2は、節電要請に対応した2011年度と2016年度の平日の平均気温と電力消費量である。本図から、年間を通して電力消費が低減されていることが確認できる。

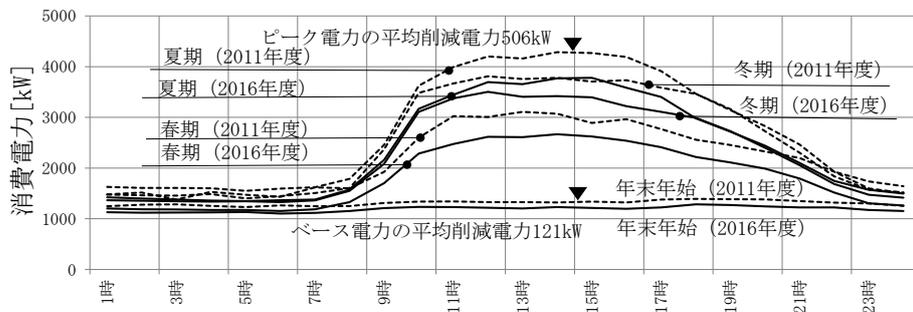


図-4-5-1 季節別代表週の平日の平均電力消費の変化

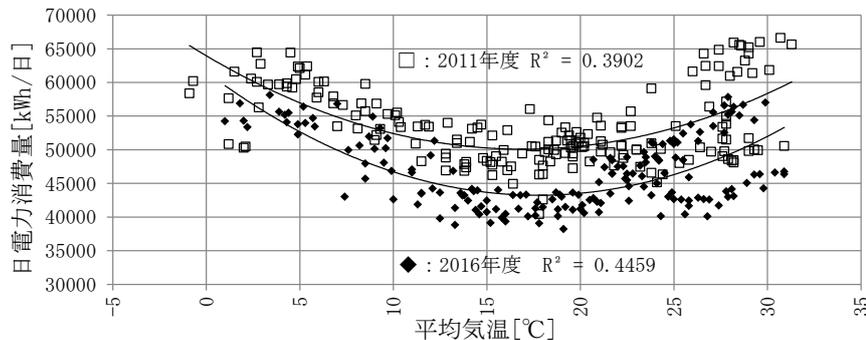


図-4-5-2 日平均気温と日電力消費量（2011と2016年度平日）

4.5.3 経年の取り組みと効果

この期間の取り組み内容を、2011年度と2012年度以降の二つに区分して考察した。2011年度は、契約電力の超過と社会的な節電要請を受けた緊急的な節電対策であった。これに対して2012年度以降は、スマートグリッドシステムの電力消費予測に基づき、主に運用と発電によって節電対策が推進された。

2010年度から2016年度の効果量について、図-4-5-3にCO₂排出量とピーク電力の原単位の推移を示す。

破線で示すCO₂排出量原単位は、2011年度は前年度比12.0kgCO₂/m²年の削減であったが、今回の取り組みによって2012年度以降も7.9kgCO₂/m²年と、同等の低炭素化を達成できている。実線で示すピーク電力平準化については、2011年度は原単位換算で6.9W/m²年の削減となるが、2012年度以降は更に528kW、原単位で3.9W/m²年の削減の上積みができています。

震災前の2010年度からの削減率は、ピーク電力原単位では34%、CO₂排出量原単位は28%、一次エネルギー消費量は2010年度が248TJであったので20%の削減となった。

表-4-5-3と表-4-5-4に他の取り組み事例との比較を示す。

低炭素化と電力ピーク平準化の効果は、単年度ではそれぞれ十数パーセントで他事例と同様であるが、中部大学の場合は複数年の取り組みによって、約倍の大きな効果となっている。

DECCの大震災後の全国調査²⁻⁸⁾では、ピーク電力は12.1%、一次エネルギー消費量は上半期で16%の削減率である。中部大学の2012年度以降の低炭素化と電力ピーク平準化の取り組みが、2011年度の節電要請への実績に加算されて、高い達成値となったと考えられる。

ここでDECCとは、の日本建築学会で全国調査された、一般社団法人の日本サステイナブル建築協会の非住宅の環境データベースを示す。

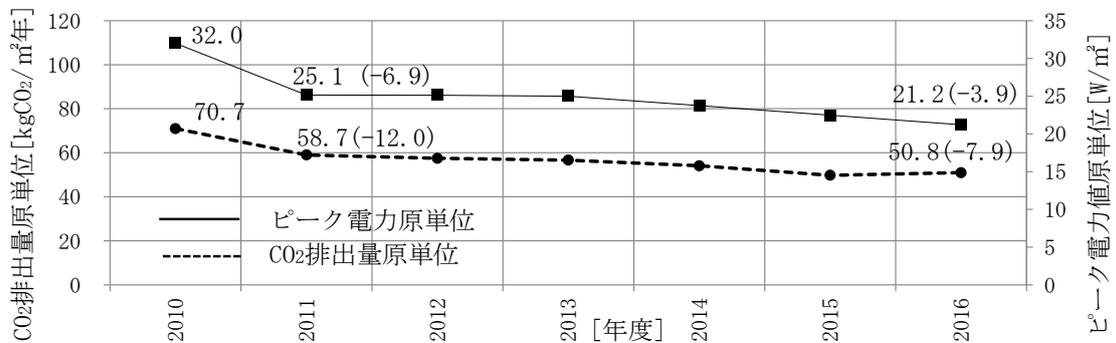


図-4-5-3 CO₂排出量とピーク電力の原単位の推移

表-4-5-3 低炭素化効果の他事例との比較

年度	2005	2010	2011	2016	備考
中部大学		(基準年)	▲17	▲28	2010年度比
			(基準年)	▲13	2011年度比
東京都	(基準年)	▲7	▲14		一般事業所
		▲12	▲25		大規模事業所
日本建築学会 (DECC データ)		(基準年)	▲14.3 (4~9月)		

表-4-5-4 電力ピーク平準化効果の他事例との比較

年度	2005	2010	2011	2016	備考
中部大学		(基準年)		▲34	2010年度比
			(基準年)	▲16	2011年度比
四地域実証		(基準年)	15~21		図-5-1-8 より
日本建築学会 (DECC データ)		(基準年)	▲13.1		

4.5.4 学部のスマートグリッドとの比較

第3章の学部のスマートグリッドの節電効果との比較を表-4-5-5にまとめた。

上段の電力ピーク平準化については、キャンパスの場合は、特定の対象であったので効果が大きくなっている。

マイクログリッドについては、ピーク電力に占める放電電力の割合の差が現れ、キャンパスの場合は相対的に効果が少なくなっている。

下段の低炭素化については、学部とキャンパスはともにベース電力消費が大きい特徴があり、節電メールや節電ナビが大きな効果をもたらした。節電ナビの効果は、学部の場合は対象機器を特定できたので一定の効果量を得た。自動制御は、延べ床面積に占める制御対象面積の割合の差が効果量に現われ、キャンパスの効果が小さくなっている。

以上から、効果的な節電には、ベース電力の削減および、節電対象の特定が重要と考えられる。

表-4-5-5 キャンパスと学部の効果の内訳と比較 注2)

グリッド	効果	節電ナビ	マイクログリッド	自動制御	ベース電力	計
キャンパス (4章)	電力ピーク平準化 [kW]	174 (40%)	40 (9%)	100 (23%)	121 (28%)	435
	低炭素化[t/年]	-	64 (11%)	11 (2%)	518 (87%)	593
学部 (3章)	電力ピーク平準化 [kW]	22 (22%)	22 (22%)	29 (29%)	27 (27%)	100
	低炭素化[t/年]	20 (30%)	8 (13%)	16 (25%)	21 (32%)	65

4.5.5 低炭素化のベンチマーク評価

図-4-5-4 に東京都環境確保条例で公開されている教育施設の医学系を除く CO₂ 排出量原単位データを示す。これによると、中部大学の施設規模は平均より大きく、2010 年度の CO₂ 排出量原単位は 70.7kgCO₂/m²年であり、理系大学の平均を上回っていたが、2016 年度には 50.8 kgCO₂/m²年となり、ほぼ文系大学を含む全平均値まで低炭素化が進んだ。

中部大学の電力ピーク平準化と低炭素化の取り組みは一定の成果を納めたので、冷房期間の延長と設定温度を 2016 年度より夏期 28℃から 26℃に復旧する等、施設利用者の節電への取り組みに応える施設運用となった。

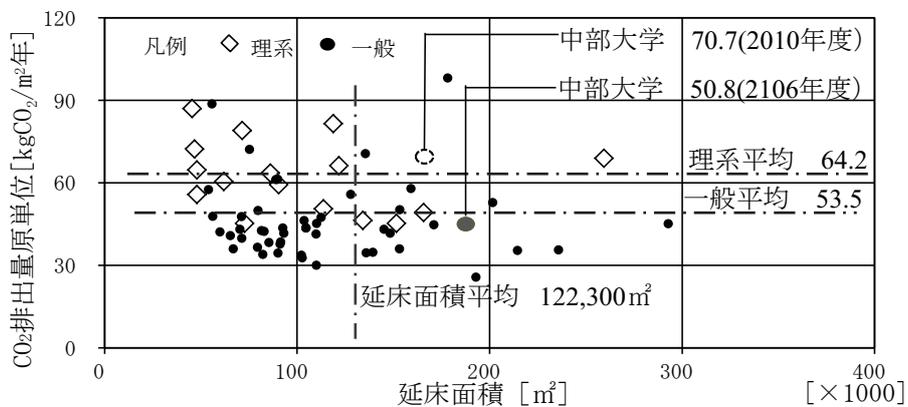


図-4-5-4 教育施設の CO₂ 排出原単位と中部大学の推移 (再掲)

4.6 第4章のまとめ

本研究では、総合大学のキャンパスを対象に、電力消費予測から、節電と発電を制御するスマートグリッドの実証とキャンパスへの適用を実施し、電力ピーク平準化と低炭素化に取り組んだ。

節電側は、特定される機器には節電ナビと自動制御、特定されない機器には節電メールによって節電を行い、運用の改善が難しいものについては、発電側のマイクログリッドからの給電を行って、電力ピーク平準化と低炭素化の効果を実証した。

効果は、節電が要請された2011年度比で、表-4-5-1よりピーク電力は11%の削減、CO₂排出量は9%の削減となり、この期間の建物の延べ床面積の増分を考慮した原単位は、図-4-5-3よりピーク電力原単位は15.5%、CO₂排出量原単位は、13.5%の削減となった。

(1) 低炭素化の効果

年末年始のベース電力は年間を通して消費され、キャンパスの年間電力消費量の約7割となる大きなものであった。

このベース電力については、実験研究機器を含む不特定で制御できない対象機器は、人を介した節電メールによって不要機器の停止や消し忘れ防止を推進した。

低炭素化の効果は、2011年度比965tonCO₂の削減となった。内訳は、運用による効果が60%と大きく（ベース電力の低減によるものが約60%）で、発電（太陽光とコージェネ）によるものが約40%と推定される。

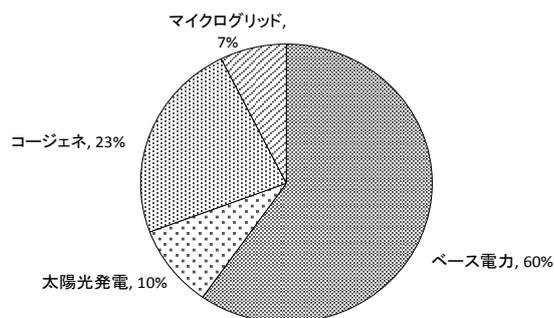


図-4-6-1 低炭素化の寄与割合

(2) 電力ピーク平準化の効果

ピーク電力は、空調のピーク月に特定の大型実験機器の稼働やクラブ活動が重なる形で現れていた。前者は節電ナビによって実験機器の運転時間をピーク時間外にシフトし、後者はマイクログリッドからの給電によって、電力ピーク平準化を行った。実績は、2011年度のピーク電力に対し528kW（11%）の削減となった。

内訳は、運用による効果が大きく64%（節電ナビの効果が約38%、ベース電力の低減が約26%）を占め、発電（太陽光とコージェネ）が約36%と推定される。

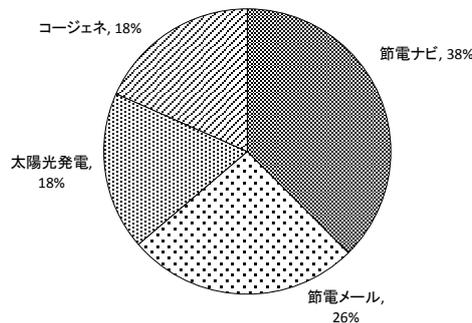


図-4-6-2 ピーク電力の削減の寄与割合

(3) 二層型グリッドによるエネルギーマネージメントについて

電力消費の構造を、ベース電力、昼間電力、ピーク電力に区分し、それぞれに対して対象の特定化を進め、自動制御、節電メール、節電ナビの節電制御と太陽光とコージェネの発電を適用した。また、エネルギー情報を各学部に開示し、上記のメールシステム等によって施設利用者との活動の促進を図った。

この様な一元化した全学の節電システムによって、他事例の約2倍の低炭素化28%、ピーク電力平準化34%の大きな効果となった。

メールシステム等を利用した運用による節電効果は、低炭素化と電力ピーク平準化の両方で約6割を占め、施設利用者との協働によって大きな低炭素化と電力ピーク平準化効果を得られることを示した。

4.7 本研究に関わる論文

- 4-1) 河村 貢、古川 慧、関 泰三、大野智之、吉田正明、岡澤 岳、小林勝広、名取 利晃、井畑 耕三、山羽 基、：多棟の既存建物の低炭素化に向けたエネルギーマネジメントに関する研究（第二報），空気調和・衛生工学会論文集、No.251,2018年2月号
- 4-2) DECC 非住宅建築物の環境関連データベース、（一社）日本サステナブル協会, 2016.6
- 4-3) 古川慧ら：電力制限下における最大電力削減手法の開発（その1）：分散電源を設置した需要家の最適スケジューリング、電気学会平成24年全国大会論文集、pp83-84,2012

注1) CO₂換算係数は、電力0.489kgCO₂/kWh、都市ガス2.244 kgCO₂/N m³、重油2.71 kgCO₂/Lを用い、再算出した。

注2) 学部グリッドのCO₂排出量は、第一報での省エネルギー量の推定値を、共用部と講義室は自動制御、実験室と研究室は節電ナビの効果として算出した。ベース電力の効果量は、年間実績値から上記の効果量を除いたものとした。

注3) コージェネの運転実績は、都市ガス消費量データの欠損していない11ヶ月を表記し、効果量は平均値を年間に換算した。

第5章

二層型グリッドモデルの評価と今後

第5章

二層型グリッドモデルの評価と今後

4章では、中部大学のキャンパスの大規模な建物群について、学部の建物群を管理する学部グリッドと、学部グリッド群を管理するキャンパスグリッドの二層型グリッドモデルによる、低炭素化と電力ピーク平準化効果について実証した。

本章の考察の背景は、今後 COP21 を受けた低炭素化社会への取り組みが重要となることおよび、中部大学ではキャンパスの照明や空調の更新期を迎えることである。

本章の内容は、5.1節では今後の機器更新を含めた低炭素化の効果量の2030年のCO₂排出量削減目標値の達成の検討と、5.2節ではスマートコミュニティの四地域実証の総括を指標としたスマートグリッドの機能の評価および、このモデルの地域社会への展開についての考察である。

5.3節では、本実証研究が低炭素化社会の参照モデルを目標とした、エネルギー白書²⁻²⁾でもエネルギーマネジメントも重要な方針として挙げられてことから、今回の取り組みでのクラウドを利用した学生との協働活動の事例と、エネルギーマネジメントの基本となるハードとソフトの概要をまとめた。また、スマートグリッドの波及効果として産官学の間で行われた中部大学シンポジウムについて記述した。

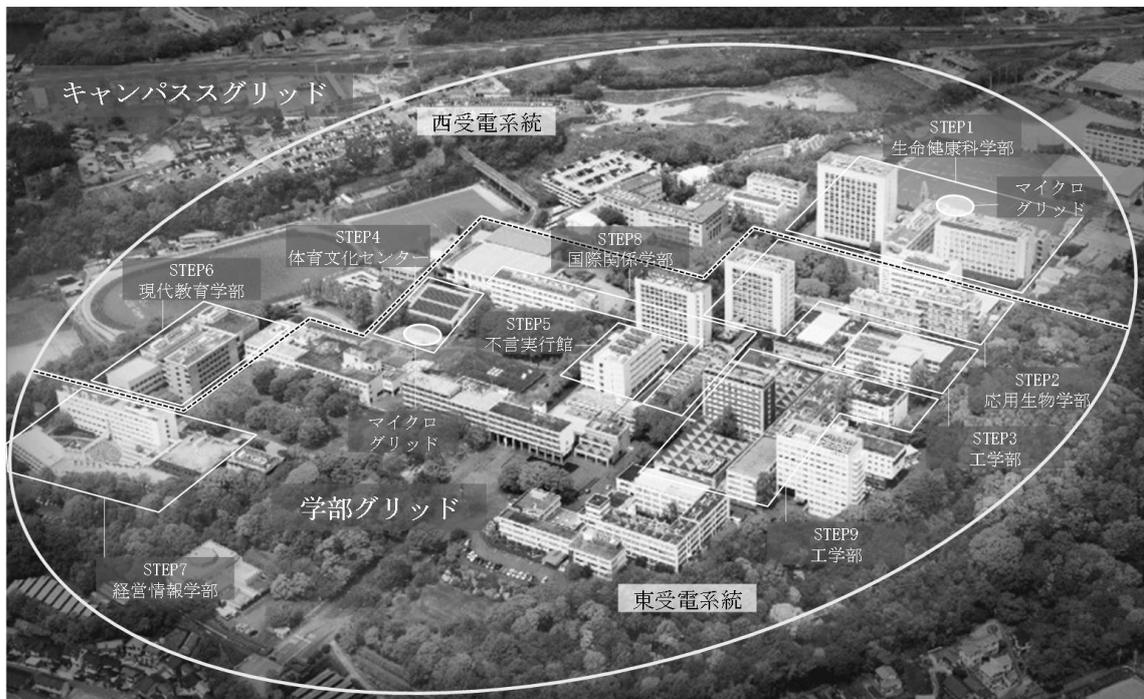


図-5-1-1 中部大学の学部とキャンパスの二層型グリッドの概要

5.1 中部大学の将来の達成値の推定

今後、キャンパスの照明と空調が更新期に入る。これらの設備機器の更新と、現状と同量の太陽光発電が増設されたとして、今後の低炭素化量を推定した。

後述する算出結果より、CO₂排出量原単位は46.8kgCO₂/m²となった。これをエネルギー白書の目標である電力の排出係数0.37kgCO₂/kWhで再計算すると中部大学の原単位は35.4kgCO₂/m²となる。この原単位は、2011年の節電要請年度の原単位58.7kgCO₂/m²の約40%削減された値となり、中部大学は2030年の非民生部門の建物のCO₂排出量削減40%の達成が可能であることを示している。

また、効果の内訳は、図-5-1-3の様に、運用節電、発電、機器更新が各々1/3となり、3つの対策が必要であることを示している。

同様に、電力ピーク平準化についても算出し、図-5-1-4では2011年度の原単位25.1W/m²から16.3W/m²が可能と想定され、この割合を平準化率とすると約35%となる。

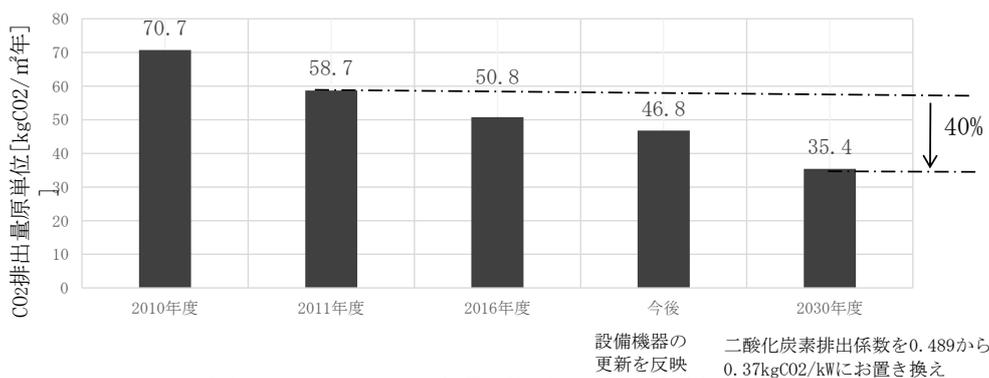


図-5-1-2 CO₂排出量原単位の実績と将来予測

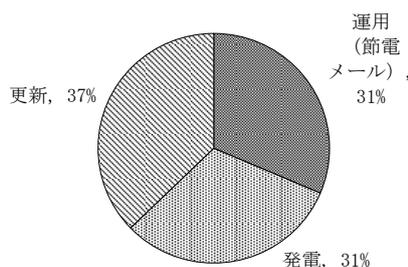


図-5-1-3 低炭素化効果の割合

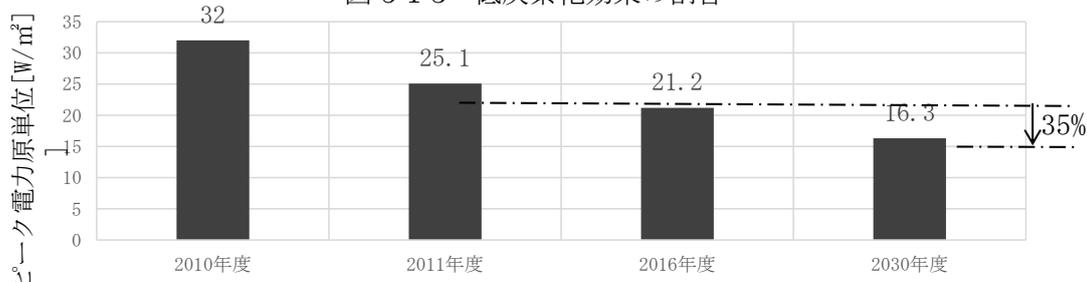


図-5-1-4 ピーク電力原単位の実績と将来予測

5.1.1 設備更新の原単位の把握

(1) 設備更新の概要

中部大学の空調設備は、70棟の内10棟が中央式で残りが個別分散型、照明の形式は蛍光灯となっている。表-5-1-1に実証期間中に行われた設備更新の概要をまとめた。個別分散機器は約4100台設置され約半数がEHPとなっている。設備の更新の特徴は、主に2015年度に電気式のEHPの約25%が更新され、対象は工学部と国際関係学部比較的集中した。

中でも、国際関係学部は文系学部で実験研究機器の影響が無く、既存の202台の内の190台を更新する結果となっており、EHPの更新による効果が比較的明瞭に表れると考えられ、実績値としてまとめ、次節以降のキャンパスの設備更新効果の算出用のデータとする。

表-5-1-1 設備更新の概要 (2012～2015年度)

設備	東系統		西系統	
EHP	国際関係学部	188台	人文学部	77台
	工学部	200台	その他	3台
	その他	72台		
	合計	545台 (全学の総数は2183台)		
GHP	応用生物学部	64台	その他	5台
	その他	89台		
	合計	94台 (全学の総数は1925台)		
冷凍機 (主にガス式)	経営情報学部	240RT		—
	事務関連	50RT		—
	合計	290RT (総数は1055RT)		
照明	—	—	厚生部門	200灯

