HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	建築設備のコミッショニングに基づく消費エネルギー削減手法に関する研究
Author(s)	魚住, 昌広
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13798号
Issue Date	2019-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13798
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75887
Type	doctoral thesis
File Information	Masahiro_Uozumi.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

建築設備のコミッショニングに基づく
消費エネルギー削減手法に関する研究

2019 年 8 月

魚住　昌広

【目次】

第一章　序論

1.1　研究の背景 1

1.2　研究の目的 3

1.3　既往の研究と本研究の位置づけ 4

1.4　本論文の構成 6

第二章　工場施設におけるフリークーリングシステムの運用評価と熱源管理方法の提案

2.1　はじめに 11

2.2　対象施設の概要 13

2.3　熱源システム 14

2.3.1　熱源機器構成 14

2.3.2　熱源設備の運転モード 14

2.4　フリークーリングシステムの運転評価 17

2.4.1　対象施設の負荷特性 17

2.4.2　システムの総合効率 19

2.4.2　外気温湿度とフリークーリング冷水温度 21

2.4.3　外気温度と施設冷熱負荷 22

2.4.4　外気湿球温度とフリークーリング取得熱量 23

2.5　冷熱負荷とフリークーリング能力の予測に基づく熱源選択手法 24

2.5.1　熱源選択フローと運転シミュレーション 24

2.5.2　運用実績との比較によるシミュレーションの評価 29

2.6　第二章のまとめ 30

第三章　キャンパス施設におけるエネルギーモニタリングシステムの導入と評価

3.1　はじめに 33

3.2　「見える化システム」の構成 35

3.2.1　対象施設の概要 35

3.2.2　計測項目と設備 38

3.2.3　システムの機能と構成 39

3.3　「管理・運用実態調査」と省エネルギー対象項目の抽出 42

3.3.1　管理・運用実態調査の概要 42

3.3.2　管理・運用実態調査の結果 43
3.3.3　室用途別負荷原単位の推定 46
3.3.4　省エネルギー項目の抽出と対策の実施 47
3.4　エネルギー消費量削減効果の分析 49
3.4.1　一次エネルギー消費量による評価 49
3.4.2　電力消費量による評価 51
3.4.3　燃料消費量による評価 54
3.5　第三章のまとめ 60
第四章　双方向「見える化」インターフェースの開発
4.1　はじめに 63
4.2　エネルギー消費削減可能量の推計 65
4.2.1　対象施設の概要 65
4.2.2　照明負荷の削減可能量の推計 68
4.2.3　換気負荷の削減可能量の推計 69
4.2.4　調光設備の利用による電力削減可能量の推計 69
4.2　施設運用モデルの構築 71
4.3　双方向ユーザーインターフェースの開発 74
4.3.1　システムの構成 74
4.3.2　計測データの構成と二次データの生成 77
4.3.2　情報発信フロー 79
4.3.3　運用評価 88
4.4　汎用化に向けての課題 91
4.5　第四章のまとめ 92
第五章　寒冷地におけるスマートキャンパスの構築と導入技術の評価
5.1　はじめに 93
5.2　スマート化技術の展開 94
5.2.1　キャンパス整備計画の概要 94
5.2.2　スマートキャンパス化に向けた導入技術 96
5.3　導入技術の評価 97
5.3.1　スマート BEMS への既存システムの統合 97
5.3.2　年間一次エネルギー消費量による新築施設の運用評価 100
5.3.3　コジェネレーションシステムの運用評価と震災時の BCP 対応の検証 .. 101
5.3.4　雪氷エネルギーを利用した地中熱利用空調システムの評価 103
5.3.5　熱源機械室排熱利用融雪システム 111
5.3.6　温水床暖房によるロビー空間の垂直温度差の解消 113

5.3.7　風除室温風加圧制御による冷気侵入防止 115
5.3.8　CO_2制御による外気負荷削減 116
5.4　導入計画予定技術の概要 117
5.5　第五章のまとめ 122
第六章　総括
6.1　本研究のまとめ 123
6.2　今後の課題 126

第一章　序論

1.1 研究の背景

地球温暖化対策としての CO_2 削減は、国際的な課題となっている。2016 年に開催された「気候変動枠組条約第 22 回締約国会議(COP22)」では、前年度の COP21 で採択された「パリ協定」が発効され、日本の温室効果ガス排出量の削減目標[1)]は、2030 年度までに－26%（2013 年度比）となった。

図 1.1 に示すように、国内のエネルギー消費は、2004 年から漸減傾向にあるものの、最終エネルギー消費で 60%以上を占める産業・業務他部門における消費エネルギー[2)]の削減は喫緊の課題である。

2011 年 3 月 11 日に発生した「東北地方太平洋沖地震」による「東北地方大震災」の被害を受け、我が国は，OECD50 周年記念行事において、エネルギー基本計画の見直しの一環として「自

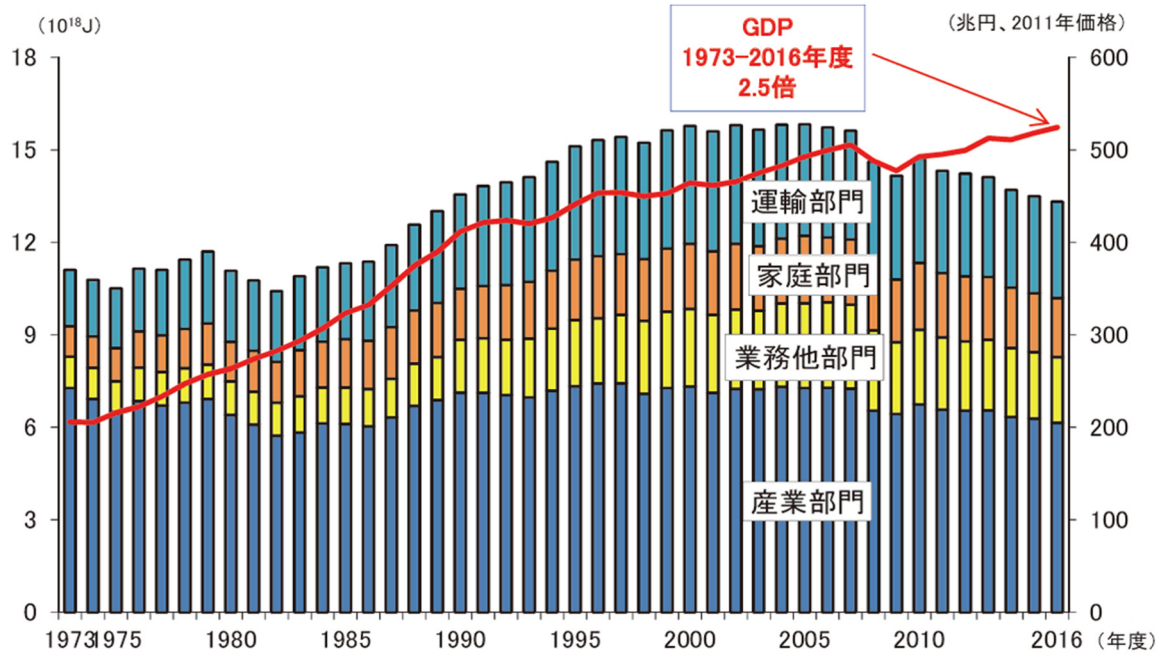


図 1.1　最終エネルギー消費と実質 GDP の推移[2)]

然エネルギーの実用性」を高め、「省エネルギーの可能性」を拡げていくことを表明した。[3)]

さらに 2018 年の北海道胆振東部地震による大規模停電は、我々に災害時の電力確保の重要性や、寒冷地における冬期の災害への対応の必要性を再認識させた。

現在の日本においては、温暖化抑制とエネルギー需給バランスの崩壊という課題をかかえ、エネルギーの効率的利用を徹底的に追求するため、建物施設レベルからエリアレベルでの省エネルギー、創エネルギー、蓄エネルギーが求められている。

積雪寒冷地の施設計画では、高断熱・高気密化が進んでおり、省エネルギー性能は向上している。施設の高性能化に伴う空調負荷の縮減は、再生可能エネルギー利用の可能性の拡大ももたらしている。

北海道は、地勢を活かした都道府県別でトップクラスの発電量を持つ太陽光・風力発電[4)]に加え、地中熱利用、雪氷利用、フリーク―リングなど地域の気候特性を活かした再生可能エネルギー利用設備の導入事例が多い。

建築設備計画においても、平常時の消費エネルギー削減のための再生可能エネルギー技術の導入と災害時の事業継続計画（BCP：Business continuity planning）対応が求められており、既存設備については性能検証（コミッショニング）や最適運転手法の策定、将来計画施設については、施設用途・規模に応じたエネルギー利用計画や災害時の対応も含めた導入設備の検討は極めて重要である。

1.2 研究の目的

本研究は、北海道内に建設された産業施設及び教育施設を実証フィールドとして、積雪寒冷地における建築設備のコミッショニングによる消費エネルギー削減手法を示すことを目的とする。

新築施設では、計画時点から合理的な配置・平面計画や設備計画上の省エネルギー対策が検討されている。また、施設運用開始後に、エネルギーの消費実態を把握し、効果的な省エネルギー計画を策定・実施するため、エネルギー管理システム（BEMS）の導入事例が多い。

産業施設の内、半導体工場など通年温湿度・空気清浄度の管理を必要とする施設や、データセンターのように内部発熱量が大きく通年冷房負荷がある施設では、寒冷地に建設することで、冷涼な気候を利用するフリークーリングや外気冷房設備を用いて空調エネルギーの削減を図ることが可能である。

教育施設においても、施設計画策定段階から省エネルギー対策の検討は必須である。教育施設は災害発生時の避難施設としての機能を担うことが多いため、さらに BCP を考慮した設備計画が必要となる。

しかし、導入した省エネルギー設備の評価や運用改善手法、既存施設のエネルギー消費の実態を把握する手法、設備計画策定時に必要な施設の用途や使用実態に応じた負荷原単位などは十分に整備されているとは言えない。

本研究で示す寒冷地特有の省エネルギー手法の検証と評価、既存施設における設備機器の更新や制御機能の追加に依存しない省エネルギー手法とエネルギー消費の削減効果の推計手法、スマートコミュニティの基幹となるキャンパスのスマート化技術は、他用途の施設へも展開が可能であり、省エネルギー・低炭素化に資するものと考える。

1.3 既往の研究と本研究の位置づけ

建築設備のコミッショニングは、施設の運営者が組織内部の施設管理部門によって行う事例、総合建設業、設備工事業を営む企業が自社の建設した物件に対して竣工後の管理を受託して行う事例、ファシリティマネジメントを業務とする企業や建築設備コミッショニング協会[5]などの機関が受託し実施している事例などがある。国内におけるコミッショニングの普及状況について、須山は調査報告を行っており[6]、川島らは企画・設計フェーズでの実態調査・分析をおこなう[7]など、その重要性は強く認識されている。

教育施設におけるエネルギー消費量については、半澤らが全国の小中学校・高校の一次エネルギー原単位を示しており[8]、日本サステナブル建築協会はそれらを含めたデータベースを公開している[9]。

教育施設の中でもエネルギー消費量の大きい大学施設のエネルギー消費の分析・評価の重要性も強く認識されており、永峯らは、東洋大学における分散するキャンパスのエネルギー消費量の調査研究から、エネルギー消費量の管理基準値を得るための重回帰分による説明変数を求めている[10]。理工系キャンパスのエネルギー消費については、宋が豊橋技術科学大学における施設のエネルギー消費実態調査研究により、空調用・非空調用エネルギー消費量の分離推定手法を示しており[11]、また、菊田らは、北海道大学のエネルギー消費構造を考慮したエリアマップを作成することで、大規模総合大学キャンパスで消費されるエネルギーの空間分布特性を明らかにしている[12]。

エネルギー消費の削減手法と効果の推計については、高野らが、北海道大学における照明の点灯放置と制御による電力削減効果の推計を行っている[13]。大橋らは、大規模かつ分散型キャンパスである大阪大学において、施設用途をカテゴリー区分し、それぞれのエネルギー消費特性を明らかにした上で[14]、生物科学系および情報工学系研究施設における用途別エネルギー消費内訳の推計手法を示し、エネルギー削減効果の定量化を行っている[15]。また、河野らは、東京大学におけるエネルギー消費実態の分析と環境負荷低減対策の検討および高効率機器への更新や熱源の運用による対策の評価を行っている[16]。河村らは、中部大学において、ナビゲーション機能を有する節電システムの導入効果による電力ピークの平準化と省エネルギーによる多棟の既存建物の低炭素化を実証している[17,18]。

これらの既往研究では、コミッショニングの重要性への言及はあるものの、運用データから運用改善手法を導出するプロセスを示したものは少ない。また、教育施設の内、大学施設については、キャンパス全体や建築施設（棟）を単位としたエネルギー消費実態や、省エネルギー効果の推定手法は示されているが、省エネルギー対策の効果を各室の管理状況や各負荷の使用実態との関係を含めて実証評価した例は少ない。

また、既存施設においては、設備システムの運用改善や利用者の行動による省エネルギー対策の導入と実行の具体的な手法と効果を明らかにしたものは少ない。

本研究は、寒冷地における新築施設・設備の省エネルギー技術の評価と運用改善手法を示すとともに、既存施設の省エネルギー対策に有効なエネルギー管理手法を示し、BCP を考慮したスマートキャンパス、スマートコミュニティの構築に資する新規性・有用性を持つものである。

1.4 本論文の構成

本論文は、6 章より構成されており、各章の構成は以下である。論文の構成を図 1.2 に示す。

第一章「序論」では、研究の背景・目的、および既往の研究と本研究の位置づけを示した。

第二章「工場施設におけるフリークーリングシステムの運用評価と熱源管理方法の提案」では、BEMS をもち、ファシリティマネジメント企業による運転管理を行っている工場施設の運転データから、寒冷地の再生可能エネルギー利用手法としてのフリークーリングシステムの性能評価を行い、施設管理の補助を目的とした熱源の選択手法を示した。

第三章「キャンパス施設におけるエネルギーモニタリングシステムの導入と評価」では、BEMS や専門の施設管理者を持たない既存の大学キャンパス施設を対象に、導入した消費エネルギーモニタリングシステム（以下「見える化システム」）の構成と機能を示した。

さらに、「見える化システム」導入後の運用実績の分析から、消費エネルギー削減の要因を明らかにし、導入効果の検証について述べた。

第四章「双方向「見える化」インターフェースの開発」では、「見える化システム」による省エネルギー効果の持続を目的として、「見える化システム」で取得したデータから、施設の削減可能なエネルギー消費量の推計手法を示した。さらに、ユーザーへの能動的な情報提供と、ユーザーからの情報の取得機能を持つ「双方向インターフェース」の開発と評価についてのべた。

第五章「寒冷地におけるスマートキャンパスの構築と導入技術の評価」では、スマートキャンパス化を目指してリニューアルを進めているキャンパス施設において、導入した省エネルギー設備の運用評価を行い、将来計画を含めた導入すべき技術項目と期待される導入効果を示した。

第六章「総括」では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

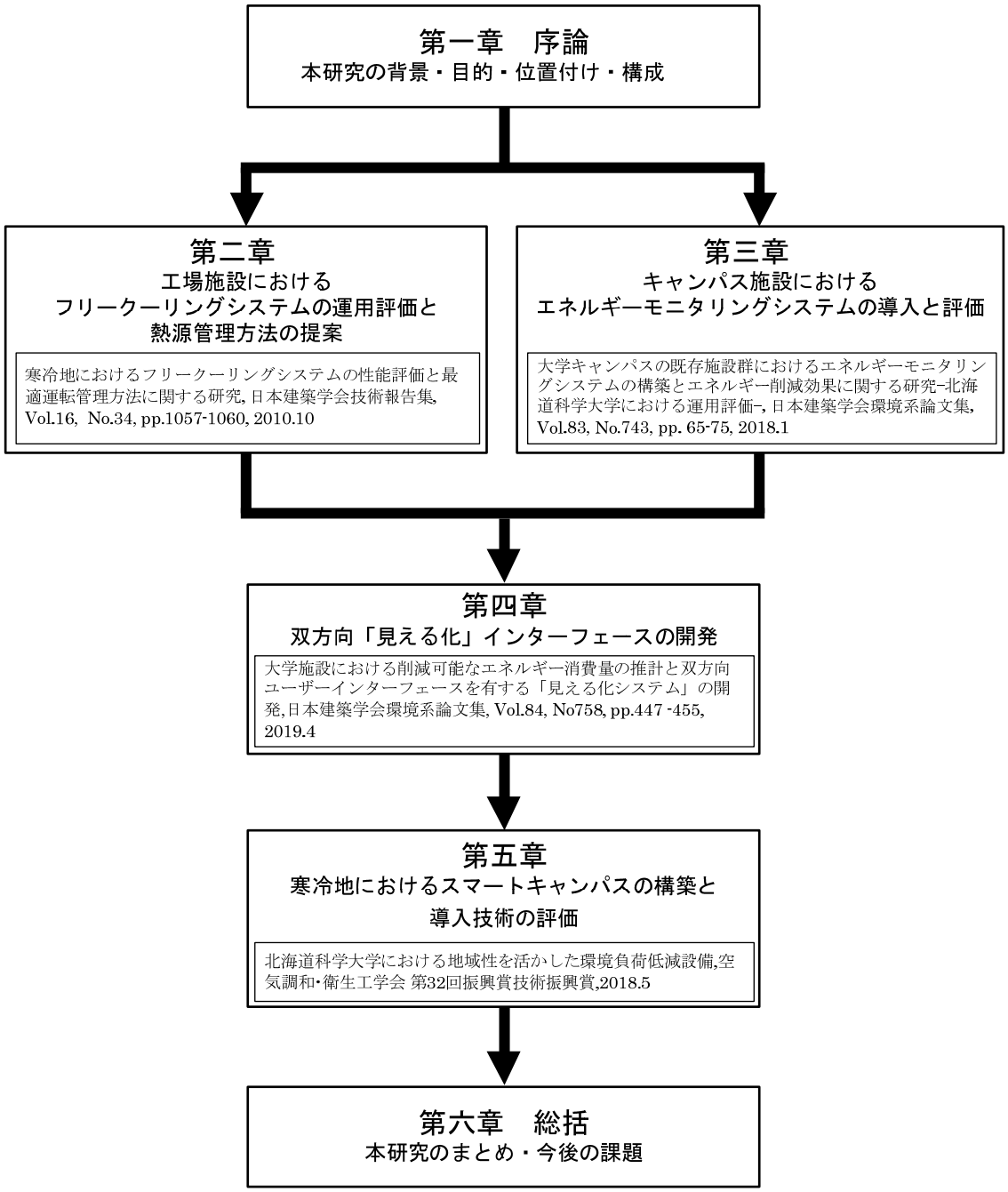

第一章　序論
本研究の背景・目的・位置付け・構成
第二章
工場施設における
フリークーリングシステムの運用評価と
熱源管理方法の提案
寒冷地におけるフリークーリングシステムの性能評価と最適運転管理方法に関する研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.16, No.34, pp.1057-1060, 2010.10
第三章
キャンパス施設における
エネルギーモニタリングシステムの導入と評価
大学キャンパスの既存施設群におけるエネルギーモニタリングシステムの構築とエネルギー削減効果に関する研究–北海道科学大学における運用評価–, 日本建築学会環境系論文集, Vol.83, No.743, pp. 65-75, 2018.1
第四章
双方向「見える化」インターフェースの開発
大学施設における削減可能なエネルギー消費量の推計と双方向ユーザーインターフェースを有する「見える化システム」の開発,日本建築学会環境系論文集, Vol.84, No758, pp.447 -455, 2019.4
第五章
寒冷地におけるスマートキャンパスの構築と
導入技術の評価
北海道科学大学における地域性を活かした環境負荷低減設備,空気調和･衛生工学会 第32回振興賞技術振興賞,2018.5
第六章　総括
本研究のまとめ・今後の課題

図 1.2　本論文の構成

【第一章の参考文献】

1) 環境省：国連気候変動枠組条約第 22 回締約国会議（COP22)、パリ協定第 1 回締約国会合（CMA1）及び京都議定書第 12 回締約国会合（CMP12）の結果について,2016 http://www.env.go.jp/earth/cop/cop22/cop22_cmp12/index.html (参照 2019.1.7)

2) 経済産業省資源エネルギー庁：平成 28 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2018）http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018html/2-1-1.html (参照 2019.1.7)

3) OECD 日本政府代表部：OECD 設立 50 周年に寄せて, https://www.oecd.emb-japan.go.jp/itpr_ja/00_000208.html(参照 2019.1.7)

4) 経済産業省資源エネルギー庁：各種統計情報（電力関連）2018 年度統計表一覧,2018 http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results.html (参照 2019.1.9)

5) NPO 法人建築設備コミッショニング協会 http://www.bsca.or.jp/ l (参照 2019.1.9)

6) 須山 喜美：国内における建築設備のコミッショニングの普及状況に関する調査報告　その 1 建築設備のコミッショニング技術の概要, ハザマ研究年報 Vol.44, 2012.12 http://www.ad-hzm.co.jp/trr/hazama/2012/start.html l (参照 2019.1.9)

7) 川島範久ら：日本における環境配慮型建築の設計プロセスにおけるコミッショニングの実態, 日本建築学会環境系論分集,Vol.81,No728, pp2173-2183,2016.10

8) 半澤　久ら：非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース構築に関する研究その 65　小中学校・高校におけるエネルギー消費実態, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D- Ⅰ, pp995-996,2011.7

9) 一般社団法人日本サステナブル建築協会：非住宅関建物の環境関連データベース, http://www.jsbc.or.jp/decc/ (参照 2019.1.9)

10) 永峯 章ら：東洋大学の 4 箇所のキャンパスにおけるエネルギー消費量に関する調査研究,日本建築学会環境系論文集,Vol.75,No653, pp661-668,2010.7

11) 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,No156,pp1-9,2010.3

12) 菊田弘輝ら：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 Vol.80, No711, pp461-469, 2015.5

13) 高野挑一ら: 大学施設におけるエネルギー消費実態の調査研究　その 2　北海道大学工学部における点灯放置の実態と点灯制御の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）, 環境工学Ⅱ, pp. 1005-1006, 2011.8

14) 大橋 巧ら: 大規模総合大学施設の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

15) 大橋 巧ら： 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 699 号,pp.443-450,2014.5

16) 河野匡志ら： 国立大学施設における環境負荷低減手法に関する研究-東京大学における CO_2 排出量削減に向けた実効ある対策の計画と実践の事例, 日本建築学会環境系論文集, 第 76 巻, 第 666 号, pp. 727-734, 2011.8

17) 河村 貢ら：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 1 報 総合大学の理系学部での電力ピーク平準化および節電実証研究, 空気調和･衛生工学会論文集, 第 241 号, pp.21-28, 2017.4

18) 河村 貢ら：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 2 報 総合大学のキャンパスでの電力ピーク平準化および節電実証研究, 空気調和･衛生工学会論文集, 第 251 号, pp.1-8, 2018.2

第二章　工場施設におけるフリークーリングシステムの運用評価と熱源管理方法の提案

2.1 はじめに

国内におけるエネルギー消費量の 40%以上を占める産業部門では、環境負荷の削減および生産コスト管理の両面から効果的な省エネルギー対策が求められている。

フリークーリングシステムは、外気や地中温度の低い期間に冷却塔や採熱管を用いて冷水を製造するシステムであり、電力や化石燃料を消費する冷凍機に依存せずに、施設空調用の冷熱を確保できるため、省エネルギー効果および施設運転コストの削減に大きく寄与するシステムである。特に、その効果が大きい外気が冷涼な寒冷地において、今後の普及が期待されている。

寒冷地におけるフリークーリングシステムの利用は、「自然エネルギー」を活用し「省エネルギー」を図ることのできる設備技術として有効であり、事務所ビルについては既往研究[1)~6)]がなされている。

産業施設については、北海道に建設したデータセンターへ導入したフリーク―リング設備について、運用評価、検証が行われており、気候特性を活かした空調設備システムとしての性能が実証されつつある[7)~10)]。

しかし、生産施設における冷熱源としてのフリークーリングシステムは、十分なデータの解析や評価が行われてはいない。特に、半導体やディスプレイなどを生産する工場は、冷熱負荷が大きく、生産プロセスとして内部に大規模なクリーンルームをもち，通年高い精度での室内温湿度管理や空気清浄度維持が求められる。空調用冷熱源として、システム能力を外気温湿度に依存するフリーク―リングシステムを導入するためには、システムの信頼性の検証が必要であり、省エネルギー性の向上には、中間期から夏期にかけて冷凍機などの主冷熱源設備とフリーク―リング設備との適切な熱源運転管理が不可欠となる。

本章では、寒冷地に建設された産業（生産）施設の冷熱源としてのフリークーリングシステム

の複数年にわたる運転データをもとに、システムの能力や適用範囲、熱源としての信頼性について運転評価を行い、さらなる CO_2 排出量削減・省エネルギーのための運転管理方法として、冷熱負荷とフリーク―リング能力の予測に基づく熱源システムの管理手法を示す。

2.2 対象施設の概要

対象施設概要を図 2.1、表 2.1 に示す。本施設は、北海道千歳市に建設された TFT 液晶ディスプレイの生産を主力とした工場であり、年末年始を含め通年 24 時間稼働している。工場内部には、3000 ㎡規模のクリーンルームを実装し、専用の外調機を用いて、空気清浄度クラス 1000、室温 23±2℃、純水を用いたケミカルウオッシャーによる加湿により、相対湿度 50±5%に制御されている [11)]。

本施設の主な冷熱負荷は、クリーンルーム空調用熱源（外調機・ドライコイル用）、生産用・純水製造用の冷却用熱源、および一般空調用熱源である。上記のうち、最大の負荷要素であるクリーンルームは、設計時点から、市場動向等により、延べ 27,000 ㎡まで拡張可能な計画とされており、将来的な冷熱負荷の増加が見込まれる。



図 2.1　対象施設全景（正面円筒は縦型蓄熱槽）

表 2.1　施設概要

建物名称	E 社千歳工場
建 設 地	北海道千歳市美々
建物用途	工場
構造階数	鉄骨造／地上 7 階
敷地面積	160,529.83 ㎡
建築面積	20,497.65 ㎡
延床面積	82,971.62 ㎡
最高高さ	32.04m
クリーンルーム	9,000 ㎡×3 層（3000 ㎡を実装）
竣工年月日	2004 年 6 月 30 日

（施設規模は、2011 年 3 月末時点）

2.3 熱源システム

2.3.1 熱源機器構成

本施設の熱源設備フローを図 2.2 に、主要な冷熱源機器を表 2.2 に示す。

主冷熱源は、ターボ冷凍機（冷凍能力 1,420kW×3 基、以下 R と記す）と、開放式冷却塔 1 基（冷却能力 5,198kW-6 セル分割）で構成している。

フリークーリング（以下 FC と記す）設備は、プレート型熱交換器を介して冷却塔を冷凍機と兼用し、システムの合理化を図っている。

開放式冷却塔には、送風機の正逆運転による充てん材の完全結氷防止や飛散水の結氷防止措置等の冬期凍結防止対策[12]をおこない、寒冷地においても通年利用可能としている。冷凍機を除く熱源機器は、すべてインバータ制御を行い、負荷変動および、冷水送水温度の変動に対して、経済的な運転を可能としている。