上記数量には新築建物の設備は除く

表-5-1-2 国際関係学部の設置されているEHPのリスト

機器番号	系統	容量 hp	消費電力 kW	台数	消費電力 kW
AC-2	事務他	10	9.26	1	9.26
AC-3	3階	24	21.3	1	21.3
AC-4	4階	8	6.54	1	6.54
AC-5	5階	24	21.3	1	21.3
AC-6	6階	24	21.3	1	21.3
AC-7	7階	24	21.3	1	21.3
AC-8	8階	24	21.3	1	21.3
AC-9	9階	16	14.8	1	14.8
AC-10	10階	24	21.3	1	21.3
AC-11	11階	24	21.3	1	21.3
AC-12	12階	6	5.7	4	22.8
既存		8	7.54	1	7.54
既存		10	9.81	1	9.81
既存		5	4.23	1	4.23
既存		5	4.23	1	4.23
既存		8	6.43	1	6.43
合計					234.74

表-5-1-3 国際関係学部に設置されている照明機器のリスト

建物	階	部位	形式	電力	数量	消費電力	小計	夜間想定
19号館	1	階段室 ビロティ 玄関	サークルライト	70	1	70		70
			ボール球G型60型相当	60	12	720		720
			FML55型	110	10	1,100		1,100
			DL-FHT32型	32	20	640		640
		ホール	DL-FHT32型	32	62	1,984		
			FPL55型	220	12	2,640		
			ボール球100W相当	1,800	4	7,200		
			勝手口	60	6	360		
			WC	10	8	80		
			厨房	80	21	1,680		
	電気室他		40	3	120			
			40	16	640	17,234	2,530	
	2	廊下	DL-FHT32型	32	11	352		352
			LED-60型相当	60	16	960		960
				80	4	320		320
			ボール球	100	2	200		200
		階段室		40	4	160		160
			サークルライト	70	3	210		210
		WC 語学センター他	LED-DL10W	10	7	70		
				80	16	1,280		
埋込			80	24	1,920			
			64	16	1,024			
		80	80	6,400	12,896	2,202		
3	階段室		40	4	160		160	
		サークルライト	70	3	210		210	
	廊下		40	3	120		120	
			10	8	80			
	WC 建築資料室	LED-DL10W	32	26	832			
		DL-FHT32型	60	40	2,400			
製図室	スポットライト60Wシリカ球	40	28	1,120				
		80	121	9,680				
		40	5	200	14,802	490		
20号館	4	廊下		40	6	240		240
				80	2	160		160
				20	2	40		40
		WC 階段室 給湯室 語学センター他	LED-DL10W	10	9	90		
				40	4	160		160
	IDシリーズ32001m		20	1	20			
			80	29	2,320	3,030	600	
	3	廊下		32	10	320		320
				80	2	160		160
				40	4	160		160
		階段室		20	1	20		20
				20	1	20		
	給湯室 WC 事務室他	IDシリーズ32001m	20	1	20			
		LED-DL10W	10	9	90			
			64	37	2,368			
			40	2	80	3,218	660	
	2	廊下	FML36E×2	72	11	792		792
				80	2	160		160
				40	4	160		160
		階段室		20	1	20		20
			20	1	20			
給湯室 WC 事務室他	IDシリーズ32001m	20	1	20				
	LED-DL10W	10	7	70				
		64	40	2,560	3,762	1,132		
1	階段室		40	3	120		120	
			180	24	4,320			
	ラウンジ ホール	FHP45EN×4	100	10	1,000			
		ボール球100W相当	20	1	20			
	WC 給湯室	IDシリーズ32001m	10	9	90			
		LED-DL10W	32	1	32			
		40	1	40	5,502	0		
	5	廊下		40	5	200		200
				80	2	160		160
				40	4	160		160
			20	1	20		20	
給湯室 WC 研究室他		IDシリーズ32001m	20	1	20			
	LED-DL10W	10	11	110				
		80	36	2,880				
		64	4	256	3,806	540		

表-5-1-3 国際関係学部設置されている照明機器のリスト (続き)

建物	階	部位	形式	電力	数量	消費電力	小計	夜間想定	
	6	廊下		32	5	160		160	
				80	2	160		160	
				40	4	160		160	
				20	1	20		20	
		階段室			20	1	20	3,288	500
	10				8	80			
	80				24	1,920			
	64				12	768			
	7	廊下			40	5	200		200
					80	2	160		160
					40	4	160		160
					20	1	20		20
		階段室				20	1	20	3,556
	10					10	100		
	80					32	2,560		
	64					4	256		
	8	廊下			40	5	200		200
					80	2	160		160
					40	4	160		160
					20	1	20		20
		階段室				20	1	20	2,816
	10					8	80		
	80					16	1,280		
	64					14	896		
9	廊下			40	5	200		200	
				80	2	160		160	
				40	4	160		160	
				20	1	20		20	
	階段室				20	1	20	2,788	540
10					10	100			
80					21	1,680			
64					7	448			
10	廊下			40	5	200		200	
				80	2	160		160	
				40	4	160		160	
				20	1	20		20	
	階段室				20	1	20	2,984	540
10					8	80			
80					24	1,920			
64					6	384			
11	廊下			40	5	200		200	
				80	2	160		160	
				40	4	160		160	
				20	1	20		20	
	階段室				20	1	20	2,804	540
10					10	100			
80					6	480			
64					26	1,664			
12	廊下			32	7	224		224	
				80	2	160		160	
				40	1	40		40	
				40	4	160		160	
	階段室				20	1	20	3,120	584
20					1	20			
10					8	80			
80					18	1,440			
給湯室				64	4	256			
				10	8	80			
				80	18	1,440			
				64	4	256			
WC				120	6	720			
				10	8	80			
				80	18	1,440			
				64	4	256			
研究室ゼミ室				120	6	720			
				10	8	80			
				80	18	1,440			
				64	4	256			
合計							85,606	11,938	

(2) 設備更新の効果

図-5-1-5 に日電力消費を示す文系の国際関係学部は、日積算電力消費原単位は $174 \text{ Wh}/(\text{日} \cdot \text{m}^2)$ から $124 \text{ Wh}/(\text{日} \cdot \text{m}^2)$ に約 29%削減され、ピーク電力値は $13.9 \text{ W}/\text{m}^2$ から $10.0 \text{ W}/\text{m}^2$ に約 28%の大幅な削減結果となった。

照明の定格電力の原単位は、現状調査より約 $8.1 \text{ W}/\text{m}^2$ であった。昼間の電力消費の原単位は、春期には 2012 年度と 2016 年度ともに年末年始のベース電力に比べて、約 $4 \text{ W}/\text{m}^2$ 上昇している。国際関係学部の中間期の空調は停止される事からほぼ照明とコンセントの電力消費と考えられ、消灯や間引き分を考慮するとほぼ妥当な電力消費と考えられる。

また、生命健康学部での照明とコンセントの電力消費の原単位は、 $5.5 \text{ W}/\text{m}^2$ であるので、理系に比較して文系の国際関係学部のコンセント電力消費はやや少なくなると考えられ、妥当な数値と考えられる。

一方、EHP の定格電力の原単位は、既存図面より約 $22.3 \text{ W}/\text{m}^2$ であった。夏期の電力消費は、図-5-1-5 に示す様に、春期より 2012 年度の約 $6 \text{ W}/\text{m}^2$ から 2016 年度の約 $3 \text{ W}/\text{m}^2$ に削減されている。EHP の稼働率は定格電力 13%と低い状況であるが、更新による機器効率の向上によって空調の電力消費がほぼ半減されている。表-5-1-4 の 5 行目の昼間電力の削減量の $20 \text{ W}/\text{m}^2$ を、冷暖房期間の 9 か月間の平日 10 時間の稼働と考えると、年間の節電量は 0.05 GWh 程度と想定される。

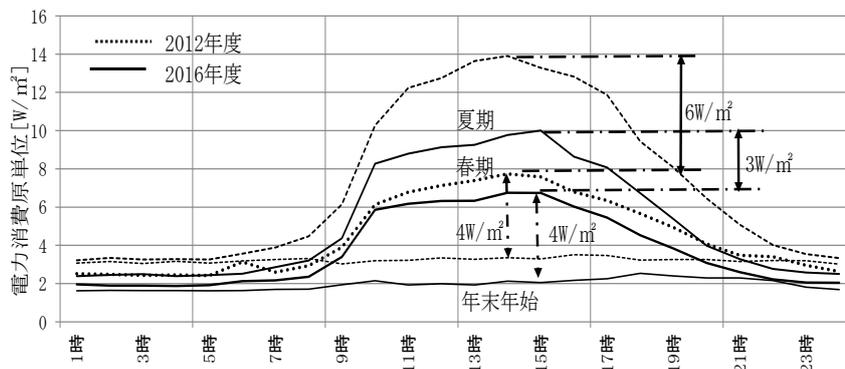


図-5-1-5 文系（国際関係）季節代表週の平均電力消費

表-5-1-4 電力消費原単位（2013 年度）

年度	2012	2016
ピーク電力値（夏期） $[\text{W}/\text{m}^2]$	13.9	10.0
ベース電力値（冬期） $[\text{W}/\text{m}^2]$	3.2	2.2
日消費量（夏期） $[\text{Wh}/\text{m}^2]$	174	124
昼間消費量（夏期） $[\text{Wh}/\text{m}^2]$	97	77
ベース消費（年末年始）	77	53

5.1.2 低炭素化の可能量の推定

今後の低炭素化対策として実現性が高いのは、照明と空調の設備機器の更新と太陽光発電の増設であるので、この2点についての効果量を算出する。算出の根拠は、前節で取り上げた国際関係学部の季節別の日電力消費データを利用した。

(1) 照明の更新による効果

昼間電力がLED化により半減すると想定する。

表-5-1-5より、空調が停止していると考えられる春期の昼間平均電力消費量は40.1Wh/(m^2 日)であるのでLED照明への更新によってこれが半減とすると、削減量は20Wh/(m^2 日)と推定する。これを全学にすべて展開したとすると下記の削減量が算出される。

$20\text{Wh}/\text{m}^2\text{日} \times 192,000 \text{ m}^2 \times 200 \text{ 日}/\text{年} = 0.77\text{GWh}/\text{年}$ ($374\text{CO}_2\text{t}/\text{年}$ 、 $1.9\text{kgCO}_2\text{t}/\text{m}^2\text{年}$)
2016年度の電力消費量は15GWであったので5%の削減の可能性のあることになる。

(2) 空調の更新による効果

空調の更新が全学で実施されたと想定する。前節の更新効果の推定より国際関係学部の実績は約200台のEHP更新で0.05GWhである、EHPの全台である2100台が更新されたとして、負荷率は同様と想定すると、下記となる。

$0.05\text{GWh} \times 2,100 \text{ 台}/200 \text{ 台} = 0.53\text{GWh}/\text{年}$ ($255\text{CO}_2\text{t}/\text{年}$ 、 $1.3\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{年}$)
これは2016年度の実績15GWhの約3.5%の削減に当たるものである。

(3) 再生可能エネルギーの増設による効果

再生可能エネルギー利用として、現状と同量の230kWの太陽光発電が設置されたとすると、2016年度の発電実績は0.30GWh/年、 CO_2 に換算すると147t削減が可能なので原単位は $0.8\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{年}$ の削減となる。

2016年発電実績： $0.30 \text{ GWh}/\text{年}$ ($147\text{CO}_2\text{t}/\text{年}$ 、 $0.8\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{年}$)
 CO_2 削減量の合計は、 $776 \text{ CO}_2\text{t}/\text{年}$ となり原単位は $4.0 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{年}$ となる。
2016年の原単位は $50.8 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ であったので、設備機器が更新され太陽光発電が増設された将来のキャンパスの原単位は $46.8\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ と想定される。

(4) 二酸化炭素排出係数の改善による効果

電力の二酸化炭素排出係数は、2.1.2節でのエネルギー白書では、2030年に $0.37\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ が目標とされている。

現状の排出係数は $0.489\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ として算出しているので電力の排出係数を置き換えると、中部大学の将来の CO_2 排出量原単位は $35.4\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ となる。今回の取り組みを開始した2011年度とすると、削減割合は約40%となる。

表-5-1-5 国際関係学部の季節別平均電力消費

年度	2013	2014	2015	2016	平均
ベース電力値（年末年始）[W/m ² 日]	70.9	65	50.5	53.1	59.9
日消費量（春期）[Wh/m ² 日]	108	102	100	90	100
昼間消費量（春期）[Wh/m ² 日]	37.1	37	49.5	36.9	40.1

表-5-1-6 CO₂ 排出量の将来の想定

上段 下段	削減量[t/年] 原単位[kg/m ² 年]	節電メ ール	太陽光 発電	コージ エネ	機器更新		合計
					照明	空調	
2012～2016 年度	518	147	202				4.5
	2.7	0.8	1.1				
2017～2030 年度 (将来)		147	—	374	255		4.0
		0.8		1.9	1.3		
原単位合計		2.7		2.7		3.2	9.5

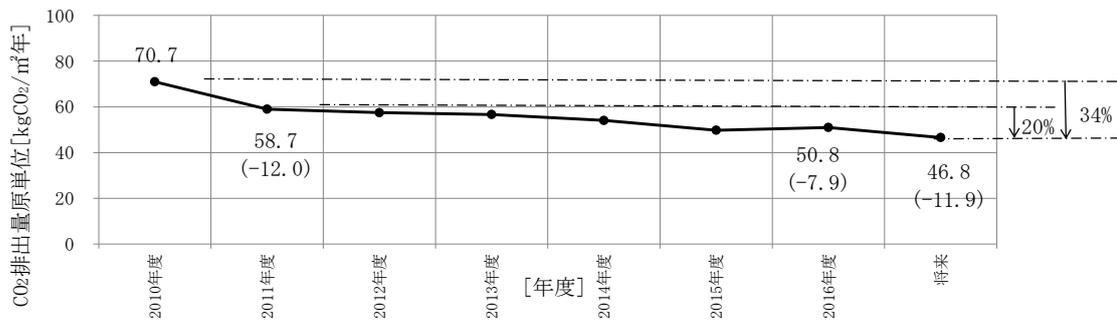


図-5-1-6 照明と空調が将来更新された場合の CO₂ 排出量原単位の推定

5.1.3 電力ピーク平準化の可能量の推定

前述の低炭素化の将来推定と同様に、機器更新と太陽光発電を増設した場合の、ピーク電力平準化量を推定した。

算出結果は、同じく 2011 年度比 35%のピーク電力の平準化が可能で、効果の内訳は、機器更新が 1/2、運用による節電が 1/3、発電が 1/6 となった。

(1) 空調の更新による効果

図-5-1-7 の国際関係学部 の EHP 更新前後の日電力プロフィールより、空調の更新によるピーク電力の平準化効果は、 $3\text{W}/\text{m}^2$ であるので、国際関係学部では、床面積を乗じて 31.5kW となる。EHP が全台更新され、負荷率は同様と想定すると

$$31.5\text{kW} \times 2,100 \text{ 台} / 200 \text{ 台} = 331\text{kW} \quad (1.7\text{W}/\text{m}^2)$$

(2) 照明の更新による効果

照明の更新による効果は、昼間の電力消費原単位は $4\text{W}/\text{m}^2$ であるので、これが半減すると想定すると、全学では

$$2\text{W}/\text{m}^2 \times 192,000 \text{ m}^2 = 384\text{kW} \quad (2.0\text{W}/\text{m}^2)$$

次に、再生可能エネルギー利用として、現状と同量の 230kW の太陽光発電が設置されたとすると、2016 年度の実績より 83kW とマイクログリッドで 40kW と想定する。

(3) 空調と照明のピーク電力時の節電制御による効果

空調の更新に伴い BEMS から節電注意報と警報による節電エリアと事前の施設利用者との合意を行ってきた。現状で自動制御の削減電力は、同じく表-5-1-8 より約 90kW と積み上がっている。

以上を合計するとピーク電力削減値の推定値は 927kW ($4.8\text{W}/\text{m}^2$) となり、表-5-1-7 に一覧を示す。

機器更新の効果は、前述の 3 項目の内でも最も大きい。中でも照明の更新が LED 化によって、電力消費が半減すると考えられる。これには人感センサーによる削減が含まれていないので、より大きな節電効果にもつながる。今後の中部大学のエネルギーマネージメントで最も検討すべき項目である。

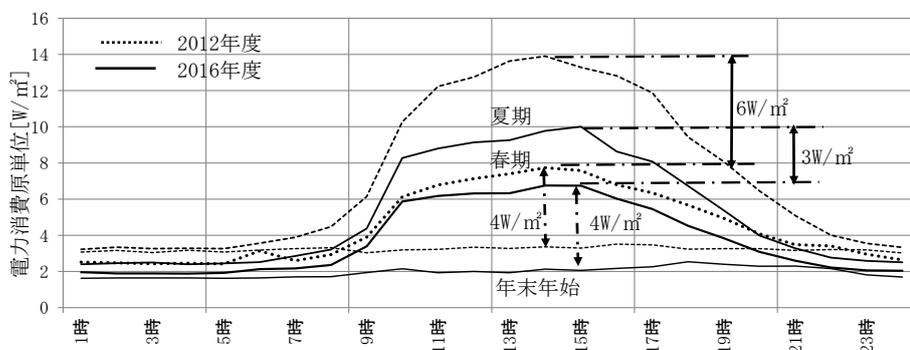


図-5-1-7 国際関係学部の日電力消費プロフィール (再掲)

表-5-1-7 ピーク電力平準化の将来値の想定

上段 削減量[kW]	節電				発電		機器更新		合計		
	ベース 電力	ピーク 電力		昼間 電力	全般		全般		削 減 量 合 計	ピー ク 電 力 値	原単 位
下段 原単位 [W/m ²]	節電 メール	マイ クロ グリ	節 電ナ ビ	自動 制御	太陽 光	コー ジェ ネ	照 明	空調			
2011年度										4608	25.1
2012~2016	121	40	174	—	83	85	—	63	566	4080	21.2
	0.6	0.2	0.9	—	0.4	0.4	—	0.3		2.8	
2017~2030 (将来)	—	40	—	90	83	—	384	331	927	3153	16.4
	—	0.2	—	0.5	0.4	—	2.0	1.7		4.8	
原単位合計	0.6	0.4	0.9	0.5	0.8	0.4	2.0	2.0		7.6	
	2.4				1.2		4.0			7.6	

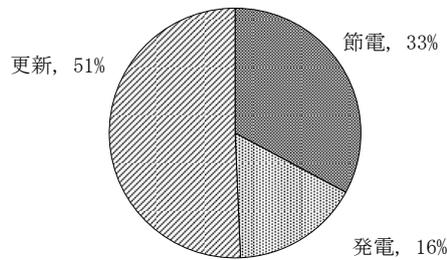


図-5-1-8 ピーク平準化効果の割合

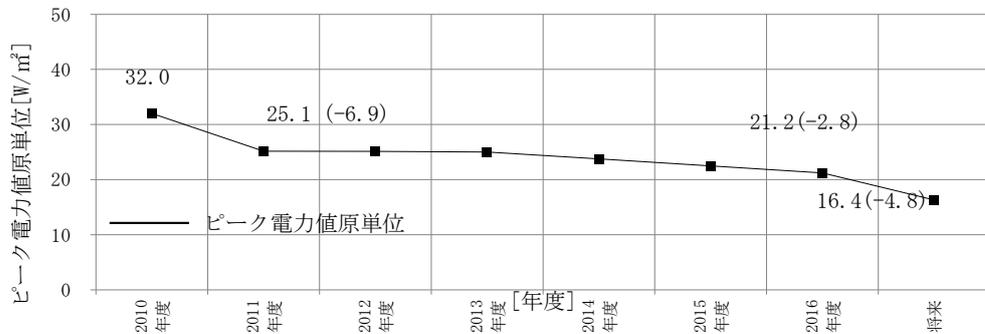


図-5-1-9 将来のピーク電力値原単位の推定

表-5-1-8 効果の節電効果の積み上げ (再掲)

項目	建物 [棟]	建物面積 [m ²]	節電エリア [m ²]	積み上げ値 [kW]
制御対象	19	80,609(42%)	24,700(12%)	88.5
主要建物	47	115,200(60%)	-	-

5.1.4 他の取り組みとの比較

中部大学の節電と電力ピーク平準化の効果量の位置づけを確認するために、これまでの他事例の実績を表-5-1-9と表-5-1-10にまとめた。また、図-5-1-9は、四地域実証での電力ピーク平準化実績であり、表-5-1-10に転記した。

2016年度では、低炭素化については東京都が14~25%、DECCの全国の調査では14.3%に対して、中部大学は28%、ピーク電力平準化については、四地域実証が15~21%、DECCでは15.1%に対して中部大学は34%となっている。2030年の低炭素化目標に向けて、スマートグリッドのマネジメントの継続と、今後の機器更新と省エネルギーを整合させたエネルギー更新計画が重要であることを示している。

表-5-1-9 低炭素化の他事例との比較 [%]

年度	2005	2010	2011	2016	将来	備考
中部大学		(基準年)	▲17	▲28	▲34	2010年度比
			(基準年)	▲13	▲20	2011年度比
東京都	(基準年)	▲7	▲14			一般事業所
		▲12	▲25			大規模事業所
日本建築学会 (DECCデータ)		(基準年)	▲14.3 (4~9月)			

表-5-1-10 電力ピーク平準化の他事例との比較[%]

年度	2005	2010	2011	2016	将来	備考
中部大学		(基準年)		▲34	▲49	2010年度比
			(基準年)	▲16	▲25	2011年度比
四地域実証		(基準年)	15~21			図-5-1-8より
日本建築学会 (DECCデータ)		(基準年)	▲13.1			

北九州市		2012年度実証結果 (サンプル数: 180)				2013年度実証結果 (サンプル数: 178)			
電気料金(※1)	2012年度 夏(6月~9月)		2012年度 冬(12月~2月)		2013年度 夏(6月~9月)				
	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)			
TOU	-(※4)	-(※4)	-(※4)	-(※4)	-(※4)	-(※4)			
CPP=50円	-18.1%	5%水準	-19.3%	1%水準	-20.2%	1%水準			
CPP=75円	-18.7%	5%水準	-19.8%	1%水準	-19.2%	1%水準			
CPP=100円	-21.7%	1%水準	-18.1%	1%水準	-18.8%	1%水準			
CPP=150円	-22.2%	1%水準	-21.1%	1%水準	-19.2%	1%水準			
けいはんな		2012年度実証結果 (サンプル数: 681)				2013年度実証結果 (サンプル数: 635)			
電気料金(※2)	2012年度 夏(7月~9月)		2012年度 冬(12月~2月)		2013年度 夏(7月~9月)				
	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)	ピークカット効果	統計的有意性(※3)			
TOU(20円上乗せ)	-5.9%	1%水準	-12.2%	1%水準	-15.7%	1%水準			
CPP(40円上乗せ)	-15.0%	1%水準	-20.1%	1%水準	-21.1%	1%水準			
CPP(60円上乗せ)	-17.2%	1%水準	-18.3%	1%水準	-20.7%	1%水準			
CPP(80円上乗せ)	-18.4%	1%水準	-20.2%	1%水準	-21.2%	1%水準			

(※1) 北九州市実証では、夏季のピーク時間帯は午後1時~5時、冬季のピーク時間帯は午前8時~10時、午後6時~8時

(※2) けいはんな実証では、夏季のピーク時間帯は午後1時~4時、冬季のピーク時間帯は午後6時~9時

(※3) 統計的有意性とは、その効果が単なる偶然により生ずる可能性を表したものである。

(※4) 北九州市実証の被験者は、既にTOU契約に加入している180世帯であったため、TOUの効果と比較検証することができなかった。

【出典】 京都大学大学院 依田教授、政策研究大学院大学 田中教授及びボストン大学経済政策研究所 伊藤助教による統計的検証結果

21

図-5-1-10 四地域実証でのピーク電力平準化実績

「次世代エネルギー・社会システム実証事業（総括と今後）」より抜粋（再掲）

5. 2 四地域実証との比較と今後

5-2-1 四地域スマートコミュニティ実証の概要

図-5-2-1 は、横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市のスマートコミュニティの四地域実証における総括と今後について⁵⁻¹⁾まとめられたものである。

表-5-2-1 上記に記述されている主な項目および、該当する中部大学のスマートグリッドの項目を付記した。本表での④電気自動車からの給電技術、⑦地産地消型エネルギーシステムおよび、⑧海外展開の項目は、本研究では扱っていない項目なので評価は行わず、BENS 機能と節電機能および発電機能について考察する。

この四地域の実証事業において、ネガワット取引は、需要家を使用する予定の電力量より、実際に使用する電力量を抑制することで生じた電力量の差を示し、バーチャルパワープラントは需要家側のリソース（蓄電池など）を電力系統の安定化などに活用するシステムのこととされている。

表-5-2-1 「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の総括と今後のまとめ

成果と今後の課題		記述する節
1) 基盤技術の確立		
①EMS(エネルギー管理システム)の開発	コミュニティ単位で需給計画の策定	5.2.2節
②標準インターフェースの確立	DRに係る各機器とのインターフェースを策定、標準化	BEMS 機能について
③電池制御技術の開発	蓄電池を統合制御するシステムを構築	
④給電技術の開発	EVからの直流給電、V2Hガイドラインの策定	非該当
2) 需要制御技術の実証		
⑤デマンドレスポンス(DR)の技術的活用可能性を確認	・需要抑制する料金型デマンドレスポンス ・需要家が契約に基づいて電力を抑制するネガワット取引	5.2.3節 節電と発電機能について
<今後の展開>		
⑥エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス	再エネ設備、蓄電池、デマンドレスポンス等を統合制御し、仮想発電所(バーチャルパワープラント)を構築する事業	
⑦地産地消型エネルギーシステムの構築	EMSを活用しつつ、地域で生み出されるエネルギーの最大活用・最適化する事業	非該当
⑧海外展開	上記の技術を各国特性に適合させて展開する事業	非該当

注1)ネガワット取引：需要家が使用する予定の電力量より、実際に使用する電力量を抑制することで生じた電力量の差
注2)バーチャルパワープラント：需要家側のリソース(蓄電池など)を電力システムの安定化などに活用するシステム

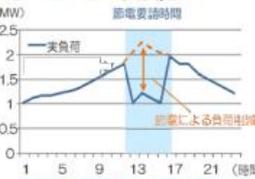
「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の総括と今後

資料3

<実証事業の概要>

●期間：平成23年度～平成26年度 ●実証地域：横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市

<主な成果>

基盤技術の確立				需要制御技術の実証
EMS(エネルギー管理システム)の開発 ・CEMSは、系統依存や需要特性等に応じて、コミュニティ単位で効率的なエネルギー需給管理を行うもの。 ・コミュニティ単位の需給計画策定、デマンドレスポンスの発動等の機能を開発。  <p>【出典】北九州実証(富士電機)</p>	標準インターフェースの確立 ・OpenADRに基づき、日本における電力会社と需要家・アグリゲーターとの間の、デマンドレスポンスに係る通信インターフェースを策定、標準化。 ・HEMSと家庭内機器の通信インターフェースであるECHONET-Liteを策定。  <p>【出典】共進基盤</p>	蓄電池制御技術の開発 ・蓄電池を統合制御するシステム(蓄電池SCADA)を構築し、住宅用・事業所用・系統用蓄電池を連携させる実証を実施。  <p>【出典】横浜実証(東芝)</p>	車両からの給電技術の開発 ・EVから直流によって宅内へ給電するシステム、PHEVから交流によって宅内へ給電するシステムを開発。 ・車両と屋内配線間の電力接続等に関するV2Hガイドラインを策定。  <p>【出典】豊田実証(トヨタ自動車)</p>	デマンドレスポンス(DR)の技術的活用可能性を確認 ①電気料金設定によって需要抑制する電気料金型デマンドレスポンスと、 ②電力会社と需要家の契約に基づき電力会社からの要請に応じて需要家が需要制御するネガワット取引について、ピークカット効果を実証。  <p>(MW) 節電要請時間 —実負荷 —節電による負荷削減 1 5 9 13 17 21 (時間)</p>

✓ 実用段階：各種EMS、ECHONET-Lite、車両からの給電技術、小売電気事業者が活用するDR
✓ 実証段階：蓄電池の統合制御、OpenADR、送配電事業者が活用するDR

<今後の展開>

- 電力システム改革の中で、本事業の成果である分散型エネルギーの制御技術を最大限活用し、コミュニティの枠を超えた新たなエネルギーサービスを展開していくことが期待される。
- 地域に根ざしたコミュニティづくりの観点から、一定エリアで熱などの地域エネルギーを融通するほか、地域活性化に資する地域サービスを提供などが期待される。今後、先導的モデルとなるエネルギーシステムを構築していくことが重要。
- 米国ニューメキシコ実証の成果を軸に、世界各国のニーズを立ち上げることに重要。

エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス	地産地消型エネルギーシステムの構築	海外展開
●概要：再エネ設備、蓄電池、デマンドレスポンス等を統合的に制御し、あたかも一つの発電所(仮想発電所)として機能させる事業。 ※バーチャルパワープラント構築事業：平成28年度予算額29.5億円 ※エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスフォーラム/検討会	●概要：エネルギーマネジメントシステム等を活用しつつ、地域で生み出されるエネルギーの最大活用・最適化する事業。 ※地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業：平成28年度予算額45.0億円	●概要：地産地消の取組や蓄電池の活用などを各国特性に適合させて展開する事業。 ※国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業：平成28年度予算額40.0億円

図-5-2-1 四地域のスマートコミュニティのまとめ

「経済産業省 第18回次世代エネルギー・社会システム協議会 配布資料」より

5.2.2 BEMS 機能について

図-5-2-2に中部大学のスマートグリッドの制御システムを示す。

EMS (エネルギーマネジメントシステム) は、気象予測等からキャンパスや学部の電力消費を予測し、節電や発電の計画、制御を行っている。よって表-5-2-1の①EMS機能は備えていると考えられる。

②通信インターフェースについては、キャンパス内の各製造者の電力使用機器や発電機器はキャンパスインフラと通信され、運転状態や制御が可能となっている。

③の蓄電池の統合制御についても、マイクログリッドとして設置され、BEMSの制御によって蓄放電が可能となっている。

⑤のデマンドレスポンスについては、「エネルギーの供給状況に応じてスマートに消費パターンを変化させる取組(資源エネルギー庁、デマンドレスポンスについて、平成27年3月)」と定義されている。具体事例として、ピーク時に電気料金を値上げすることで電力需要を抑制する電気料金型および、予めピーク時に節電する契約を行い、電力会社仕組みの依頼に応じて節電した対価を得るネガワット取引の2種があげられている。

中部大学のスマートグリッドの場合は、BEMSの電力消費予測が目標値の90%に達した時には、節電制御として、節電ナビゲーションが施設利用者に配信され、予め合意された設備機器の自動制御および、実験研究関連施設が節電される。4.4.4節昼間電力の削減効果の節では約90kWの節電合意と節電量が把握されているので、上記の電力ピーク時の電力の消費パターンを変化させるデマンドレスポンスと考えられる。

よって、中部大学のスマートグリッドシステムは、四地域実証で述べられている基盤技術と需要制御技術を備えていると考えられる。

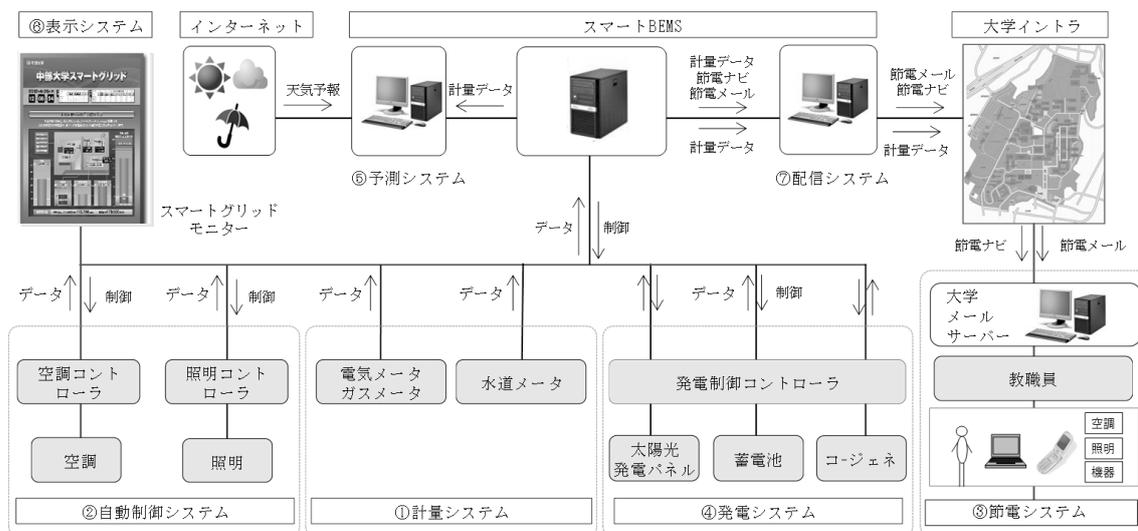


図-5-2-2 スマートグリッドシステムの機能

5.2.3 発電機能と節電機能について

図-5-2-3 に示中部大学のスマートグリッドのレイアウトの概要とキャンパスの全体図を示す。東西の受電系統のキャンパスグリッドの下位に各学部のグリッドが位置付けられ、東西のキャンパスグリッドにはひと一組づつのマイクログリッドが設置された二層型の電力の需給管理となっている。中部大学のスマートグリッドの制御概要をまとめ、四地域実証の項目を付記したものを図-5-2-5 に示す。

(1) 発電機能について

2017年の経済産業省資源エネルギー庁から「バーチャルプラント構築に向けて」の方針が示され、そこではこのバーチャルパワープラントを、需要家側のエネルギーリソースをIoT

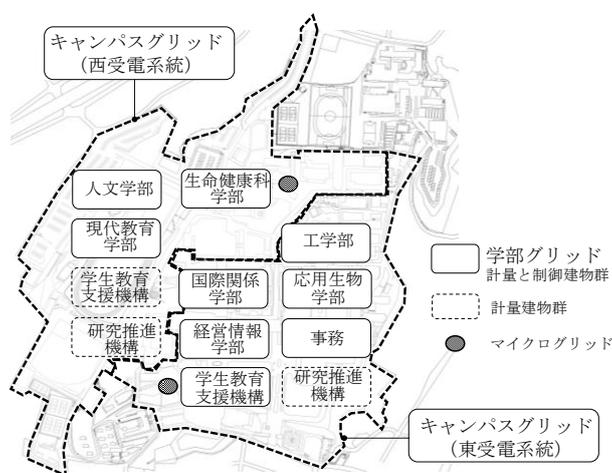


図-5-2-3 キャンパスグリッドの概要

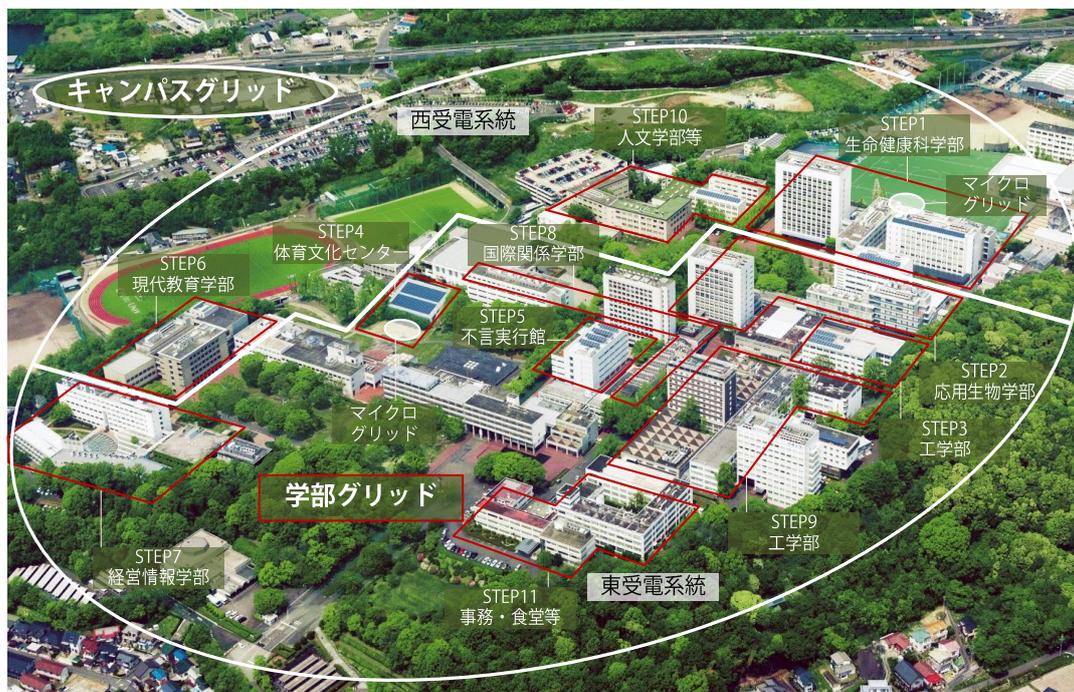


図-5-2-4 中部大学のスマートグリッドの概要

を活用して統合・最適制御することであたかも一つの発電所のように機能させることと記述されている。

中部大学のキャンパスグリッドは、受電点の電力消費の予測値によって、下位の学部グリッドに節電メールと節電制御を行い、マクログリッドの放電制御を行う。この受電点での学部側の発蓄放電設備を管理し、制御していることは、このバーチャルパワープラントの考えに沿った機能を考えられる。

(2) 節電機能について

節電側については、自動制御と節電メール機能を持っており、電力ピーク超過の可能性がある時は、予め合意された節電を行い、節電量が予測されているので、電力の需給を管理するネガワット機能と見なせる。

よって、中部大学の二層グリッドの学部グリッドを各事業者、キャンパスグリッドを地域に当てはめた場合、中部大学のスマートグリッドは四地域実証で挙げられているスマートコミュニティの機能を備えていると考えられる。

二層型グリッド	中部大学	四地域実証
	ス マ ー ト BEMS	CEMS
	西キャンパス	コミュニティ
	学部	街
	節電メール 自動制御	ネガワット取引
	マイクログリ ッド	バーチャルパワ ープラント
	東キャンパス	コミュニティ
	学部	街
	節電メール 自動制御	ネガワット取引
	マイクログリ ッド	バーチャルパワ ープラント

図-5-2-5 スマートグリッドの制御概要と発電と節電機能

5.2.4 地域の低炭素化モデルに向けて

前節では、中部大学の二層型グリッドは、スマートコミュニティの各機能を有していることを評価した。

中部大学の立地する地域では、図-5-2-6の様に発電施設を有するごみ焼却施設や大規模な需要施設として下水処理施設や体育施設等の基幹施設がある。これらの基幹施設も前述の学部グリッドと同様な節電目標を持ち、節電メールと自動制御の節電と太陽光発電の制御を行うスマートグリッドを設置し、更なる省エネルギーを検討することが可能である。

図-5-4-7は、これらの地域の基幹施設を仮にグリッドに組み入れ、三層目のスマートグリッドを形成した場合のイメージ図である。この様に中部大学もこれらの地域のインフラ施設とのグリッドによって、エネルギーの需給を一元化して管理し節電ナビ等での消費の融通を行うことも可能である。更に発電側と需要側の連携や、廃熱の面的融通等を検討することで、今後各地で課題となる地域の低炭素化の参照モデルとなり得ると考える。



図-5-2-6 地域の基幹施設の例

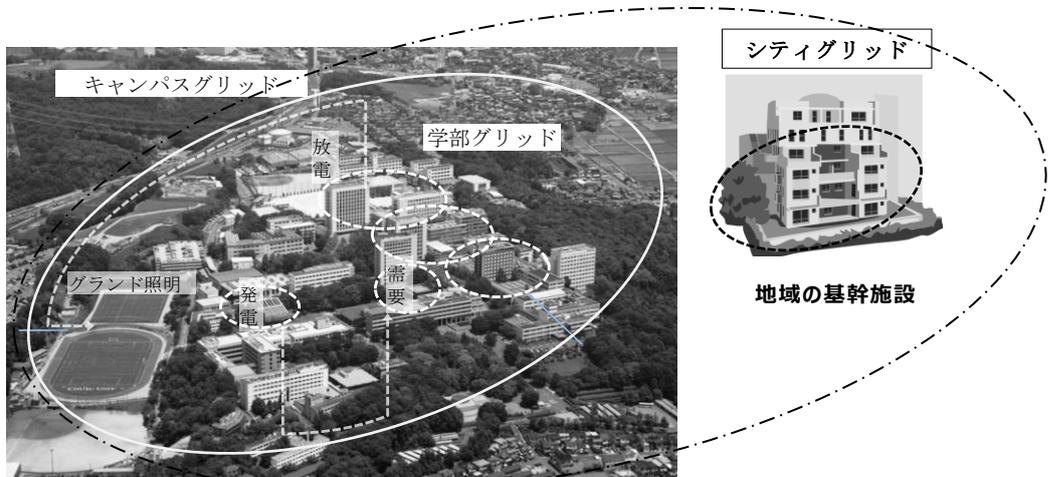


図-5-2-7 地域グリッドのイメージ

5.3 エネルギーマネージメントの事例と波及効果

エネルギー白書²⁻²⁾では、徹底した省エネルギーと再生可能エネルギーの推進に加えて、省エネルギーの掘り起こすマネージメントが今後の方針とされている。本節では、今回の取り組みでのエネルギーマネージメントの事例および、その波及効果について述べる。

内容は、施設利用者との自発的な省エネルギー活動として、クラウドシステムとスマートフォンを利用した学生NPOとの活動および、今回のエネルギーマネージメントの基本となったハードとソフトの概要となっている。

また、スマートグリッドの波及効果として、学外の自治体や学会と連携したシンポジウムについてまとめた。

5.3.1 学内での活動（学生NPOとの連携）

ここでは、省エネルギー活動の自発的な仕組みづくりをまとめて、本題を整理する。省エネルギーワーキング（WG）が中心となって実施案を策定し、上位の組織が方針、目標の設定と実施案の承認を行っている。

この枠組みの中で、省エネルギーWGと自発的な省エネルギーの取り組みを、学生NPOや研究室との協働を試行した。

（1）課題の抽出

現代教育学部の電力消費の重ね合わせを図-5-3-1に示す。不定期な電力消費によって電力消費のピークが現れていた。

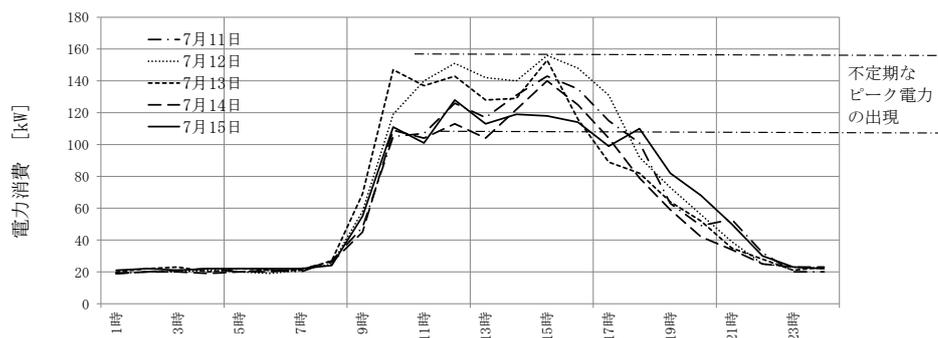


図-5-3-1 現代教育学部の日消費電力（2016年度夏期代表週）

表-5-3-1 省エネルギー活動の手順

項目	ツール	目標
課題の抽出	プロフィール分析	ピーク電力管理等
原因の把握	簡易モニタリング	原因の特定
対策の実施	ウォークスルー	運用、更新改善等
効果の把握	簡易モニタリング	効果の把握と改善

(2) 原因の把握

学生や関係者にクラウドのアドレスを開放して各自のタブレットで閲覧可能とし、電力の消費を施設利用者にも見える事とした。次に、電力消費と建物運用の関連付けを共有するために、施設管理者と学生と合同で、図-5-3-1 での不定期な電力ピークを生じている現代教育学部の建物を実際にウォークスルーした。(写真-5-3-1)

電力ピークやベース電力の原因を特定するために、原因と特定される建物部位に、簡易クラウド測定装置を設置し、キャンパスグリッドの建物や学部別の電力消費データをクラウドから入手し、建物と特定の機器の消費の影響の状況を確認することとした。



写真-5-3-1 現代教育学部のウォークスルーの状況

(3) 対策の実施

簡易モニタリング装置を課題と想定される建物の部位に設置し、クラウドシステムに計量値を送り、状況に関連の担当で閲覧できるようにした。

簡易モニタリング装置の概要を図-5-3-2 に示す。

エネルギーマネージメントを行うシステムの計量データと一元化して扱える事で、建物の計量と当該の計量を合わせて確認できるので、建物の電力ピークの原因を特定することができるものである。

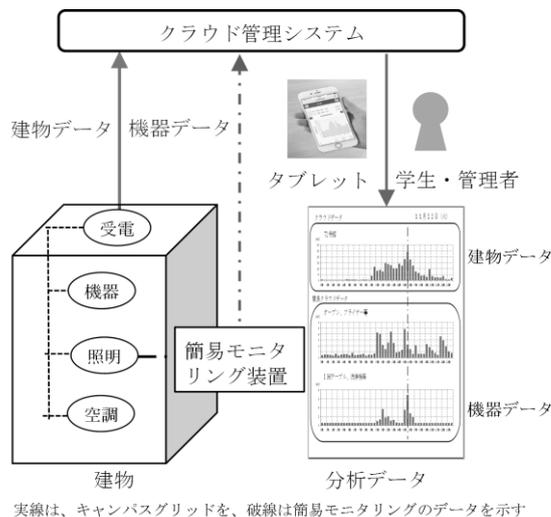


図-5-3-2 クラウド管理システムの概要

(4) 効果の把握

図-5-3-3の最上段が建物単位でのクラウドデータ、中段以下が簡易モニタリング装置のクラウドデータである。72号館の建物電力ピークが調理教室のオープン等で生じていることが分かり、原因を特定できた。