2.3.2 熱源設備の運転モード

本施設の熱源システムは、夏期の「R 単独運転」、冬期の「FC 単独運転」および中間期の「R+FC 併用運転」の 3 つの運転モードを有している。「R+FC 併用運転」モードは、FC で製造可能な冷水温度が後述する冷水上限温度を上回る場合に、FC により冷水を予冷することで、冷凍機負荷を低減している。

FC の稼働可能な条件は、FC 熱交換器（HEFC）の一次・二次側冷水温度による。冷水温度上限値は施設空調負荷側の条件より、HEFC 二次側温度（図 2.2：T2）で 11℃としている。

冷水温度下限値は、（FC 熱交換器一次側冷水は冷凍機冷却水ともなるため）冷凍機の冷却水温度範囲より、HEFC 一次側温度（図 2.2：T1）で 5℃以上としている。

ただし、冷却水温度が 5℃以下となる可能性のある冬期は、FC での取得冷熱量が施設冷熱負荷を上回るため、冷水下限温度によって FC 運転が制約される状況は現状では発生していない。

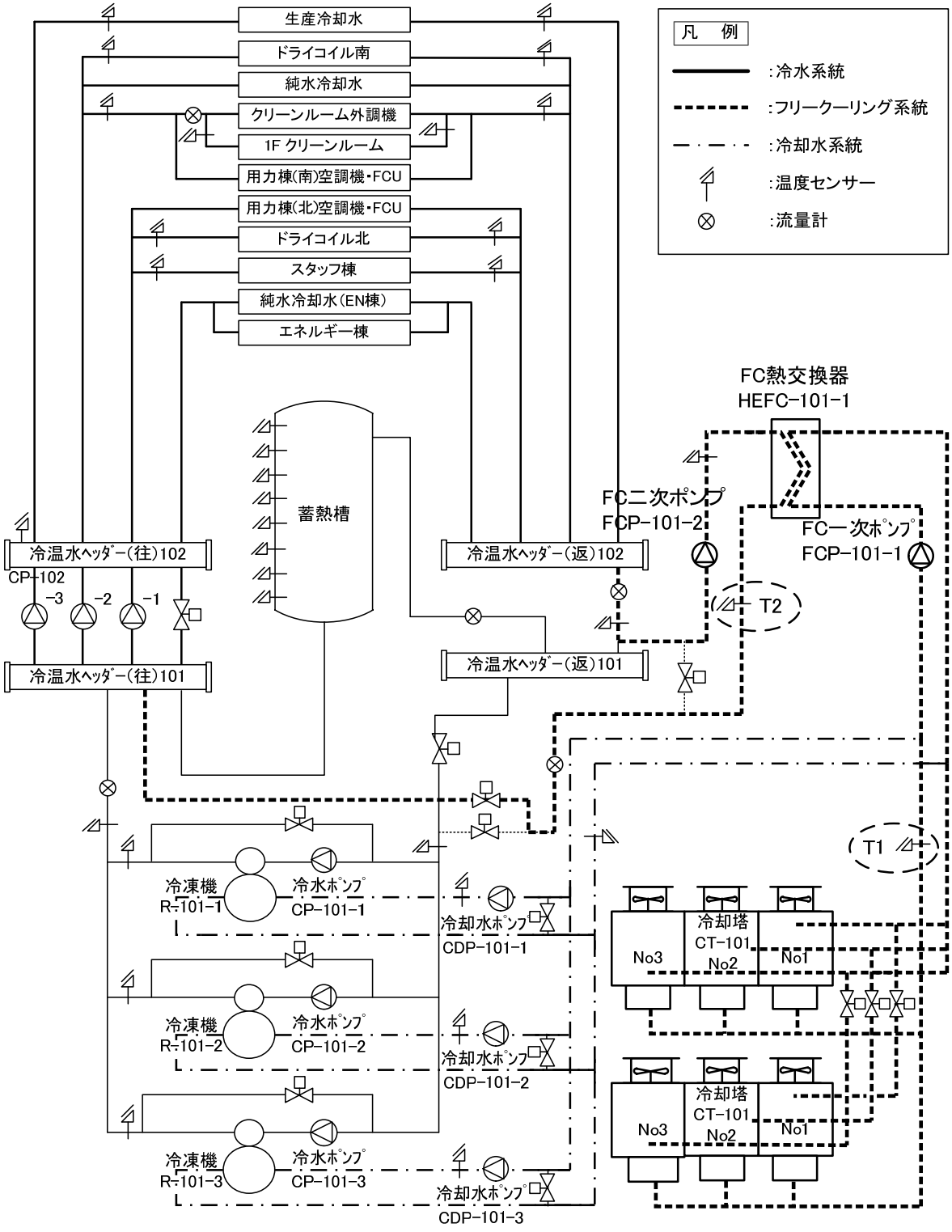

凡　例
:冷水系統
:フリークーリング系統
:冷却水系統
:温度センサー
:流量計
生産冷却水
ドライコイル南
純水冷却水
クリーンルーム外調機
1F クリーンルーム
用力棟(南)空調機・FCU
用力棟(北)空調機・FCU
ドライコイル北
スタッフ棟
純水冷却水(EN棟)
エネルギー棟
蓄熱槽
FC熱交換器
HEFC-101-1
FC二次ポンプ
FCP-101-2
FC一次ポンプ
FCP-101-1
冷温水ヘッダー(往)102
冷温水ヘッダー(返)102
CP-102
-3
-2
-1
冷温水ヘッダー(往)101
冷温水ヘッダー(返)101
T2
T1
冷凍機
R-101-1
冷水ポンプ
CP-101-1
冷却水ポンプ
CDP-101-1
冷凍機
R-101-2
冷水ポンプ
CP-101-2
冷却水ポンプ
CDP-101-2
冷凍機
R-101-3
冷水ポンプ
CP-101-3
冷却水ポンプ
CDP-101-3
冷却塔
CT-101
No3
No2
No1
冷却塔
CT-101
No3
No2
No1

図 2.2　熱源設備フロー

表 2.2　熱源設備主要機器表

記号	機器名称	機器仕様・能力			台数
R-101 -1,2,3	冷　凍　機	型　　式	ターボ冷凍機		3
		冷凍能力	1,420 ｋW	(405RT)	
		冷 水 量	2,037 L/min	(17-7℃)	
		冷却水量	4,967 L/min	(32-37℃)	
		電気容量	224 ｋW	(3φ6600V)	
CT-101	冷　却　塔	型　　式	開放式角型低騒音型		1
		冷却能力	5,198 ｋW	(W.B.27.0℃)	
		冷却水量	14,901 L/min	(32-37℃)	
		送 風 機	5.5ｋW ×6 台	(3φ420V)/INV	
CP-101 -1,2,3	冷水一次ポンプ	型　　式	渦巻きポンプ		3
		口径125φ×100φ×水量2,037L/min ×揚程15m			
		電気容量	11 ｋW	(3φ420V)/INV	
CP-102 -1,2,3	冷水二次ポンプ	型　　式	渦巻きポンプ		3
		口径150φ×125φ×水量3,000L/min ×揚程40m			
		電気容量	30 ｋW	(3φ420V)/INV	
CDP-101 -1,2,3	冷却水ポンプ	型　　式	渦巻きポンプ		3
		口径200φ×150φ×水量4,967L/min ×揚程20m			
		電気容量	30 ｋW	(3φ420V)/INV	
FCP-101 -1	フリークーリング 一次ポンプ	型　　式	渦巻きポンプ		1
		口径200φ×150φ×水量6,000L/min ×揚程20m			
		電気容量	30 ｋW	(3φ420V)/INV	
FCP-101 -2	フリークーリング 二次ポンプ	型　　式	渦巻きポンプ		1
		口径150φ×125φ×水量3,000L/min ×揚程15m			
		電気容量	15 ｋW	(3φ420V)/INV	
HEFC-101 -1	フリークーリング 熱交換器	型　　式	ステンレス製プレート型		1
		交換熱量	2,038 ｋW		
		一次側冷却水量	6,000 L/min	(7-12℃)	
		二次側冷水量	3,000 L/min	(19-9℃)	
―	蓄　熱　槽	型　　式	縦型　(屋外単独設置)　高さ　30		1
		蓄熱水量	2,000 m3		

INV：インバータ制御を示す

(機器仕様・台数は、2011年3月末時点)

2.4 フリークーリングシステムの運転評価

2.4.1 対象施設の負荷特性

2008 年度から 2010 年度における対象施設の用途別冷熱負荷の年変動と構成を図 2.3 に、月変動と構成及び外気温（月平均）を図 2.4 に示す。図 2.3 および図 2.4 に示した冷熱負荷に対する熱源の負担区分を図 2.5.図 2.6 に示す。FC は 11 月上旬から稼働を開始し、12 月から翌年 4 月までの冷熱負荷をほぼ負担している。2008 年度は、FC の稼働率が低く年間冷熱負荷の約 20%を負担するにとどまっているが、2009,2010 年度は、年間冷熱負荷の 30%以上を FC によって負担している。

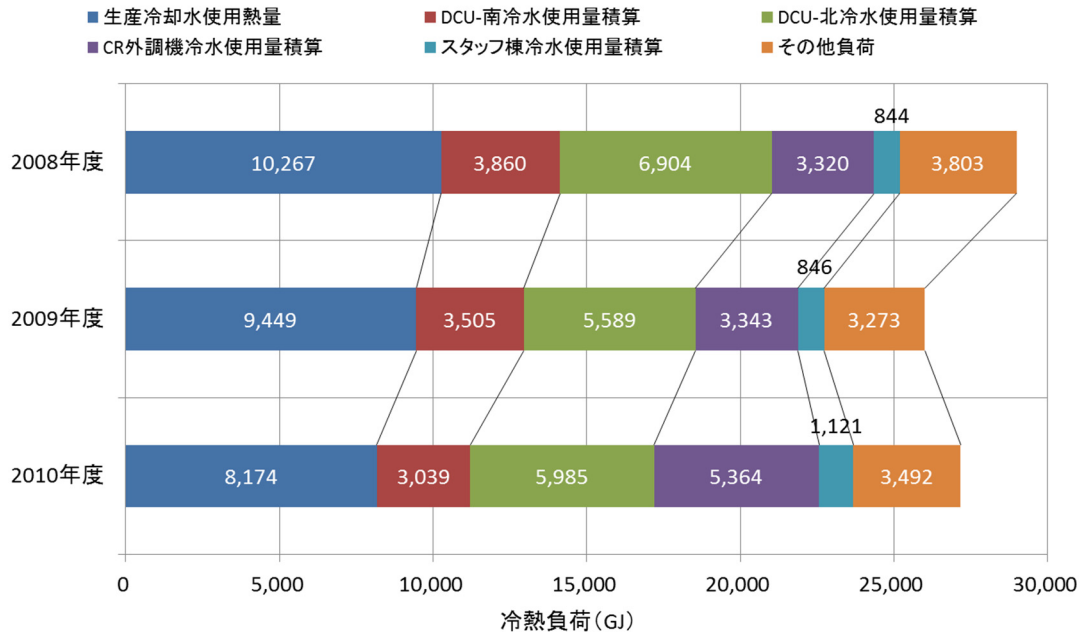


図 2.3　冷熱負荷の年変動と負荷の構成（2008～2010 年度）

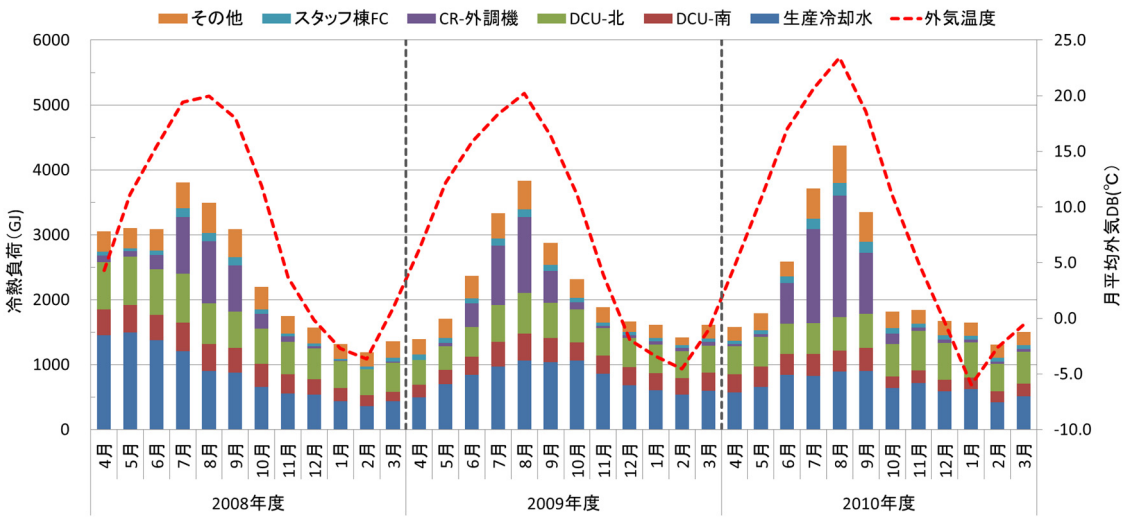


図 2.4　冷熱負荷の月変動と負荷の構成（2008～2010 年度）

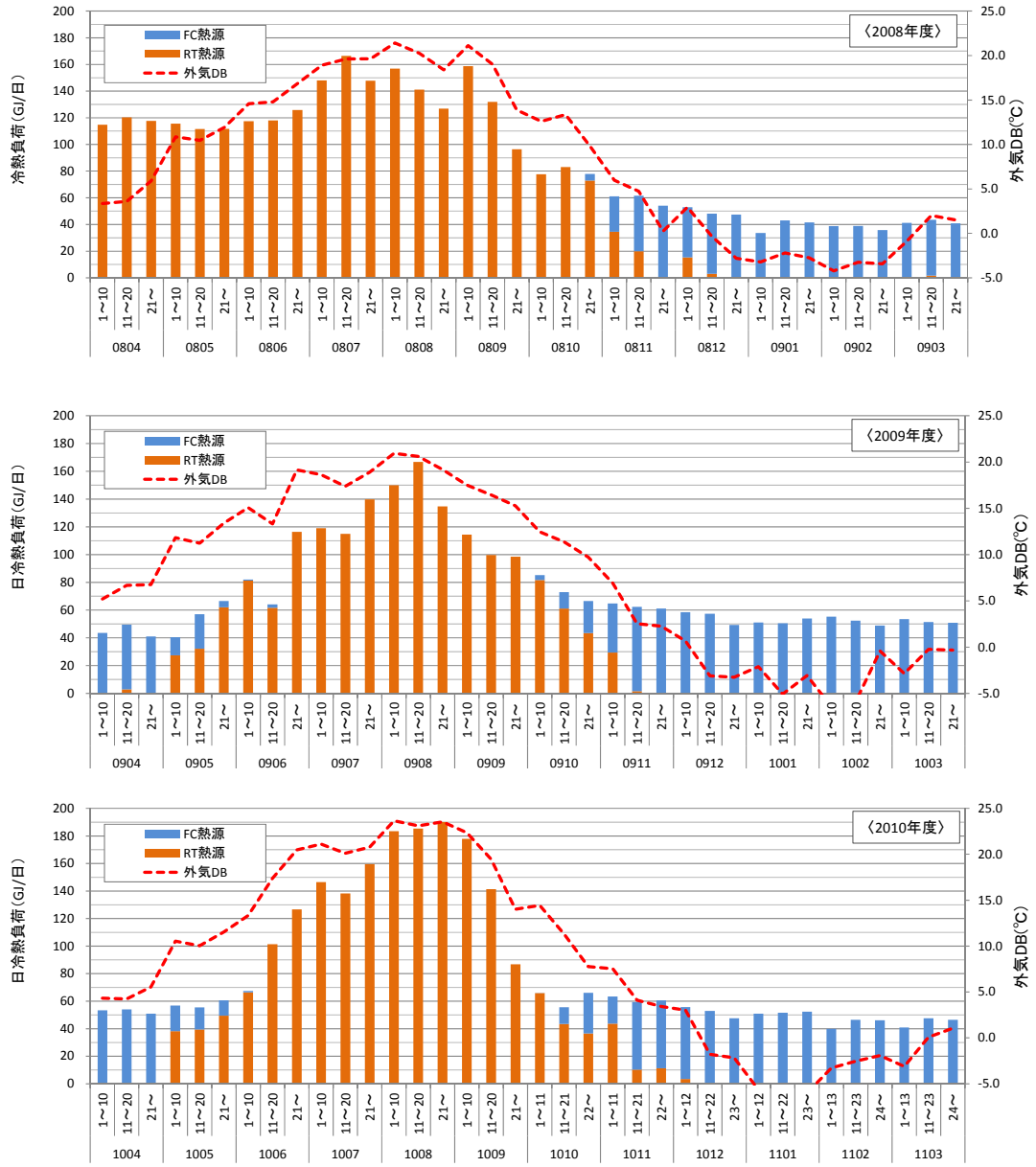


図 2.5　冷熱負荷の月変動と熱源負担区分（2008～2010 年度）

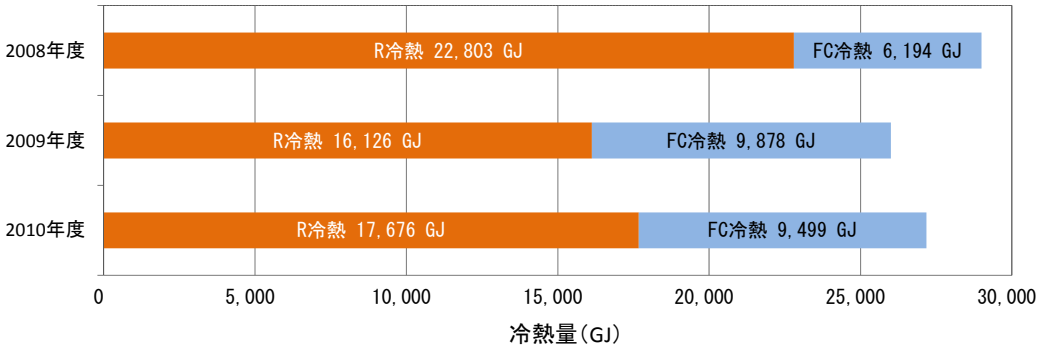


図 2.6　冷熱負荷の年変動と熱源負担区分（2008～2010 年度）

2.4.2 システムの総合効率

2008～2010 年度の熱源別冷熱量と、システムの総合効率を図 2.7,図 2.8 に示す。

本報における“COP”は、特記無き限り、冷凍機発生熱量もしくは FC 取得熱量を表で示した熱源機器全ての電力消費量で除したシステム総合効率（システム COP）とする。本システムのポンプ群はインバータ制御を行っており、冷水温度により冷水送水量（冷水ポンプ電力消費量）が変動するため、下式(1)の“CP”には、冷水二次ポンプ（CP-102）を含むものとする。

FC-COP（or R-COP）

＝FC 取得熱量（or 冷凍機発生熱量)/(R＋CT＋CP+CDP+FCP 電力消費量)・・・・・(1)

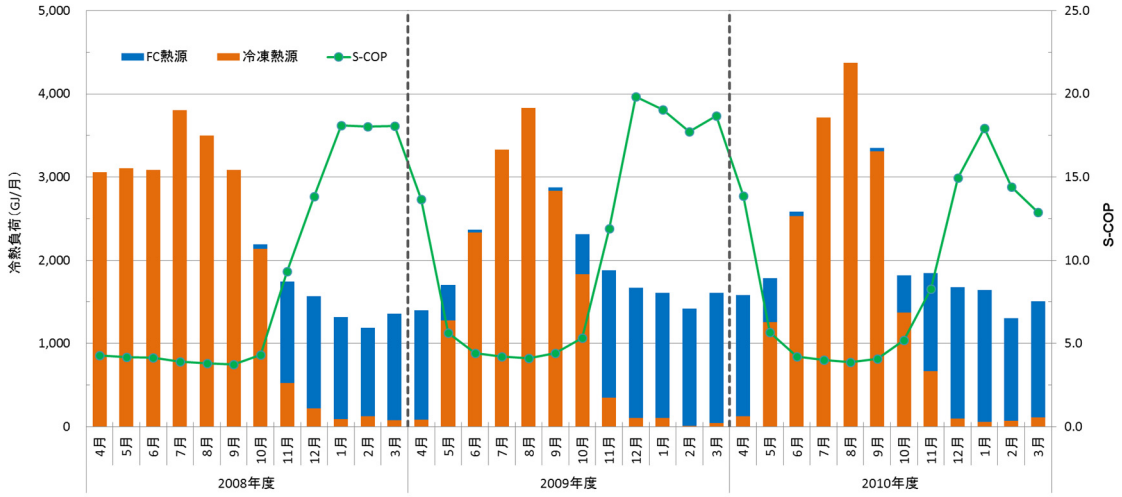


図 2.7　冷熱負荷の月変動と S-COP（2008～2010 年度）

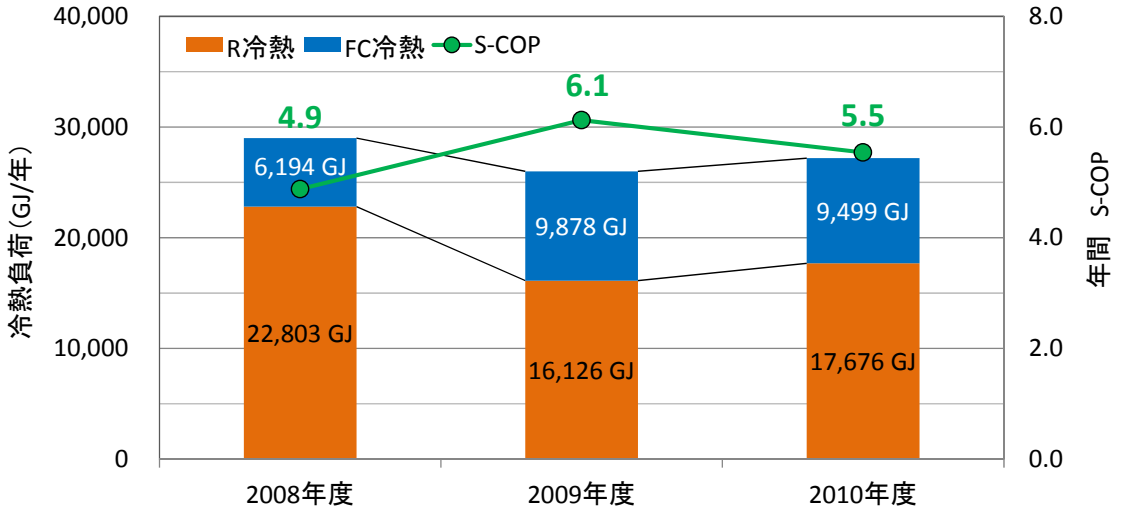


図 2.8　冷熱負荷の年変動と S-COP（2008～2010 年度）

冷凍機のみの運転時 S-COP は、3.7～4.4、11 月から 4 月の FC を主とした運用時 S-COP は、11～18 となり、年間総合効率は 4.9～6.1 と高効率な運転状況となっている。

FC と冷凍機の稼働が混在する中間期の代表月の成績係数（FC-COP、R-COP：冷凍機成績係数）と外気湿球温度注 3）の関係を、図 2.9 に示す。

中間期の FC-COP は、外気湿球温度が 0℃以下であれば 12 以上、+5℃でも 9 以上であり、同時期の冷凍機の効率（R-COP：3～5）に比して高い値となっている。施設冷熱負荷と冷水温度条件を充足する限り、FC 運転期間の伸長は省エネルギーに極めて有効となる。

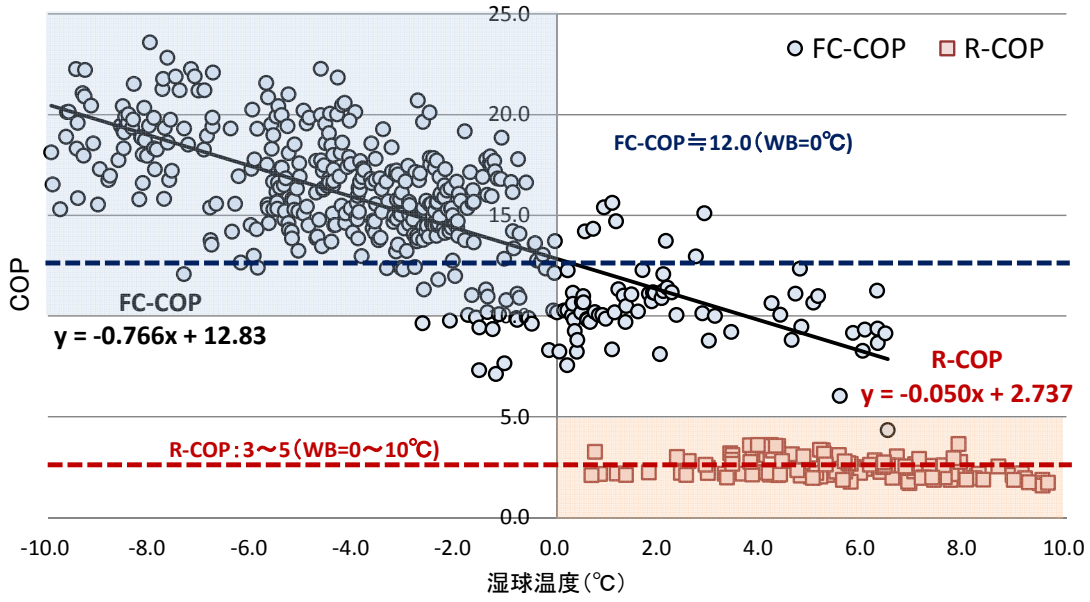


図 2.9　外気湿球温度と FC(R)-COP（2008/11,12）

2.4.2 外気温湿度とフリークーリング冷水温度

中間期における外気温湿度変動と FC 出入口温度の週間変動を図 2.10 に示す。FC は外気条件に冷水製造能力を依存しているため、負荷の変動への追従性が懸念されるが、本システムは、FC 熱交換器入口側温度の変動に対して、冷熱源として安定した水温を維持している。