また、参加者にも、クラウドのエネルギーデータとウォークスルーでの実際のエネルギー消費の実情が関連づけられた。

実施後のヒアリングでは、施設運用者も施設のエネルギー消費が学部の電力使用に影響していることに関心をもち、学生側からは、エネルギーの使われ方を体験でき今後の学業につなげていきたいとの意見があった。

(5) 今後について

これまでの本研究から、節電や省エネルギーの推進には、施設利用者による活動が重要な一面を持っていた。また、中部大学も事業者として、この活動を事例発表会等の公的に位置付けしていることも重要な側面である。このような状況において、施設管理者と利用者の活動をスマートグリッドによって明確化し、今後もこのような自発的な活動を推進していきたい。

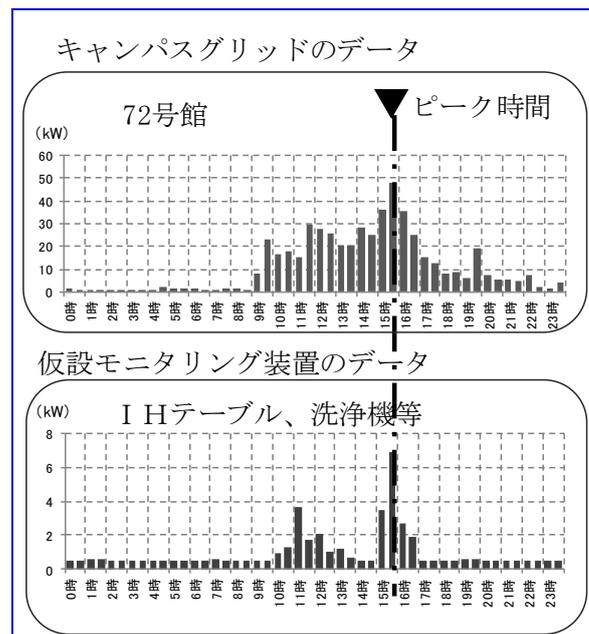


図 5-3-3 学部のピーク電力と原因（現代教育学部）

5.3.2 学外への発信（中部大学シンポジウム）

スマートグリッドは、中部大学と清水建設の事業者の共同実証であったが、取り組みが環境省の事業に採択され、省庁や自治体が参画した事業に展開された。

この様な背景において、2014年に産学官が協働した中部大学シンポジウムが開催されまた、環境省と経済産業省が、今回の取り組みを地域低炭素化とスマートコミュニティの事例として発表している。

本節では、これらはスマートグリッドの取り組みの波及効果と位置付け、中部大学シンポジウムの概要をまとめる。

(1) シンポジウム「エネルギーの未来を考える」の概要

本スマートグリッド実証は、平成26年度電気設備学会賞、エンジニアリング協会賞を受賞し、環境省補助事業「グリーンプラン・パートナーシップ (GPP) 事業」の採択へとつながるなど、大きな成果を上げている。これまでの活動を振り返り、成果と課題を整理・共有するとともに、今後の展開に向けた方向性を議論するべく、GPP事業採択のキックオフを兼ねたシンポジウムを開催した。

環境省 平成26年度『グリーンプラン・パートナーシップ (GPP) 事業』選定取組
地域とともに低炭素社会を考える(中部大学公開シンポジウム)

第1回 エネルギーの未来を考える

～中部大学の流儀～

キャンパス版スマートグリッドの現在と未来・地域への展開
シンポジウム内容

第1部 キャンパス版スマートグリッド～現在までの歩み～ — 共同実証を中心として —
第2部 スマートグリッドの未来と地域への発展 — GPP事業の展開について —

平成26年
10月15日(水)開催(入場無料)
13:30～16:35 (13:00開場・受付)

開催場所
中部大学 三浦幸平メモリアルホール

主催: 中部大学
共催: 清水建設株式会社



- ・JR神機駅よりお越しの方
北口中部大学スクールバスのりばから約7分
中部大学前バス停下車徒歩4分
- ・JR高蔵寺駅よりお越しの方
北口名鉄バス「中部大学前行」8番のりばから約10分
中部大学前バス停下車徒歩4分

後援: 環境省(予定)、春日井市、空気調和・衛生工学会中部支部、電気設備学会中部支部



図-5-3-4 中部大学シンポジウムのパンフレット

第一部「キャンパス版スマートグリッド：現在までの歩みー共同実証を中心としてー」

基調講演：中部大学スマートグリッド共同実証について

パネルディスカッション：共同実証で得られた知見と展開に向けた課題

第二部「スマートグリッドの未来と地域への発展ーGPP 事業の展開についてー」

基調講演 1：GPP 事業採択に至る経緯について

基調講演 2：キャンパス版スマートグリッドの取組みと GPP 事業展開

パネルディスカッション：大学での取組みをどのように地域に広げていくか



パネル討論会の状況



参加者の状況

(2) 参加者と参加者の意見

教職員、学生、企業からも参加者 299 名の多が参加し、盛況となった。

おおむね好意的な意見が聞かれた。以下に、学生アンケートで得られたコメントの一部を掲載する。本シンポジウムによって、エネルギー利用に関する理解が深まり、意識向上が見られたことが分かる。

- ・学科ごとにちがったアプローチで省エネを実行していて、さまざまな方法、考え方があるのだと思った。
- ・大学がこのような問題を抱えているとは知らなかった。普段何気なく過ごしている環境はかなりの電力を消費しているので、キャンパス版スマートグリッドによって電力使用量などの数値が皆で共有できるのはとても良いと思う。それによって次の省エネ対策も多々挙がってくると感じた。
- ・大学内に設置されているモニターで、大学内の電力使用量がひと目でわかるようになってるのは、学生 1 人 1 人の意識が変わっていくのではないかと思い、とてもよい取り組みだと感じた。
- ・よくキャンパス内や先生方の会話でスマートグリッドの話は耳にしていたが、今までどういったものなのかはくわしく理解してなかったため、それが理解できただけでもシンポジウムに出席できてよかったと思う。
- ・今まで考えていたより学内の消費電力が多く驚いた。もう少し見直して自分ができる事は努力していきたいと思った。あまり学内の省エネに協力できていなかったので協力していきたいと思った。
- ・スマートグリッドシステムに関して学校でここまで大規模な省エネ活動をしているとは思わなかった。その取り組みでどれくらいの変化か自分の目で確かめたいと思う。
- ・節電をするために様々な技術・研究が行われているが、最終的に節電をするためには、電気を使用する人の意識次第であると考え。自分には関係が無いという意識ではなく、自分もスマートグリッドに参加しているという意識を持つことが大切である。
- ・実験機器やパソコンなどの電子機械などの設計における電力消費量を減らすということではなく使用する人間を巻き込んだ上での省エネであるということに面白さを感じた。また人のためであり国のためでもあるという大きな研究で僕もこのような研究をしたいと思った。

5.3.3 システムのハード、組織、ソフト

エネルギー白書²⁻²⁾での今後の方針では徹底した省エネに必要な項目として、省エネルギーを掘り起こすエネルギーマネジメントと記述されている。

このエネルギーマネジメントについて、中部大学での長期の実績の基本となったハードとソフト及び、組織をまとめることで本題を整理する。

各項目を整理したものを表-5-3-2に示し、次頁から順次まとめた。

表-5-3-2 省エネルギー活動の推進の為のハード、組織、ソフト

項目	目的	内容
(1) ハード (スマートグリッドシステム)	計量	① 計量システム
	制御(節電)	② 自動制御システム：空調、照明機器
		③ 節電システム：節電メール、節電ナビ
	(発電)	④ 発電システム
	予測	⑤ 電力消費の予測システム
表示	⑥ モニターシステム(予測値、実績値、節電値等の表)	
	⑦ 配信システム(イントラへの目標値、実績値等の配)	
(2) 組織 (省エネルギーワーキング)	推進組織	⑧ 実効組織(利用者、管理者、技術者、施工者の参画)
	上位組織	⑨ 上位方針の策定、学内活動の奨励と評価
(3) ソフト (分析ツール)	エネルギー管理	⑩ エネルギー消費プロフィール(年報、月報、週報、日報)

(1) ハード (ツール)

スマートグリッドシステムの7つの機能を図-5-3-5に示す。

各棟の計量システムと建物設備の制御および、エネルギー消費予測や現況の情報システムが一元化されている。また、発電等の機器メーカーとも通信が行われ、エネルギーマネージメントができるインフラが構築されている。

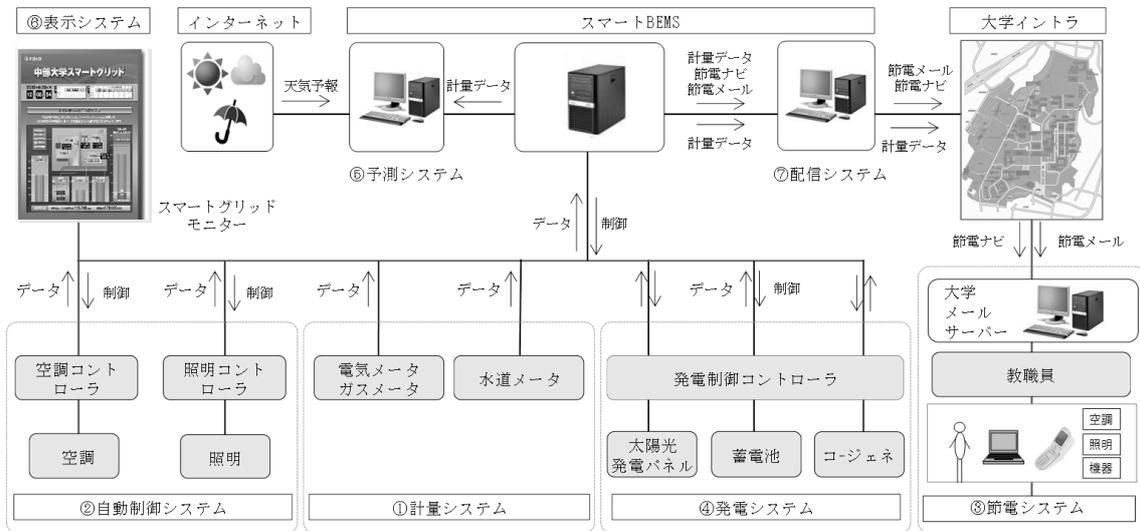


図-5-3-5 スマートグリッドシステムの機能 (再掲)

(2) 組織と役割分担

中部大学での省エネルギー組織の概要を図-5-3-2 に示す。

省エネルギーワーキングが実行組織として、グリッド管理者、施設管理者、施設利用者、技術者、施工者、機器メーカーの多方面の担当者から組織されている。

方針や全学の活動については、上位の省エネルギー推進委員会で、各部門や学部、管理組織の担当者と共有され、更に上位の省エネルギー委員会にて、各部門、学部、部局の責任者と情報が共有される組織となっており、責任者と実行者、管理者等の役割分担が設定されている。

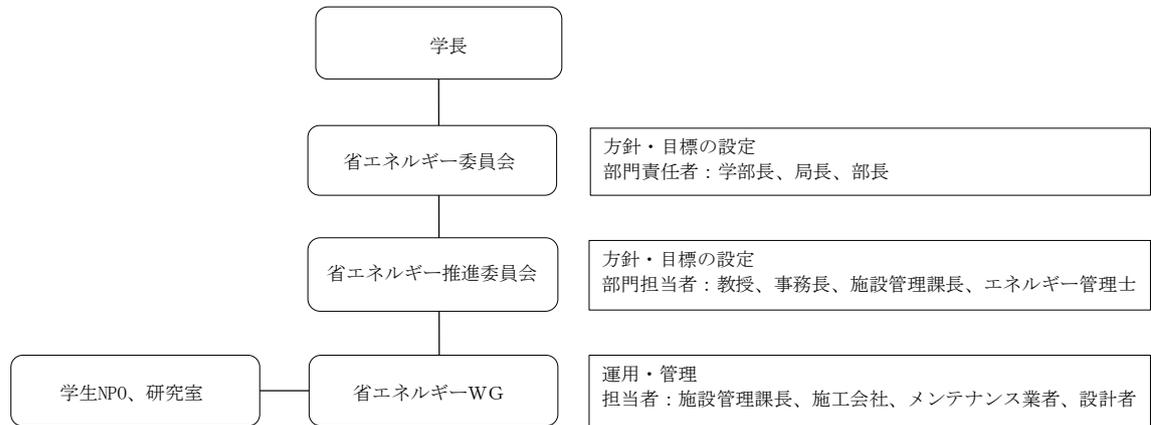


図-5-3-6 エネルギー推進組織

表-5-3-3 省エネルギーWGでの役割分担の事例

	省エネWG						備考
	対象グリッド管理者	施設利用者	施設管理者	施工者	メーカー	設計者(技術者)	
◎: 担当 ○: 支援							
1 (P) テンプレート分析 ecoBCPクラウドのプロファイラーインストール テンプレート分析により対象グリッドを抽出						◎	
2 (P) 対象学部のウォークスルー エネルギー使用の変動原因把握 ベースエネルギー使用の原因把握、等	○	○	◎	○		○	
3 (D) 簡易クラウド計量装置の設置 ピークやベース負荷の要因対象の計測	○		◎	○	○		
4 (C) 課題の対応策の検討 BEMSやスマホ等での目視管理、警報設定 原因の特定、対象と具体的対策の設定		○	◎	○		○	
5 (A) 対策の実施 不要な照明、空調、実験機器の停止の検討 機器使用の朝夕やピーク以時への検討	◎	○	○				
6 (A) 効果の把握と改善案の検討 効果の把握 対策の評価		○	◎				
7 (P) 次工程(簡易クラウド計量装置の移設) 次の対策候補の検討と設定	△		◎	○	○		

組織の節電要請時とスマートグリッドを利用した取り組みの比較を表-5-3-4にまとめた。

表-5-3-4 主な省エネルギー取り組みの比較

	2011 年度取組	2012～2016 年度取組
組織	学長 省エネルギー委員会の下に、省エネルギー推進委員会（実行学科等）を設置	同左 同左にワーキングを設置 地域連携、産学連携にも展開
管理単位	基本的に各学部毎	スマート BEMS による 学部、部門グリッド毎の管理 クラウドにより、高校、恵那等の遠隔施設も管理
管理手法		季節別代表週電力消費プロフィール 年間エネルギーマネージメント表 (年間実績と学内行事、制御設定)
削減目標	前年度比	前年度比
機能表示	キャンパスプラザに表示 (前日と現在実績) 省エネ通信	原則各グリッドにスマートグリッドモニターを設置 (予測値、目標値、実績の表示) 省エネ通信
監視	デマンド監視（管財部） 電力停止 3段階：事務、共用部 研究室、クラブ諸室 講義室、ゼミ室等	使用電力予測 注意報、警報レベルを配信 節電メールを研究室等に配信 共用部等の空調照明の自動制御
節電	省エネパトロール (省エネ推進委員、監視委員) 学生 NPO 連携 部署毎表彰 省エネ強化月間の設定 クールビズ、ウォームビズ 不要照明灯の取外し 不要時間帯の空調停止	節電ナビゲーション (節電ナビ、ピークシフトナビ) 自動制御 (更新部遠方デマンド制御) 学生 NPO 連携 (簡易クラウドモニタリング) 省エネパトロール
発電		発電量増強 (マイクログリッド蓄放電制御)
施設更新	老朽度に従った計画更新	省エネルギー診断実施 省エネを考慮した計画更新 空調の自動制御が可能とする
新築	省エネ技術の積極採用	キャンパスエネルギーマネージメントを反映した新築計画
	国の要請による緊急措置（対応） 人海戦術的活動とならざるえない	エネルギー使用の実態に即した客観的な活動、 施設利用者との協働

(3) ソフト

計量データのプロファイリングを年報、週報、日報についてまとめる。

① 年報（年間のピーク電力値の実績と対策）

最上段の施設運用のスケジュールについては、大学の施設の運用や特定日が確認される。次に、WGと上部委員会とのスケジュールが設定され、方針と目標が共有されている。三点目に、エネルギー管理の項目が設定されており、夏冬の電力ピーク時の事前の実施項目が決定される。ここでは、実験スケジュールリングシステムとデマンド設定となっている。ピーク電力期間の後に、実績から効果と改善案が繰返し検討される。

最下段では、ピーク電力の出現期間がおおよそ把握されており、中部大学においては7月と1月の3週間がこれにあたり、行事等の催事の重複回避やその他の対策案が検討される。

各学部の上限值は、毎年実績より見直し、設定を確認する。この事例を表-5-3-5示す。上限値を超過した場合は、スマート BEMS より警報が出され、超過の原因が検討される。

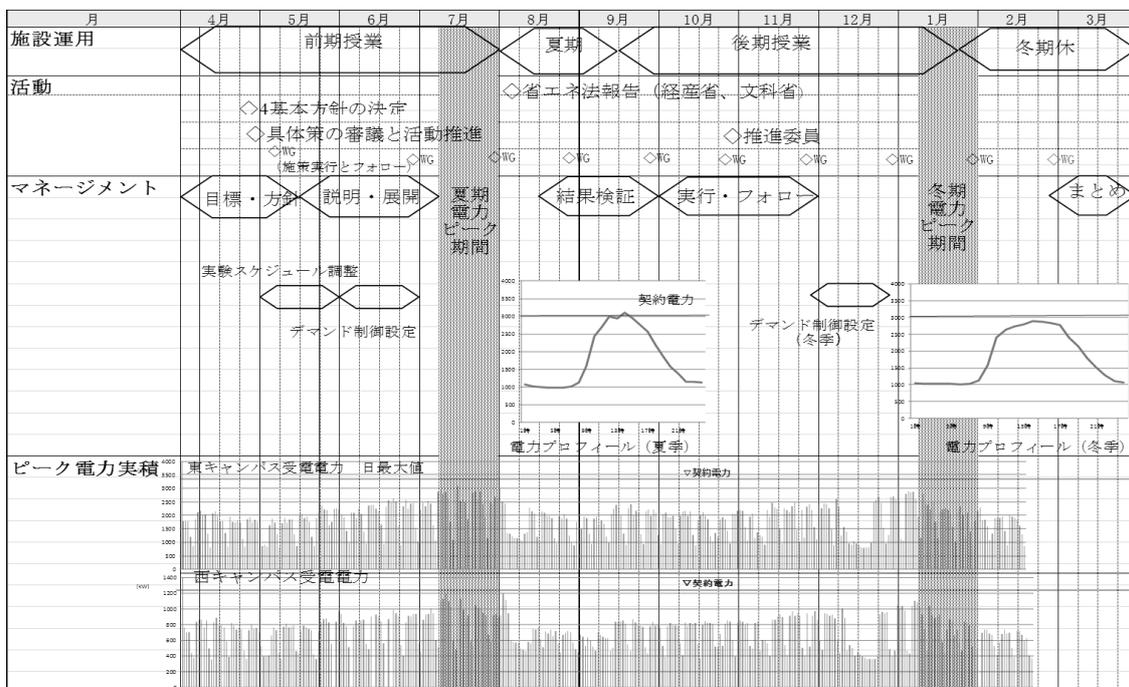


図-5-3-7 エネルギー管理項目

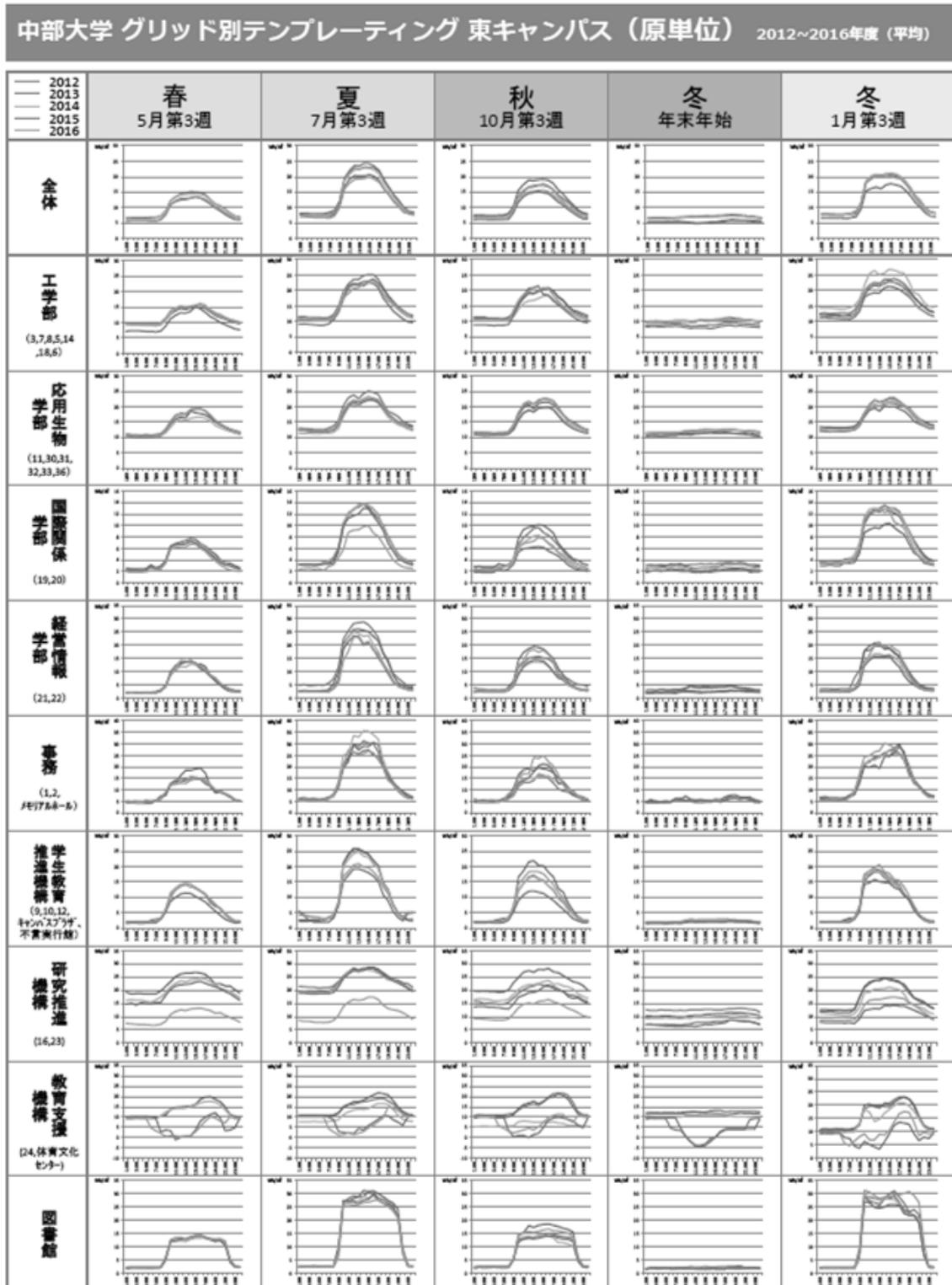
表-5-3-5 各学部、部門の電力デマンド管理値 (2016年度)

東受電系統	3200	西受電系統	1230
工学部	750	生命健康科学部	420
応用生物学部	400	現代教育学部	200
国際関係学部	210	人文学部	300
経営情報学部	175	実験動物教育研究センター	220
事務	360	研究推進機構	30
学生教育推進機構	600	学生教育推進機構	300
研究推進機構	290		
教育支援機構	60		
図書館	280		