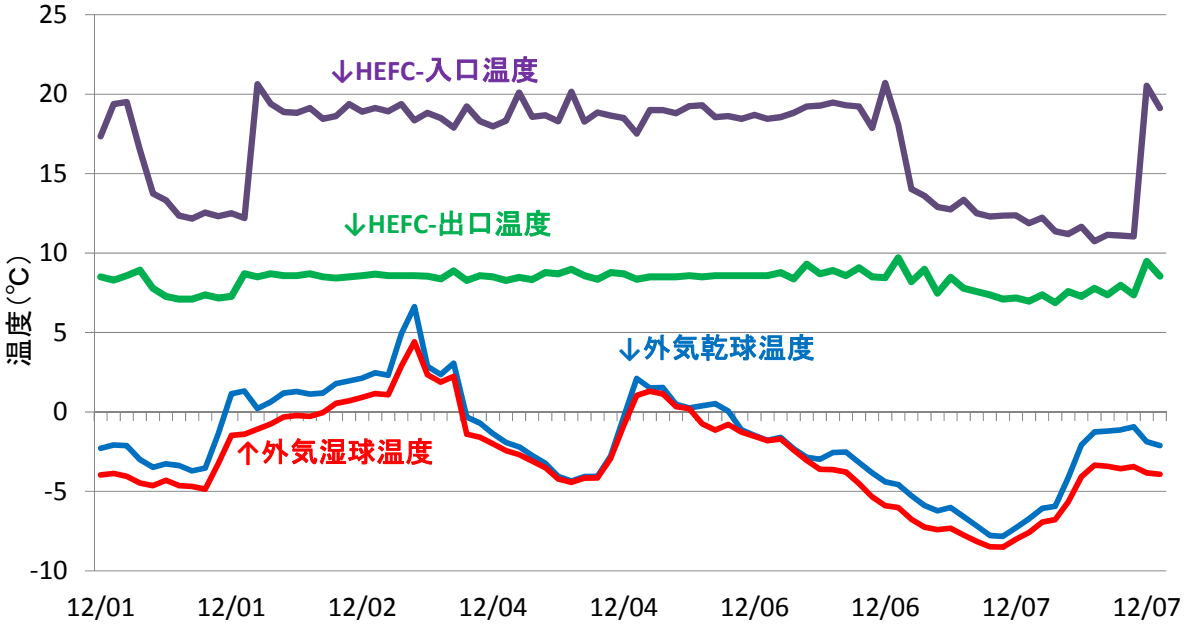


図 2.10　外気温度と FC 出入口冷水温度の変動（2008/12）

2.4.3 外気温度と施設冷熱負荷

外気温度と施設冷熱負荷の月変動を図 2.11 に、夏期・中間期・冬期における代表月の外気温度と施設冷熱負荷の関係を図 2.12 に示す。

施設冷熱負荷は、外気処理の負荷が大きい夏期には乾球温度との相関が高いが、中間期から冬期にかけては、外気負荷が減ることで、相対的に内部発熱負荷の処理が大きな比重を占めるため、冷熱負荷の変動幅が小さくなり、FC 運転にとって有利となることがわかる。

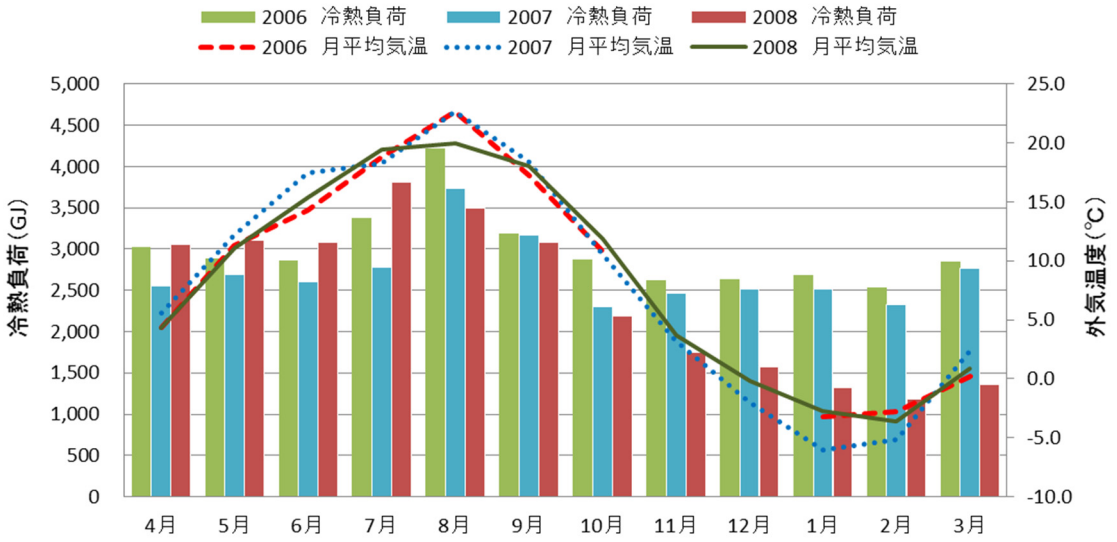


図 2.11　外気温度と冷熱負荷の月変動（2006～2008 年）

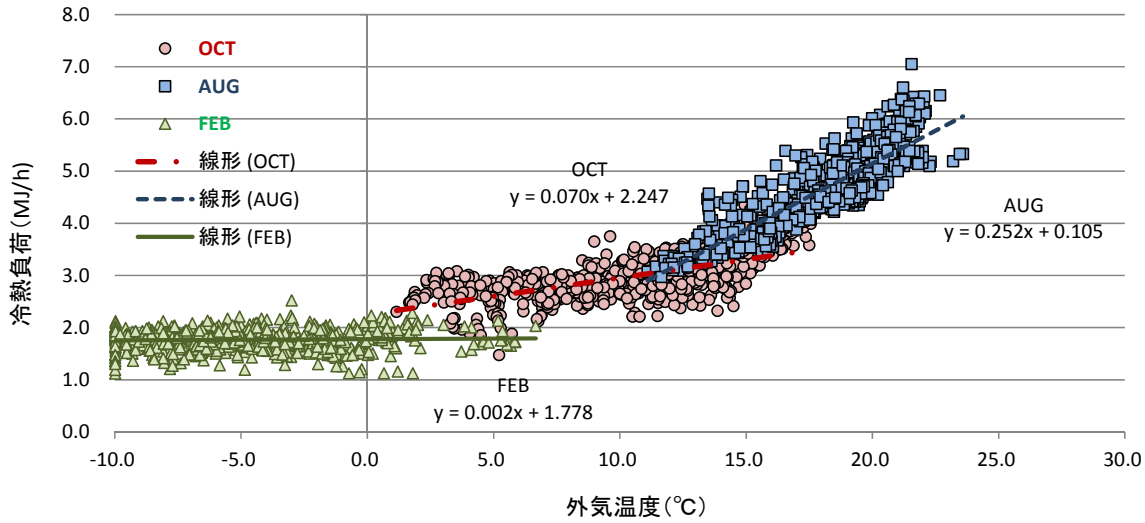


図 2.12　外気温度と冷熱負荷（2008/2,8,10）

2.4.4 外気湿球温度とフリークーリング取得熱量

中間期（11 月、4 月）における 1 時間毎の外気湿球温度と FC 取得熱量の関係を図 2.13 および図 2.14 に示す。FC による取得熱量は、外気の湿球温度に影響を受けるため、図 2.7 において、外気湿球温度が高い 11 月上旬と低くなる同月下旬では、両者の相関に異なる傾向がみられる。これは湿球温度が低くなる下旬には、FC 能力が施設側の冷熱負荷を上回るため、FC 取得熱量を 3～4MJ/h 程度に送水温度制御しているためである。

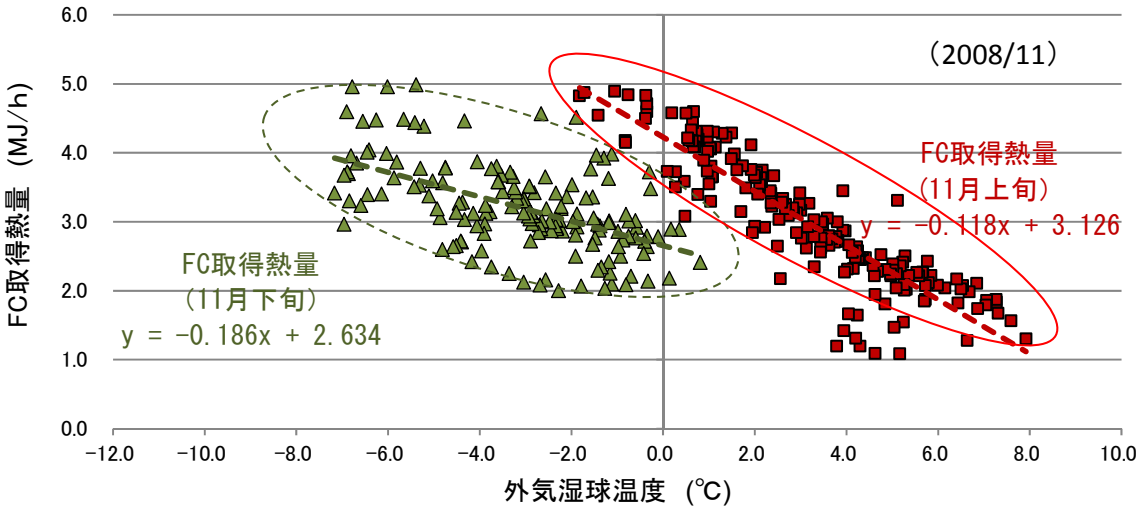


図 2.13　中間期における外気湿球温度と FC 取得熱量(2008/11)

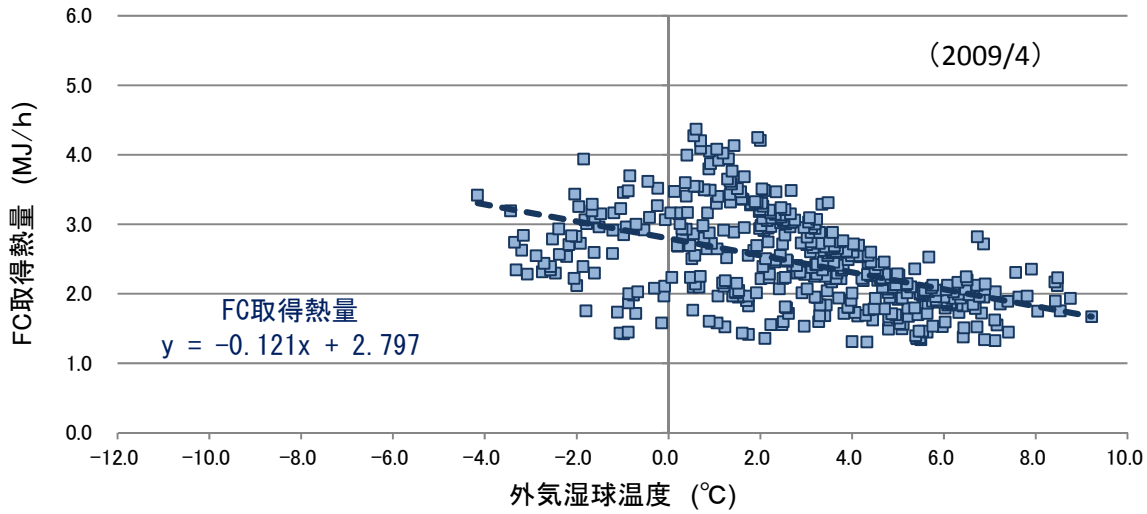


図 2.14　中間期における外気湿球温度と FC 取得熱量(2009/4)

2.5 冷熱負荷とフリークーリング能力の予測に基づく熱源選択手法

2.5.1 熱源選択フローと運転シミュレーション

前節までに述べたように、本施設において、「施設冷熱負荷と外気温度」、「FC 取得熱量と外気湿球温度」との間には相関がみられる。

図 2.15 に示すように FC 運転を想定する中間期から冬期にかけては外気の相対湿度が高く、乾球温度と湿球温度に高い相関がみられる。図 2.16 に乾球温度と湿球温度の相関から求めた湿球温度計算値と、実測した湿球温度の関係を示す。FC 運転を想定する中間期から冬期は、乾球温度のみから一定の精度で湿球温度を求めることができる。

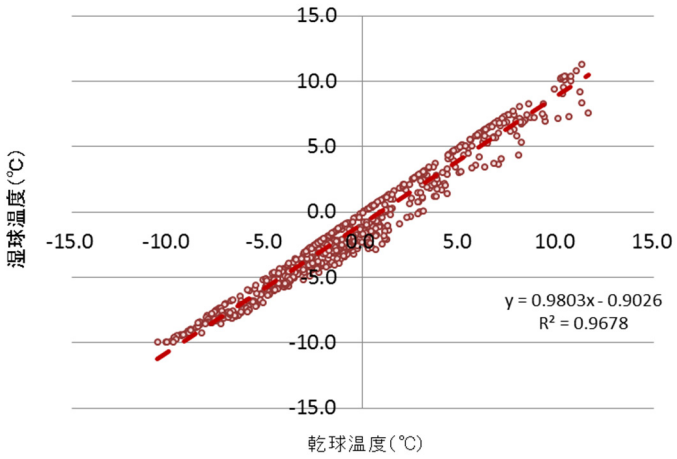


図 2.15　乾球・湿球温度の相関

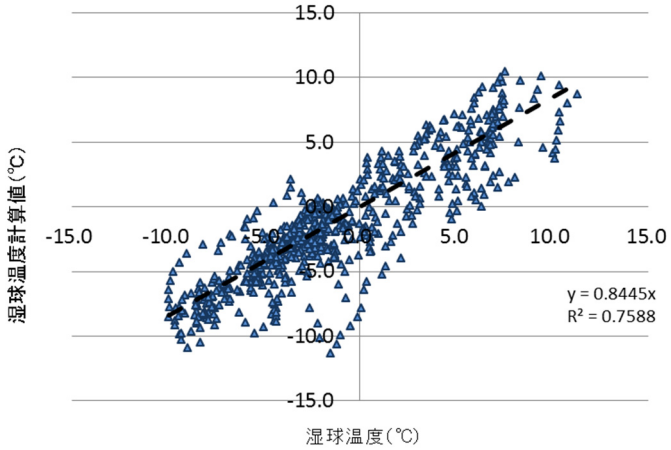


図 2.16　湿球温度計算値と実測値

上記より、外気温度から冷熱負荷の予測、外気湿度から FC 運転による取得可能熱量と冷水出口温度を求めることで、毎時刻における熱源運転モードを選択するための指標の生成が可能であると推測される。

外気温湿度の予測値から、冷熱負荷、FC 取得冷熱量の推定および熱源選択に至るフローを図 2.17 に示す。時刻毎の乾湿球温度の予測は、日常的な施設管理を想定し、現地で入手可能な気象予報値（日最高・最低温度）から求めるものとする。

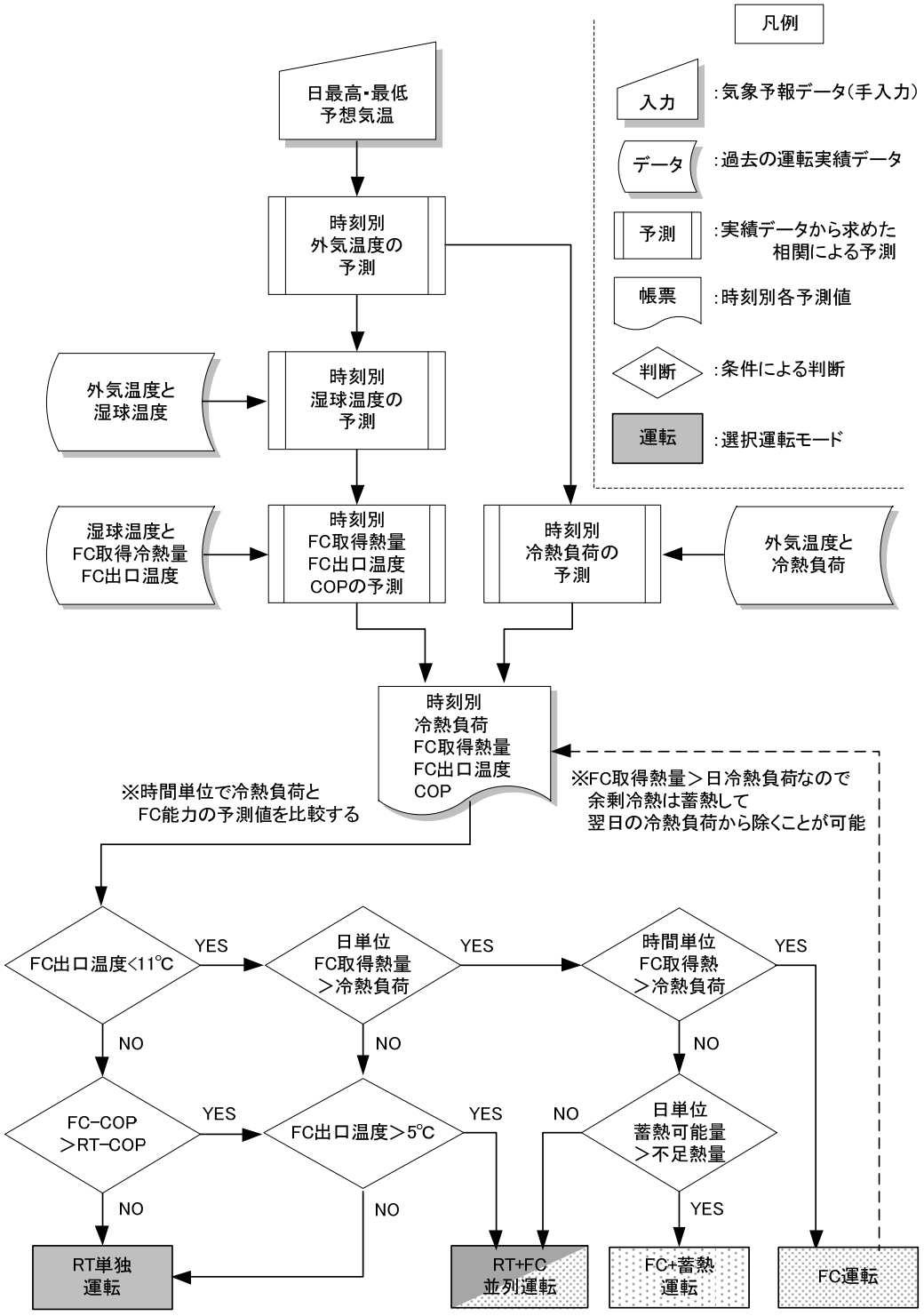


図 2.17　冷熱負荷・FC 取得熱量予測に基づく熱源選択フロー

熱源選択フローをもとに構成した、熱源選択用シートを図 2.18 に示す。

このモデルでは、日単位の最高・最低温度を設定することで、時刻別の外気温湿度を予測し、冷熱負荷・FC 取得熱量を求め、FC 運転によって日冷熱負荷を充足可能か判定することを目的としている。

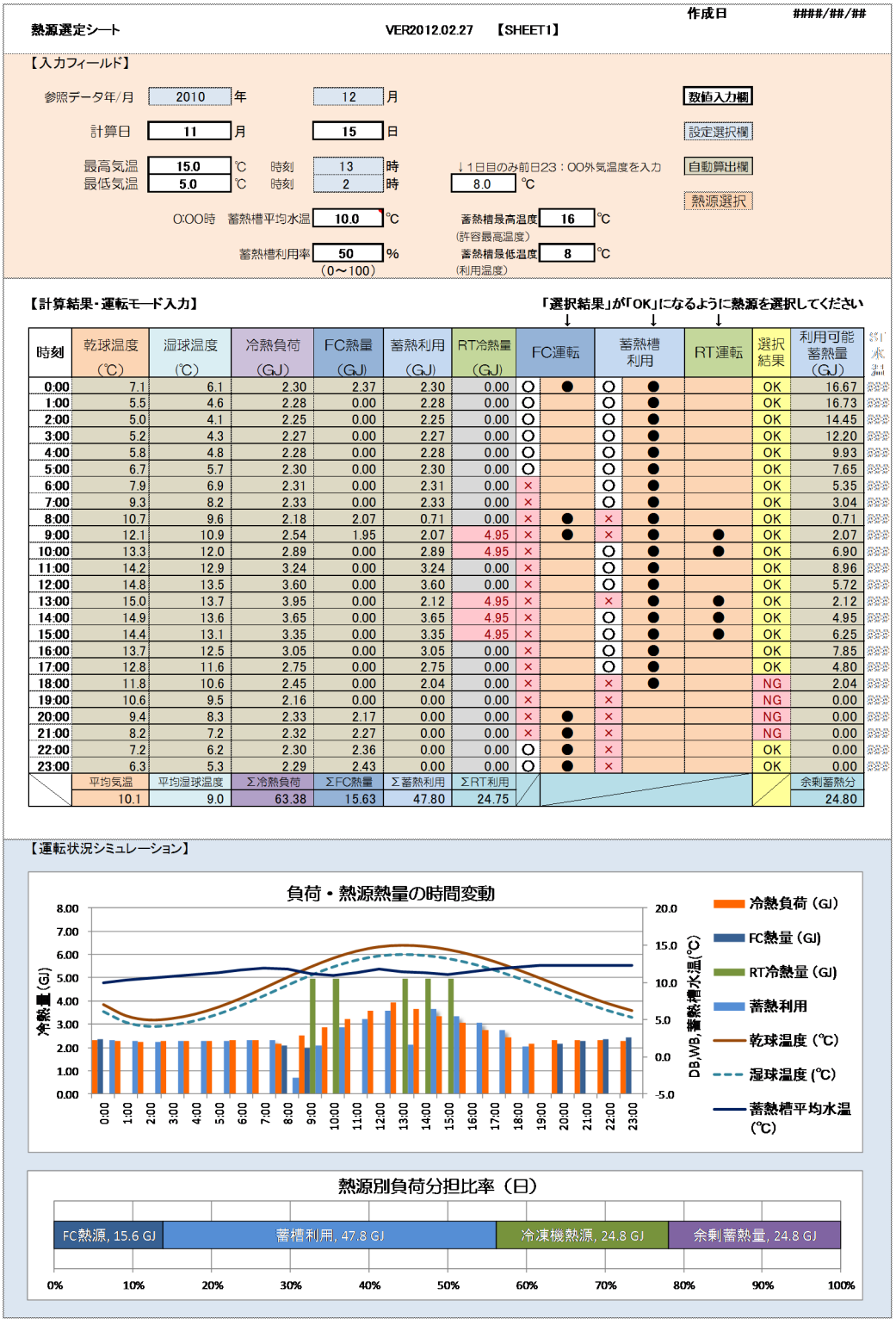


図 2.18　冷熱負荷・FC 取得熱量予測に基づく熱源選択シート

図 2.18 の各入力項目と、各要素の生成方法及び参照するデータ項目を以下に示す。

A.「入力フィールド」（図 2.18 シート：上段）の設定項目

(1)外気温度：最高・最低予想気温（気象予報値から入力）および同発生時刻の設定から時刻別外気温度(乾球温度)を予測する。

(2)湿球温度：(1)で生成した外気温度の予測値と、参照年の当該月の外気温度と外気湿球温度の相関(図 2.15)から求める。

(3)冷熱負荷：(1)で生成した乾球温度と外気温度と冷熱負荷の相関（図 2.12）から求める。

(4)FC 熱量：(2)で生成した湿球温度と参照年の当該月同旬の外気湿球温度と FC 取得熱量の相関(図 2.13,2.14)から求める。

冷水出口温度も同様に湿球温度から生成し、設定した温度範囲（5℃～11℃）にあることを確認する。

(5)蓄熱槽に関する設定

蓄熱槽については、「許容最高・最低温度」、「利用率」を設定する。

（標準設定は、運用実態から最高水温 16℃、最低水温 8℃としている。

設定の変更は可能としている。）

「利用率」は、蓄熱槽が温度成層していると仮定して、温度上昇の許容範囲を設定する。(図 2.19)

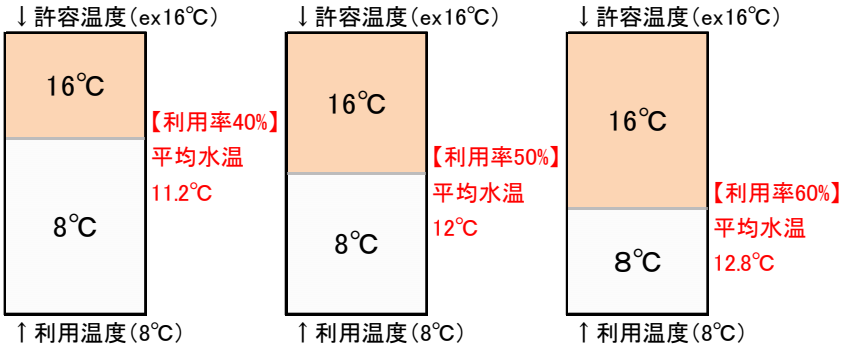


図 2.19　蓄熱槽「利用率」の設定

B.「計算結果・運転モード入力」（図 2.18 シート：中段）の設定項目

(6)熱源選択：各時刻の冷熱負荷に対して利用可能な熱源を示し（「○」表示）、熱源を選択（「●：選択、×：選択しない」）する。複数の熱源選択も可能としている。
蓄熱運転を選択した場合は、蓄熱槽を優先的に使用し、他の熱源との冷熱量が負荷を上回る場合は余剰分を蓄熱する設定としている。

(7)選択結果：選択した熱源熱量（合計）が冷熱負荷以上の場合は、「OK」、不足する場合「NG」を表示する。

C.「運転状況シミュレーション」（図 2.18 シート：下段）の表示

(8)時刻別の負荷・熱源別の熱量、および日単位の熱源の負担比率
上記のプロセスを 1 日単位で算出しグラフで示す。

図 2.18 の「熱源選定シート」は 1 週間単位のシートで構成されており、0：00 時の外気温、蓄熱槽平均水温等は、2 日目以降は前日の計算結果を引継ぐものとしている。

2.5.2 運用実績との比較によるシミュレーションの評価

前節で提示した気象予報値に基づく熱源選択手法の妥当性を検証するために、実際の運用データと予測に基づく熱源選択をおこなった場合の、冷凍機とフリーク―リングシステムの運用時間、消費電力量の比較を行う。

【運転条件】

・FC によって施設冷熱負荷を充足できるときは、FC 運転を優先する。

・FC 能力は、外気 WB との相関から推定する。

・蓄熱槽設定水温は運転実績より 8℃→18℃（⊿tw=10℃）とする。

・蓄熱槽の平均水温を 8℃～12℃（⊿tw=4℃）となるように冷熱源を駆動するものとする。

※上記の温度設定は、(蓄熱槽が温度成層を形成しいているので) 蓄熱量の 40%を使用したことになる。

・凍結防止運転は、外気温度が-2℃以下となった場合に行うものとし、蓄熱槽平均水温が 8℃以上である場合は、100%運転を行い、蓄熱槽平均水温が 8℃以下となった場合は、冷熱負荷相当分冷却塔を駆動する（蓄熱槽水温を維持する）ものとする。

・比較検証は、冬期間および前後の中間期とし、冷凍機・フリーク―リング熱源の並列運転で運用されていた 2008/11/1～2009/4/30 の期間とする。

熱源別運転時間、冷却塔消費電力の比較を、表 2.3、表 2.4 に示す。

表 2.3　実運転とシミュレーションの運転時間の比較

		11月				12月				1月			
		上旬	中旬	下旬	計	上旬	中旬	下旬	計	上旬	中旬	下旬	計
冷凍機	実績	65	48	0	113	32	8	0	40	0	0	0	0
	ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	48	29	0	77	52	5	0	57	0	0	0	0
ﾌﾘｰｸｰﾘﾝｸﾞ	実績	95	155	171	421	134	160	233	527	214	216	215	645
	ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	136	163	139	438	126	177	193	496	156	175	195	526