② 週報（季節別の電力消費の管理）

各管理単位毎に、春夏秋冬と年末年始の代表週平均値を年度別に重ね合わせ、年度毎や季節毎の電力消費の変化を確認する。

ベース電力やピーク電力の特徴を抽出し、対策の検討の要否や要因の検討を行う。



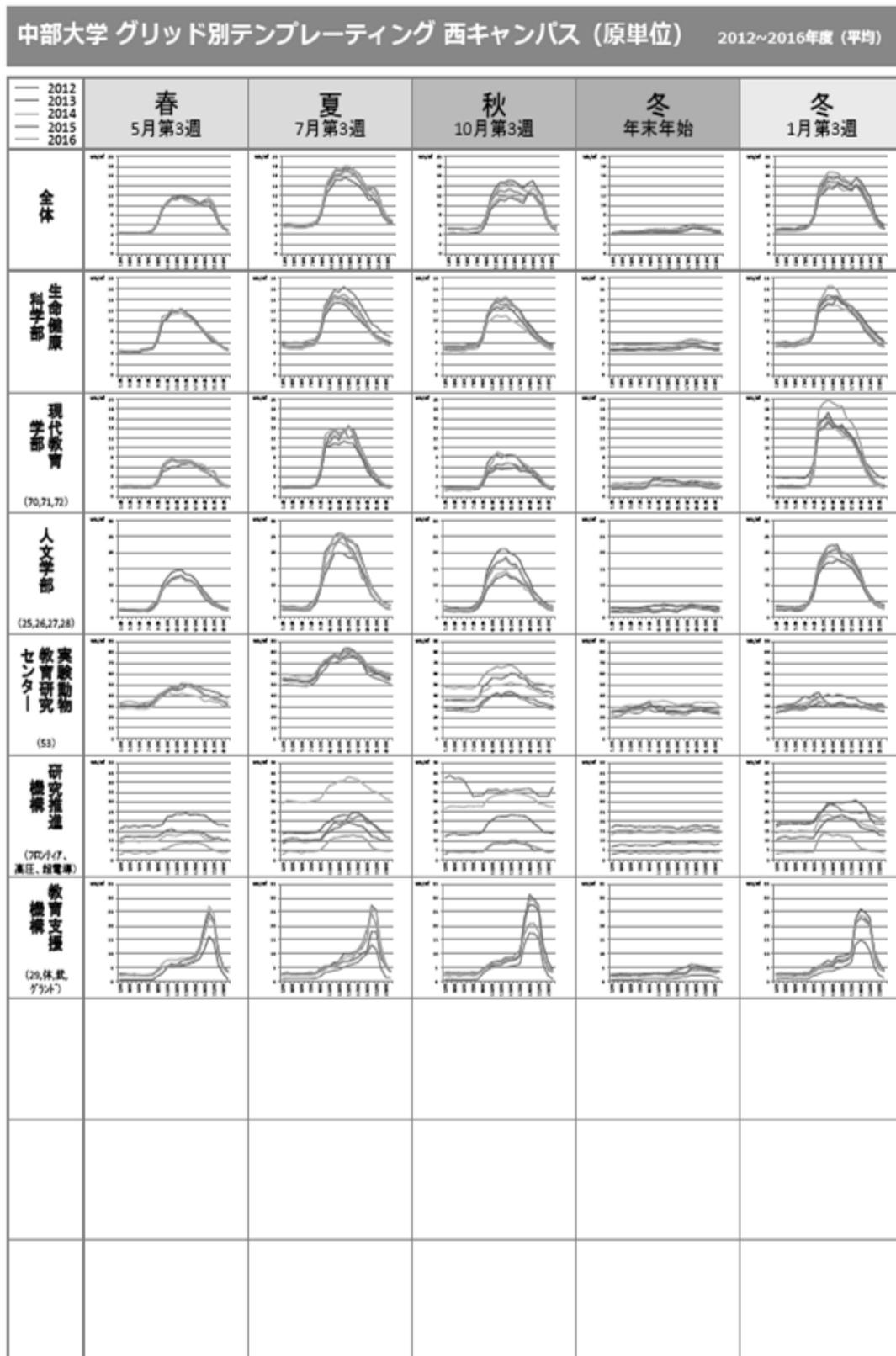


図-5-3-8 週報の例 (クラウドデータからの季節別代表週の年度推移)

③ 日報（重ね合わせ図によるピーク電力の管理）

日報の事例を図-5-3-9 に示す。

前後の日の電力消費を重ね合わせることで、ピーク電力の出現や不規則な電力消費等の課題を抽出する。

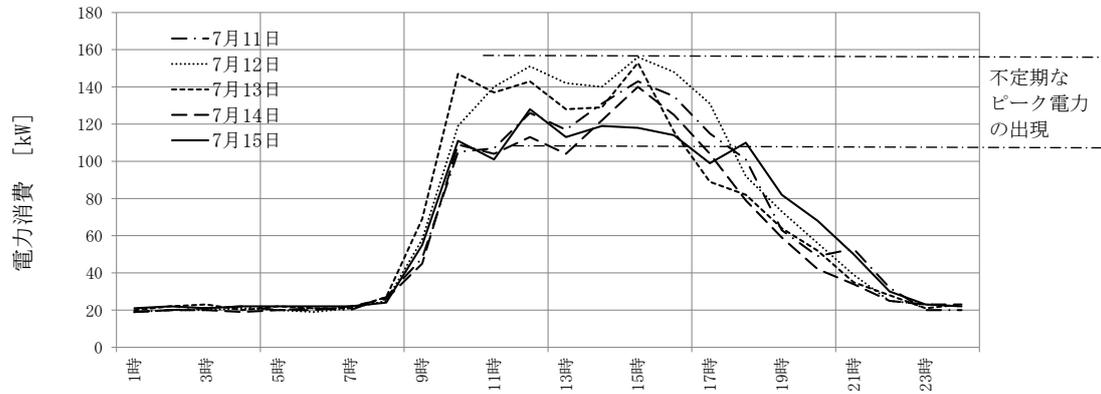


図-5-3-9 日報（電力消費の重ね合わせ図）の事例（再掲）

5.4 第5章のまとめ

中部大学のスマートグリッドシステムによるエネルギーマネージメントで、2030年の低炭素化目標が達成可能であることおよび、四地域のスマートコミュニティの実証と比較して、一事業者であることが割り引かれるが、必要とされる機能を備えていると考えられ、既存建物の低炭素化の参照モデルになり得ると考える。以下、5章の要旨をまとめる。

(1) 中部大学の将来の達成値の推定

- 1) 将来の設備機器の更新効果を加え、CO₂排出量削減40%が可能である。
- 2) 効果の内訳は、運用、発電、更新が各々1/3であり、3者の総合的な推進が重要である。
- 3) 電力ピーク平準化率は約35%が可能である。

(2) スマートコミュニティの機能（四地域実証との比較）

1) 基盤技術（BEMS機能）について

四地域実証の総括においてBEMS機能である、電力の需給計画、通信インターフェースと蓄電池制御の機能を、中部大学のスマートグリッドは有していると考えられる。

2) 需要制御技術（デマンドレスポンス）について

スマートグリッドシステムでは、節電制御は、事前に施設利用者と合意され、節電量が把握されているので、電力ピーク時のネガワット取引と類似の機能があると見なせる。

3) バーチャルプラント（仮想発電所）について

キャンパスグリッドは、受電点の電力が目標値を超過が予測された場合に、学部のマクログリッドの放電制御を行っている。バーチャルパワープラントの定義では複数の発電設備制御となっているのでこの点は未達であるが、類似の機能と見なせる。

上記より、中部大学のスマートグリッドは、四地域スマートコミュニティで課題とされている機能を概ね有していると考えられる。

(3) エネルギーマネージメント事例および、ハードとソフトについて

建物の省エネルギーには、施設利用者の参加が重要であるので、クラウドシステムを利用した学生との取り組み事例と、マネージメントの基本となったシステムの概要と検討資料についてまとめた。

(4) 地域グリッドへの展開に向けて

本研究では、二層型グリッドの機能と効果を実証し、既存の多棟のマネージメントモデルを構築した。地域への普及の一例として、地域のインフラであるごみ発電施設、下水処理施設、体育施設と教育施設である中部大学の地域グリッドの方向性について述べた。クラウドシステムを利用した一事業者から多事業者への取り組みとなるが、今後の低炭素社

会に向けた社会的な課題であり、機会があれば今後取り組んでいきたい。

表-5-4-1 「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の総括と今後のまとめ（再掲）

四地域実証の総括と今後		記述の節
1) 基盤技術の確立		
①EMS(エネルギー管理システム)の開発	コミュニティ単位で需給計画の策定	5.2.2節
②標準インターフェースの確立	DRに係る各機器とのインターフェースを策定、標準化	BEMS 機能について
③電池制御技術の開発	蓄電池を統合制御するシステムを構築	
④給電技術の開発	EVからの直流給電、V2Hガイドラインの策定	非該当
2) 需要制御技術の実証		
⑤デマンドレスポンス(DR)の技術的活用可能性を確認	<ul style="list-style-type: none"> ・需要抑制する料金型デマンドレスポンス ・需要家が契約に基づいて電力を抑制するネガワット取引 	5.2.3節 節電と発電機能について
<今後の展開>		
⑥エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス	再エネ設備、蓄電池、デマンドレスポンス等を統合制御し、仮想発電所(バーチャルパワープラント)を構築する事業	
⑦地産地消型エネルギーシステムの構築	EMSを活用しつつ、地域で生み出されるエネルギーの最大活用・最適化する事業	非該当
⑧海外展開	上記の技術を各国特性に適合させて展開する事業	非該当

5.5 参照資料

- 5-1) 次世代エネルギー・社会システム実証事業～総括と今後について～、
資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部、平成28年6月7日

謝辭

謝辞

本研究をまとめる事が出来たのは、関係各位の誠実な業務と多くのご支援によります。この実証研究に携わって頂いた多くの皆様に厚くお礼を申し上げます。

中部大学の先生や井畑耕三氏はじめとする管財部の皆様と長期間にわたり、キャンパスの施設の運用の検討やご助言と、先生方には積極的な節電活動をして頂き、中部大学の二層型グリッドシステムの構築につながりました。更に、地域の自治体との協働となる取り組みまで展開することができました。皆様のご指導と協働に、厚くお礼申し上げます。

この省エネルギー業務の道に先達がおられました、中でも建物の省エネルギー業務の先駆けとして道を切り開いて下さった中辻哲也氏にお礼を申し上げます。まだ、至らないところもあろうかと思いますがご容赦をお願いします。

栗山茂樹本部長には、多棟の既存建物を対象とし、エネルギーの需給を制御するスマートグリッドを適用した、前例の無いスマートエコキャンパスの道筋を付けて頂きました。この道筋がこの実証研究の基本となりました、深くお礼申し上げます。

この実証研究をまとめる期間の中で、中部大学の山羽教授には、継続的なご指導と励ましのお言葉を頂きました。岐路で逡巡している時に進むべき方向を示して頂いてまとめることができました、厚くお礼申し上げます。

最後に、この実証研究を見守ってくれた家族に感謝します、ありがとう。

2017年12月15日 河村 貢

参考資料

- (1) 清水建設CSR報告書特集記事
(取り組みを段階毎にまとめたもの)
- (2) 経済産業省スマートコミュニティ事例集
(全国の事例から当該を抜粋)
- (3) 中部大学スマートグリッドの取り組みの要約版

参考資料

(1) 清水建設 CSR 報告巻頭特集 (取り組みを段階毎にまとめたもの)

02 全学を挙げて、地域とともに ~中部大学スマートエコキャンパス~

全学スマート化から地域防災拠点、広域コミュニティ拠点へ

2012年にスタートした中部大学との共同実証は、「研究教育機関としてキャンパスをエネルギースマート利用の実証の場に」というお客様のキャンパスづくりへの思いを実現すべく、学生、教職員、施設管理者など全学を挙げて積極的に取り組み、1学部5棟のスマート化から始まり、今では3学部に広がりました。

2014年からは、自治体の推薦や国の認定を受け、全学のスマート化への活動を加速するだけでなく、地域の低炭素化や防災に貢献する地域連携事業に拡大しました。これからは地域の拠点となる教育施設として、安全で環境にやさしいまちづくりへの貢献の段階に入ります。

学部グリッドの構築

- ・建物群でのスマート化
- ・学部スマートグリッドの実現

全学のスマート化へ

- ・学部グリッド相互の電力融通
- ・キャンパスグリッドの構築

2012 共同実証の開始 (中部大学、清水建設)

2014 地域連携事業の開始



生命健康科学部

■既存建物を含む1学部5棟のスマート化

中部大学とともにスマートグリッドを実証

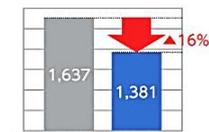
キャンパスの拡張に伴い、電力インフラ容量が逼迫。電力の有効利用を目指し、発電・節電を最適に制御するスマートグリッドの共同実証が全国に先駆けてスタートしました。

教職員、学生とともに節電活動を推進

実験機器を含めた節電活動案を作成。スマートBEMSのエネルギー予測システムから目標値を算出し、必要な節電活動を後押しする節電運用ナビゲーションが開始しました。

スマートグリッドの効果を実証

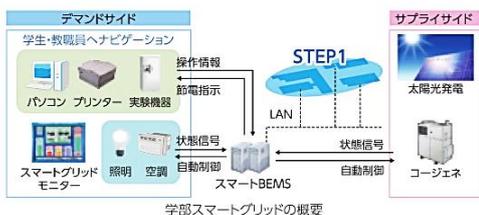
施設管理者、施設使用者、教職員、学生の全学一体的な活動の結果、2012年には、電力総使用量▲16%、電力ピーク▲24%を達成しました。



学部の電力使用量を低減



スマートグリッドモニターを見る学生



学部スマートグリッドの概要



春日井キャンパス

■全学共通インフラの整備とのキャンパスのスマート化

情報インフラの整備と見える化

全学のエネルギー計量や節電ナビゲーションなどの情報インフラを整備。教職員、学生に自らの活動が見えるキャンパスになりました。

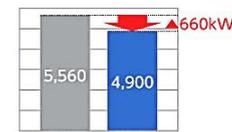
サプライヤーとの協働

学内の多種多数の発電、蓄電や空調照明機器との通信と制御のための共通の通信システムが構築され、各機器がスマートBEMSとコミュニケーションできる様になりました。

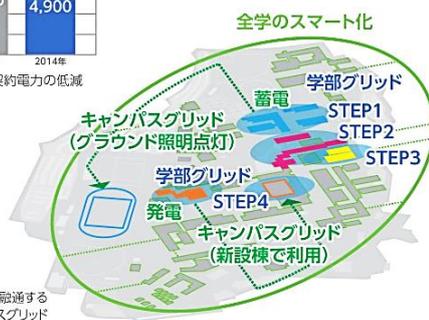
キャンパスグリッド構築へ

学部単体から少しずつ取り組みを広げ、2014年度には2010年度比で契約電力量の削減▲660kWを達成しました。

2016年には全学スマート化が完了予定。学部間の電力融通を行うキャンパスグリッドの構築 (CO₂▲25%) を目指します。



全学の契約電力の低減



学部グリッド間で電力融通するキャンパスグリッド

※スマートエコキャンパスは清水建設の登録商標です。

地域への貢献 ・地域の防災拠点としての貢献
 ・国や自治体との連携開始

自治体との連携 ・低炭素化技術の展開
 ・自治体との活性化や交流の推進

(環境省、春日井市、中部大学)

安全で環境にやさしい街づくりへ



春日井キャンパスと周辺地域



高蔵寺ニュータウン

©Google

■環境と防災の取り組みが国の認定事業に

地域の防災拠点として

順次拡張する発電設備は、平常時に加えて、災害時の電力やガス途絶時にも使える自立した電源であり、非常時の教職員と学生の安全性の向上につながります。

春日井市の指定避難所および広域避難場所に指定されているキャンパスは、その高い自立性で、周辺地域の防災にも貢献します。

国と自治体の認定を受けて

取り組みの先導性や春日井市との連携性への評価で、環境省のグリーンプラン・パートナーシップ事業に認定されました。その一環として、環境省・春日井市後援のシンポジウムを開催し、成果と今後の取り組みを市民の方や社会に公表しました。



発電能力の増強と自立性の向上



シンポジウムには学生、教職員も参加



産学官共同のシンポジウムを開催

■教育機関として技術と人の自治体との交流

自治体とともに

中部大学自体のCO₂削減活動によって、自治体の環境実行計画 (CO₂▲17%) に寄与するとともに、事業連絡会議を発足し、低炭素化技術を自治体への展開していきます。

市民とともに

スマート化されたキャンパスを使って、エネルギーの有効利用を体験するエコツアーとして市民に展開。また、中部大学では、高齢者の多い高蔵寺ニュータウンや市内の企業との連携を通じて、地域活性化に貢献しています。

中部大学	連携	春日井市
再生可能エネルギーの導入	低炭素まちづくり	再生可能エネルギー促進
省エネ設備の設置		市民・事業者の活動促進
スマートエコキャンパス	循環の推進	地域環境の整備改善
資源再循環の推進		資源型社会の形成
COP10参加	自然共生	自然環境の保全
指定避難所、広域避難所		地域防災
地(知)の拠点整備事業	高齢化	高齢者見守り支援

低炭素や防災等についての連携の推進

(2) 経産省スマートコミュニティ事例集（全国の事例から当該を抜粋）

【大学施設】 中部大学 スマート エコ キャンパス

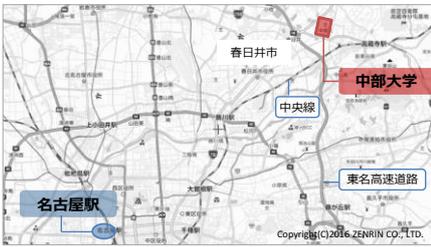


事業概要

事業主体：学校法人 中部大学
 設計施工：清水建設 株式会社
 対象地：愛知県春日井市松本町1200
 施工期間：2012年7月～2017年3月予定
 案内図

中部大学春日井キャンパスの概要

大学概要：7学部、30学科、大学院：6研究科
 建物概要：棟数60棟、延床面積：約192,000㎡





コンセプト・・・多棟建物でのエネルギーのスマート利用の実証研究

学生・教職員・施設管理者の協働のもとエネルギーの高度利用を実証し、成果を社会に発信する

①電力ピークの平準化

- ・使う側の節電・・・実験研究機器を含んだより効果的な節電
- ・作る側の発電・・・マイクログリッドによる電力のピークカット

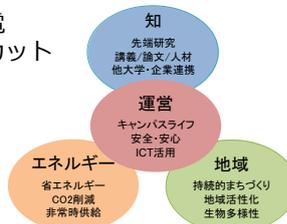
②低炭素化（省エネルギー）

- ・発電と節電のエネルギーの高効率利用による低炭素化
- ・既存建物群のエネルギーの融通による高効率利用

③社会への展開

- ・シンポジウムの開催・産学官の協働発表
- ・実証成果の公表・・・学会発表や施設見学の実施

スマートエコキャンパスのコンセプト



学生・教職員・管理者の全学的取組み

経緯

- ・2011年・・・全学でのエネルギーのスマート利用の検討
 キャンパスの拡大と実験研究機器の増設に伴い、電力使用がインフラの上限に近づく状況を受け、電力需要の抑制と省エネルギーに全学を挙げての取組を開始
- ・2012年～2014年・・・学部スマートグリッドの実証
 学部の複数棟でのエネルギーのスマート利用を研究実証
- ・2014年～2017年・・・キャンパスグリッドの構築（予定）
 全学にスマートグリッドを展開し、学部グリッド相互の電力融通システムを構築

2010年度
スマート化の計画

2012年度
学部グリッドの実証

2014年度
キャンパスグリッドの構築

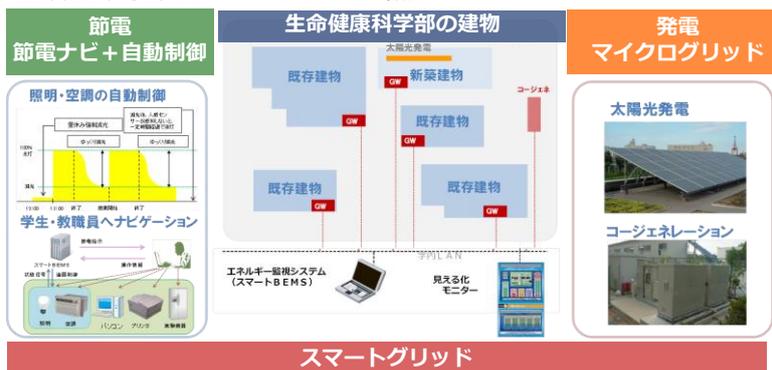
2017年度

電熱 学部グリッド

節電と発電を最適に制御する学部スマートグリッドを実証

- 成果**
1. 電力平準化・・・ピーク電力 ▲24.6%削減
 2. 低炭素化・・・CO2削減 ▲15%
 3. 創エネルギー・・・太陽光発電22kW,蓄電池144kWh,コージェネ50kW