		2月				3月				4月				合計
		上旬	中旬	下旬	計	上旬	中旬	下旬	計	上旬	中旬	下旬	計	
冷凍機	実績	0	0	0	0	0	2	0	2	0	8	0	8	163
	ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	144
ﾌﾘｰｸｰﾘﾝｸﾞ	実績	225	193	148	566	156	150	159	465	153	205	189	547	3,171
	ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	193	212	145	550	128	138	130	396	152	211	167	530	2,936

表 2.4　冷却塔消費電力の比較

	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計
実績	12,441	8,905	6,928	4,789	9,322	14,692	57,076
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	13,064	9,115	7,991	6,767	9,951	16,665	63,553

実績値とシミュレーションの時刻別変動の比較を図 2.20、期間運転時間の比較を図 2.21 へ示す。運転シミュレーションによる冷熱源の運転時間は、FC 稼働時間、消費電力量とも約 10%程度の誤差範囲で運転実績に近い値であり熱源選択手法としての実用性を検証した。

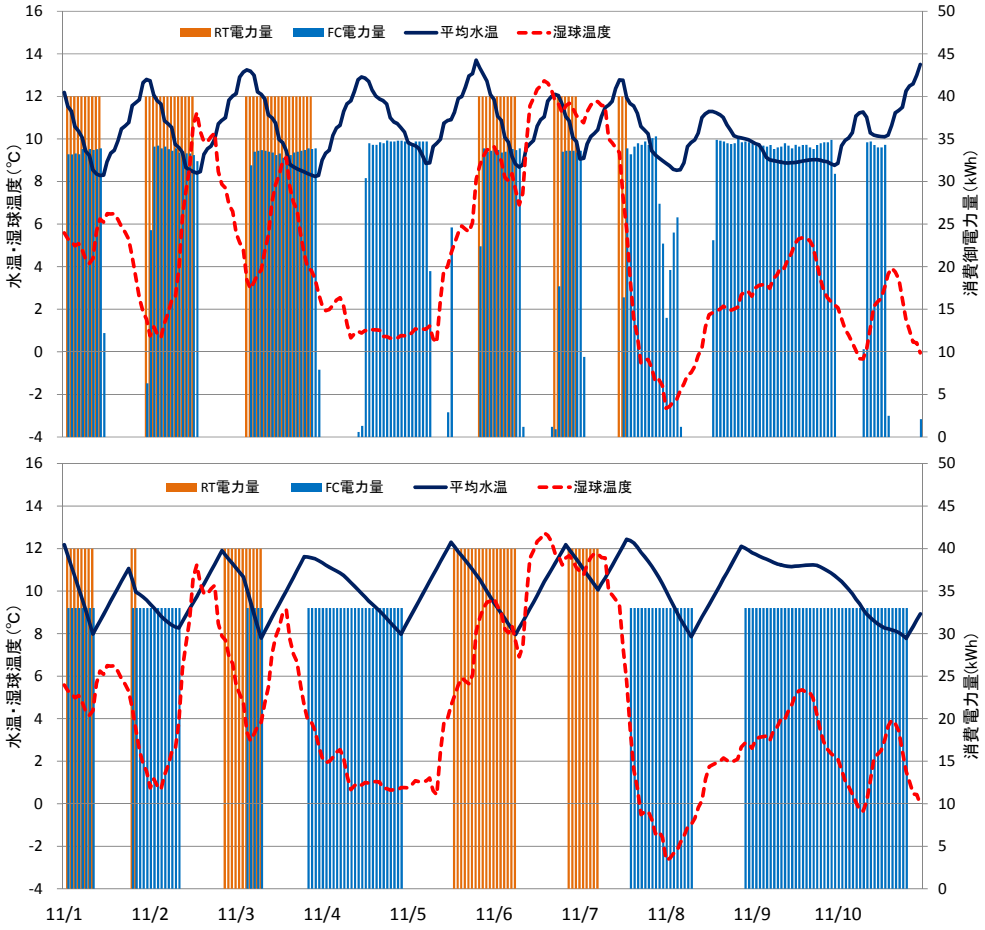


図 2.20　実績値(上段)とｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値（下段）の比較（週間）

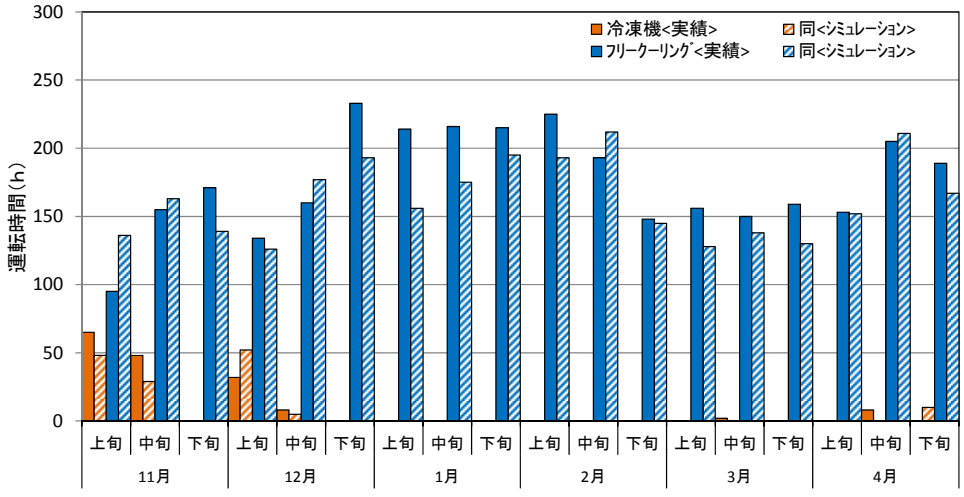


図 2.20　実績値とｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値の比較

2.6 第二章のまとめ

本章では、寒冷地における工場施設のフリークーリングシステムの運転データをもとに、システムの評価とフリークーリングシステムを含む熱源設備の運転管理方法の提案を行った。

1）対象施設は 2009~2010 年の 11 月から 4 月にかけて、フリーク―リングによる冷熱の供給のみで施設の運転を行い、年間冷熱負荷の 30%、冷熱量としては 9×10～10×10^{3}GJ（2009～2010 年度実績）である。年間電力量換算では、約 395MWh～438MWh の節電効果を果たしており、寒冷地における同システムの有効性を実証した。

当該期間のフリーク―リングシステム COP は、11～18、冷凍機の運転を含めた年間 COP は 4.9～6.1 であり高効率な運転状況となっていることを検証した。

2）現地で日常的に入手可能なデータと運用実績のデータから、冷熱負荷を予測し、熱源選択の妥当性の判定材料を提供する気象予報値に基づく冷熱負荷と FC 能力の予測手法を示した。

運転シミュレーションによる冷熱源の運転時間は、FC 稼働時間、消費電力量とも約 10%程度の誤差範囲で運転実績に近い値となった。FC 運転期間では、実績に近い値を再現した。

対象施設のクリーンルームに対する空調制御は、高い精度が求められるため、施設管理担当者の技術と経験に依存して通年 24 時間の人的監視のもとで行っている。

本手法の実稼働による検証、各要素間のパラメータの精度の向上を図ることで、熱源管理運転マニュアルの整備が可能となる。

3）提案した手法は、対象施設の現状の管理運用方法（人的な管理・運用）を想定しているが、自動制御設備と連動することで熱源制御の自動化も可能である。

また、気象予報値や運用データを用いた空調負荷の予測手法は、工場施設のみでなく一般施設へも展開が可能であり、施設運用の省エネルギー化に資すると考えられる。

【第二章の参考文献】

1) 菊田弘輝,絵内正道,羽山広文：寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査：その 7 中間期におけるフリークーリングの検証,日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ,pp.1059-1060,2007

2) 森山泰行ら：寒冷地における自然エネルギー利用空調システムの省エネルギー性評価：その 1～3,日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ,pp.1211-1216,2008

3) 菊田弘輝,絵内正道,羽山広文：夏期・中間期におけるフリークーリングによる省エネルギー効果の検証,日本建築学会北海道支部研究報告集 No81,pp.197-200,2008

4) 相良麻実,菊田弘輝,羽山広文,森太郎：寒冷地におけるフリークーリングを利用した空調システムの性能検証　その 1　LCEM ツールを用いたモデルの構築寒冷地におけるフリーク―リングの有用性の検証, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No86,pp.213-216,2013

5) 相良麻実,菊田弘輝,羽山広文,森太郎：寒冷地におけるフリークーリングを利用した空調システムの性能検証　その 2　シミュレーションによるフリーク―リングの有用性の検証, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ,pp.1227-1230,2013

6) 相良麻実,菊田弘輝,羽山広文,森太郎：夏期・中間期におけるフリークーリングを利用した空調システムの性能検証　その 2 寒冷地におけるフリーク―リングの有用性の検証,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,pp.57-60,2013

7) 宇田川陽介,藁谷至誠,植草常雄,福光超：データセンターを対象としたフリークーリングシステムの検討(第 1 報)システムモデル検討と年間消費エネルギー検証：(第 2 報)日本における年間エネルギー消費量比較, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp.1895-1902, 2009

8) 豊原範之,二渡直樹,羽山広文,森太郎,菊田弘輝：外気冷房を導入したデータセンターの性能評価に関する研究（第 1 報）施設概要およびエネルギー性能(冬期実測結果), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,pp1779-1782, 2012（および上記の続報）

9) 豊原 範之,羽山 広文,森 太郎,菊田 弘輝,二渡 直樹：外気冷房を導入したデータセンターの運用実績調査に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ,pp.1297-1298,2013

10) 豊原 範之,羽山 広文,森 太郎,菊田弘輝,井上義之：外気冷房を導入したデータセンターの運用実績調査に関する研究　その 2 竣工後 4 年間の性能評価, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ,pp.1495-1496,2016

11) 宮本一英,渋谷幸男,本郷　大：セイコーエプソン(株)千歳事業所の空気調和設備, 空気調和・衛生工学 第 81 巻　第 9 号　pp.62～63　2007.9

第三章　キャンパス施設におけるエネルギーモニタリングシステムの導入と評価

3.1 はじめに

2008 年の「G8 大学サミット」における「札幌サステイナビリティ宣言」[1)]の採択以降、各大学におけるサステイナビリティへの取り組みとして、施設の省エネルギー化、低炭素化キャンパスの整備は進んでいるが、さらに災害時の安全性やエネルギーの確保を含むキャンパスの整備は、大学にとって喫緊の課題と考えられる。

既存の大学施設は、学部・学科別等の分棟型の施設構成が多く、また、研究内容・学生数の変動・学部学科の再編などに対応するため、施設の増改築や室用途の変更などを行っている。その結果、使用形態やエネルギー消費傾向の異なる講義室・管理部門諸室と研究室・ゼミナール室・実験室等が混在している施設が多く、エネルギー供給系統区分の合理性は低下していると考えられる。

また、施設の増改築にともなう熱性能の異なる施設の混在や新旧設備システムの併用、エネルギー管理・計量システムの未整備は、エネルギー消費量の実態把握や省エネルギー計画の策定を困難にしている。

本章では、工業系大学の既存施設群を対象とした「見える化システム」の構築と、省エネルギー対策の実効性を、複数年にわたる取得データの分析をもとに、エネルギー種別、負荷および室用途別に検証する。

北海道科学大学（旧北海道工業大学：2014 年 4 月に校名変更）では、2009 年に「見える化システム」の整備を完了し稼働を開始した。本システムを用いて、2009 年から 2012 年の 4 年間にわたり、エネルギー消費量の削減を目指して、計測データの収集と分析、省エネルギー行動計画の策定と実践および計画の評価を実施した。システムの計画・設計にあたっては、施設の運

用を停止することなく、短期間での設置・運用開始が可能なこと、また施設運用条件（建物や各室の用途、使用状況の変化にともなう計測点の加除や変更）等へ柔軟に対応できることを目指した。

設備機器の更新や制御機能の追加に依存しない「見える化システム」を活用した「環境行動」による省エネルギー手法は、類似用途施設への展開・応用が可能であり、既存施設の省エネルギー化、低炭素化に資するものと考える。

3.2 「見える化システム」の構成

3.2.1 対象施設の概要

研究対象施設の配置を図 3.1 に、施設概要を表 3.1 に示す。図 3.1 において、赤破線内は、本章における評価対象施設を、①～⑫は、表 3.1 の施設 No を示す。今回消費エネルギーモニタリングシステムを導入したのは、北海道科学大学手稲キャンパスの既存施設群であり、対象施設は全 12 棟、総延べ床面積 57,725 ㎡、建設年は 1967 年から 2001 年にわたっており、施設の用途・構造・断熱性能に大きな差異がある。また学生数の変動、研究テーマの時代による変化と、それに伴う研究設備の変更や更新へ対応してきたため、増改築を経て、低層・分棟型の施設配置構成となっている。

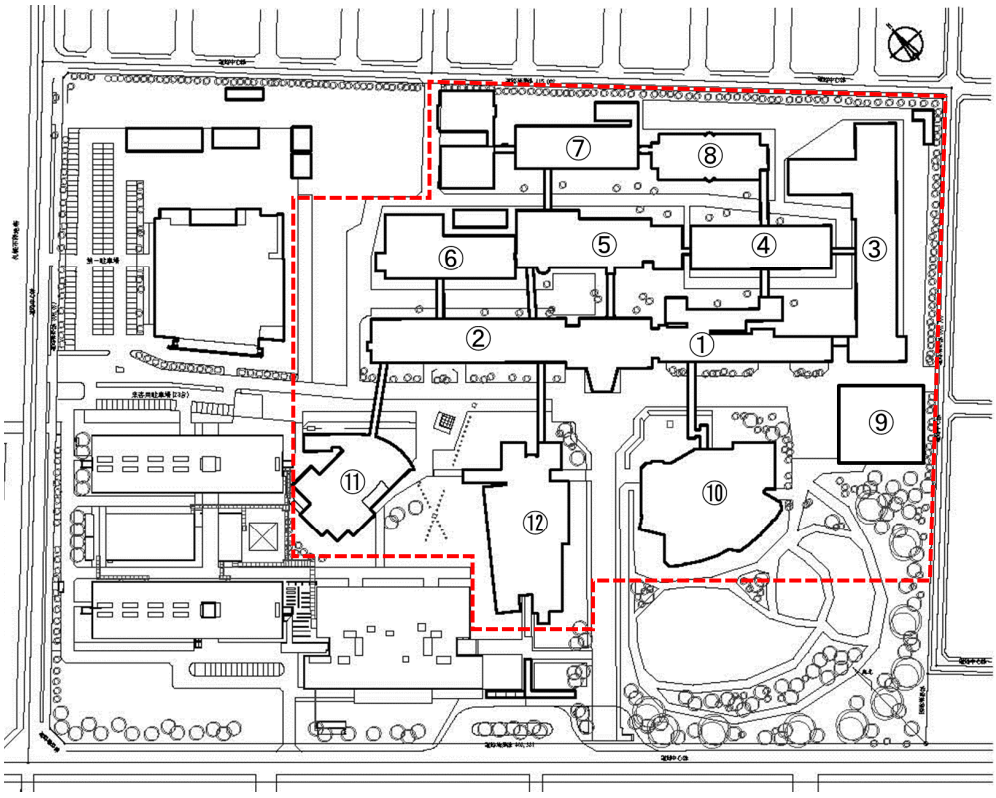


図 3.1　キャンパス施設配置図

各棟の熱源機器・空調方式を表 3.2 に示す。1～8 号館、体育館、図書館は貫流ボイラーを熱源とした蒸気セントラル暖房方式、学生プラザは真空温水機を熱源とした温水暖房方式である。講義棟は、冷温水発生機および真空温水器を熱源とした冷暖房設備を有している。

蒸気熱源の各室放熱器は手動バルブ、温水暖房方式の学生プラザパネルヒーターはサーモバルブ、講義棟ファンコイルは室内サーモスタットによる室温制御を行っている。

なお、解析対象期間に施設の断熱改修、省エネルギー設備の導入は行っておらず、施設使用状況にも大きな変動は無い。

表 3.1　対象施設の概要

No	棟名称	主要室用途	構造/規模	床面積(㎡)	建設年
1	1号館	事務室・教員室	RC/3F	3,502	1967
2	2号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/5F	9,405	1968
3	3号館	教員室・ゼミ室・実験室・製図室	RC/5F	8,497	1972
4	4号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	3,589	1977
5	5号館	講堂・食堂・ｻｰﾊﾞｰ室	RC/3F	3,214	1977
6	6号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	3,503	1977
7	7号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	3,782	1985
8	8号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	2,649	1990
9	体育館	体育館・武道場	RC/3F	2,460	1970
10	図書館	図書館・購買・自習室	RC/2F	5,531	1986
11	学生プラザ	食堂・喫茶・購買	RC/2F	2,197	1994
12	講義棟	講義室・事務室	RC/4F	9,396	2001
12棟 合計				57,725	

表 3.2　各棟熱源機器および空調方式

棟		熱源機器	放熱器	燃料
校舎	1～8号館	貫流式蒸気ﾎﾞｲﾗ×7基　台数制御 (1号館機械室に設置) 一部個別ﾊﾟｯｹｰｼﾞによる冷暖房	鋳鉄製ﾗｼﾞｴｰﾀｰ (ﾌｧﾝ)ｺﾝﾍﾞｸﾀｰ ﾊﾟﾈﾙﾋｰﾀｰ	A重油
	体育館			
	図書館			
学生ﾌﾟﾗｻﾞ		真空式温水発生機×2基	外調機 ﾊﾟﾈﾙﾋｰﾀｰ	A重油
講義棟		直だき吸収冷温水機 ×2基 真空式温水発生機×1基	外調機 ﾌｧﾝｺｲﾙﾕﾆｯﾄ	A重油

対象施設の主要部の断熱仕様を表 3.3 に示す。1～6 号館の外断熱改修および外窓の複層化は 1995 年～1999 年に実施している。学生プラザおよび講義棟は、竣工後の改修は行っていない。

解析対象期間の学生数、職員数および年間校舎使用日数、開講数（実使用教室数）を表 3.4 に示す。対象期間では学生数は減少しているが、校舎使用日数および開講数に大きな変動は無い。施設の空調（暖房）設備はセントラル方式であるため、施設の使用状況は、ほぼ同等と考えられる。

表 3.3　対象施設の主要部の断熱仕様

施設名	外壁	外断熱改修	屋根	外窓（ｱﾙﾐｻｯｼ）
1号館	PF20	PF30	PF20	3-6-3 複層ガラス
2,3号館	PF20	PF30	PF25	〃
4,5,6号館	PF30	PF30	PF30	〃
7号館	PF30	-	PF30	〃
8号館	PF30	-	PF50	〃
体育館	PF20	-	NF50	〃
図書館	PF50	-	PF100	〃
学生プラザ	UF30	-	PF50	5-6-5 複層ガラス
講義棟	UF45	-	UF60	〃

PF:ポリスチレンフォーム、UF:ウレタンフォーム、NF:木片セメント板
各記号以降の数字は厚さ（mm)を示す

表 3.4　解析対象期間の学生数、職員数および年間校舎使用日数、開講数

項　　目	単位	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
学生数（大学院生含）	人	3476	3204	3094	2980
教職員数（常勤）	人	205	201	192	205
校舎使用日数（通常）	日/年	230	234	233	234
校舎使用日数（休日）	日/年	34	30	35	42
週当たり開講数	開講数/週	660	671	663	656

3.2.2 計測項目と設備

計測項目は、将来他施設への展開に際しての汎用性を確保するため、施設機能の停止を伴う設備改修工事や、停電作業等を要せずに取得可能であることを条件として選定した。

①電力量計測設備

電力消費量は、クランプメーターによる計測とした。計測点は、構内受変電設備主幹、各階分電盤主幹、各分電盤一般系統負荷とした。各分電盤の計測は、共用廊下・教員研究室（個室）・学生ゼミ室（実験室）の照明・コンセント回路を選定した。

②室内（屋外）温度計測設備

温度測定用のセンサーは、電力量の計測と同様に各棟各階の共用廊下・教員研究室・学生ゼミ室（実験室）及び屋外に設置した。

③燃料消費量計測設備

燃料消費量は、パルス発信式油量計 5 台を、各熱源機器の燃料供給配管に挿入し計測した。

計測点は、表 3.5 に示す熱源機器、貫流ボイラー（7 台/群制御）：1 点、学生プラザ 真空温水機（2 台）：1 点、講義棟 冷温水発生機 2 台：2 点、同 真空温水機 1 台：1 点の合計 5 系統である。

表 3.5　計測機器設置位置・台数（単位：台）

棟 / 計測機器	1号館	2号館	3号館	4号館	5号館	6号館	7号館	8号館	体育館	図書館	学生プラザ	講義棟	計
電力計	24	16	12	12	12	12	12	12	4	10	6	20	**152**
電力中継器	6	7	4	4	3	4	4	4	2	3	2	5	**48**
温度センサー子機	6	13	9	9	6	9	9	9	3	8	6	16	**103**
温度センサー中継器	2	5	2	2	1	2	2	2	2	4	2	4	**30**
温度センサー親機	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**12**
Webﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰﾕﾆｯﾄ	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	**16**
油量計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	**5**

3.2.3 システムの機能と構成

「見える化システム」は、各計測データの表示・解析支援機能を有し、施設使用者（教員・学生・職員）は、各自の PC もしくはスマートフォンから学内専用サイトへアクセスすることで表 3.6 に示す項目を任意に選択し閲覧が可能である。また講義棟ホールに、タッチ操作可能な大型のディスプレイを設置し、常時計測データを表示した。

「見える化システム」の標準データ伝送系統を図 3.2 に示す。電力量・温度・油量の各計測機器端末子機から計測機器親機間の信号は無線伝送方式とし、以降の Web データロガーユニット（DLU）から学内サーバー間の伝送には既設の学内 LAN を使用することで、伝送路確保のための施設改修工事を最小限としている。

表 3.6　利用者の階層と閲覧可能データ

項目 ＼ 利用者の階層			一般職員 学生	環境工学 研究者	エネルギー 管理者	外部 ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	形式･備考
表示項目	レベル1（全体）	1　一次エネルギー消費量	○	○	○	○	棒グラフ
		2　CO2排出量	○	○	○	○	棒グラフ
		3　一次エネルギー消費量+外気温	○	○	○	○	棒グラフ+折線グラフ（2軸）
		4　CO2排出量+外気温	○	○	○	○	棒グラフ+折線グラフ（2軸）
		5　テキストデータ	×	○	○	○	CSVデータ
	レベル2（棟別）	6　燃料消費量	○	○	○	○	棒グラフ
		7　消費電力	○	○	○	○	棒グラフ
		8　テキストデータ	×	○	○	○	CSVデータ
	レベル3（全計測ﾎﾟｲﾝﾄ）	9　消費電力	×	○	○	○	棒グラフ
		10　室内温度	×	○	○	○	折線グラフ
		11　外気温度	×	○	○	○	折線グラフ
		12　テキストデータ	×	○	○	○	CSVデータ
時間単位	30分	指定日、時刻から24時間	○	○	○	○	各表示項目に対して任意に設定可能
	1日	指定日から1週間	×	○	○	○	
	1週間	指定日から4週間	×	○	○	○	
	1か月	指定日から1年	×	○	○	○	
支援機能	データ検索		×	○	○	○	最大、最小、期間･日時指定等
	エネルギー監視		×	△	○	△	
	エネルギー消費量予測		×	△	○	○	
	消費量原単位比較（各棟）		○	○	○	○	
	エネルギーコスト比較		×	△	○	△	

○：利用可能、×：利用不可、△：必要に応じてアクセス権の設定可能

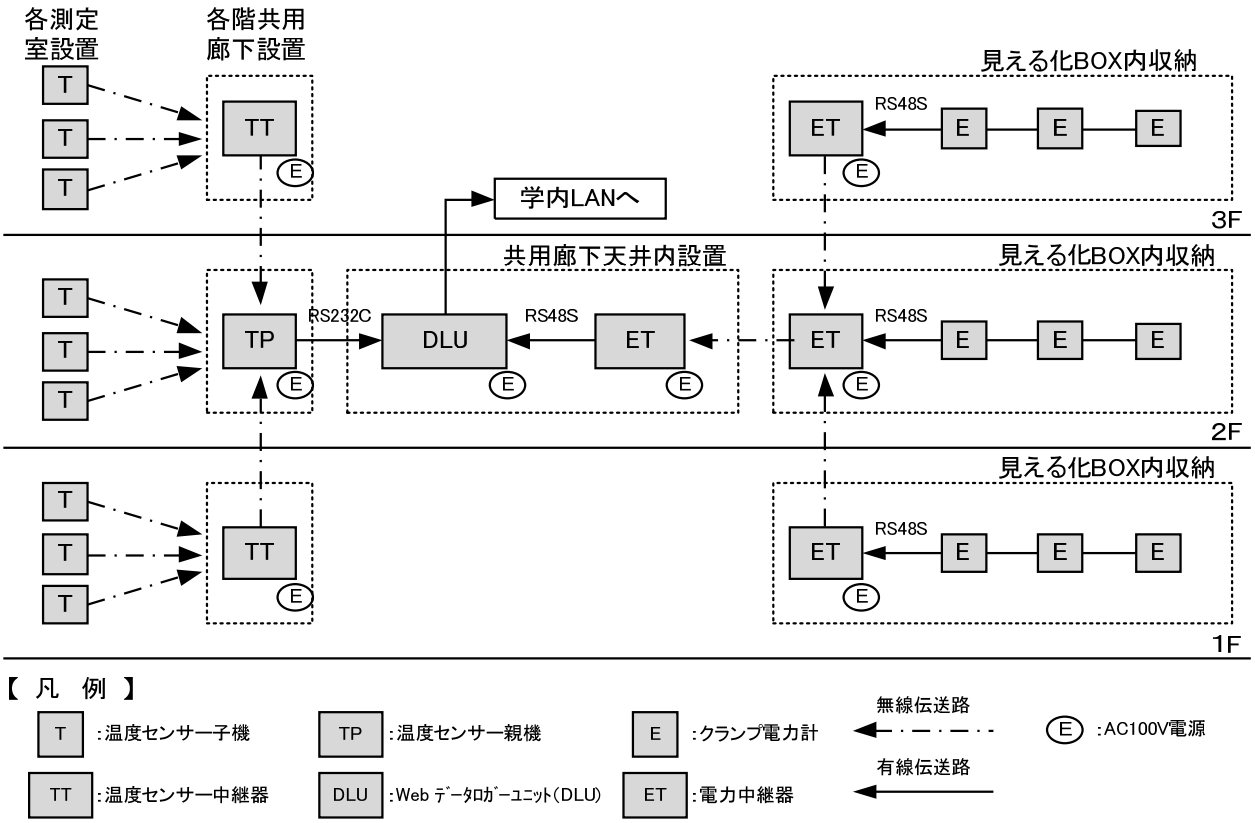


図 3.2　計測機器データ伝送系統図

「見える化システム」のプロセスフローを図 3.3 に示す。本システムは、エネルギー使用状況の「見える化」と省エネルギー診断を実施するためのシステムとして データ収集・蓄積データ転送・解析支援機能を有する。

1）データ収集・蓄積・転送機能

各棟に設置した計測装置からデータロガーユニット（DLU）を経由して電力消費量・室内温度・油消費量の計測データおよび計測データをもとに算出した一次エネルギー消費量、二酸化炭素排出量等を学内の専用サーバーに蓄積し、インターネット経由で、外部サーバーへも転送する。