生命健康科学部のスマートグリッドの概要



節電と発電を最適化する仕組み

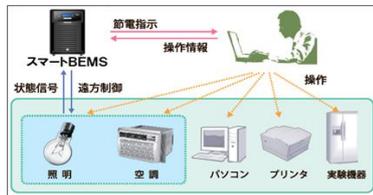
・節電側の節電ナビゲーションの概要

節電機器を予め登録して、電力ピーク時に、研究者に節電メールを配信し節電機器を登録

節電機器の登録

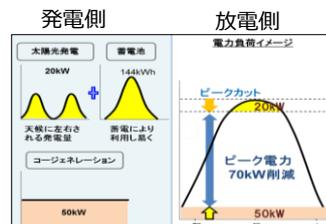


節電メールを配信し節電機器を返信



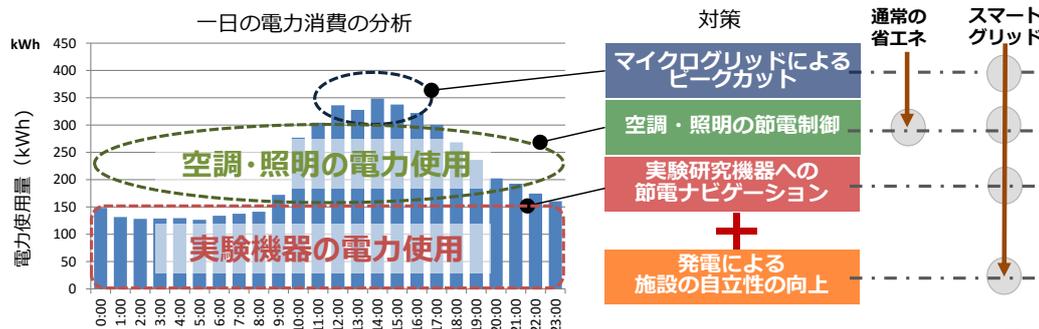
・発電側のマイクログリッドの概要

太陽光発電の変動を、建物の電力カーブに合わせ蓄放電し電力ピークをカット



電力の使われ方から最適な対策を立案

通常の空調と照明の省エネに、創エネと実験研究機器の節電を加えて、節電効果を向上



注 1) 成果は 53 号館を含んだ効果率

電熱 キャンパスグリッド

建物の低炭素化

省エネルギーの取り組み・・・空調・照明設備を高効率化更新

2014年度

CO2削減目標▲11%



2015年度

CO2削減目標▲16%



創エネルギーの取り組み・・・新築の電力消費相当分を既存の改修で発電

＜既存＞ 体育文化センターの改修
ガラス屋根に80kWの太陽光発電とプールに熱利用する35kWのコージエネを設置



＜新築＞ 不言実行館の新築
省エネ建築の計画により電力デマンドを削減
体育文化センターの発電を利用



学部は目標値に向けて節電と発電を行い、キャンパスでは学部間の電力使用を融通

学部グリッドの取り組みの全学への展開



キャンパス全体での学部グリッド間の電力の相互利用の概要



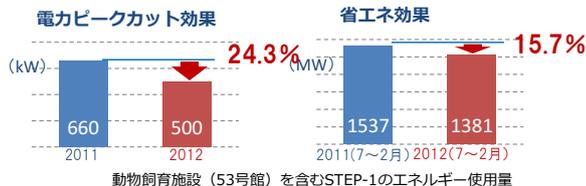


スマートグリッドを支える技術と仕組み

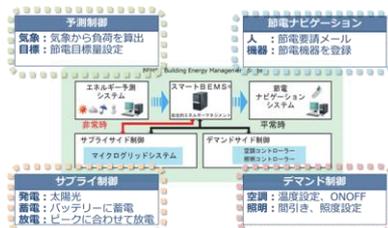
1. スマート BEMS・・・エネルギーの需給を最適化する仕組み

省エネと創エネを最適にマネジメント

実証された効果（生命健康科学部）



システムの概要

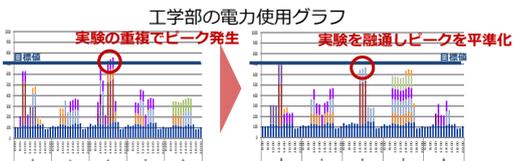


2. 節電ナビゲーションシステム・・・エネルギーの使用を工夫する仕組み

実験研究機器の運用を工夫して、電力使用の平準化や省エネルギーを推進

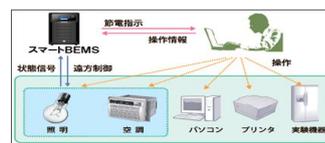
実験スケジューリングシステム

大型実験機器の同時稼働でピークが発生していたので、事前に実験計画を調整して、使用オス電力を平準化



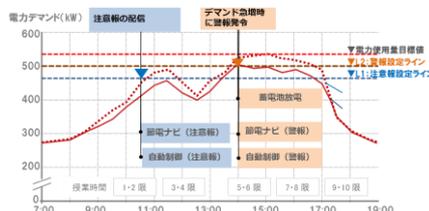
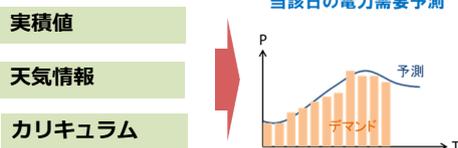
節電ナビゲーションシステム

電力ピーク予測で、節電が必要な時は予め登録した実験機器を停止



過去の使用実績・天気予報から翌日のエネルギー消費を予測し、節電を計画

翌日のエネルギー消費を予測して、節電目標値を設定し、節電制御や節電メールを配信します。

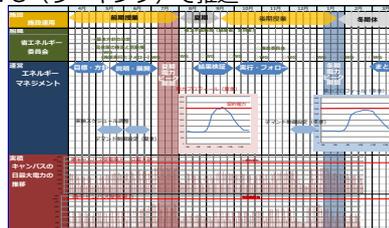
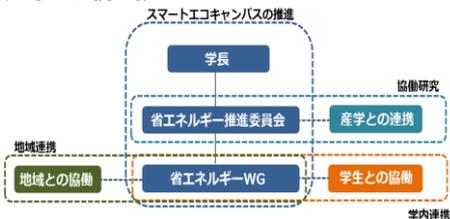


4. 全学省エネルギー委員会・・・エネルギー利用を運用する仕組み

学長のもとの省エネルギー委員会とWGで学内や地域との連携を推進

省エネルギー推進委員会を中心に、産学・地域。学内連携を推進

期首に年間の省エネルギー施策を立案しWG（ワーキング）で推進





中部大学スマート エコ キャンパスの成果

- ①低炭素化 . . . CO2排出量を30%低減
- ②電力平準化 . . . 契約電力を22%低減
- ③創エネルギー . . . 太陽光発電230kW, コージェネ85kW実装

中部大学のCO2排出量と建物床面積、利用者数の経緯



成果 . . . 社会への展開

低炭素社会の構築に向けて、教育研究機関としてスマートグリッドの技術と成果を展開

- ・ **シンポジウムの開催**
 中部大学公開シンポジウム
 中部大学開学50周年シンポジウム
 朝日ESDシンポジウム
- ・ **地域連携事業の推進**
 地(知)の拠点整備事業
 先導的「低炭素・循環・自然共生」地域創出事業
- ・ **学外からの視察**
 7大学、4メーカー、4エネルギー関連組織会社
 自治体、海外省庁等
- ・ **論文発表**
 3学会、6編を投稿

中部大学公開シンポジウム



謝辞

関係省庁やエネルギー会社の方々にご多大なご協力を頂きました、紙面をお借りし、御礼申し上げます。

注1) CO2換算係数は、電力0.550kgCO2/kWh、都市ガス2.23 kgCO2/N m³、重油2.71 kgCO2/Lを用いて算出。

(3) 中部大学スマートグリッドの取り組みの要約版

1. はじめに

1-2. 表彰の対象としたい主眼点の概要

建物の低炭素化と電力ピークの平準化が社会的な課題となっている背景にて、既存の多棟施設で構成される総合大学のキャンパスの建物群について、主に運用による節電と太陽光発電等の再生可能エネルギーを利用するスマートグリッドを計画、設計、施工した。

低炭素化と電力ピークの平準化について、実験研究施設まで踏み込んだ節電と太陽光発電等の再生可能エネルギーを利用したシステムを構築し、原単位にてCO2排出量28%の削減と電力ピーク平準化34%を達成した。

表彰の対象としたい主眼点は以下のとおり。

1. 電力の節電と発電を最適に行うスマートグリッドの構築と実証
2. 大規模キャンパスの既存多棟建物におけるキャンパスグリッドの構築と運用
3. 継続的な省エネルギー活動の推進と地域社会への成果の展開

主眼点	内容
スマートグリッドシステムの実証	<ul style="list-style-type: none"> ・実験研究施設の使用まで踏み込んだ省エネナビゲーションシステム ・再生可能エネルギーを最適に利用するマイクログリッドシステム
大規模な既存建物群のスマート化	<ul style="list-style-type: none"> ・二層グリッド（学部とキャンパス全体）によるエネルギースマート利用 ・予測、計量、制御、節電メール、情報配信から成る統合システムの構築
取り組みの推進と社会への展開	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネルギー活動の仕組みづくりと施設管理者と利用者の協働の推進 ・産学官での取り組みの推進と地域社会への低炭素化技術の展開



図-1-2 案内図

スマートエコキャンパスプロジェクトの関係者

事業主	学校法人 中部大学
設計	清水建設株式会社一級建築士事務所
総合施工	清水建設 株式会社
BEMS	清水建設 株式会社
空調施工	高砂熱学工業株式会社
電気施工	川北電気工業株式会社
検証	学校法人 中部大学

中部大学 スマートエコキャンパス

表-1-1 建物の概要

キャンパス		
所在地	愛知県春日井市松本 1200	
敷地	面積 17.5 万 ha 延床 19.2 万 m ²	
棟数	70 棟	
建物		
カテゴリー	学部、部門	床面積 [m ²]
東系統		
理系	工学部	27,079
	応用生物学部	15,958
文系	国際関係学部	10,452
	経営情報学部	8,354
研究	研究推進機構、他	7,766
	学生教育推進機構	26,357
厚生	教育支援機構	5,737
	事務、図書館等	22,686
西系統		
理系	生命健康科学部	20,200
	現代教育学部	9,734
文系	人文学部	10,983
	研究推進機構	3,867
厚生	学生教育支援機構	11,374
合計		180,547

1-3. キャンパスの概要

中部大学は、7学部、建物70棟からなる総合大学である。図-1-3に、キャンパスの東西の受電系統と敷地図を、表-1-1に、理系、文系、グランドや体育館の厚生部門、サーバーセンター等の研究支援部門、事務関連の管理部門の5つのカテゴリに区分した建物群を示す。

カテゴリ別の床面積割合は、理系学部関連は全床面積の約42%、文系学部は約22%、厚生部門は約24%であり、理系関連施設の割合が大きい。

空調設備の形式については、比較的小規模の8棟が中央式であるが、基本的に個別分散型となっており、屋内機の台数で合計約4,100台のEHPとGHPが、ほぼ同数設置されている。照明設備の形式については、約半数がFL式、残りはHF式で、LEDは未導入であった。

この様に、中部大学は多棟多室の建物構成で、個別分散機器が多数設置された、教育施設として一般的な建物内容である

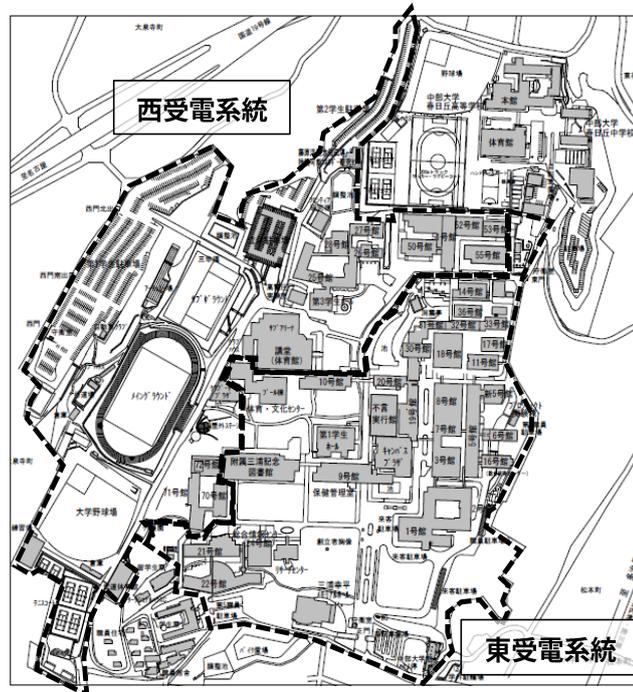


図-1-3 キャンパスの敷地図



写真-1-1 各学部の概要

2. 学部のスマートグリッドの構築と検証

電力の供給と使用を最適化するスマートグリッドを開発し、STEP-1として理系の生命健康科学部の4棟の建物に適用し実証を有効利用する太陽光発電のマイクログリッドシステムを持つ。2012年7月の実証期間では、40%の設備機器を含む実験機器

2-1. 対象の学部の概要



写真-2-1 生命健康科学部の前景



図-2-1 生命健康科学部の平面図

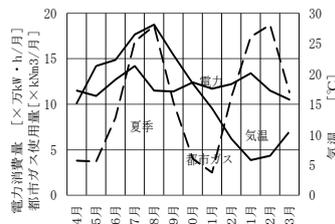


図-2-2 エネルギー消費の概要

今回の研究対象とした生命健康科学部は、中部大学の西受電エリアに属する理学学部で、1,430kWの契約電力の内、最大の472kWの電力を使用する。年間のエネルギー消費に伴うCO2排出量原単位は、54.2kgCO2/m²年で教育施設では平均的な排出量である。学部の建物は、既存の3棟と新築1棟から成り、床面積は約20,200m²、用途の比率は、講義室が約18%、廊下、食堂等の共用エリアが約39%、研究室と実験室が約43%で、節電が一般に難しい実験室と研究室の割合が約半分を占めている。設備は、ガス式個別空調、HF型照明が設置されており、一般的な設備内容である。

2-2. エネルギー消費の特徴と対策

2011年の電力消費データから、季節別の代表週の電力消費の平均値と年間の電力消費量を図-2-3に示す。年末年始のベース電力は、実験研究施設の電力消費と考えられ約100kWとなっている、これを年間に換算すると876MW・hとなり、2011年度の当学部の電力使用量1,548MW・hの約6割を占め、実験研究室と機器の電力使用が省エネルギー上の大きな対象となることを示している。図-2-4に示す様に、実験研究施設の節電を図る節電ナビゲーション（以降節電ナビ）とマイクログリッドの蓄放電によるピーク電力削減を行うスマートグリッドを適用した。

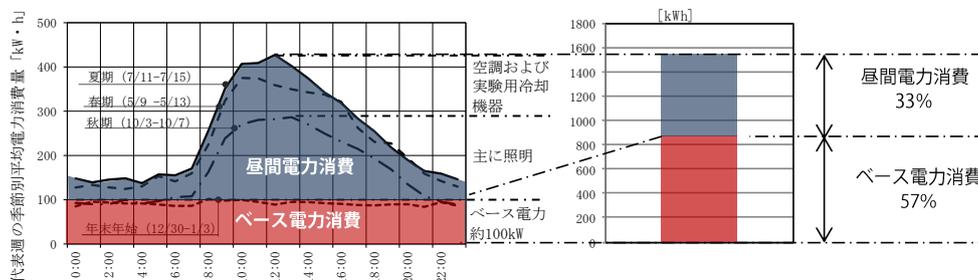


図-2-3 季節別の電力消費の構成と年間の消費量

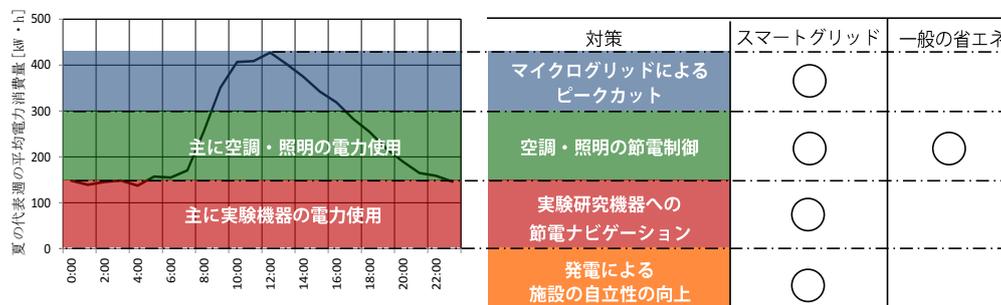


図-2-4 電力消費の要因と対策

電力消費の概要と取り組み方針

行った。システムは、実験研究機器や実験室の空調等の使用まで踏み込んだナビゲーションシステムと再生可能エネルギーが節電登録され、電力ピーク平準化25%、低炭素化19%を達成し、取り組みの有効性を実証した。

2-3. スマートエネルギー利用の取り組み方針

理系学部の電力消費のベース電力や昼間電力の構成とそれらの消費の要因から、前述の総合的な節電対策を目指した。また、不特定な実験研究施設の電力消費が過半であるので、節電ナビやエネルギー情報の開示等による施設利用者の協働も含んだ取り組み方針とした。

表-2-1 課題と取り組み方針

課題	方針	具体的対策
節電と発電のスマート利用	・スマートグリッドの構築と実証	・電力消費予測値に基づく節電側と発電側の制御
節電（実験研究施設）	・節電ナビゲーションの開発と実証	・節電登録による対象機器の特定化 ・節電メールによる人を介した節電
節電（昼間電力）	・空調の自動制御（デマンドレスポンス） ・照明の自動制御（デマンドレスポンス）	・空調の自動制御範囲の拡大 ・照明の自動制御範囲の拡大
発電（ピーク電力対策）	・マイクログリッドの適用 ・再生可能エネルギー利用の推進	・電力消費のピーク時に蓄電した電力を放電
活動 （施設利用者との協働）	・節電活動の見える化、情報配信 ・節電活動の協働の推進	・施設利用者へのリアルタイムの情報開示

2-4. 適用したスマートグリッドシステムの概要

スマートグリッドシステムの機能の概要を図-2-5に示す。このシステムは節電と発電をエネルギー消費の予測によって最適に電力を利用することを目的としたものである。

節電側は節電ナビと自動制御の2種類の機能を持ち、発電側にマイクログリッドの充放電機能、およびリアルタイムのエネルギー使用状況を施設利用者や管理者に配信する機能を持つ。節電ナビは、学内のメールシステムを利用し、実験研究者を介して施設の節電を依頼するものとした。

電力の需要予測は、天気予報による温度、湿度データと電力消費データの重みづけで算出され、学部の電力ピークの超過の可能性により、節電メールが節電担当者のPCまたは携帯に配信し、実施内容が返信される。

供給側の太陽光発電設備は、太陽光発電を蓄電し、電力ピーク時に放電してピークカットを行う。加えて、停電時にも電灯やコンセントに電力を供給し、震災時等の学部のエネルギー自立性に寄与できるものとしている。

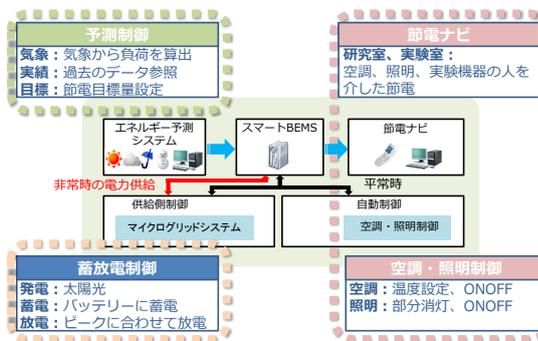


図-2-5 スマートグリッドシステムの機能の概要

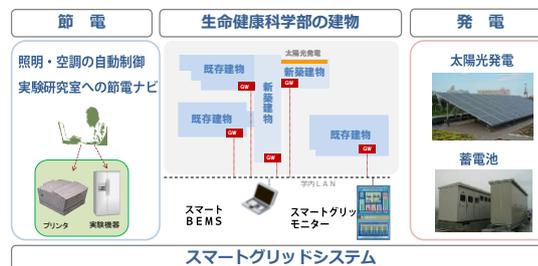


図-2-6 生命健康科学部のスマートグリッドの概要

2. 学部のスマートグリッドの構築と検証

2-5. 節電側のシステム

(1) 節電ナビゲーション

電力消費側の節電システムは、主に実験室と研究室を対象とした節電ナビと、講義室と共用部を対象とし運転モード切替え・室温設定緩和などの自動制御の2つより成る。

より効果的な節電の為に、空調等による電力需要を勘案しながら電力消費量の6割を占める実験研究施設の使用まで踏み込む必要があるが、使用者の意図を考慮しない制御は適切でない。よって、節電ナビは、学内のメールシステムを利用して実験研究者を介して施設の節電をするものとした。節電の対象設備は、実験研究者に挙げてもらい、節電レベルに応じた段階的なものとした。この様に事前の合意によって、研究への影響が回避できる事がシステムの特徴である。

実験研究者が登録し、節電対象として予め了解が得られた設備の台数は950台となり、資産登録されている電力使用設備の2,468台に対して、節電対象設備は約4割を占める。講義や実験を行っている状況での節電登録であるので比較的高い協力状況と考えられる。

節電ナビの対象エリアは、主に実験研究室となり、節電対象機器の台数は、研究室の空調・照明が約2割、実験研究機器が約8割で、定格電力の合計は165kWである。

節電電力は、機器の需要率と協力率を、ヒアリングから設定し、表-2-2に示す様に、注意報(L1)で16kW、警報(L2)で13kW、合計29kWを見込んだ。これは、節電登録設備の定格電力165kWの18%、学部のピーク電力472kWに対しては6.1%に相当する電力である。

表-2-2 節電ナビによる効果予測

機器	台数 [台]	定格電力 [kW]	使用電力 [kW]	節電量		小計 [kW]
				L1 [kW]	L2 [kW]	
空調	87	5	2	1	1	2
照明	131	18	14	7	6	13
機器	732	142	15	8	6	14
合計	950	165	31	16	13	29

(2) 自動制御システム

建築設備の制御は、空調と照明の制御装置と通信し、遠隔制御を可能とした。事前の施設利用者との協議によって、表-2-3の制御概要に準じて、室温の緩和や部分消灯等の制御を行う。

表-2-3 自動制御と節電ナビの制御概要

用途	手法	注意報(L1)		警報(L2)	
		空調	照明	空調	照明
共用部	自動	室温緩和	部分消灯	空調停止	消灯
講義室	自動	—	—	室温緩和	—
実験室	メール	室温緩和	部分消灯	室温緩和	部分消灯
研究室	メール	室温緩和	部分消灯	送風運転	部分消灯

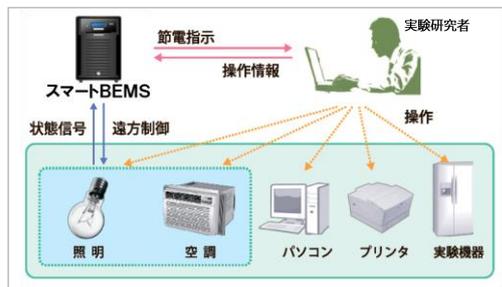


図-2-7 節電ナビのフロー概要



写真-2-2 節電対象機器とラベル添付の事例

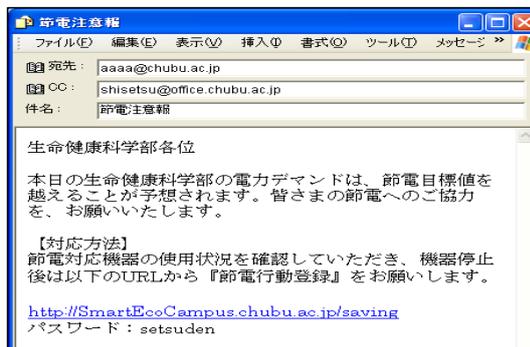


図-2-8 節電依頼メールの事例

生命健康科学部				
50・51号館	52号館	53号館	405	406
室名	401	402	405	406
空調 (120W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する
照明 (100W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する
パソコン (100W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する
通心分離器 (1,000W)	既に停止	既に停止	使用する	停止する

図-2-9 節電返信メールの事例

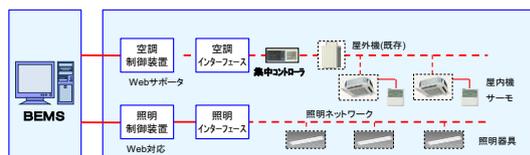


図-2-10 設備機器の自動制御の概要

適用した節電システム

2-6. 発電側のシステム

(1) マイクログリッドシステム

電力の供給側では、太陽光発電設備による発電電力を蓄電池に貯め電力のピーク予測に従って放電し、効率良くピークの平準化を行うマイクログリッドシステムを設けた。システムは、屋根の空スペースを利用し、20kWの太陽光発電パネルと蓄電池（144kW・h）の構成である。

図-2-11に示す様に、天候によって変化する太陽光発電を蓄電し、電力消費に従って放電し、ピーク電力を効率よく削減する。この放電には下限率を設定して一定の蓄電量を確保することで、震災時の帰宅困難者等の在館者へのエネルギー供給ができるものとしている。

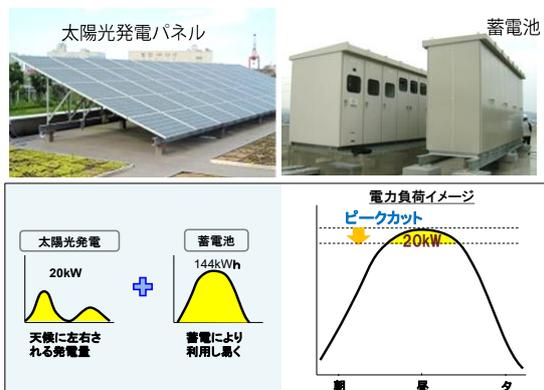


図-2-11 マイクログリッドシステムの概要

2-7. 電力消費予測システム

電力需要予測は、過去の電力需要実績や気象条件を考慮した負荷パターンを作成し、翌日の予測を出力する。予測精度は、今回の実証では4%程度の誤差に納まり、比較的良好なものである。