2）解析支援機能

計測データや消費エネルギー量及び目標設定値等をグラフ表示、解析する。計測データの収集・集計は学内サーバーで行い、学内からのアクセスに対しては同サーバー上で動作するグラフ表示プログラムによって、また学外のユーザーは外部サーバー上で動作するグラフ表示プログラムによって、Web ブラウザを用いてデータの表示・解析を行う。

本システムは汎用化・ネットワーク化・オープン化を目指して TSC21 推進評議会が提供している環境マネジメントツール（TSC/prog、TSC/com、TSC/DB）[2] を利用することで短期間・低コストでの構築を可能とした。

なお、グラフの表示形式や各データ間の相関分析等については、TSC21 の機能を用いて、システム運用開始後でも、追加や変更を容易に可能とした。

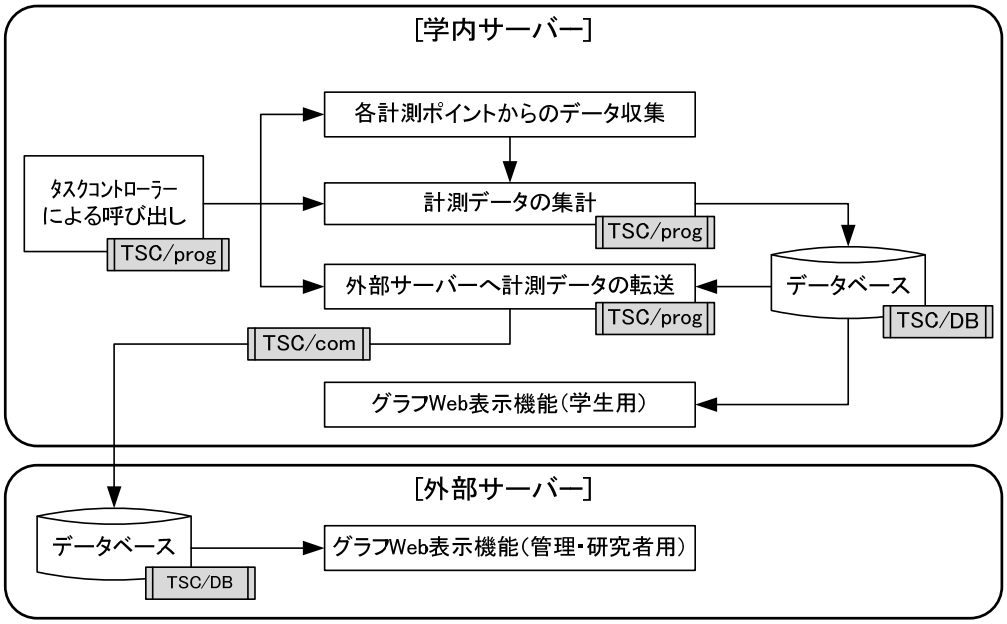


図 3.3　プロセスフロー

3.3 「管理･運用実態調査」と省エネルギー対象項目の抽出

3.3.1 管理･運用実態調査の概要

有効な省エネルギー対策を策定・実施するためには、対象施設の設備運用状況の実態、エネルギー削減可能な各種負荷の把握が必要であることから、「見える化システム」導入直後の 2010 年に「管理・運用実態調査」を実施した。調査の概要と調査項目を表 3.7 に示す。

調査は、学内全室を対象とし、教員研究室（以下「教員室」と表記)、ゼミナール室（同「ゼミ室」)、実験室・実習室・演習室・製図室等（同「実験演習室」）は、室管理者である教員へのアンケート調査を行なった。また、共用講義室、講堂、事務室、WC・給湯室は、現地調査を実施した。回答率は室数で 88.6%、調査対象面積に対しては 92.1%である。

表 3.7　各室管理・運用実態調査の概要

調査対象	学内全室
	調査対象室数/延床面積　498室/30,440㎡
	※各棟共用廊下、ロビー、体育館アリーナ･格技室、図書館閲覧室、学生プラザ食堂部等施設管理者が一括管理する室を除く
	※各棟WC･給湯室等については別途調査を実施、上記室数及び面積には含まない
回答数(回答率)	441室/28,029㎡(室88.6%/面積92.1%)
調査期間	2010年10月1日～10月31日
調査方法	アンケート用紙配布による記名調査及び現地調査

調査項目	調査内容
室使用状況	主用途、使用頻度、使用する曜日･時間帯
暖房機器	既設暖房機のバルブ調整、補助暖房機の種類、消費電力(燃料消費量)、台数、使用実態、不在時の暖房機器、換気扇の使用実態
冷房機器	冷房機器の種類、台数、消費電力、設定温度、退出時の冷房機器使用実態
照明器具	補助照明器具台数と消費電力、照明の点灯実態
パソコン	種類と、台数、常時稼働台数、省電力設定
プリンター･コピー機	プリンターの種類、台数、省電力設定
冷蔵庫･冷凍庫等	台数、容量、省エネ対策
ドラフトチャンバー 恒温室･恒湿室	使用状況、機器仕様、省エネに配慮した取り組み
実験装置･器具	使用状況、機器仕様、省エネに配慮した取り組み
その他実験機器･装置	上記以外に設置している機器使用状況、仕様、台数

3.3.2 管理･運用実態調査の結果

管理・運用実態調査に基づく、補助暖房設備、OA 機器、その他の機器についての集計および原単位を表 3.8 に示す。これらの機器は、学内の資産・備品として登録されていないもの、減価償却を終え、管理台帳からは抹消されているが継続使用されているものなどを含み、実際の設置・使用状況を把握することを目的としている。

1）補助暖房設備について

対象施設の平日の通常暖房運転時間は、8:30～16：30 であり、夜間及び土・日曜日は暖房運転を行わないため、教員室・ゼミ室・実験演習室で補助暖房器具が保有されており、合計電気容量は約 220kW であった。

各棟 WC の電気ヒーターは、凍結防止用であり、管理上は、サーモスタットを 5～10℃に設定している。しかし、使用者が操作可能であるため、現地調査では、当初設定温度より高く設定された状態が多くみられた。計測データから室温が 18℃程度まで上昇する箇所（時間帯）がみられ、設定室温が高く変更されたまま、夜間に通電が継続していることが推測される。

2）OA 機器について

教員室の PC 保有台数はデスクトップ、ノートともに平均約 1.5 台/室となっている。またプリンターについては、インクジェット型かレーザー型いずれか 1 台を保有している室が多かった。教員室の PC の使用状況では、保有機器の内、デスクトップかノートいずれか 1 台を通常使用しているという回答が過半であった。ゼミ室には、室あたり平均 4 台のデスクトップ PC が設置されている。

ゼミ室は 4 年生以降の学生が配属され、1 室あたりの平均所属学生数は 6.9 人であるので、学生 1 人当たり 0.6 台となる(ノート PC を含めると 0.9 台/人)。ただし学生は各自ノートの携行を義務付けているため、実使用台数は、1 台/人以上となる。

3）その他の機器について

補助照明器具は、全室の約 45%、教員室の 80%に設置されているが、ほぼすべてが卓上スタンドであり消費電力は 30W/室（40W/台）程度である。

実験用の冷蔵・冷凍設備を除く冷蔵（冷凍）庫は、教員室の約 50%、ゼミ室の約 70%に容量 100～120ℓ 程度の家庭用小型の冷蔵庫が設置されている。

また、個別の冷房設備として、会議室（応接用）と教員室数室にパッケージエアコン、ウインドクーラーが設置されていたが、全体のエネルギー消費量に影響しない程度なので詳細な解析対象外とした。

表 3.8　室用途別設置機器・台数

室用途	室数	床面積	電気ヒーター					
			設置室数	台数	室あたり	消費電力	室あたり	床面積あたり
	室	㎡	室	台	台/室	W	W/室	W/㎡
教員室	120	2,846.1	88	90	0.75	82,040	684	28.83
ゼミ室	96	4,130.2	51	88	0.92	73,580	766	17.81
実験演習室	99	9,533.2	30	49	0.49	67,820	685	7.11
講義室	45	6,791.1	0	0	0	0	0	0.00
事務室	20	1,595.9	1	1	0.05	1,000	50	0.63
計	380	24,896.5	170	228	0.60	224,440	591	9.01

室用途	室数	床面積	電気ヒーター			電気給湯機		
			台数	消費電力	室あたり	台数	消費電力	室あたり
	室	㎡	台	W	W/室	台	W	W/室
WC	36	－	36	43,000	1,194			
WC	5	－	5	（蒸気暖房）				
給湯室	13	－	4	2,000	500	13	16,000	1,231
給湯室	1	－				1	（ガス給湯器）	
計	55	－	45	45,000	1,694	14	16,000	1,231

室用途	室数	床面積	補助照明器具					
			設置室数	台数	室あたり	消費電力	室あたり	床面積あたり
	室	㎡	室	台	台/室	W	W/室	W/㎡
教員室	120	2,846.1	75	95	0.79	3,705	30.88	1.30
ゼミ室	96	4,130.2	26	35	0.36	1,421	14.80	0.34
実験演習室	99	9,533.2	25	42	0.42	2,007	20.27	0.21
講義室	45	6,791.1	0	0	0.00	0	0.00	0.00
事務室	20	1,595.9	1	2	0.10	92	4.60	0.06
計	380	24,896.5	127	174	0.46	7,225	19.01	0.29

室用途	室数	床面積	デスクトップPC			ノートPC		
			台数	室あたり	床面積当たり	台数	室あたり	床面積当たり
	室	㎡	台	台/室	台/㎡	台	台/室	台/㎡
教員室	120	2,846.1	169	1.41	0.06	186	1.55	0.07
ゼミ室	96	4,130.2	383	3.99	0.09	197	2.05	0.05
実験演習室	99	9,533.2	265	2.68	0.03	103	1.04	0.01
講義室	45	6,791.1	1	0.02	0.00	0	0.00	0.00
事務室	20	1,595.9	45	2.25	0.03	58	2.90	0.04
計	380	24,896.5	863	2.27	0.03	544	1.43	0.02

室用途	室数	床面積	ｲﾝｸｼﾞｪｯﾄﾌﾟﾘﾝﾀｰ		ﾚｰｻﾞｰﾌﾟﾘﾝﾀｰ		コピー機	
			台数	室あたり	台数	室あたり	台数	室あたり
	室	㎡	台	台/室	台	台/室	台	台/室
教員室	120	2,846.1	91	0.76	90	0.75	5	0.05
ゼミ室	96	4,130.2	62	0.65	55	0.57	2	0.03
実験演習室	99	9,533.2	37	0.37	32	0.32	0	0.00
講義室	45	6,791.1	1	0.02	40	0.89	0	0.00
事務室	20	1,595.9	9	0.45	15	0.75	6	0.67
計	380	24,896.5	200	0.53	232	0.61	13	0.07

室用途	室数	床面積	冷蔵（冷凍）庫					
			台数	室あたり	床面積当たり	容量	平均容量	床面積当たり
	室	㎡	台	台/室	台/㎡	L	L/台	L/㎡
教員室	120	2,846.1	64	0.53	0.022	5,920	92.50	2.08
ゼミ室	96	4,130.2	65	0.68	0.016	8,237	126.72	1.99
実験演習室	99	9,533.2	60	0.61	0.006	10,692	178.20	1.12
講義室	45	6,791.1	1	0.02	0.000	90	90.00	0.01
事務室	20	1,595.9	8	0.40	0.005	1,527	190.88	0.96
計	380	24,896.5	198	0.52	0.008	26,466	133.67	1.06

4）各室管理者による省エネルギーに関する取組

各室の管理者に対して実施した管理実態、省エネルギー行動に関する調査項目、結果を表3.9、図 3.4 に示す。

補助暖房機については、退室時に OFF 操作を行っているが、1～8 号館の蒸気熱源の放熱器バルブは、翌日出勤時の室温が低くなるとして、開栓したまま退室する傾向が高い。

PC の省電力設定を、全機器に対して設定している室は約 50%、OA タップによる待機電力カットは、全機器に対しての実装率は約 15%、一部機器への実装を含めて約 40%であった。

表 3.9　各室管理者の省エネルギーに関する行動、機器等の設定(設問)

No	設備区分	設問	回答数	省エネ行動：実践レベルが高い＞＞実践レベルが低い			
				選択肢①	選択肢②	選択肢③	選択肢④
Q1-1	照明操作	不在時	310	必ず消灯	ほぼ消灯	消し忘れあり	点灯したまま
Q1-2		日中	316	点灯しない	暗い時点灯	常時点灯	意識していない
Q2-1	主暖房機バルブ	使用時	331	操作している	操作していない	操作がわからない	存在を知らない
Q2-2		退出時	322	必ず閉めている	ほぼ閉めている	閉め忘れあり	操作していない
Q2-3	補助暖房機	退出時	207	必ず切る	ほぼ切る	切り忘れあり	切らない
Q3	換気扇	使用時	340	必要に応じて	常時	非使用	操作がわからない
Q4-1	パソコン	省電力設定	276	全て設定	一部で設定	ほとんど未設定	全て未設定
Q4-2	待機電力	OAタップ	276	すべて使用	一部の機器で使用	ほとんど使用せず	全く使用せず
Q4-3	プリンター	ｽﾘｰﾌﾟﾓｰﾄﾞ	194	15分未満	15分以上	設定していない	ｽﾘｰﾌﾟﾓｰﾄﾞが無い
Q5	冷蔵庫	使用上の配慮 (※)	175	3項目以上実施	2項目実施	1項目実施	実施していない

※）Q5の回答選択肢は以下
①庫内にものを詰め込まない ②扉の開閉回数・時間を減らす ③庫内温度設定の調整
④壁から10cm以上離して設置 ⑤その他の対策
（具体的に記入、省エネに効果があると考えられるものは、項目数として加算している。）

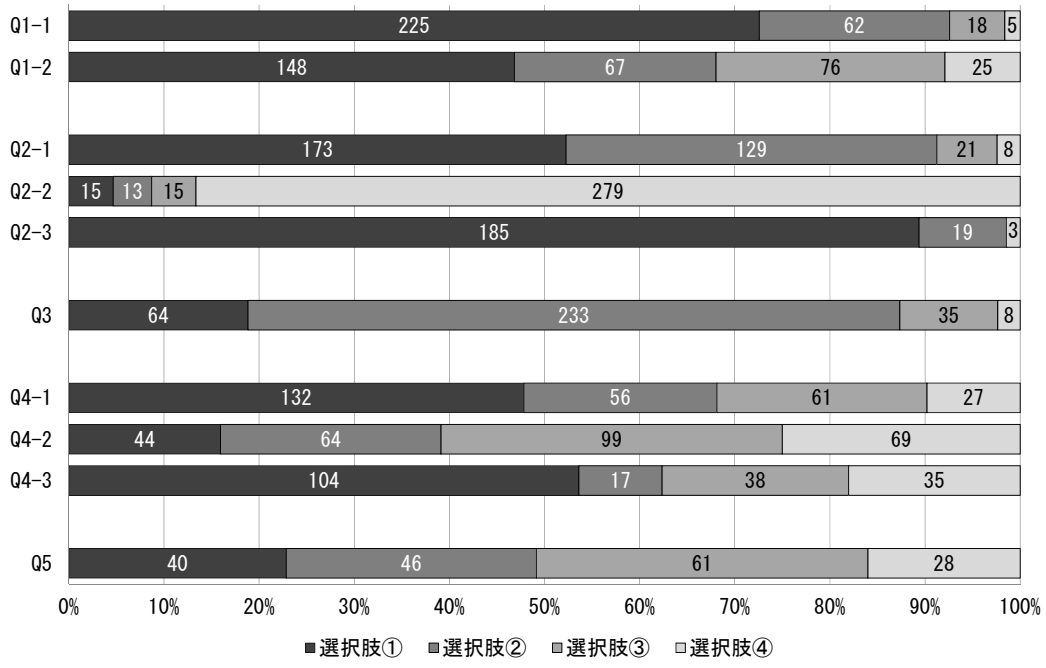


図 3.4　各室管理者の省エネルギーに関する行動、機器等の設定（回答）

3.3.3 室用途別負荷原単位の推定

表 3.8 に示した、室用途別の負荷（設置数）の原単位より求めたキャンパス全施設の電力の単相 100/200V 系統負荷（以下「電灯負荷」：照明・コンセント含）の室用途別負荷原単位および、年間電力消費量を表 3.10 に示す。各室の年間使用日数は当該年度の「学年暦」、日使用時間等は「管理・運用実態調査」より推定した。

室用途別床面積は、施設台帳上の室用途区分および床面積としている。なお、表 3.10 の室用途別床面積は、「管理・運用実態調査」実施時点の各調査対象室の実使用用途による区分としている。

キャンパス全体の年間電灯負荷電力消費量は、1,194MWh/年となり、これは、2009～2012 年度の平均年間「全」電力消費量（実績値）の約 35%、同年間「電灯負荷」電力消費量（実績値）の約 50%に相当する。

また、施設管理者が一括管理していない教員室、ゼミ室、実験演習室負荷相当分は約 60%以上を占め、各室の管理者である教員および室使用者である学生の省エネルギー行動による消費エネルギーの削減効果が期待される。

表 3.10　室用途別年間電力消費量および電灯負荷原単位

室用途区分	床面積	室数	一般照明				補助照明器具				補助暖房器具				換気扇・空調換気扇				
			原単位	稼働時間	稼働日数	電力消費量	原単位	稼働時間	稼働日数	電力消費量	原単位	稼働時間	稼働日数	電力消費量	原単位	台数	稼働時間	稼働日数	電力消費量
	㎡	室	W/㎡	h/日	日/年	MWh/年	W/㎡	h/日	日/年	MWh/年	W/㎡	h/日	日/年	MWh/年	台/室	台	h/日	日/年	MWh/年
教員室	3,417	142	10	10	240	82.0	1.30	3	240	3.2	28.8	5	100	49.2	1	142	2	240	2.0
ゼミ室	4,130	96	10	10	240	99.1	0.34	3	240	1.0	17.8	5	100	36.8	2	192	2	240	2.8
実験演習室	10,496	109	10	3	240	75.6	0.21	3	240	1.6	7.1	5	100	37.3	2	218	2	240	3.1
講義室	6,791	45	10	6	240	97.8									2	90	3	240	1.9
管理・厚生	2,096	29	10	10	240	50.3	0.06	3	240	0.1					2	58	2	240	0.8
その他	30,795	77	5	5	240	184.8					(45kW)	2	100	9.0	1	77	5	240	2.8
合計	57,725	498				589.6				5.9	↑			132.2		777			13.5
対総電力消費量（2009～12年度平均）比率						17.4%				0.2%	↑（WC電気ﾋｰﾀｰ合計）			3.9%					0.4%
対電灯負荷電力消費量（2009～12年度平均）比率						23.6%				0.2%				5.3%					0.5%

室用途区分	デスクトップPC					ノートPC					冷蔵・冷凍庫、給湯器					合計	負荷比率	室用途別負荷原単位
	原単位	台数	稼働時間	稼働日数	電力消費量	原単位	台数	稼働時間	稼働日数	電力消費量	原単位	台数	稼働時間	稼働日数	電力消費量			
	台/室	台	h/日	日/年	MWh/年	台/室	台	h/日	日/年	MWh/年	台/室	台	h/日	日/年	MWh/年	MWh/年		kWh/(年･㎡)
教員室	1.41	200	10	240	72.0	1.55	220	10	240	26.4	0.53	75	24	365	26.3	261.1	22%	76.4
ゼミ室	3.99	383	10	240	137.9	2.05	197	10	240	23.6	0.68	65	24	365	22.8	323.9	27%	78.4
実験演習室	2.68	292	3	240	31.5	1.04	113	5	240	6.8	0.61	66	24	365	23.1	179.0	15%	17.1
講義室	0.02	1	10	240	0.4		800	3	170	20.4	0.02	1	24	365	0.4	120.8	10%	17.8
管理・厚生	2.25	65	10	240	23.4	2.90	84	10	240	10.1	0.40	12	24	365	4.2	88.9	7%	42.4
その他											(16kW)		4	365	23.4	219.9	18%	7.1
合計		941			265.2		1,414			87.3	↑	219			100.1	1,194	100%	20.7
対総電力消費量（2009～12年度平均）比率					7.8%					2.6%	↑（給湯室電気給湯器合計）				2.9%	35.2%		
対電灯負荷電力消費量（2009～12年度平均）比率					10.6%					3.5%					4.0%	47.8%		

3.3.4 省エネルギー項目の抽出と対策の実施

「管理・運用実態調査」から抽出した省エネルギー項目と対策を表 3.11 に示す。省エネルギー対策は、大学として「教育・研究」活動への制約を行わないことを前提に、各室および施設管理上の日常的な活動で実施可能な項目とした。

「管理・運用実態調査」で明らかとなった達成率の低い項目（暖房機のバルブ操作、補助暖房機の使用方法、OA タップの設置、冷蔵庫の管理）は重点管理項目とした。教員室・ゼミ室・講義室の管理（使用）者へは、表 3.11 の No.1～No.4 に示す省エネルギー対策項目について、蒸気熱源の放熱器バルブの操作、講義棟の室温設定、冷暖房設備・換気設備・調光設備操作のマニュアルを作成して配布した。また、全学的な夏期・冬期の省エネルギーキャンペーンの実施、クール（ウォーム）ビズを励行した。また、表 3.11 の No.5～No.7 の熱源制御・ブラインド管理等の項目については、施設管理者と協議・調整を行なった。

共用部の省エネルギー対策としては、2010 年度後期から学生ボランティアによる「省エネルギーパトロール」活動を開始した。パトロールは、キャンパス内全施設について休業期間を除く毎日、講義開始前と終了後の 2 回、共用部・非使用教室等の照明の点灯放置、ホール部、WC・給湯室等の換気設備の運転状況、講義室のサーモスタット設定室温の確認とリセット、冬期凍結防止ヒーターの設定温度のチェックを行い、定期的に点検結果を公開することで、共用部および教員・学生の自主管理に委ねられている用途部分の省エネルギー行動の促進を図った。

表 3.11　省エネ対策項目

No	項目	対象室	調査によって 明らかとなった問題点	対策	使用者	管理者
1	室温管理の徹底	教員室・ゼミ室	蒸気暖房機のバルブ操作	操作方法の周知	○	
		教員室・ゼミ室	補助暖房機の使用	適正室温の周知 熱源運転時間の調整	○	○
		講義室	室温設定	適正室温の周知 設定変更のリセット	◎	
		WC・給湯室	電気暖房機の温度設定	温度設定の確認 操作SWのロック	◎	○
2	ベース電力低減	教員室・ゼミ室	省電力設定	PC省電力設定 OAタップ等の使用促進	○	
		教員室・ゼミ室	冷蔵庫の管理	温度設定の適性化 使用方法の改善	○	
		WC・給湯室	暖房便座の温度設定	温度設定の変更 便器蓋閉の徹底	◎	○
3	照明制御	共用部	日中不要部の点灯	日常管理の徹底 省エネの啓蒙	◎	○
		講義室	昼光利用の不徹底	自動調光設備機能の周知と 利用の徹底	◎	
		WC・給湯室	照明点灯放置	日常管理の徹底 人感センサーへの移行	◎	○
4	換気制御	教員室・ゼミ室	不要時の運転操作	日常管理の徹底 省エネの啓蒙	○	
		WC・給湯室	不要時の稼働	管理の徹底	◎	○
5	熱源機器の 運転制御	熱源	運転台数、通気時間の設定	各棟、各室利用状況の把握と 運転管理		○
6	送水温度制御	熱源	冷温水送水温度の調整	各室温度チェックと 運転効率の向上		○
7	断熱・日射遮蔽	講義室	夜間のブラインド管理	※施設警備上の問題との調整要		○

◎:「省エネパトロール」活動のチェック対象項目

3.4 エネルギー消費量削減効果の分析

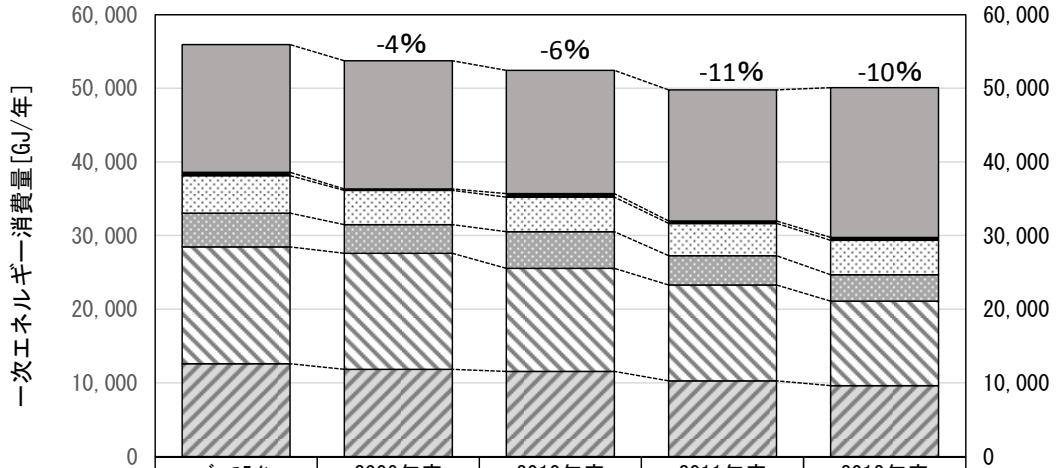
3.4.1 一次エネルギー消費量による評価

全棟の年間一次エネルギー消費量の推移を図 3.5 に示す。一次エネルギー消費量は、施設の熱源運転管理状況から、「暖房期間（11～4 月）」（図 3.5 では”暖”と表記、以下同じ）および「冷房期間（5～10 月）」（”冷”）に区分した。また電力負荷は、3 相 200/400V 系統（以下「動力負荷」：空調・衛生設備、実験用機器電源含）および前述の「電灯負荷」（単相 100/200V 系統：コンセト・照明含）に区分した。

削減効果の比較規準（ベースライン）は、「見える化システム」導入直近の 2006 年度から 2008 年度の 3 年間の平均とした。

「見える化システム」導入後の省エネルギー対策により、単位面積当たりの年間一次エネルギー消費量は、ベースラインの 969MJ/(㎡･年) から、2012 年度で 867MJ/(㎡･年)となり、10%の削減を達成した。

主な削減要素は電力負荷（図 3.5 :「暖および冷－「動力」＋「電灯」）であり、ベースラインの電力負荷分の合計 38,136GJ/年に対し、2012 年度実績値で、29,373GJ/年となり、23%の削減となった。電力負荷削減分の内訳は、電灯負荷削減分（「暖－電灯」+「冷－電灯」の合計」）が全削減量の約 80%、動力負荷分（「暖－動力」+「冷－動力」）が約 20%である。



	ﾍﾞｰｽﾗｲﾝ	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
▨暖-重油[GJ]	17,336	17,388	16,705	17,800	20,308
■冷-重油[GJ]	464	206	508	307	384
□暖-動力[GJ]	5,070	4,650	4,683	4,389	4,695
▨冷-動力[GJ]	4,605	3,906	4,984	3,958	3,573
▨暖-電灯[GJ]	15,872	15,735	14,004	13,036	11,492
▨冷-電灯[GJ]	12,589	11,848	11,544	10,285	9,613
合計[GJ]	55,937	53,733	52,428	49,774	50,064
床面積当たり[GJ/㎡]	969	931	908	862	867

図 3.5　年間一次エネルギー消費量の推移

本施設と、北海道地区の類似用途施設（大学・専門学校）の年間一次エネルギー消費量との比較を図 3.6 に示す（横軸数字は調査件数を示す）。

類似用途施設の年間一次エネルギー消費量は、日本サステナブル建築協会：非住宅建物の環境関連データベース「統計処理情報」(2013.4)「平均単位床面積当たり年間一次エネルギー消費量（建物用途：大学・専門学校、地域-面積区分：B-5)」よりデータ年度 2006 年～2008 年の一次エネルギー消費量を抽出して算出した[3)]。

本施設のベースライン年間一次エネルギー消費量は 969MJ/(㎡･年)（図 3.6-①）であり、システム導入前で、類似用途施設の年間一次エネルギー消費量平均値 1,041MJ/(㎡･年)を約 7%下回っていたが、2012 年度実績である 867MJ/(㎡･年)（図 3.6-②）は、同平均値を約 17%下回った。

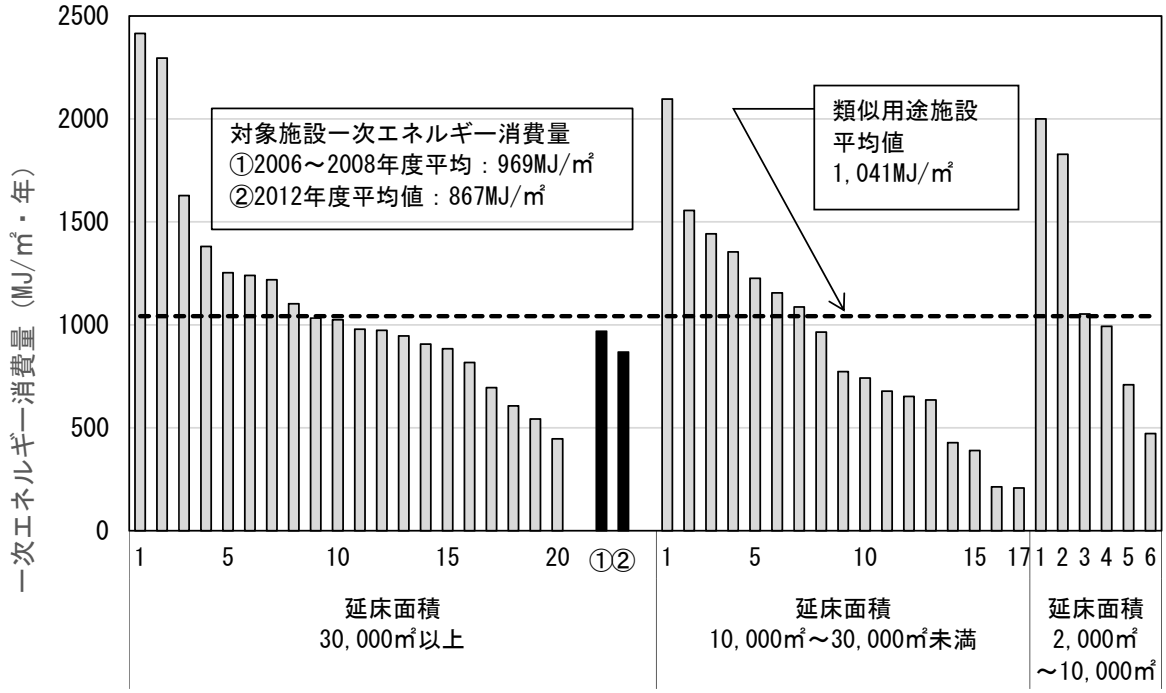


図 3.6　類似用途施設とのエネルギー消費量の比較

3.4.2 電力消費量による評価

１）棟別電力消費量

電灯負荷と動力負荷を区分計量した各棟の年度毎の系統別電力消費量および削減率を表 3.12 に示す。1･5 号館、学生プラザ、講義棟の動力系統は主として熱源設備および補機群負荷、2･6 号館、7･8 号館動力系統は実験・実習機器負荷が主である。

電力消費量の削減率は、電灯・コンセント系統で減少しているが、動力系統は、年度による増減がみられる。また、削減傾向は学生プラザ、講義棟より、1～8 号館で顕著であった。教員室、ゼミ室、実験演習室は各学科教員の管理下で 24 時間使用可能であり、講義室、管理・厚生（室）は施設管理部門による施錠管理されている。また、講義棟を除いて、各棟の共用部（WC・廊下・ホール等）は、手動操作の照明設備であることから、電力消費量の主な削減要因は、各室管理状況の変化（改善）と考えられる。

表 3.12　各棟の年度毎の系統別電力消費量および削減率

系統	負荷区分	ベースライン (MWh)	2009年度		2010年度		2011年度		2012年度	
			電力消費量 (MWh)	削減率	電力消費量 (MWh)	削減率	電力消費量 (MWh)	削減率	電力消費量 (MWh)	削減率
1・5号館	電灯	332	288	▲13%	288	▲13%	272	▲18%	257	▲23%
	動力	241	192	▲20%	219	▲9%	200	▲17%	166	▲31%
2・6号館	電灯	249	222	▲11%	229	▲8%	208	▲16%	200	▲20%
	動力	73	47	▲36%	68	▲8%	48	▲35%	37	▲49%
7・8号館	電灯	177	162	▲9%	138	▲22%	126	▲29%	130	▲27%
	動力	4	5	53%	4	21%	3	▲13%	4	15%
学生プラザ	電灯	133	137	3%	135	1%	129	▲3%	123	▲8%
	動力	123	147	19%	156	27%	141	15%	153	24%
講義棟	電灯	370	390	5%	363	▲2%	336	▲9%	326	▲12%
	動力	154	120	▲22%	134	▲13%	115	▲26%	138	▲11%
電灯計		1,262	1,198	▲5%	1,153	▲9%	1,072	▲15%	1,035	▲18%
動力計		595	511	▲14%	581	▲2%	507	▲15%	498	▲16%
合計		1,857	1,709	▲8%	1,734	▲7%	1,579	▲15%	1,534	▲17%

２）室用途別電力消費量

各棟の既存電灯･コンセント回路は、「照明のみ」を負荷とするものと各室の「照明･コンセント回路を含む」ものが混在している。

室用途別の電力量の変動を分析するため、計測した「電灯負荷」データを「照明」単独負荷と「照明+コンセント」合計負荷に区分し、さらに使用時間（定時使用/24 時間使用可）と室の使用形態（使用者、使用時間、主な設置機器種別）により、「共用部」（照明専用）･「実験演習室」（照明+コンセント）･「教員室・ゼミ室」（照明+コンセント）に 3 区分した。

上記区分による 2010 年度と 2011 年度の年間電力消費量の差を図 3.7～3.9 に示す。図中の横軸は計測対象室名を示し、室名先頭の添字は、施設名称（1～8：1 号館～8 号館、L：図書館、T：体育館、H：学生プラザ、G：講義棟）以降は室名称、もしくは室番号（3 桁数字）とする。

「共用部」では計測点 32 点のうち 22 点で減少傾向がみられる。図書館（L_室）系統の電力消費量の増加は、夜間・休日の開館時間の延長による（図 3.7：破線枠部）。「実験演習室」で増加傾向のみられた室は、ヒアリングと現地調査の結果、機器の新設･増設等が増加の要因であった（図 3.8：一点鎖線枠部）。「教員室･ゼミ室」系統では、減少傾向のみられる室は約半数であり、管理･運用に改善の余地のあることが明らかとなった。（図 3.9）

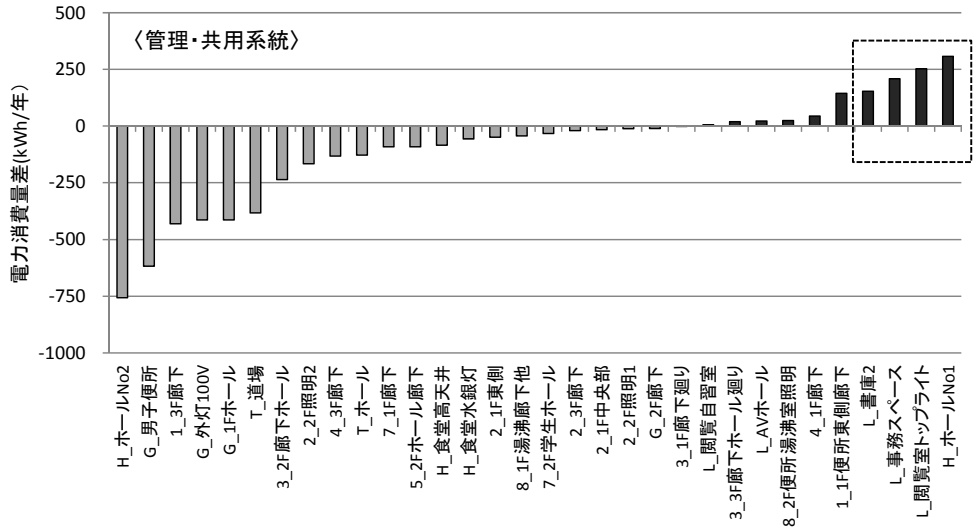


図 3.7　共用部-照明系統電力消費量

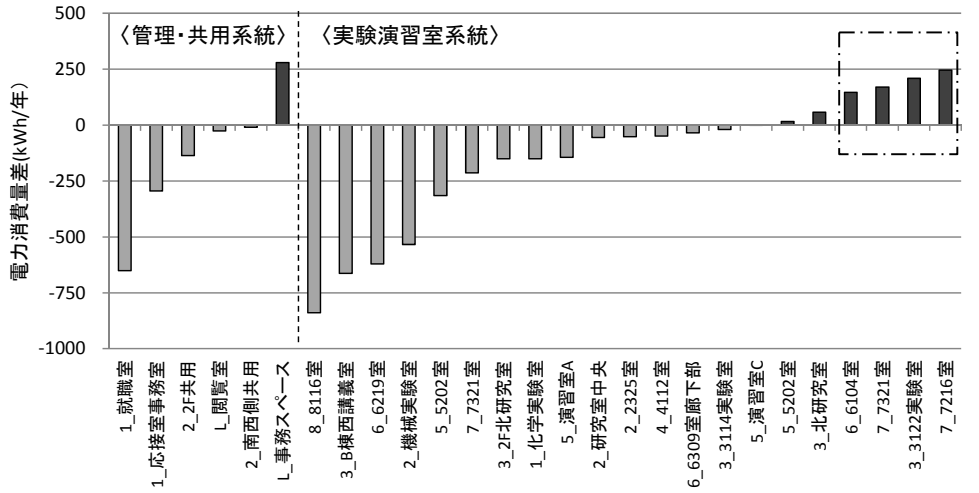


図 3.8　各室-電灯・コンセント系統電力消費量
（共用・管理系統、実験演習室系統）

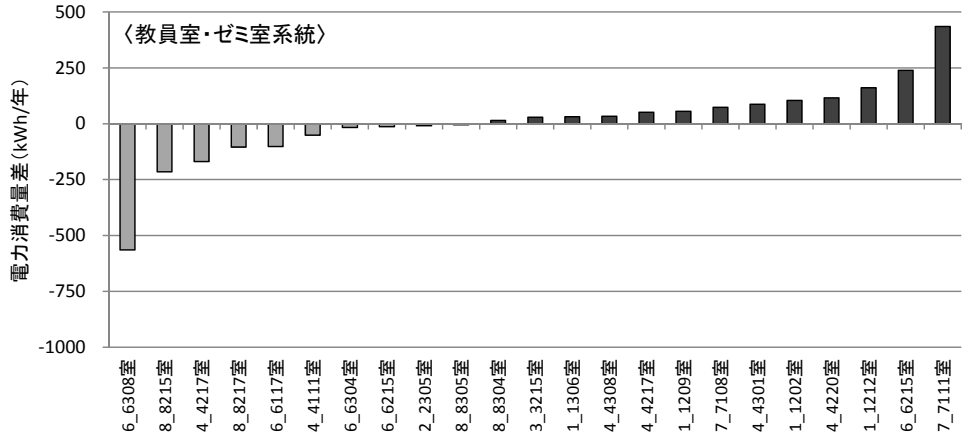


図 3.9　各室-電灯・コンセント系統電力消費量２
（教員室、ゼミ室系統）

3.4.3 燃料消費量による評価

１）棟別燃料消費量

棟(熱源)別の年間燃料消費量の推移を図 3.10 に、各年度の燃料消費量にデグリデー（D22）の増減率を乗じて補正した実質燃料削減率を表 3.13 に示す。

「見える化システム」導入前のベースライン算定期間（2006～2008）は、構内の外気温度計測を実施していないため、表 3.13 のデグリデーの算出には対象施設に最も近い気象台データ（北海道：石狩地方：山口）を使用した。

2009～2011 年度の施設全体の実質的な燃料消費量は、ベースラインから削減されたと評価できる。

2012 年度は、「補助暖房器具」使用による電灯負荷抑制を図り、暖房運転時間を試験的に延長したため、熱源機器の年間稼働時間は 700h/年から 770h/年となり、燃料消費量が増加した。一方、同年度の暖房期間電灯負荷は減少したが、3.4.1 節の図 3.5 で示したように暖－電灯負荷分（電気ヒーターは単相負荷）は削減されたが、燃料消費量の増加分と相殺され、年間総一次エネルギー消費量の削減までには至らず、前年度の削減率を維持するに留まった。

学生プラザは、主な施設用途が学生用食堂であり、施設運用を外部委託しているため、他の棟と異なり、表 3.12 で示した電力消消費量と同様に、燃料消費量にも減少傾向は見られなかった。

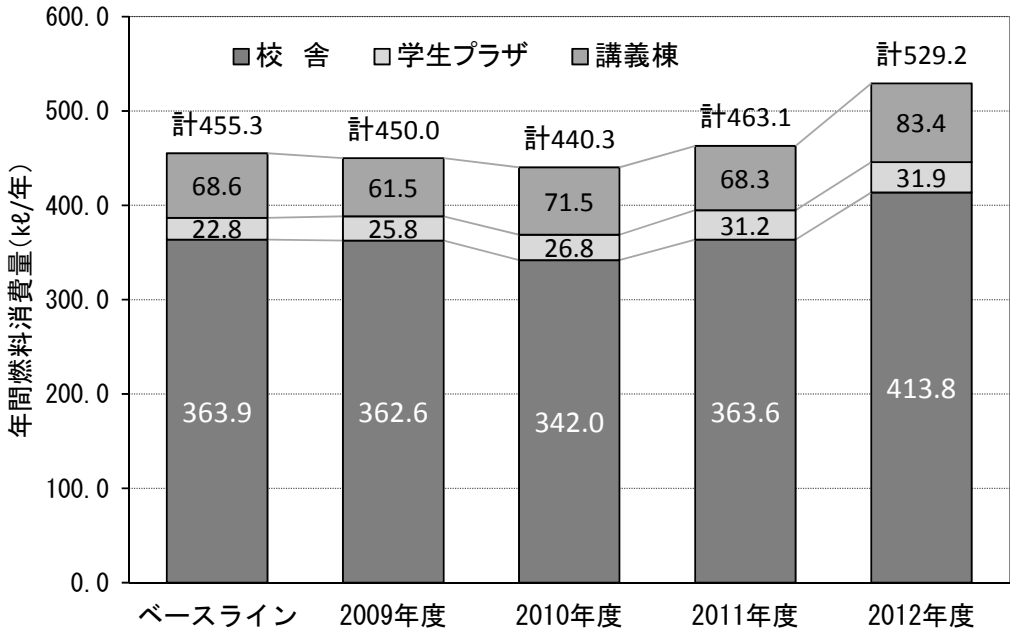


図 3.10　棟別年間燃料消費量の推移

表 3.13　デグリデーにより補正した燃料消費量削減率

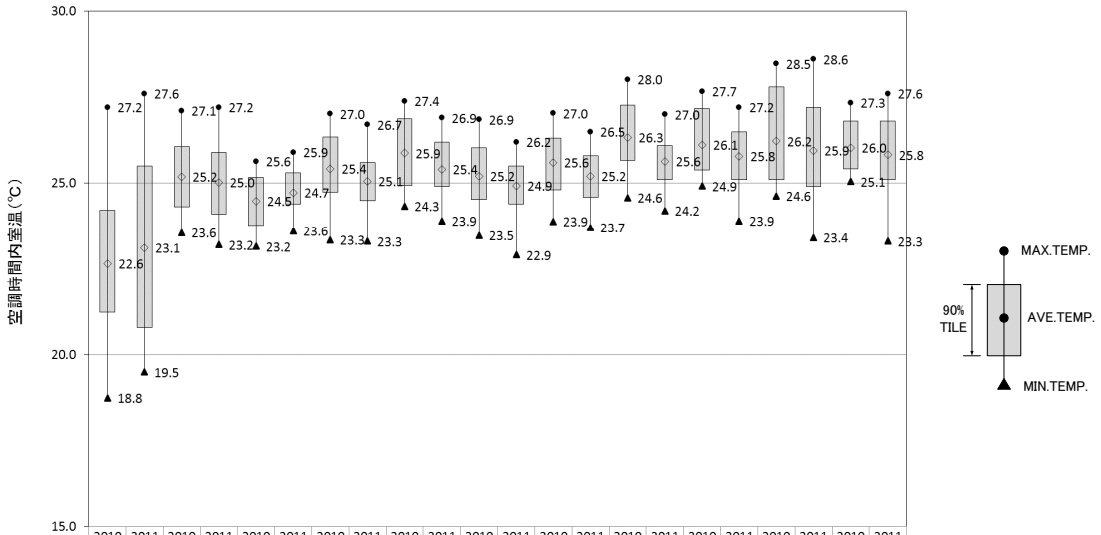
	年　度	BL	2009	2010	2011	2012
暖房 ﾃﾞｸﾞﾘﾃﾞｰ	D22（度・日）	3,829	3,852	3,835	4,023	3,989
	対ﾍﾞｰｽﾗｲﾝ比	-	101%	100%	105%	104%
校舎	燃料消費量（ℓ）	363,877	362,600	342,010	363,590	413,820
	実質削減率	-	▲0.9%	▲6.2%	▲4.9%	9.2%
学生 プラザ	燃料消費量（ℓ）	22,780	25,840	26,770	31,180	31,940
	実質削減率	-	12.8%	17.3%	30.3%	34.6%
講義棟	燃料消費量（ℓ）	68,607	61,540	71,470	68,320	83,430
	実質削減率	-	▲10.8%	4.0%	▲5.2%	16.7%
合計	燃料消費量（ℓ）	455,263	449,980	440,250	463,090	529,190
	実質削減率	-	▲1.8%	▲3.4%	▲3.2%	11.6%

２）室温制御行動の評価

ルームサーモにより各室単位で室温を任意に設定可能な講義棟において、2010 年と 2011 年の冷房運転期間（7 月）および暖房期間（1 月）の室温変動幅の比較を行った結果を図 3.11,図 3.12 に示す。

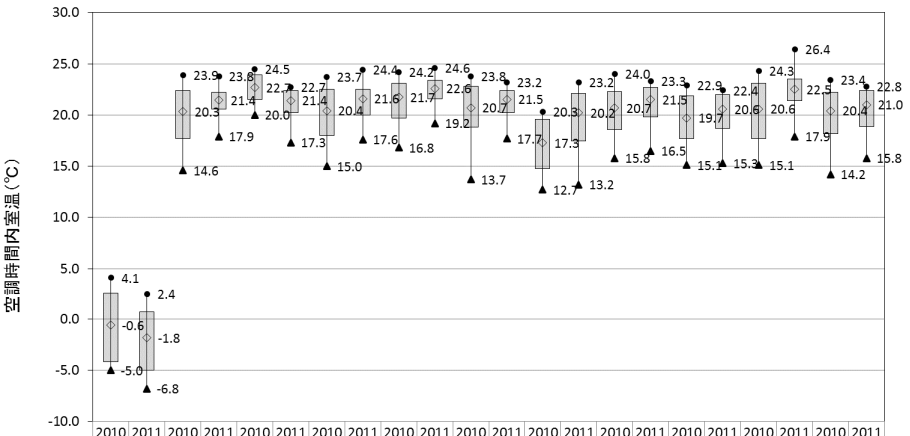
冷房期間における空調時間内の評価対象室の平均室温は、2010 年と 2011 年でそれぞれ 25.6℃から 25.4℃と低くなったが、空調稼働時間の 80%（上下 10%を除く）時間での室温変動幅は 1.7℃から 1.4℃となり、評価対象とした 10 室中、事務室 G407 室を除く 8 室で変動幅が小さくなった。また、暖房期間についても、平均室温は 2010 年と 2011 年で、20.5℃から 21.4℃に上昇したが、室温変動幅は 4.0℃から 2.6℃となり、評価対象全室で変動幅が小さくなった。

講義棟各室使用時間帯の室温設定は教員、学生が操作可能であり、設定の制限や初期設定への復帰機能は無いため、室使用時間帯の室温変動幅が小さくなったことは使用者の室温調整行動の効果と考えられる。



	2010 T_外気	2011 T_外気	2010 T_事務室	2011 T_事務室	2010 T_G104	2011 T_G104	2010 T_G202	2011 T_G202	2010 T_G203	2011 T_G203	2010 T_G207	2011 T_G207	2010 T_G303	2011 T_G303	2010 T_G307	2011 T_G307	2010 T_G402	2011 T_G402	2010 T_G403	2011 T_G403	2010 T_G407	2011 T_G407
◇平均室温	22.6	23.1	25.2	25.0	24.5	24.7	25.4	25.1	25.9	25.4	25.2	24.9	25.6	25.2	26.3	25.6	26.1	25.8	26.2	25.9	26.0	25.8
10%ﾀｲﾙ	21.2	20.8	24.3	24.1	23.8	24.4	24.7	24.5	24.9	24.9	24.5	24.4	24.8	24.6	25.7	25.1	25.4	25.1	25.1	24.9	25.4	25.1
●最高室温	27.2	27.6	27.1	27.2	25.6	25.9	27.0	26.7	27.4	26.9	26.9	26.2	27.0	26.5	28.0	27.0	27.7	27.2	28.5	28.6	27.3	27.6
▲最低室温	18.8	19.5	23.6	23.2	23.2	23.6	23.3	23.3	24.3	23.9	23.5	22.9	23.9	23.7	24.6	24.2	24.9	23.9	24.6	23.4	25.1	23.3
90%ﾀｲﾙ	24.2	25.5	26.1	25.9	25.2	25.3	26.4	25.6	26.9	26.2	26.0	25.5	26.3	25.8	27.3	26.1	27.2	26.5	27.8	27.2	26.8	26.8

図 3.11　冷房期間における室温の偏差



	2010 T_外気	2011 T_外気	2010 T_事務室	2011 T_事務室	2010 T_G104	2011 T_G104	2010 T_G202	2011 T_G202	2010 T_G203	2011 T_G203	2010 T_G207	2011 T_G207	2010 T_G303	2011 T_G303	2010 T_G307	2011 T_G307	2010 T_G402	2011 T_G402	2010 T_G403	2011 T_G403	2010 T_G407	2011 T_G407
◇平均室温	-0.6	-1.8	20.3	21.4	22.7	21.4	20.4	21.6	21.7	22.6	20.7	21.5	17.3	20.2	20.7	21.5	19.7	20.6	20.6	22.5	20.4	21.0
10%ﾀｲﾙ	-4.2	-5.0	17.7	20.6	21.5	20.2	18.0	20.0	19.7	21.6	18.8	20.2	14.8	17.5	18.6	19.8	17.7	18.7	17.7	21.4	18.2	18.9
●最高室温	4.1	2.4	23.9	23.8	24.5	22.7	23.7	24.4	24.2	24.6	23.8	23.2	20.3	23.2	24.0	23.3	22.9	22.4	24.3	26.4	23.4	22.8
▲最低室温	-5.0	-6.8	14.6	17.9	20.0	17.3	15.0	17.6	16.8	19.2	13.7	17.7	12.7	13.2	15.8	16.5	15.1	15.3	15.1	17.9	14.2	15.8
90%ﾀｲﾙ	2.5	0.7	22.4	22.2	23.9	22.4	22.5	22.5	23.1	23.4	22.8	22.4	19.6	22.1	22.3	22.7	21.9	22.0	23.1	23.5	22.2	22.4

図 3.12　暖房期間における室温の偏差

３）外気温度による熱源運転状況の評価

校舎棟と講義棟の熱源稼働時間の日平均内外温度差と日燃料消費量の関係を図 3.13 に示す。校舎棟、講義棟ともに、暖房期間では、年度の経過とともに両者の相関は上がり、負荷に応じた適正な熱源運転制御が行われていることを示している。

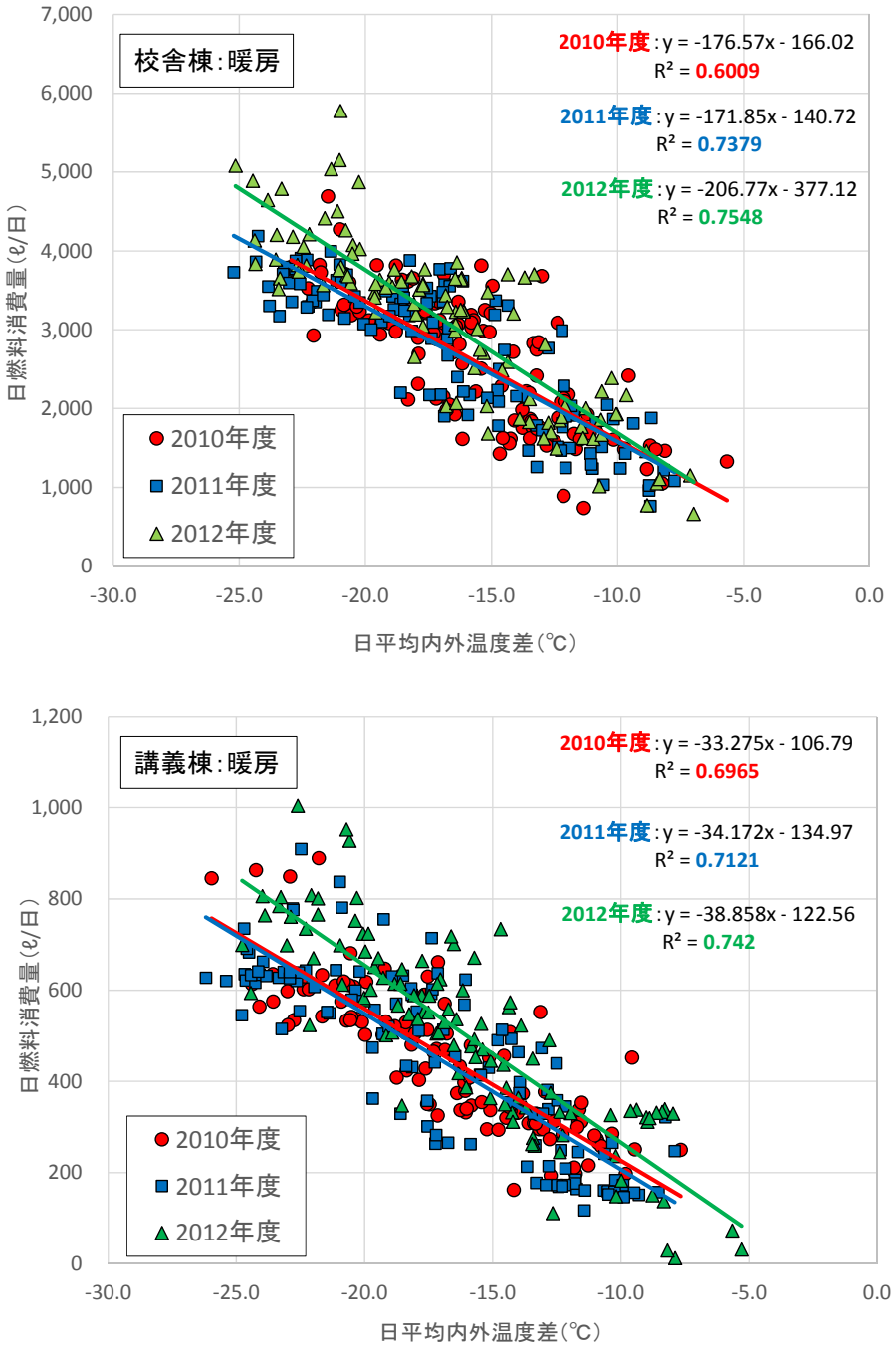


図 3.13　内外温度差と燃料消費量の相関
（上：校舎棟、下：講義棟）

2009～2012 年度の各年の月平均外気温度と同月の燃料消費量の関係を図 3.14 に示す。燃料消費量と外気温度の相関の低い月（図 3.14：※1,※2）は、11 月および 4 月の値であり、暖房開始および停止時期の運転方法に改善の余地があることを示している。