電力量の需要予測は、天気予報による気温、湿度データと電力消費データの重みづけで算出され、学部の電力ピークの超過の可能性により、節電メールは、予報、注意報（L1）、警報（L2）の3段階に分けて、節電担当者のPCまたは携帯に配信し、実施内容が返信される。節電メールの概要を表-2-4に示す。

表-2-4 節電ナビの種別と配信タイミング

レベル	配信時間	配信根拠
予報	前日 17 時	翌日の予測が目標の 90%を超過
L1 注意報	当日 8 時	当日の予測値が目標値の 90%を超過
L2 警報	即時	30 分後予測値が目標値の 95%を超過

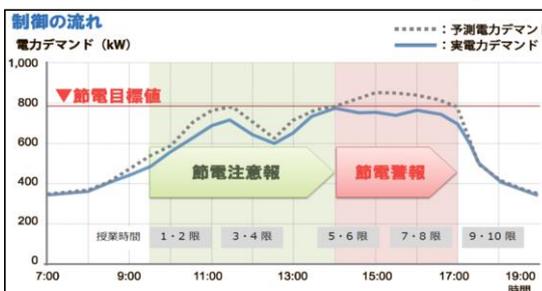


図-2-12 電力予測と節電ナビの配信の概要

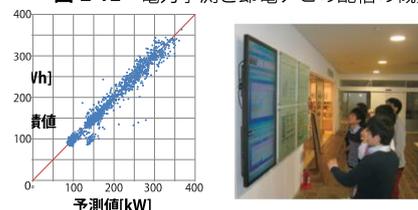


図-2-13 予測精度の実績 写真-2-3 モニターを見る学生

2-8. エネルギー情報の配信システム

施設利用者との省エネルギー活動を推進するために、学部の食堂エリアにモニターを設け、エネルギー消費予測等の情報の共有を図った。

表示内容は、天気予報やエネルギー消費の実績に加えて、電力消費予測や目標値、リアルタイムでの発電量や蓄電量と省エネ実績とし、省エネルギー活動の推進を意図している。

学生へのヒアリングから、一般に見えないエネルギーの消費状況が見えて参考となる等の意見が得られている。

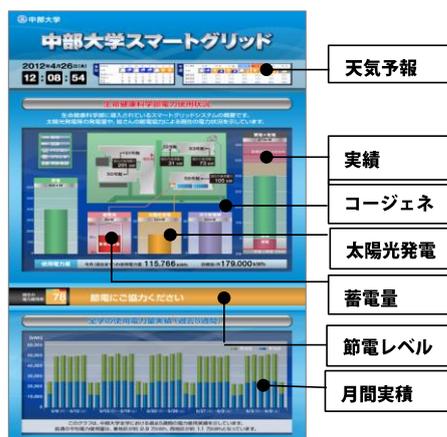


図-2-14 スマートグリッドモニターと表示内容

2. 学部のスマートグリッドの構築と検証

2-9. 節電行動と節電効果

(1) 節電行動の特徴

日レベルの節電行動の実績を図-2-15に示す。節電協力者数は延べ90名で学部教職員の約65%に当たる。実証期間では7月25日の55名（教職員構成比40%、以下同じ）、機器台数では19日の270台（節電対象機器の28%）が最大であった。平均は、38名（28%）が節電行動を実施し、192台（20%）が節電している結果を得た。節電行動の時刻は、朝8時の注意報メールに対する節電行動のピークは8時30分、警報に対しては12時45分となっている。前者は授業開始前、後者は昼休みであり、節電行動は授業時間を避けて行われていた。

(2) 節電効果

配電盤において節電メールの配信時の電力消費の削減量を積み上げたものを表-2-5に示す。節電ナビと自動制御の効果がそれぞれ、22kWと29kWとなった。



図-2-15 節電メール、節電機器台数、節電人数の実績

表-2-5 節電ナビと自動制御の効果[kW]

レベル	節電ナビ	自動制御	合計
L1	4	2	6
L2	18	27	45
合計	22	29	51

2-10. ピーク電力平準化の効果

(1) 実証期間中の効果

2011年と2012年の7月の各平日の最高気温におけるピーク電力のプロットを図-2-16に示す。図中の線はそれぞれの年の平均値である。2012年の平均405kWが2011年に328kWに削減され、平均77kWのピークカット効果となった。

(2) ピーク電力日の効果

図-2-17にピーク電力を記録した2011年7月12日と2012年7月18日の電力の日グラフを示す。2012年度は0時から7時の電力消費の削減量をベース電力として、これが約27kW低下した。昼間は、このベース電力に節電ナビと自動制御の節電、及び太陽光発電電が加わって電力ピークが抑制され、15時にピーク電力値は357kWとなっている。

(3) マイクログリッドのピーク電力平準化効果

ピーク発生日の7月18日の太陽光発電パネルと蓄電池からの給電電力を図-2-18に示す。発電電力は午後から曇って低下、蓄電池からの放電で補って13時には最大給電電力22kWとなった。15時にBCP用蓄電率下限の50%となったので蓄電池からの供給が停止し、学部の使用電力は15時の電力ピーク値357kWとなった。13～14時点で電力ピークカット効果は22kWとなっており、有効な動作が実証できている。

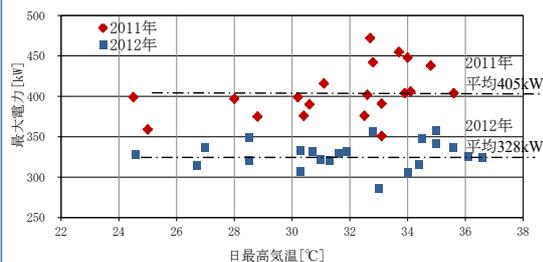


図-2-16 ピーク電力月の比較

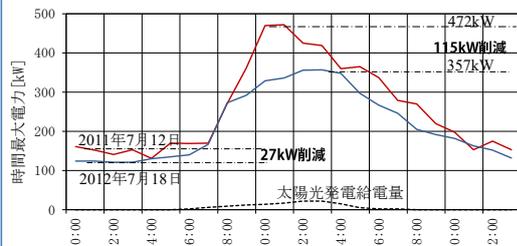


図-2-17 ピーク電力日の比較

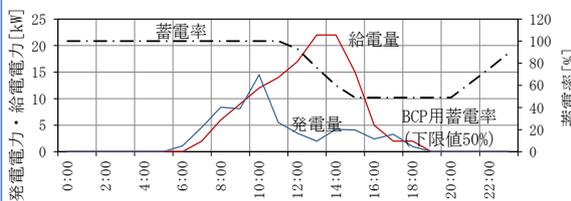


図-2-18 マイクログリッドの充放電

効果と課題

(4) .効果の内訳

実証終了後のヒアリングでの主要な意見は「授業中等即時対応できないので予め行動した」、「日常的に節電行動を取る癖がついた」等であり、節電行動の日常化を示している。よって、注意報での節電は、不要な機器の節電につながりベース電力の低下に移行したと考えられる。

電力ピークカット効果の実績の内訳は、図-2-19に示すとおり、ベース電力の低減が27kW(27%)、節電ナビが22kW(22%)、自動制御29kW(29%)、太陽光発電が22kW(22%)と推定され、運用による節電が78%を占めた

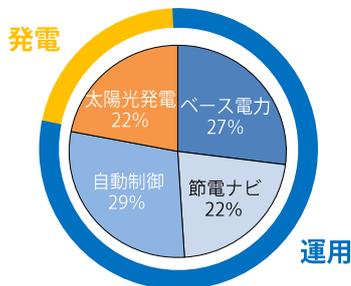


図-2-19 電力ピーク平準化効果の内訳

2-11. 低炭素化の評価

電力と都市ガス消費量の実績値を図-2-20に示す。月間の電力と都市ガス消費はそれぞれ13.2%、29.1%の大きな削減率となった。これをCO2排出量に換算すると合計で22.2tonCO2、前年度比19%の削減となった。年度では65.4tonCO2、前年度比6.3%の削減となった。

月間の電力と都市ガスの削減量が、大きくなったのは、前述のベース電力の低下が大きく寄与している。都市ガスについても、昼間の約70kW・hの屋外機の電力消費に対して30kW・hの24時間のベース稼働があった。空調のベース消費のが削減され、電力同様の大きな省エネ効果となったと推定される。

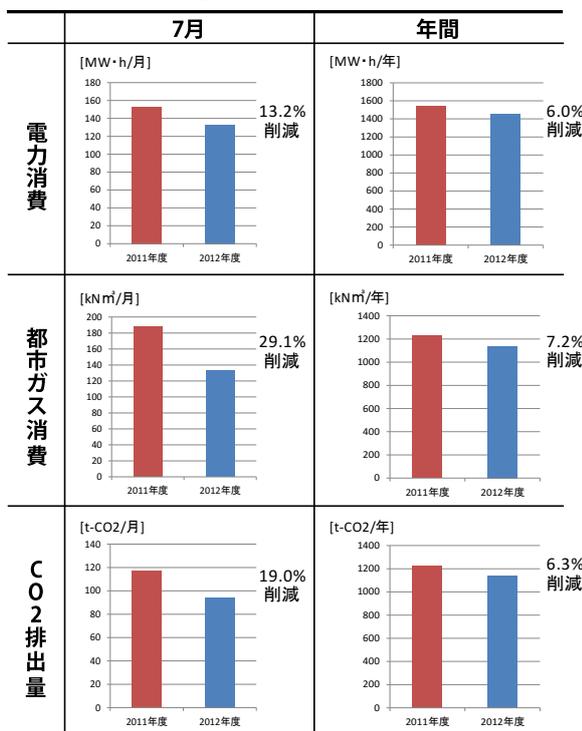


図-2-20 エネルギー消費量と創エネルギー量の実績

2-12. 年間の効果

実証前と実証後の季節別の代表週の電力消費の平日平均値を図-2-21に示す。

ピーク電力が各季節で低減され、ベース電力も年末年始の値に対して季節変化が少なくなり、年間を通じて電力消費が抑制されている。本実証の節電システムによって、電力ピークの平準化と省エネルギーの双方に効果が得られた事を示している。

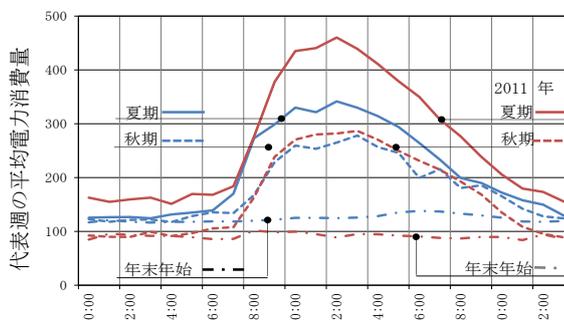


図-2-21 対策前後の代表週平均値の比較

3. キャンパスグリッドへの展開と効果

生命健康科学部での実証において、省エネルギーへの動機付けが大きな効果があったことを踏まえて、スマートグリッドを全う。また、東西のキャンパスグリッドには、廃熱が有効利用できる建物にコージェネを設置し、ベース運転によって更なる低エネルギー消費原単位は、2016年度は2010年度比、CO2削減28%、ピーク電力平準化34%（2011年度比CO2削減13%、ピーク電力平準化34%）

3-1. 課題と対策

(1) 定常的な電力消費

図-3-1に、キャンパス全体の2011年度の夏期と春期の代表週の平日平均および、年末年始の平均日電力消費を示す。12月30日から1月3日の年末年始の休校日の電力消費は、主に24時間稼働するような実験研究による消費と考えられ、年間を通して消費される。これをベース電力として、年末年始の平均値は1,309kWとなる。これは、年間では約11.5GWhとなり、年間電力消費量17.2 GWhの約7割に相当する大きな電力消費である。

春期の日電力消費は、空調が原則停止されるので、このベース電力に主に照明等の電力消費が乗り、夏は、更に空調の電力消費が乗った形と考えられる。

(2) ピーク電力の発生

2012年度冬期には、図-3-2、図-3-3に示す様に、東西の各受電系統で、注意報が頻発した。

西受電系統は、夕方にピークを持つ特徴的な日電力使用プロフィールとなっており、グラウンドや体育館といった厚生部門の照明電力消費に起因すると考えられた。東受電系統の日電力プロフィールは、昼間に不定期な電力ピークを持つ特徴があり、大型の実験研究機器の稼働の影響と考えられた。

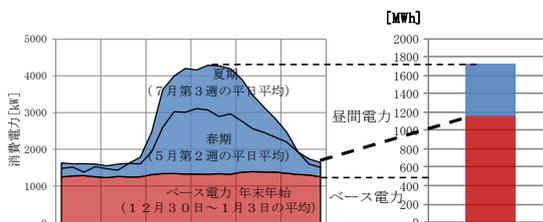


図-3-1 キャンパスの電力消費の構成と年間の消費量

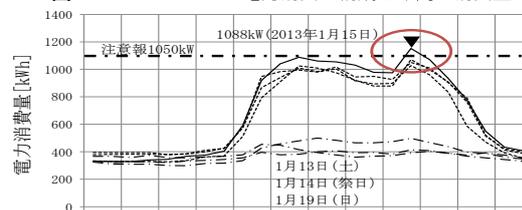


図-3-2 西受電系統のピーク電力

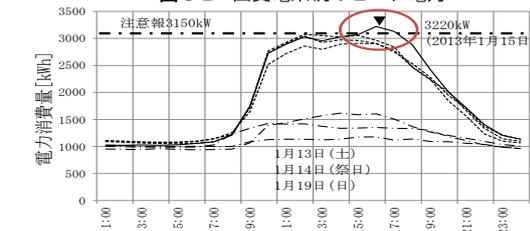


図-3-3 東受電系統のピーク電力

3-2. 取組の方針のシステムの展開

電力の消費構成毎の対策として、ベース電力は、特定多数の実験研究施設の省エネを節電メールによって削減を図り、昼間電力は設備機器の自動制御、ピーク電力は特定の機器を対象とした節電ナビとマイクログリッドの放電で平準化を目指す。省エネルギー活動の推進のために、ハード（システム）とソフト（ツール）および、施設利用者連携による活動の推進を図ることとした。

表-3-1 課題と取り組み方針

課題	方針	具体的対策
節電（ベース電力）	・節電メール（不特定施設を対象）による人を	・不特定多数の実験研究施設等のベース電力の
節電（ピーク電力）	・節電ナビによる特定の機器の節電	・特定の機器の運用スケジュールのシフト要請
節電（昼間電力）	・空調の自動制御（デマンドレスポンス） ・照明の自動制御（デマンドレスポンス）	・空調の自動制御範囲の拡大 ・照明の自動制御範囲の拡大
発電 (太陽光、コージェネ発電)	・再生可能エネルギー利用の推進 ・コージェネによるエネルギー高効率利用	・東西受電系統のマイクログリッドを設置 ・通年温水需要のある建物に電熱併給
活動 (施設利用者との協働)	・節電活動の推進 ・節電活動の拡大	・管理ツールの整備 ・クラウドシステムを利用した学生連携

3. キャンパスグリッドへの展開と効果

3-3. 二層型グリッドの構築

各グリッドの制御概要を図-3-7に示す。
学部グリッドと、東西の受電系統のキャンパスグリッドに区分して、電力需給の管理単位とした

電力消費予測に従い、学部グリッドでは、各々の電力消費が、節電目標値の90%に達した時間に注意報（L1）と95%の警報（L2）の2段階で、節電メールの配信および、空調と照明の自動制御による節電を行う。

東西のキャンパスグリッドは学部の上位のグリッドとして、自体の消費予測と各学部グリッドの電力消費合算値を管理する。目標値を超過すると予測された場合は、受電系統内の全学部グリッドに、前述の節電メールの配信と自動制御が実行され、節電を行う。

また、発電側は、西受電系統の生命健康科学部と、東受電系統の体育文化センターのマイクログリッドから、注意報（L1）の配信時に放電し、東西のキャンパスグリッドの電力ピークの平準化を行う。

3-4. 発電システム

発電設備の一覧を表-3-2に示す。
太陽光発電については、前述のマイクログリッドの他に、太陽光発電パネルが各学部に設置された。コージェネは、年間の温水需要のある系統に設置され、温熱需要量に見合う容量とした。

表-3-2 発電設備の概要

発電設備	マイクログリッド		太陽光発電	コージェネ
	太陽光発電	蓄電池		
西受電系統	22kW	144kWh	17kW	25kW×2台
東受電系統	80kW	90kWh	111kW	35kW×1台

3-5. エネルギー情報の配信

エネルギーデータは、大学のイントラ経由で、施設利用者に、各学部の電力消費状況と節電レベルが表示され、節電意識の向上と節電行動の啓発を行う。



写真-3-1 体育文化センターの太陽光発電とコージェネ

中部大学 スマートエコキャンパス

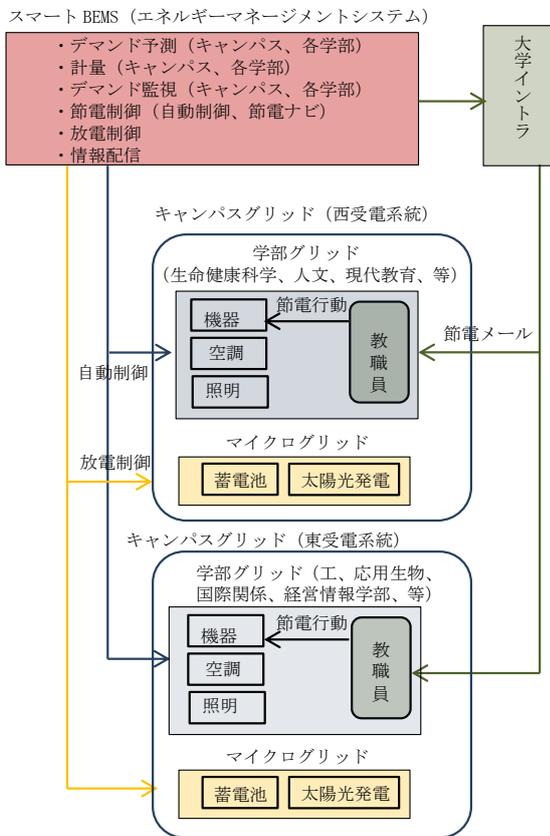


図-3-7 キャンパスグリッドの制御概要

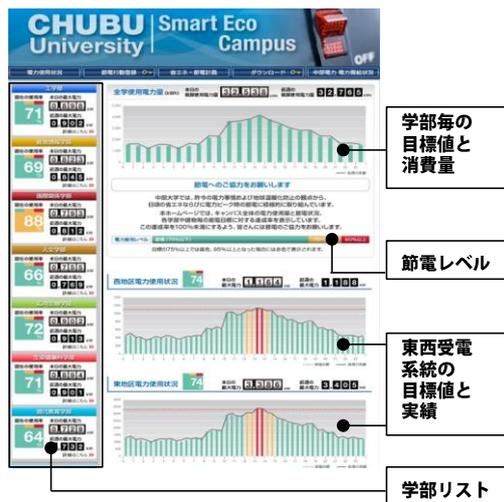


図-3-8 イントラでのエネルギー情報配信の事例

システムの構築と効果

3-6. ピーク電力平準化の対策と効果

(1) 東受電系統の大型実験スケジューリングシステム

東西のピーク電力は、夏冬の空調の電力消費ピーク期間に、特定の大きな電力消費が重なって生じていた。

東受電系統では、図-3-9に示す18号館(工学部構造実験棟)での大型実験装置の運転により、ピークを発生していたので、システムの節ナビに実験設備スケジューリング手法⁵⁾を取入れ、大型実験機器の稼働時間のシフトの要請を行った。

18号館のピーク電力の経年変化を示した図-3-11では、経年的にピーク電力の平準化効果が現れ、ピーク平準化効果の平均値は174kWとなった。

(2) 西受電系統のグランド照明対策

グランド等の厚生部門の1月冬期代表週の日電力消費を図-3-11に示す。西受電系統は、卒論等の作業で電力消費が夕方も高止まりしているところに、厚生部門のクラブ活動によってグランドや体育館の照明が点灯され、夕方のピークとなっていた。

西受電系統のグランドと体育館の照明は、シフトが難しいので、西受電系統の注意報(L1)の時点で、生命健康科学部グリッドのマイクログリッドに放電指令を出し、ピーク電力の平準化を図った。

図-3-12の制御が行われた日のデータでは、18時30分の西受電系統の注意報の時点で蓄電池が放電され、約22kW補てんされており、電力ピーク平準化効果が確認できた。

(3) 電力ピーク平準化対策の効果

図-3-13と図-3-14に東西の受電系統の日電力消費を示す。図-3-2と図-3-3の対策前の日電力消費と比較すると、上記のピーク電力対策の効果が現れていることが確認できる。

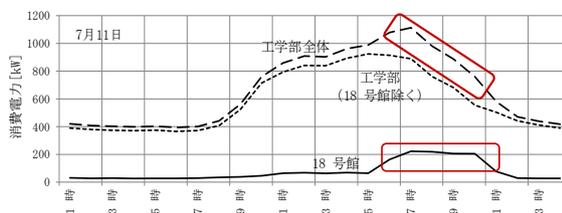


図-3-9 大型実験機器と工学部のピーク電力

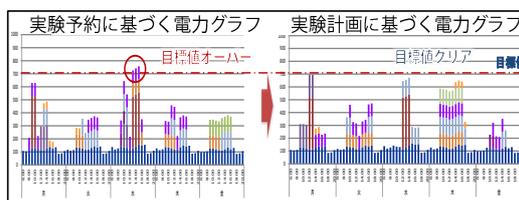


図-3-10 実験スケジューリングシステムの概要

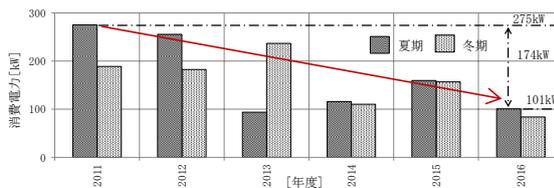


図-3-11 18号館のピーク電力平均値の年度推移

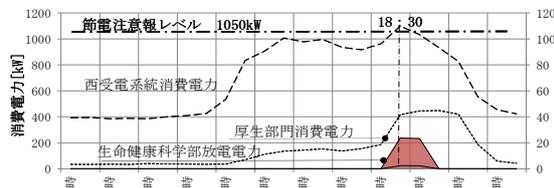


図-3-12 厚生部門の電力消費とマイクログリッドの放電



写真-3-2 グランド系統への電力融通のイメージ

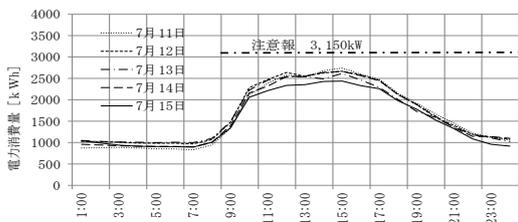


図-3-13 東受電系統の日電力 (対策後)