暖房期間における各年の月平均外気温度と、図 3.14 の近似式より求めた暖房用燃料消費量の算定値と実績値の比較を表 3.14 に示す。2011 年度の燃料消費量は 452.3kℓ と前年度より約 28kℓ 増加しているが、外気温度により補正した算定値 468.4kℓ の 96.6%であり、当該年度の燃料消費量の増加は、主暖房期間である 12 月～3 月にかけて外気温度が前年より低く推移したことが要因と考えられる。

2012 年度は、月平均外気温度が前年度並みに推移したにも関わらず 10%燃料消費量の増加がみられるが、本節（1)で述べた熱源運転管理方法の試験的な変更が原因である。

熱源が適切に管理されている場合、外気温度と燃料消費量の相関は高く、月平均外気温度からでも、熱源運転状況の実績評価および燃料消費量の予測が可能となることが示唆される。

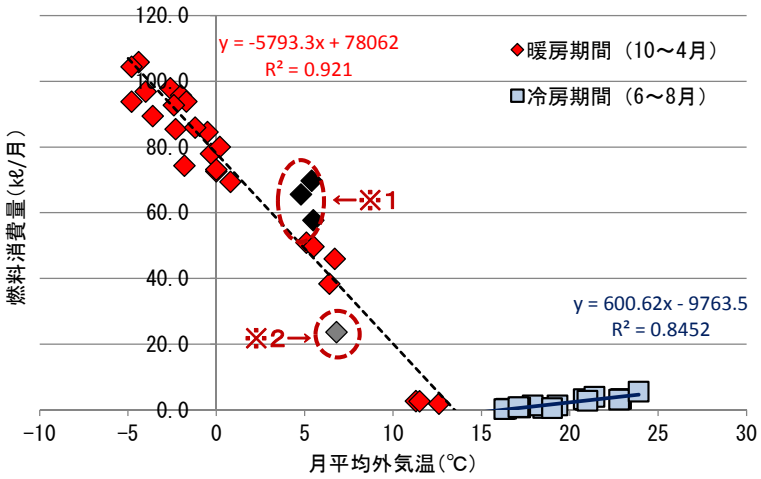


図 3.14　月平均外気温と燃料消費量の相関

表 3.14　月平均外気温により算定した燃料消費量と実績値

年度	2009年度			2010年度			2011年度			2012年度		
	月平均外気温（℃）	燃料消費量		月平均外気温（℃）	燃料消費量		月平均外気温（℃）	燃料消費量		月平均外気温（℃）	燃料消費量	
		算定値（kℓ）	実績値（kℓ）		算定値（kℓ）	実績値（kℓ）		算定値（kℓ）	実績値（kℓ）		算定値（kℓ）	実績値（kℓ）
4月	6.8	38.7	23.6	5.1	48.5	50.9	6.4	41.0	38.4	6.7	39.2	45.9
11月	4.8	50.3	65.6	5.5	46.2	49.7	5.5	46.2	57.7	5.4	46.8	69.7
12月	-1.2	85.0	85.9	0.2	76.9	80.1	-2.3	91.4	85.4	-2.6	93.1	97.9
1月	-2.0	89.6	95.7	-4.0	101.2	96.6	-4.8	105.9	104.4	-5.0	107.0	120.7
2月	-3.6	98.9	89.4	-1.8	88.5	74.3	-4.8	105.9	93.8	-4.4	103.6	105.8
3月	-0.5	81.0	84.6	0.0	78.1	73.1	0.0	78.1	72.6	-0.3	79.8	78.0
期間※	0.7	443.5	444.7	0.8	439.4	424.6	0.0	468.4	452.3	0.0	469.5	518.1
算定値に対する比率			0.3%			▲3.4%			▲3.4%			10.3%

(*)外気温は期間平均値、燃料消費量は、期間合計値を示す。

3.5 第三章のまとめ

本章で得られた知見を以下に示す。

1）BEMS 等のエネルギー管理機能を持たない既存施設群に対して、汎用の環境マネジメントツール、無線式のセンサー、既設の構内 LAN の利用などにより、施設機能（運用）を停止せずに導入可能な汎用性を担保した「見える化システム」を構築した。

2）調査によって、施設管理者では把握しにくい大学施設の各室の機器等の設置・管理実態を明らかにし、室用途別の電灯負荷原単位および省エネルギー対策項目を明らかにした。

3）「見える化システム」導入以降の消費エネルギー削減効果および削減の要因は以下である。

- システム導入以前の平均エネルギー消費量に対し、導入後 4 年で約 10%の年間一次エネルギー消費量の削減を果たした。
- 単位面積あたりの一次エネルギー消費量は 2012 年度実績で 867MJ/(㎡･年)となり、システムおよび一連の省エネ活動の有効性を実証した。
- エネルギー消費量削減の要因は、電力消費量の削減によるものであり、削減した電力は、電灯負荷分が約 80%、動力負荷分が約 20%であった。
- 電灯負荷の削減は、運用改善によるものであり、共用・管理部門（講義室を含む）で顕著であった。教員室･ゼミ室は、負荷の減少傾向のみられる室は約半数に留まり、管理･運用に改善の余地のあることが明らかとなった。
- 燃料消費量は、外気温度および運転管理状況による増減があり、一定の削減傾向は見られなかったが、内外温度差と燃料消費量の相関から、キャンパス施設全体で負荷に応じて適正な熱源運転制御が行われていることを検証した。また、外気温度と燃料消費量の相関から燃料消費量の予測と熱源運転状況の妥当性の評価が可能であることを示した。

【第三章の参考文献】

1) G8 大学サミット準備事務室：札幌サステイナビリティ宣言”,2008.7
http://sustain.oia.hokudai.ac.jp/ssd/english/ssd/index.html (参照 2019.1.7)

2) 環境・エネルギーマネジメントプラットフォーム TSC21
http:// www.serl.co.jp/ sc21/ english/ overview.html (参照 2019.1.15)

3) 日本サステナブル建築協会：非住宅建物の環境関連データベース 統計処理情報,2013.4,
http:// www.jsbc.or.jp/ decc_download/ notes.html (参照 2019.1.15)

第四章　双方向「見える化」インターフェースの開発

4.1 はじめに

前章で示した北海道科学大学への「見える化システム」導入後、キャンパス内全施設の年間エネルギー消費量は、2009 年以降、一次エネルギー換算で 2010 年度は約 6%、2011 年度は、約 10%のエネルギーの削減を達成した（第三章　図 3.5)。エネルギー消費量の削減は、照明・コンセントの単相負荷（以下「電灯負荷」）の削減による比重が大きく、「見える化システム」を活用した省エネルギー行動によるエネルギー消費量削減の実効性を実証した。

しかし、「見える化システム」導入後 3 年を経過した 2012 年度では、エネルギー消費量の減少傾向は鈍化した。既設の「見える化システム」は、教職員・学生ともに大学のホームページ上でデータを閲覧する方式であるが、システムのエンドユーザーにあたる教職員・学生に対するアンケート調査から、システムの認知度は向上しているが、利用頻度は経年的に低下していることが明らかとなった。これまでのエンドユーザーからのアクセスに依存する「受動的」なシステムでは、今後、利用度の大幅な向上や、省エネルギー効果の持続や向上を期待することは難しい。

「見える化システム」を施設の省エネルギー対策に有効活用するためには、従来の「見える」機能に加え、システムからエンドユーザーに対して、エネルギーの使用状況を「見せる」機能や有効な省エネルギー行動を提示する「能動的」な機能が求められる。

本章では、大学施設における持続的なエネルギー消費の削減手法を示すことを目的とし、既設「見える化システム」の運用データをもとに、削減可能なエネルギー消費量の推計手法を示し、削減効果の推計から省エネルギー対策項目を抽出し、施設運用モデルを構築する。さらに、既設「見える化システム」の運用で明らかとなった課題を解決するため、施設利用者や管理者に対して、双方向のユーザーインターフェース機能を持つ省エネルギー支援システム（以下「双方向システム」）の開発と評価を行う。

表 4.1 に示す「双方向システム」は、従来の「見える化システム」の機能に、施設利用者に対して有効な省エネルギー行動を促すガイダンスメッセージを発信する機能を加え、施設管理者に

対しては、室内外温度などの環境条件・施設利用状況・設備機器運転状況、利用者の温冷感などの主観的なユーザー情報を発信し、適切な設備の運転管理を支援する機能を有するものである。

本章で示すエネルギー消費の削減効果の推計手法は、他用途の施設へも展開が可能であり、施設運用・設備運転管理の支援を行うシステムの開発は、既存施設における省エネルギー・低炭素化に資するものと考える。

表 4.1　「見える化システム」と「双方向システム」の比較

項目	「見える化システム」	「双方向システム」
概要・機能	・一方向の「モニタリングツール」 ※主に電力量や温度等のグラフ表示やデータ取得が目的のため、データを活用できるかは管理者による	・双方向の「省エネアシストツール」 ※建築施設の省エネ利用に関して、関係者への省エネ支援および情報共有が可能
運転管理	・管理者のスキル	・設備ごとの「省エネ運転ポイント」表示や通知機能 ・設備運転管理者をアシスト
運用改善	・管理者のスキル ・利用者の意識・行動	・適性かつ効率的な施設運用と省エネ活動支援機能 ・省エネモデル化された温度や照度、施設利用予約などを関係者に通知して、施設の省エネ利用をサポート
維持管理	・主に、紙媒体による履歴管理 ・実施予定表の作成、定期点検による	・保守履歴の入力・データ管理機能 ・実施予定などの通知機能 ・複数事業者参画のサポート機能とサービスの提供

4.2 エネルギー消費削減可能量の推計

4.2.1 対象施設の概要

エネルギー消費削減可能量を推計するにあたっては、第三章で示した北海道科学大学キャンパス施設群の中で、独立した冷暖房熱源を持つ、「講義棟」（図 3.1、表 3.1-No12）を対象施設として選定した。「講義棟」の室用途別面積を表 4.2、主要空調機器を表 4.3 に示す。空調用冷温熱源は、A 重油を燃料とする冷温水発生機（冷暖房用熱源）と真空温水器（暖房用熱源）の併用である。「講義棟」熱源設備の運転状況については、前章で、内外温度差と燃料消費量との相関から、暖冷房負荷に応じて熱源設備が、適切に運転管理されていることを検証している。

「見える化システム」導入以降のキャンパス全施設のエネルギー消費量を図 4.1 に、「講義棟」単体の年間一次エネルギー消費量の推移を図 4.2 に示す。キャンパス全施設ではエネルギー削減効果がみられたが、「講義棟」単体では、電灯負荷に漸減の傾向はみられるものの、顕著な削減効果は見られていない。

表 4.2　「講義棟」室用途別面積

室名	室数	階	面積（㎡）	備考
講義室	29	1～4	4,533	
ロッカー室	12	1～4	322	学生用
事務室等	8	1	352	
倉庫・物品庫	2	1	80	
ﾎｰﾙ・廊下・WC		1～4	3,971	
機械室	1	1	138	
計			9,396	

表 4.3　「講義棟」主要機器表

機器名称	台数	能力	動力
冷温水発生機	2	527/465kW(C/H)	5.0kW
冷温水一次ポンプ	2	1010ℓ/m×196kPa	7.5kW
冷却塔	1	1055kW（300RT)	5.5kW
冷却水ポンプ	1	2500ℓ/m×294kPa	22.0kW
真空温水器	1	756kW	4.0kW
温水一次ポンプ	1	1500ℓ/m×147kPa	7.5kW

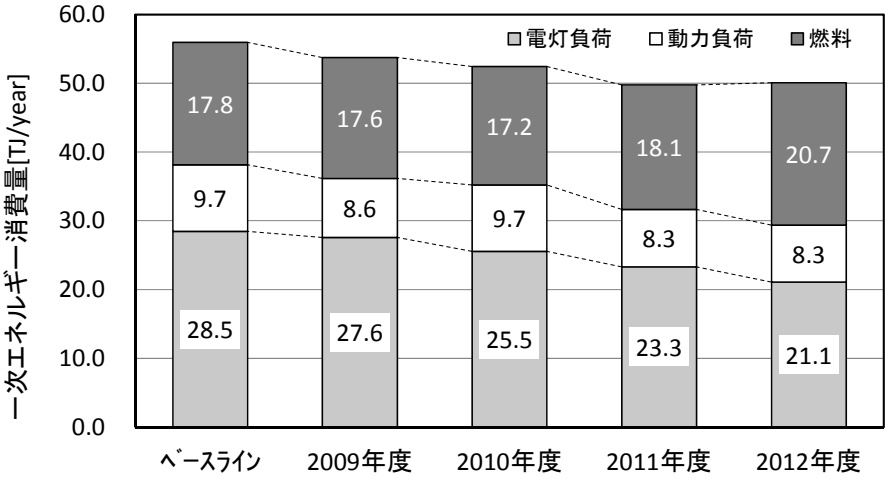


図 4.1　一次エネルギー消費量（全施設）

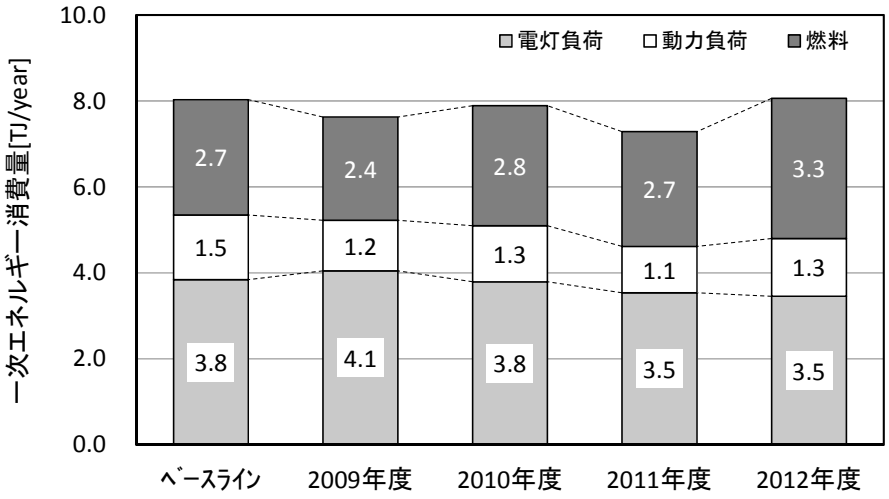


図 4.2　一次エネルギー消費量（講義棟）

「講義棟」内の講義室の照明・換気設備を表 4.4 に示す。照明器具は、天井埋込下面開放型蛍光灯（灯具 FHF32)、換気機器は、各室毎に複数台設置された全熱交換型換気扇である。いずれも各講義室内のスイッチにより、教員もしくは学生が任意に操作可能であることから、施設利用者の省エネルギー行動によるエネルギー消費の削減が見込まれる。

表 4.4　講義室照明・換気設備

No	階	室番	面積	定員	照明設備			換気設備				
					照明器具	器具台数	消費電力量	設計風量	機器台数	消費電力	換気風量	消費電力
			m2	人/室	W/台	台/室	Wh/室	m3/h/台	台/室	W/台	m3/h/室	Wh/室
1	1	G101	146	96	45	76	3,420	670	3	325	2,010	975
2	1	G102	147	96	45	76	3,420	670	3	325	2,010	975
3	1	G103	218	160	45	133	5,985	870	4	435	3,480	1,740
4	1	G104	215	187	45	133	5,985	870	4	435	3,480	1,740
5	1	G108	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
6	2	G201	146	96	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
7	2	G202	147	96	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
8	2	G203	218	160	45	97	4,365	870	4	435	3,480	1,740
9	2	G204	215	187	45	97	4,365	870	4	435	3,480	1,740
10	2	G205	142	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
11	2	G206	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
12	2	G207	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
13	2	G209	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
14	3	G301	146	96	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
15	3	G303	218	160	45	97	4,365	870	4	435	3,480	1,740
16	3	G304	215	187	45	97	4,365	870	4	435	3,480	1,740
17	3	G305	142	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
18	3	G306	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
19	3	G307	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
20	3	G308	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
21	3	G309	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
22	4	G401	146	96	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
23	4	G402	146	96	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
24	4	G403	127	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
25	4	G404	140	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
26	4	G405	142	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
27	4	G406	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
28	4	G407	137	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
29	4	G408	141	84	45	70	3,150	670	3	325	2,010	975
計			4,533	3,057		2,276	102,420		93		67,110	32,865

4.2.2 照明負荷の削減可能量の推計

照明負荷の削減可能量は、消灯可能な時間帯の電力消費量から推計した。2013 年度の開講期間（年間 30 週）の全ての日について、各講義室の毎時電力消費量実測値と講義予定表、室使用記録から、講義室単位で消灯可能な時間帯の電力消費量を集計した。表 4.5 に一日単位の算出例を示す。講義室が開錠される 7：00 から 20：00 までの時間帯において、黒字の時間帯は、各室の講義使用時間であり、赤字の時間帯は消灯可能な時間帯である。各講義室について、毎時電力消費量（A）、日電力消費量（B=ΣA）、消灯可能な時間帯の電力量（C）、削減可能な電力量比率（D＝C/B）を求めた。

上記の手法によって推計した、2013 年度の照明負荷分の削減可能な年間電力量を表 4.6（E1）に示す。表中の用途別電力消費量（a1～a3）は当該年度の実績値である。

講義棟の推計削減可能電力量は 20,150kWh/年となり、年間電力消費量の 4.1%を占める。

表 4.5　照明負荷削減可能量の算出表

2013/4/15（月）	時刻	室　番								計
		G201	G202	G203	G204	G205	G206	G207	G209	
A:時間帯別消費電力量 (kWh)	7:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	8:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4
	9:00	0.3	0.1	2.0	0.2	0.3	1.3	1.3	0.2	5.7
	10:00	1.2	1.4	2.4	1.0	0.2	2.4	1.8	2.5	12.9
	11:00	1.2	1.4	2.1	2.4	1.5	2.1	1.7	2.4	14.8
	12:00	1.5	1.6	1.8	2.4	1.2	2.2	1.8	2.5	15.0
	13:00	0.5	1.8	1.9	2.4	1.8	2.4	1.7	2.4	14.9
	14:00	1.2	1.8	1.3	2.4	1.2	1.5	1.7	2.5	13.6
	15:00	1.3	1.8	2.4	2.9	1.3	1.9	1.5	1.8	14.9
	16:00	1.8	1.8	0.8	2.9	1.6	3.0	1.1	2.4	15.4
	17:00	0.6	0.6	2.0	1.5	1.3	2.6	0.0	1.3	9.9
	18:00	0.0	0.6	2.4	1.6	0.4	1.9	0.0	0.0	6.9
	19:00	0.0	1.1	0.2	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	2.5
	20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5
B:日電力消費量 (kWh)		9.6	14.0	19.3	19.7	10.8	23.0	13.0	18.0	127.4
C:非使用時電力消費量 (kWh)		2.3	5.9	0.2	3.1	2.9	6.6	3.8	5.5	30.3
D:削減可能率 %		24%	42%	1%	16%	27%	29%	29%	31%	24%

4.2.3 換気負荷の削減可能量の推計

講義室照明が点灯放置されている時間帯は、換気設備も稼働したままと仮定し、前節と同様の方法を用いて、換気負荷の削減可能量を推計した。換気（外気）負荷に相当する削減可能な燃料消費量は、各室毎に時刻毎の、外気と室内空気のエンタルピー差に換気風量を乗じて算出した。換気用全熱交換器のエンタルピー交換効率は 65%（カタログスペック）とした。削減可能な換気負荷相当分の燃料消費量は、A 重油燃料発熱量 39.1MJ/ℓ、施設の熱源システムの総合効率 75%として算出した。

表 4.6（E2)に削減可能な全熱交換型換気扇分の年間電力量、表 4.7 に削減可能な年間燃料消費量を示す。

削減可能な換気負荷相当分の年間燃料消費量は、2,121ℓ/年であり、講義棟年間燃料消費量の 2.4%、削減可能な年間電力量は、14,661kWh/年であり、講義棟年間電力消費量の 3.0%となった。

4.2.4 調光設備の利用による電力削減可能量の推計

講義室照明には、昼光センサーを用いた自動調光設備を設置している。講義室の机上面照度は、昼光の無い時間帯（夜間）において定格消費電力の 80%で確保されるため、照明用電力消費量が、定格消費電力の 80%以上となった場合は、調光機能を使用していないと考えられる。講義時間帯における調光設備の適切な使用による削減可能な電力量（表 4.6（E3））は、2,481kWh/年となり、講義棟年間電力消費量の 0.5%となった。

4.2.2～4.2.4 より、「講義棟」の削減可能なエネルギー消費量は、2013 年度の実績値に対して、年間消費電力消費量の 7.5%（照明電力分 4.1%＋換気動力分 3.0%＋調光分 0.5%）、換気負荷の削減による削減可能な年間燃料消費量は 2.4%と推計され、利用者の省エネルギー行動によるエネルギー消費量の削減の可能性を示唆している。

表 4.6　年間削減可能電力量（照明・換気・調光設備）

No	負荷区分	単位	年間 電力消費量	計算式
A	全電力負荷	kWh/年	496,421	A=a1+a2+a3
a1	動力負荷	kWh/年	133,452	
a2	コンセント負荷	kWh/年	53,309	
a3	照明負荷	kWh/年	309,661	
E1	照明負荷削減可能量	kWh/年	20,150	E1/A=4.1%
E2	換気負荷削減可能量	kWh/年	14,661	E2/A=3.0%
E3	調光設備利用による削減可能量	kWh/年	2,481	E3/A=0.5%
ΣE	削減可能量　計	kWh/年	37,292	（E1+E2+E3）/A=7.5%

表 4.7　年間削減可能燃料消費量（換気設備）

No	負荷区分	単位	燃料消費量 熱量	計算式
a	燃料消費量	ℓ/年	86,932	
b	生産熱量	MJ/年	2,549,281	
c	削減可能熱量	MJ/年	62,201	c/b=2.4%

4.2 施設運用モデルの構築

「双方向システム」の導入対象施設とした「講義棟」の省エネルギー対策項目を抽出するため、既設の「見える化システム」で収集したデータおよび既往の管理日月報などの運転管理記録の分析、施設管理者へのヒアリング等を行い、施設運用のモデル化を行った。

モデル化にあたって、情報の受発信者（ユーザー)、操作対象とする室・設備種目、操作対象機器を以下①～③に区分した。

①対象者：教職員・学生・施設管理者

②対象室（設備）：講義室・熱源設備・電力設備

③対象機器：照明器具・調光設備・冷暖房機器・換気機器・熱源機器・空調機、床暖房設備

さらに、対象室や設備ごとに、使用（運用）状況から、主要用途室である講義室の「照明・換気・調光・冷暖房」設備、全館の「熱源設備・外調設備・アトリウム暖房設備」および「電力設備」について、相互の関係と情報の発信の要否を判定するデータ項目、判定間隔、操作内容をまとめたものを「ユースケース」として区分した。

講義室を対象とした[ユースケース 1-1～1-4]は教職員・学生へ、共用部および全館を対象とした[ユースケース 2-1～2-3]、[ユースケース 3]は施設管理者に対して情報発信を行うものとする。

情報発信の要否判定に必要なデータ(以下、「判定データ」)、および情報発信の要否判定基準(閾値)（以下「判定基準値」）として用いるデータを以下に示す。また、講義室のユースケース分析シートを表 4.8 に示す。

[共通データ]（全ユースケースに共通して必要なデータ）

・講義棟（講義室）使用スケジュール

（開放教室・自習室の使用スケジュールを含む。）

[ユースケース：1-1~1-3]：講義室設備（照明・換気・調光設備）

・判定データ：照明電力消費量

・判定基準値：照明電力量基準値(全点灯時・調光時)

[ユースケース：1-4]：講義室設備（冷暖房設備）

・判定データ：室内温度、利用者温冷感申告

・判定基準値：室内温度基準値、利用者温冷感申告（比率）

[ユースケース：2-1]：熱源設備

・判定データ：外気温度、熱源運転状態、熱源製造熱量、利用者温冷感申告

・判定基準値：外気温度基準値、熱源製造熱量基準値、利用者温冷感（比率）

[ユースケース：2-2]：外調設備

・判定データ：共用部温湿度、外調機運転状態

・判定基準値：共用部温湿度基準値

[ユースケース：2-3]：暖房設備（アトリウム床暖房・FCU：冬期）

・判定データ：アトリウム温度、FCU 運転状態

・判定基準値：アトリウム温度基準値

[ユースケース：3]：電力設備

・判定データ：講義棟全電力消費量

・判定基準値：講義棟電力消費量基準値

前記のモデル化にあたっての対象区分（①～③）と「ユースケース 1-1～3」の対応を表 4.8 に、講義室のユースケース分析シートを表 4.9 に示す。

表 4.8　モデル対象区分とユースケースの対応

ユースケース	①対象者	②対象室	③対象機器	判定データ・基準値
1-1	教職員 学生	講義室	照明	電力消費量（各室）
1-2			換気	〃
1-3			調光	〃
1-4			冷暖房	室内温度（各室）
				利用者温冷感申告
2-1	施設 管理者	全館	熱源	外気温度
				熱源運転状態
				熱源製造熱量
				利用者温冷感申告
2-2		共用部	外調	共用部温湿度
				外調機運転状態
2-3		アトリウム	暖房	アトリウム温度
				FCU運転状態
3		全館	電力	全電力消費量