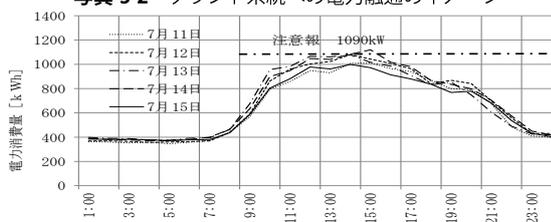


図-3-14 西受電系統の日電力 (対策後)

3. キャンパスグリッドへの展開と効果

3-7. 低炭素化効果

(1) ベース電力の低減効果

図-3-15は、季節別の代表週の平日平均の電力消費である。2011年度から2016年度にかけて、ピーク電力とベース電力が削減された。

ベース電力低減の要因として、図-3-16に、電力ピーク月の1月と7月の東西受電系統の節電メールの配信数の推移を示す。取り組み期間の当初は、多くの注意報と警報が配信されたので節電の意識が高まり、不要な機器の停止が定着して、上記のベース電力の低減につながったと想定される。

このベース電力は、2011年度に比べて2016年度は121kW低下した。通年の消費であるので年間に換算すると約1.06GWh/年、CO2排出量に換算すると約518tCO2/年の削減量となる。表-3-2に、2011年度と2016年度のエネルギー消費の変化をまとめた。CO2排出量の削減量は全体で965tCO2/年なので、ベース電力による低減効果はこの54%を占める大きな要素となっている。

図-3-17は、節電要請に対応した2011年度と2016年度の平日の平均気温と電力消費量である。本図から、年間を通して電力消費が削減されていることが確認できた。

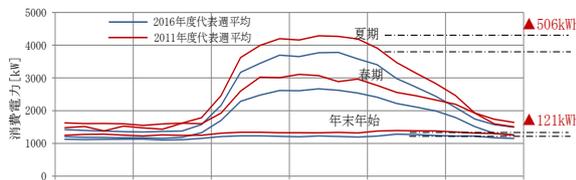


図-3-15 季節別代表週の電力消費の推移



図-3-16 節電メールの年度別推移

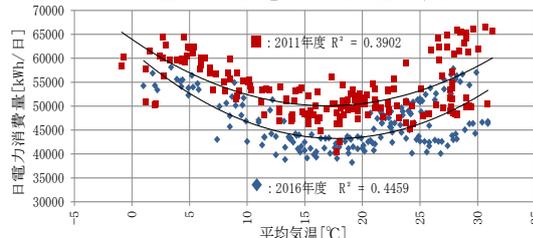


図-3-17 日電力消費量の推移

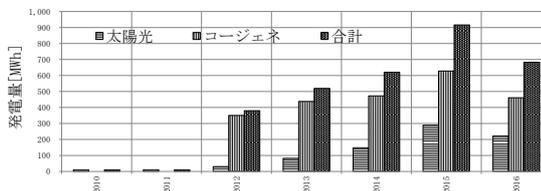


図-3-18 発電量の推移

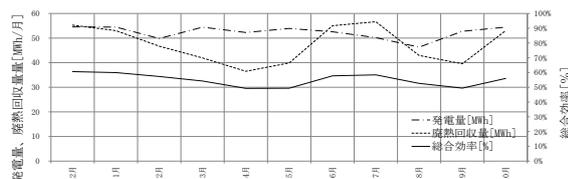


図-3-19 コージェネの運転実績

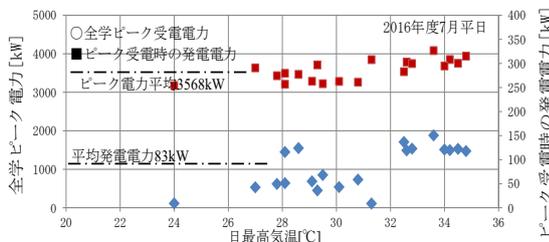


図-3-20 太陽光発電の平均ピークカット値

表-3-2 エネルギー関連の消費量の変化

年度	2011	2016	実績値[%]	
ピーク電力値	kW	4,608	4080	-528(-11%)
電力消費量	GWh/年	17.2	15.0	-2.2(-13%)
都市ガス消費量	×10 ³ Nm ³ /年	918	1053	+135(+15%)
CO ₂ 排出量	tonCO ₂ /年	10,602	9,637	-965(-14%)
一次エネルギー消費量	TJ/年	215	198	-17(-9%)
延べ床面積	×10 ³ m ²	181	192	+11(+6%)

低炭素化の効果と経年実績

3-9. 経年の実績

図-3-21は、キャンパスの建物延床面積と職員、学生数とCO2排出量原単位を一覧したものである。建物と施設利用者が増える中で、キャンパスの低炭素化が継続的に低減されていることが分かる。

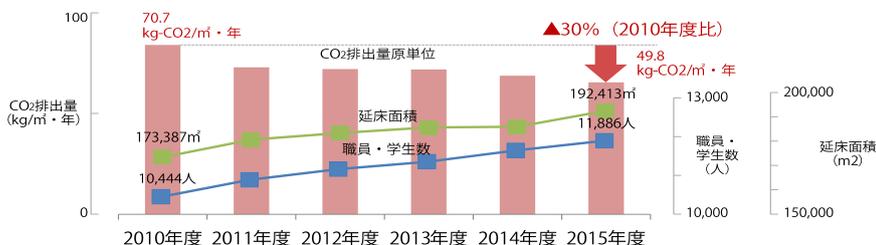


図-3-21 CO2排出量原単位と床面積、学生数の推移

(1) 取り組みの変化

この期間の取り組み内容を、2011年度と2012年度以降の二つに区分して考察した。

2011年度は、契約電力の超過と社会的な節電要請を受けた緊急的な節電対策であった。これに対して2012年度以降は、スマートグリッドシステムの電力消費予測に基づき、主に運用と発電によって節電対策が推進された。

2010年度から2016年度の効果量について、図-3-21と図-3-22にそれぞれ、ピーク電力とCO2排出量の原単位の推移を示す。

CO2排出量原単位は、2011年度は前年度比12.0kgCO2/m²年の削減であったが、今回の取り組みによって2012年度以降も8.7kgCO2/m²年と同等の低炭素化を達成できている。ピーク電力平準化については、2011年度は原単位換算で6.9W/m²年の削減となるが、2012年度以降は更に528kW、原単位で3.9W/m²年の削減の上積みができている。震災前の2010年度からの削減率は、ピーク電力原単位では34%、CO2排出量原単位は28%の削減となった。

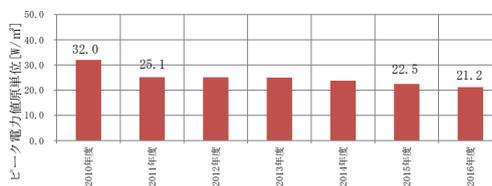


図-3-22 電力ピーク平準化の原単位の変化

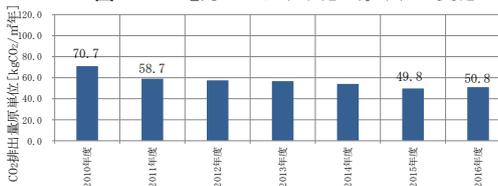


図-3-23 低炭素化の原単位の変化

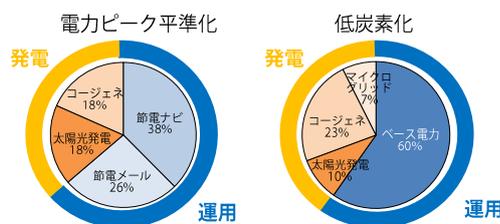


図-3-24 効果の内訳

(2) 効果の内訳

表-3-3において、低炭素化量については、スマートグリッドの効果が全体の67%となっており、この内ベース電力の低下の効果が60%と大きい。電力ピーク平準化効果は、ピーク電力の削減とベース電力の低減で64%を占め、スマートグリッドによる節電が大きな効果となっている。

表-3-3 節電効果の内訳の推定

目的	節電 (スマートグリッドの機能)				発電		推定値
	ピーク電力		昼間電力	ベース電力	全般		
対象	大型実験機器	グラウンド照明	設備機器	実験、設備機器			
機能等	節電ナビ (実験スケジューリング)	マイクログリッド	自動制御	節電メール	太陽光発電	コージェネ	
ピーク平準化効果[kW]	174(38%)	(40)	(100)	121(26%)	83(18%)	85(18%)	463
節電量[GWh/年]	-	0.13(7%)	(0.02)	1.06(53%)	0.17(9%)	0.63(32%)	1.99
低炭素化量[tonCO2/年]	-	64(7%)	(11)	518(60%)	83(10%)	202(23%)	867

4. 取り組みの推進と社会への展開

各学部のスマートグリッドの展開によって一定の効果を達成し、省エネルギーのハードとしてのインフラはほぼ整いつつあり、
 ので、施設管理者や施設利用者が利用が容易となった。そこで、省エネルギーの今後の推進の為に、ソフトとしてエネルギー消

4-1. 省エネルギー活動の推進

(1) 組織

中部大学での省エネルギー組織の概要を図4-1に示す。
 省エネルギーワーキンググループが実行組織として、グリッド管理者、施設管理者、施設利用者、技術者、施工者、機器メーカーの多方面の担当者から組織されている。

方針や全学の活動については、上位の省エネルギー推進委員会で、各部門や学部、管理組織の担当者と共有され、更に上位の省エネルギー委員会にて、各部門、学部、部局の責任者と情報が共有される組織となっており、責任者と実行者、管理者等の役割分担が設定されている。

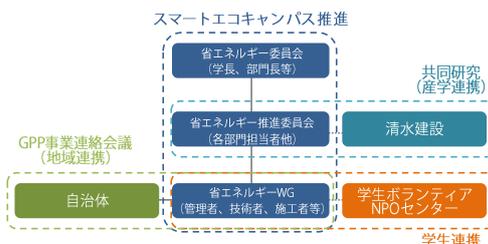


図4-1 エネルギーマネジメントの組織

(2) ソフト

図4-2に年毎の省エネルギーの取り組みの概要をまとめている。

最上段の施設運用のスケジュールでは、大学行事の運用や特定日が確認される。

二段目では、ワーキンググループと上部委員会とのスケジュールが設定され、方針と目標が共有されている。

三段目に、エネルギーマネジメントの項目が設定されており、夏冬の電力ピーク時の事前の実施項目が決定される。ここでは、実験スケジューリングシステムとデマンド目標値の設定となっている。ピーク電力期間の後に改善案が検討される。

最下段では、ピーク電力の出現期間がおおよそ把握されており、中部大学においては7月と1月の3週間がこれにあたり、行事等の催事の重複回避やその他の対策案が検討される。

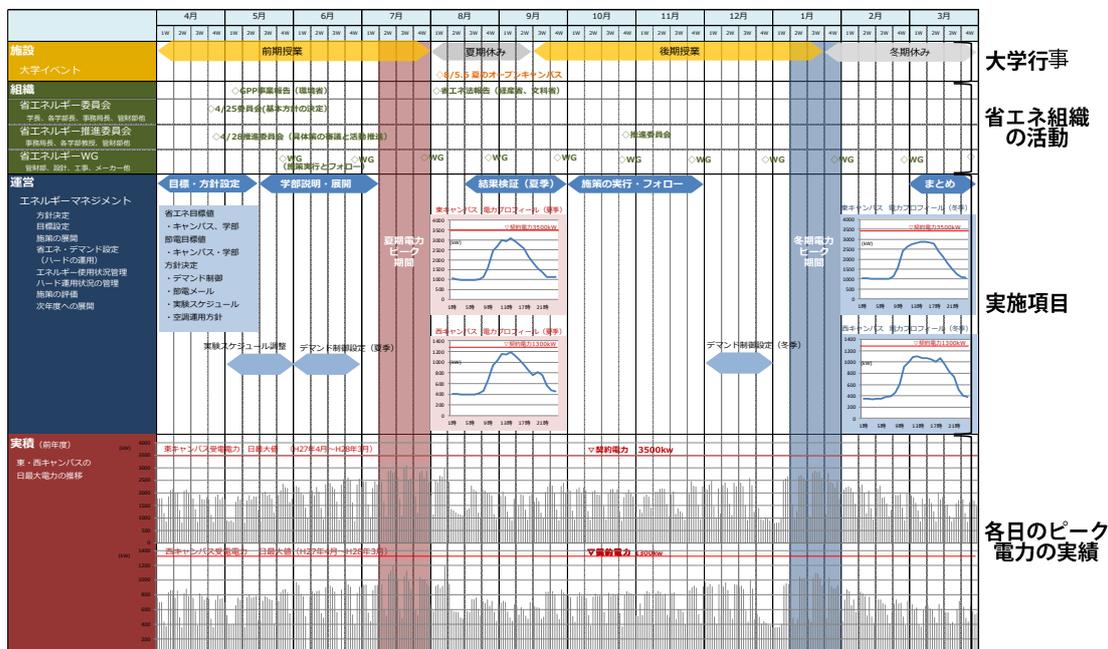


図4-2 年間の省エネルギー活動のスケジュール

中部大学 スマートエコキャンパス

今後の推進にはソフトが重要になる。キャンパスグリッドの電力消費予測システムと計量値の管理システムはクラウドに移行した費の管理ツールづくりおよび、これらのハードとソフトを利用するチーム作りについて取り組んだ

4-2. 学生・研究室との連携

中部大学では、学生の自主的な環境活動が組織化され、活動が継続されている。省エネルギーワーキングにおいて、学生NPOや研究室と省エネルギー活動の協働を試行し、スマートグリッドシステムを利用した継続的な省エネルギー活動の推進を図った。

(1) 課題の抽出

現代教育学部の電力消費の重ね合わせを図-4-3に示す。電力消費のピークとなる7月に、機器の使用によって不定期な電力消費のピークが現れていたが、原因の把握と対策は未着手であった。

(2) 原因の調査

前述のスマートグリッドシステムの計量データがクラウド化されたので、学生や関係者にクラウドのアドレスを開放してスマートフォン等で閲覧可能とし、エネルギーの使用状況を各自が見える様にした。

次に、電力消費と建物運用の関連を共有するために、施設管理者と学生と、不定期な電力ピークを生じている現代教育学部の建物を合同調査した。(写真-4-1)

(3) 原因の特定

電力ピークやベース電力の原因を特定するために、原因と考えられる建物部位に簡易クラウド測定装置を設置し、データをクラウドシステムに送信する。

簡易モニタリング装置と計量データの流れの概要を図-4-4に示す。クラウド化によって建物の本設と仮設の簡易装置の計量データが一元化され、建物の電力ピークの原因を特定することが容易となった。

図-4-5の上段が学部グリッドのデータ、下段が簡易モニタリング装置のデータである。この比較分析によって、現代教育学部の電力ピークが調理教室の機器等で生じていることが分かり、原因の特定と効果の推定ができた。

(4) 効果について

上記の手順によって、クラウドのエネルギーデータと現地調査での実際のエネルギー消費の実情が関連づけられた。

実施後のヒアリングでは、調理教室の管理者は、使用している施設のエネルギー消費が学部の電力ピークに影響していることに関心を持ち、今後の施設運用の工夫につなげたい意見があった。また、学生側からは、環境活動報告会において、今回のエネルギーの使い方体験が報告され、年次の報告書にまとめられた。

エネルギーの削減への効果は、施設運用が工夫されて今後に現われる可能性がある。対象を増やしていくために同様にスマートグリッドのクラウド機能を利用する機会を定期的を持つことを考

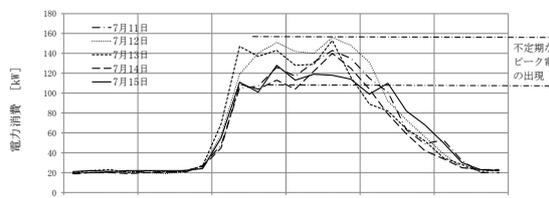


図-4-3 現代教育学部の日電力消費



写真-4-1 現地合同調査

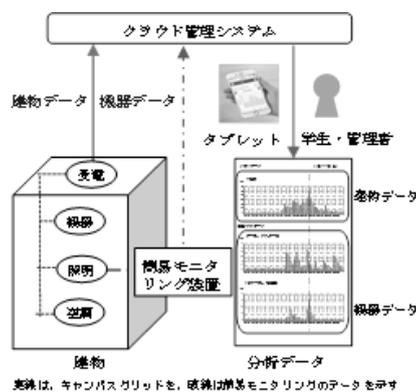


図-4-4 クラウド管理システムの概要

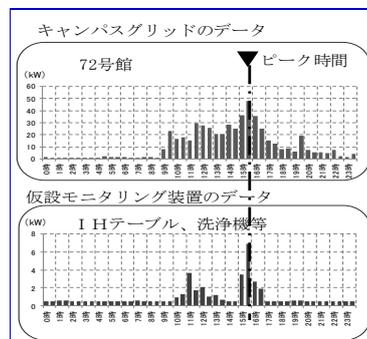


図-4-5 学部のピーク電力と原因

4. 取り組みの推進と社会への展開

地域に根ざす教育研究機関として、産学官共同のもと、低炭素化についての知見や成果を、社会へ積極的に展開している。これまでの主な実績は下記のとおり。

4-1. 社会への展開

(1) シンポジウム等の実績

- ① 中部大学公開シンポジウム「エネルギーの未来を考える」
産官学協働、各学会後援のもと、各団体と学生の約300名が参加。
スマートグリッドの実績を共有し、今後の方向性を議論。
- ② 中部大学開学50周年シンポジウム
スマートエコキャンパスの目的と成果を公開
- ③ 朝日ESDシンポジウム
持続可能な低炭素化社会づくりの事例として本取り組みを公開

(2) 地域（自治体）との連携実績

- 平成27年度・市民と事業者向け省エネ・節電セミナー実施
 - ・自治体の環境関連祭事に出席
- 平成28年度・中部大学サマーフェスティバルを開催
 - ・中部大学エコキャンパスツアーを実施

(3) 省庁関連

- ① 環境省 グリーンプランパートナーシップ事業に採択
- ② 経済産業省 スマートコミュニティ事例集に掲載

(4) 見学者

- ・ 7大学、4企業、4エネルギー会社、1自治体、等



図-4-6 産官学連携（中部大学シンポジウム）

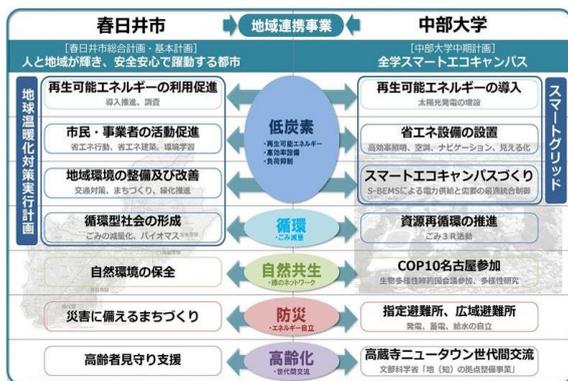


図-4-7 地域と中部大学の連携項目
(環境省グリーンプランパートナーシップ事業資料より)



図-4-8 ESD関連（中部大学50周年シンポジウム）



中部大学 スマートエコキャンパス

5. むすびに

5-1. まとめ

- ・総合大学のキャンパスの既存の多棟建物群を対象に、エネルギー消費予測に基づいて節電と発電を最適に制御する学部スマートグリッドの実証を経て、全学に展開したキャンパスグリッドを構築した。
- ・キャンパスグリッドは、下位の学部グリッドと上位である受電系統のキャンパスグリッドの二層型となっており、学部単位での省エネ、節電を自体で行うと共に、上位の電力ピーク時には系統内の学部の省エネ側と発電側の両方を制御する。
- ・取り組みの主体の施設利用者と管理者によって、特定される機器にはナビと自動制御、特定されない機器にはメールによって節電を依頼した。また、運用の改善が難しいものについては、マイクログリッドからの給電を行って対処した。
- ・効果は、2010年比原単位でピーク電力平準化34%、低炭素化28%（節電が要請された2011年度比で、ピーク電力平準化は16%の削減、CO2排出量原単位は13%の削減）の大きな削減となった。施設運用と発電によって、既存の多棟施設の低炭素化が可能であることを示した。

図-5-1に東京都環境確保条例で公開されている教育施設の医学系を除くCO2排出量原単位データを示す。中部大学のCO2排出量原単位は、2010年度70.7kgCO2/m²年ではほぼ理系大学の平均であったが、2016年度には50.8kgCO2/m²年となり、教育施設の平均値まで低炭素化が進んだ。中部大学の電力ピーク平準化と低炭素化の取り組みは一定の成果を納めたので、冷房期間の延長と設定温度を夏期28℃から26℃に復旧する等、施設利用者の節電への取り組みに応える施設運用となった。

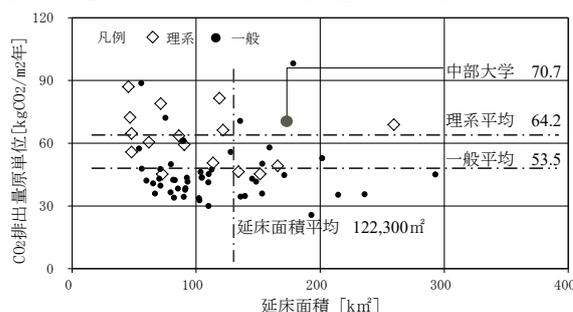


図-4-9 教育施設のCO2排出量原単位と中部大学の位置づけ

5-2. 今後について

中部大学では、システムのクラウド機能を使って、キャンパスグリッドに他の中部大学キャンパスのデータの組み込みを行い、事業者としての一元管理を行っている。これと同様に、キャンパスグリッドに地域の施設群が組み合わせれば、地域レベルのスマートエネルギー利用への取り組みも可能となり、展開が可能である。

今回の取り組みの知見が、今後、地域社会の低炭素化に参考になれることを願っている。

謝辞

事業主である中部大学様をはじめ、関係者の皆様に多大なご協力とご理解を頂きましたことに、末尾ながら紙面を借りて心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 河村 貢、大野 智之、関 泰三、山羽 基、王 輝：総合大学の電力ピーク平準化と低炭素化に向けた実証研究、第1報—キャンパスのエネルギー管理の概要と効果：空調調和衛生工学会中部支部（2017）
- 2) 河村 貢、大野 智之、関 泰三、山羽 基、王 輝：総合大学の電力ピーク平準化と低炭素化に向けた実証研究、第2報—学部のエネルギー管理の概要と効果：空調調和衛生工学会中部支部（2017）
- 3) 古川、岡澤：分散電源を活用したキャンパス版多棟エネルギー管理—中部大学スマートエコキャンパス実証実験—システム構成と機能、電気学会2012年9月
- 4) 古川慧、岡澤岳、佐藤和浩、行本正雄、山羽基、常川光一、中部大学における多棟エネルギー管理の開発と実証：電気設備学会、2014
- 5) 古川慧ら：電力制限下における最大電力削減手法の開発（その1）：分散電源を設置した需要家の最適スケジューリング、電気設備学会平成24年全国大会講演論文集、2012
- 6) 河村 貢、古川 慧、関 泰三、大野智之、吉田正明、岡澤 岳、小林勝広、大山俊雄、山羽 基、横江 彩：多棟の既存建物の低炭素化に向けたエネルギー管理に関する研究（第一報）、空調調和・衛生工学会論文集、No.241,pp.21-28,2017.4