表 4.9　ユースケース分析シート（講義室/照明・換気設備）

<table>
<tr><th>No.</th><th>項目</th><th>内容</th></tr>
<tr><td>1</td><td>対象室/対象設備</td><td>講義室/照明設備・換気設備</td></tr>
<tr><td>2</td><td>ユースケース</td><td>講義時間</td></tr>
<tr><td>3</td><td>操作対象設備
操作（設定）項目</td><td>L：照明設備　：ON/OFF
V：換気設備　：H/M/L/OFF　（熱交換換気扇）
D：調光設備　：ON/OFF
F：冷暖房設備：設定温度　（ファンコイルユニット）
B：ブラインド：開・閉・スラット調節</td></tr>
<tr><td>4</td><td>管理ポイント
管理データ</td><td>照明電力量
室内温度・湿度</td></tr>
<tr><td>5</td><td>運転・運用操作
運転スケジュール</td><td>
<table>
<tr><th>時刻</th><th>室使用状況</th><th colspan="5">管理項目</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>L</td><td>V</td><td>D</td><td>F</td><td>B</td></tr>
<tr><td>7:00</td><td>開錠</td><td></td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9:00</td><td>講義時間</td><td>✓</td><td></td><td>✓</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10:30</td><td>↓</td><td></td><td></td><td>✓</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>12:00</td><td>昼休み</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td>13:00</td><td>講義時間</td><td>✓</td><td></td><td>✓</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>14:30</td><td>↓</td><td></td><td></td><td>✓</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>16:00</td><td>↓</td><td></td><td></td><td>✓</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>17:30</td><td>↓</td><td></td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td></td><td>（時間外使用）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>20:00</td><td>施錠</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
</table>
″✓″：運転（設定）状況確認
</td></tr>
<tr><td>6</td><td>省エネポイント</td><td>・非使用時の照明の消灯
・熱交換換気扇の効果的な利用（在室人員による）
・調光設備の利用
・ブラインドの効果的な利用（季節・天候による）
・設定温度の確認</td></tr>
<tr><td>7</td><td>ガイダンス内容</td><td>ガイダンス発報対象：教員・学生
ガイダンス（例）
「照明を消灯してください」
「換気扇を停止してください」
「調光設備を離床してください」
「ブラインドの使用状況を確認してください」
「設定温度を確認してください」
「（冷房時/暖房時）の標準的な室温は、＃＃℃です」</td></tr>
<tr><td>8</td><td>ガイダンス
送信頻度（時刻）</td><td>3回/日（9：00,12：10,13：00）</td></tr>
</table>

4.3 双方向ユーザーインターフェースの開発

4.3.1 システムの構成

「双方向システム」は、従来の「見える化システム」の有するデータ閲覧機能に加えて、システムとユーザー間の双方向インターフェースを有するものとして開発した。

「双方向システム」は、室内外温湿度、機器の運転状況、エネルギー消費量等の計測一次データおよび演算によって導出した二次データに加え、ユーザーの温冷感情報を受信し、教職員・学生に対しては、省エネルギー行動のガイダンスメッセージを、施設管理者へは設備運転の補助となる情報を発信する。

「双方向システム」のインターフェースシステムの構成を図 4.3 に、表示画面例を図 4.4 に示す。

本システムは、ハードウェアとして、インターフェースサーバー、メールサーバー、各種センサー、データロガーから構成しており、施設利用者（教職員・学生）や設備運転管理者の操作性を考慮し端末のインターフェースは、スマートフォン、ユーザーPC とした。

また、一般の施設利用者に常時情報公開を行うため、ユーザーPC 画面と同じ内容を表示し、任意に画面操作の可能なインタラクティブディスプレイをパブリックスペースに配置した。

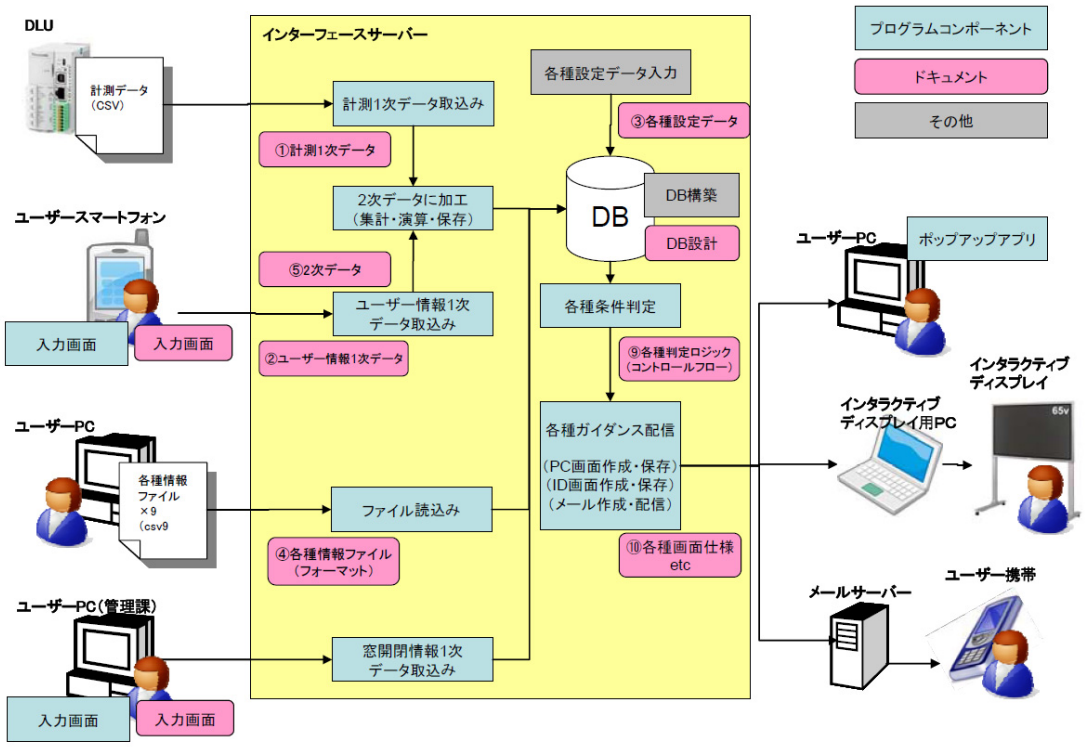


図 4.3　双方向インターフェースシステムの構成

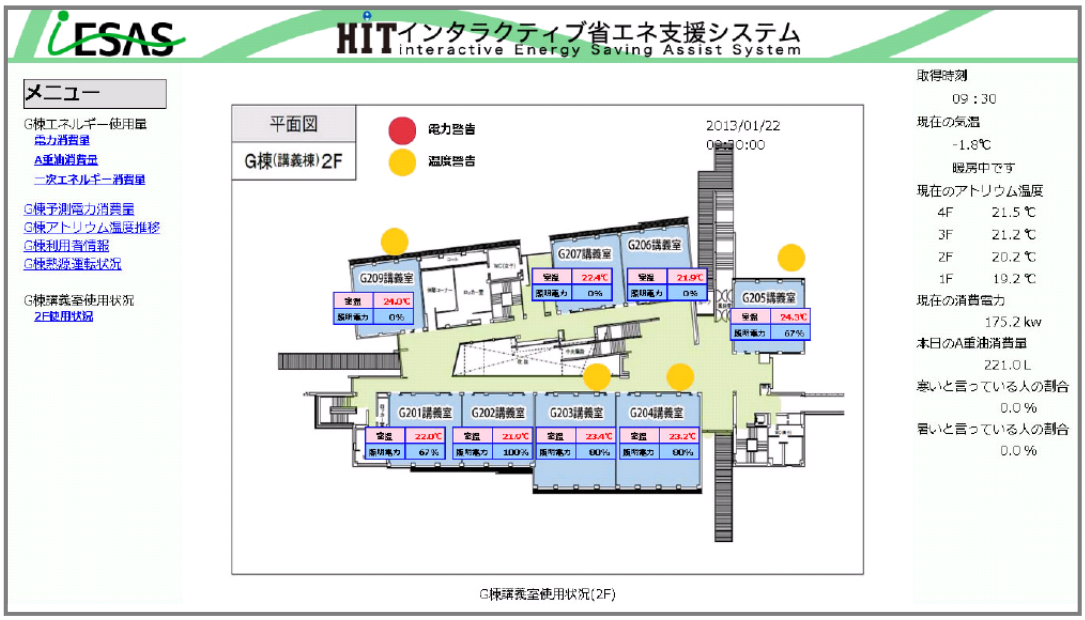


図 4.4　システム画面表示

各機能概要と動作仕様を以下 1）～6）に示す。なお本システムの各種判定プログラムはスクリプト記述としており、参照する判定基準値などが明示され、改良・変更が容易なものとしている。

1）計測データ収集機能

2）データ処理・集計機能

3）端末別画面表示機能

①グラフ・表の表示：電力消費量、重油消費量、一次エネルギー消費量、予測電力消費量、アトリウム温度、ユーザー温冷感申告比率、熱源運転状況、講義室利用状況等

②オブジェクト情報の表示：省エネルギー活動に関連したトレンド情報

③ユーザーコメント表示：ユーザーからのコメント情報

4）ポップアップ通知機能：新着ガイダンスの通知

5）各種条件判定機能

計測データのデータ処理値とユーザー情報設定ファイルの値を照合し、Web サーバー側のプログラムで条件判定を行い、ポップアップメニューの表示とガイダンスを配信する。設定ファイルにより、判定条件を変更することを可能とする。

各種条件判定処理の設定や判定基準値はユーザー情報設定ファイルに CSV ファイルで記述する。

6）端末情報入力機能（主観評価の取込み）

ユーザー登録された施設（講義棟）利用者が携帯端末等で入力した、「暑い」「寒い」などの主観的な温冷感申告や、省エネルギーや環境に関するコメントを、ユーザーPC やインタラクティブディスプレイに表示する。また、温冷感情報（申告数）は、データベースに取り込み、各種条件判定に利用する。

4.3.2 計測データの構成と二次データの生成

「双方向システム」の運用に必要な計測（一次）データは、以下に区分される。

①計測一次データ：データロガー経由の計測データ

②ユーザー情報一次データ：ユーザーのスマートフォンから送信されるデータ

③各種設定データ：固定値および基準値として設定されたデータ

④各種情報ファイル：スケジュールその他の設定を格納したファイル（ユーザーがファイル内容を修正・保存することで設定変更が可能）

上記データの名称、データ種別、計測間隔等を表 4.10 に示す。

③、④に示す基準値（判定閾値）ユーザー情報、施設使用スケジュール等の設定は、CSV データとして格納されており、システム稼働後に状況によって容易に設定の変更を可能としている。

表 4.10　計測ポイント一次データ

No	データ区分	ポイント名称	ポイント説明	区分・系統	種別	単位	間隔
①	計測一次データ （計測データとしてデータロガー経由で取得）	G###_DBrm	講義室室温	講義室毎	温度	℃	10分
		Gatrium#_DBrm	アトリウム温度	各階毎	温度	℃	10分
		G_Bh_TWin	真空温水器水温	往・返	温度	℃	10分
		G_GAR#_TWin	冷温水発生機#号機入口水温	往・返	温度	℃	10分
		DBO	外気温度		温度	℃	10分
		RHO	外気湿度		湿度	%	10分
		G_Bh_GGO	真空温水器A重油消費量		油量	L	2分
		G_GAR#_GGO	冷温水発生機#号A重油消費量	機器毎	油量	L	2分
		G###_L_PPE	講義室電灯電力量	講義室毎	電力	kWh	10分
		G_Bh_PPE	真空温水器電力量		電力	kWh	10分
		G_L1_PPE	電灯回路電力量	系統毎	電力	kWh	10分
		G_P_PPE	動力回路電力量		電力	kWh	10分
		G_BUIL_PPE	全電力量		電力	kWh	2分
		G_P1h_PPE	熱源温水1次ポンプ電力量		電力	kWh	10分
		G_P1ch#_PPE	冷温水1次ポンプNo#電力量	機器毎	電力	kWh	10分
②	ユーザー情報一次データ（ユーザースマートフォンから受信）	G_iHOT	ユーザー温冷感（暑い）	暑い:1	人数	人	－
		G_iCOLD	ユーザー温冷感（寒い）	寒い:1	人数	人	－
		UserComment	ユーザー入力（フリーコメント）	テキスト	－	－	－
③	各種設定データ （管理者で設定） （変更可能）	G_USER	ユーザー登録数		人数	人	－
		G_sPPE_h	30分間の基準電力消費量1（=警報）		電力	kWh	－
		G_sPPE_l	30分間の基準電力消費量2（=注意報）		電力	kWh	－
		G_sPPE_h_10min	基準電力消費量ライン用10分（or40分）値		電力	kWh	－
		G_GAR#_GW	冷温水発生機#号機流量	機器毎	流量	L/min	－
		G_Bh_GW	真空温水器流量		流量	L/min	－
		G###_sDBrm_h	室温上限警報基準値	講義室共通	温度	℃	－
		G###_L_sPE_h	電灯電力上限警報基準値	講義室ﾀｲﾌﾟ毎	電力	kW	－
		G###_L_sPEunuse	電灯電力未使用基準値	講義室ﾀｲﾌﾟ毎	電力	kW	－
		G###_L_sPE_h	電灯電力全点灯基準値	講義室ﾀｲﾌﾟ毎	電力	kW	－
		G###_L_sPE_l	電灯電力調光Max基準基準値	講義室ﾀｲﾌﾟ毎	電力	kW	－
④	各種情報ファイル	spuser.csv	ユーザー登録用ファイル				
		ctrlnotify.csv	通知先情報ファイル				
		g_conf1.csv～g_conf4.csv	判定条件格納ファイル				
		g_guidance.csv	通知ガイダンス格納ファイル				
		g_demand.csv	デマンド判定用ファイル（グラフ用）				
		g_g1e_desire.csv	1次エネルギー月別目標値格納ファイル				
		g_ga_desire.csv	A重油消費量月別目標値格納ファイル				
		g_ge_desire.csv	電力消費量月別目標値格納ファイル				
		G_Unused.csv	休日指定ファイル				
		g_use_room.csv	講義室スケジュールファイル				
		g_openroom.csv	開放教室指定ファイル				
		g_time_schedule.csv	時間割ファイル（講義時間割表示用）				
		g_cancellation_of_lecture.csv	休講情報入力ファイル				
		g_room_alert.csv	講義室アラート判定用ファイル				
		G_Manual.pdf	ユーザーマニュアル				

表 4.9 で得た一次データをもとに、二次データの生成を行う。二次データは、表 4.11 に区分される。

⑤システムの表示更新間隔(10 分)に合わせて、①～④のデータを用いて演算処理を行って得られるデータ（計測間隔の異なる一次データを平均もしくは積算して得られるもの）

⑥演算処理を行い生成するもの（日月報を含む)。これらのデータは、情報発信時の条件判断にも使用する。

表 4.11　計測ポイント二次データ

No	データ区分	ポイント名称	ポイント説明	計算式
⑤	一次データ利用	10minデータ	表4.10 ①～③一次データを使用	
⑥	自動計算項目（10min）			
		G_GAR#_iSWC	冷温水発生機#号機運転状態	IF(G_P1ch1_PPE>1,1,0)
		G_Bh_iSWC	真空温水器運転状態	IF(G_Bh_PPE>1,1,0)
		G_HEATING_iSWC	熱源運転状態	IF(OR(G_GAR1_iSWC=1,G_GAR2_iSWC=1,G_Bh_iSWC=1),1,0)
		G_PE	消費電力	G_PPE*(60/10)
		G_HOTcount	暑いと言っている人の数	Σ(G_HOT)
		G_COLDcount	寒いと言っている人の数	Σ(G_COLD)
		G_L_PPE	全体電灯回路電力消費量	G_L1_PPE+G_L2_PPE
		G_PPE	全体電力消費量	IF(OR(G_P_PPE=0,G_L_PPE=0),G_BUIL_PPE,G_P_PPE+G_L_PPE)
		G_GGO	A重油消費量	G_GAR1_GGO+G_GAR2_GGO+G_Bh_GGO
		G_pePPE	(電力)一次エネルギー消費量	G_PPE*9.76
		G_peGGO	(A重油)一次エネルギー消費量	G_GGO*39.1
		G_pe	一次エネルギー消費量	G_pePPE+G_peGGO
		G_PPEpredict	30分間の予測電力消費量	IF(OR(毎時0分,毎時30分),0,IF(OR(毎時10分,毎時40分),G_PPE*3,{(10分前のG_PPE)+(G_PPE*2)}))
		G_HOTpercentage	暑いと言っている人の割合	G_HOTcount/G_USER*100　←整数
		G_COLDpercentage	寒いと言っている人の割合	G_COLDcount/G_USER*100　←整数
		G_COMFORTpercentage	ちょうど良いと感じている人の割合	100-(G_HOTpercentage+G_COLDpercentage)
		G_GAR#_QQW	冷温水発生機#号機製造熱量	(G_GAR1_TWout-G_GAR1_TWin)*G_GAR1_GW*10*4.187/1000
		G_Bh_QQW	真空温水器製造熱量	(G_Bh_TWout-G_Bh_TWin)*G_Bh_GW*10*4.187/1000
		G_QQW	熱源製造熱量	G_GAR1_QQW+G_GAR2_QQW+G_Bh_QQW
		G_QW	熱源製造熱量(瞬時)	G_QQW*6/1000
		G###_L_PE	講義室電灯電力	G###_L_PPE*(60/10)
	日データ	G_GGO	A重油消費量　※当日の消費量、インターバル毎に積算	-
		G_HOTpercentage	暑いと言っている人の割合	-
		G_COLDpercentage	寒いと言っている人の割合	-
		G_COMFORTpercentage	ちょうど良いと感じている人の割合	-
	月データ	G_PPElastyear	昨年の電力消費量	1年前のG_BUIL_PPE
		G_P_PPE	動力回路電力量	-
		G_L_PPE	電灯回路電力量	-
		G_PPEtarget	電力消費量目標値	G_PPElastyear*0.93
		G_GGOlastyear	昨年のA重油消費量	1年前のG_GGO
		G_GGO	A重油消費量	-
		G_GGOtarget	A重油消費量目標値	G_GGOlastyear*0.93
		G_pePPElastyear	昨年の(電力)一次エネルギー消費量	1年前のG_pePPE
		G_peGGOlastyear	昨年の(A重油)一次エネルギー消費量	1年前のG_peGGO
		G_pePPE	(電力)一次エネルギー消費量	-
		G_peGGO	(A重油)一次エネルギー消費量	-
		G_pe_lastyear	昨年の一次エネルギー消費量	1年前のG_pe
		G_pe_target	一次エネルギー消費量目標値	G_pe_lastyear*0.93

4.3.2　情報発信フロー

前章のユースケースの分析をもとに、熱源設備・アトリウム FCU(暖房)設備・電力設備・講義室設備ガイダンス発信のための「情報発信フロー」を作成した。各設備の「情報発信フロー」および施設管理情報を提供する表示内容を以下に示す。

1）熱源設備情報発信フロー

施設管理者を対象とした熱源設備稼働状況のディスプレイ表示と使用データを図 4.5 に、暖房期および冷房期の熱源設備の運用に関する「情報発信フロー」を図 4.6、図 4.7 に示す。

暖房期・冷房期いずれも、対象施設（講義棟）の使用スケジュールと熱源機器（BH,RH）の運転状態を取得後、計測データである外気温度（DBO)に加えて、利用者の温冷感申告を判定基準として必要なガイダンスメッセージをメール配信する。判定基準としている外気温度、熱源製造熱量は、既往の施設運転管理記録から設定した。

温冷感申告は施設利用者（学生）スマートフォンからの申告（比率）による。これらの判定基準値は、運用実態に応じて、設定の変更を可能としている。

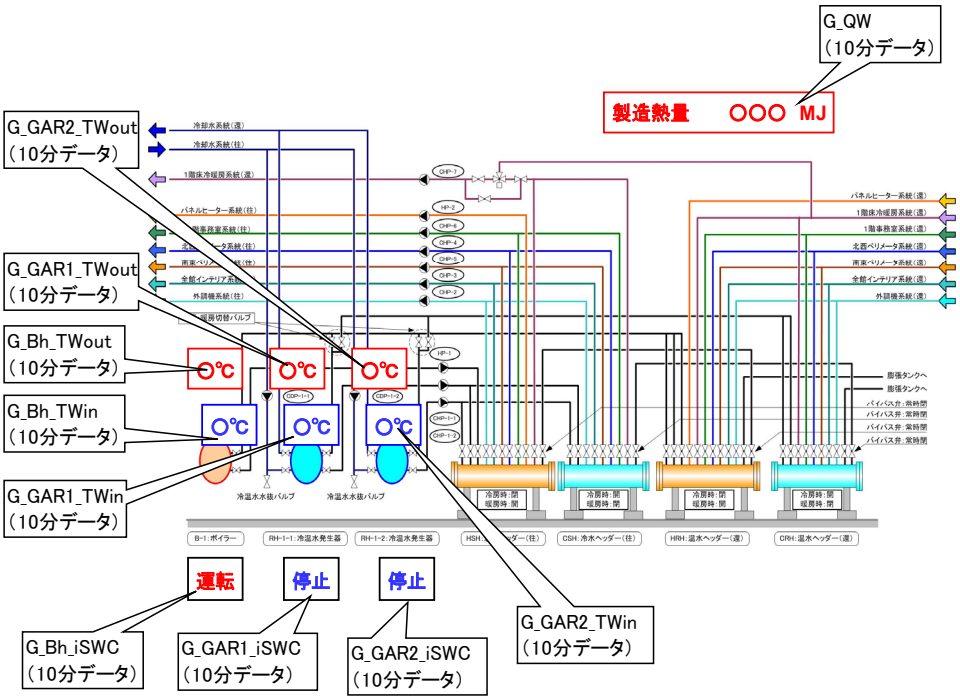


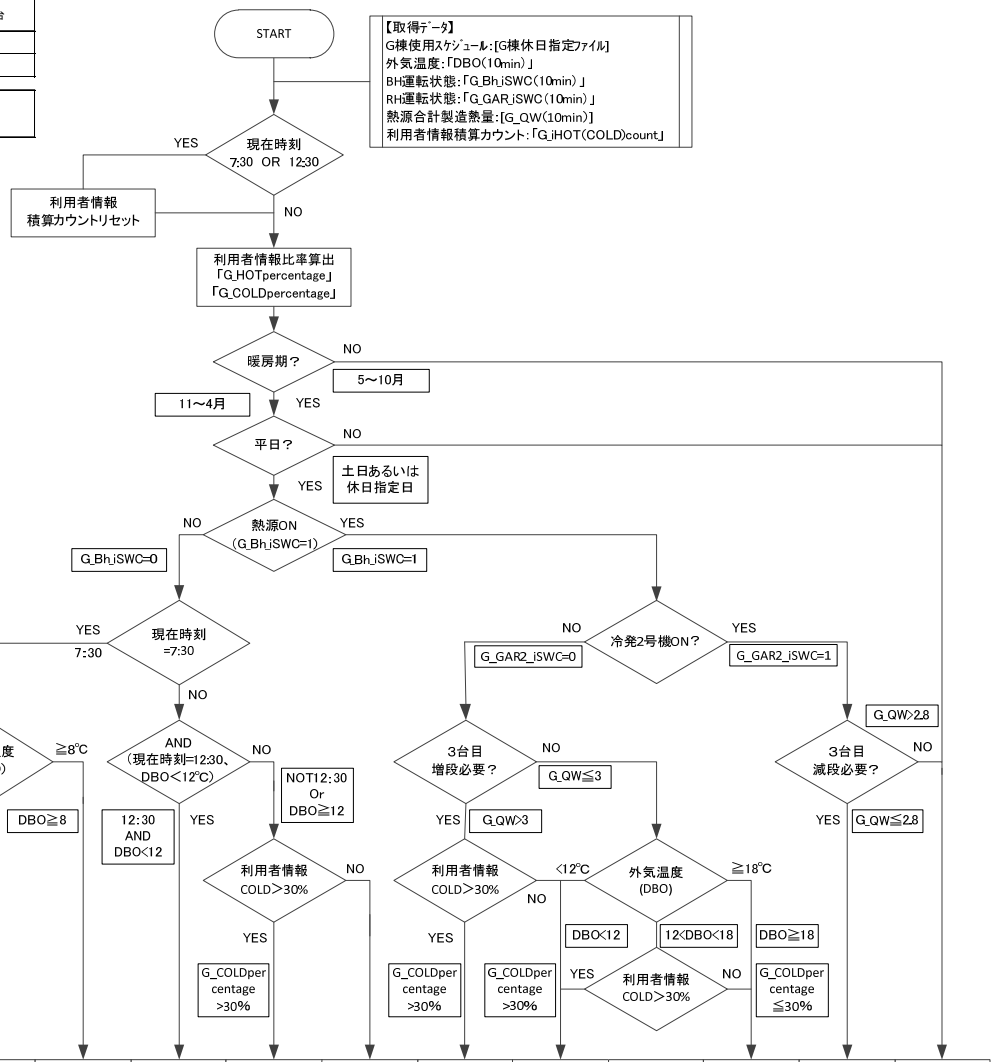
図 4.5　熱源設備稼働状況表示

対象施設	G棟
対象設備	真空式温水器×1台 吸収式冷温水発生機×2台
ユースケース	冬期(暖房運転)
処理スケジュール	30分毎

・処理スケジュールは、変更可能
・分岐判断条件(時刻・温度)等は、変更可能
・ガイダンス(コメント)内容は、変更可能

講義時間

	開始時間	終了時間
1講目	9:00	10:30
休	10:30	10:40
2講目	10:40	12:10
休	12:10	13:00
3講目	13:00	14:30
休	14:30	14:40
4講目	14:40	16:10
休	16:10	16:20
5講目	16:20	17:50



		HIT00G001011	HIT00G001001	HIT00G001002	HIT00G001003	HIT00G001004	HIT00G001005	HIT00G001006	HIT00G001007		HIT00G001008	HIT00G001009	HIT00G001010
メール通知	管理者	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	今日は寒いです 暖房運転を行ってください 窓が開いているときは窓を閉めて、ロスナイを運転してください	(今日は暖かいようです) 暖房運転は必要ありません 窓を開けるときはロスナイを停止してください	気温が○℃です。 (利用者情報を確認して)暖房運転を判断してください	室内が寒いようです (利用者情報を確認して) 暖房運転を判断してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	(熱量が足りないようです) 冷温水発生機2号機の運転を判断してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)		(今日は暖かいようです) 暖房・ｱﾄﾘｳﾑFUを停止してください 窓を開けるときはロスナイを停止してください	(熱量が足りたようです) 冷温水発生機2号機を停止してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)
ポップアップ	管理者		新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります		新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります			新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	
判断操作	管理者		熱源運転判断 ⇒(熱源ON・・・) 【窓】:閉 【ロスナイ】:運転 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】:ON 【真空温水器】:ON		熱源運転判断 ⇒(熱源ON・・・) 【窓】:閉 【ロスナイ】:運転 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】:ON 【真空温水器】:ON	熱源運転判断 ⇒(熱源ON・・・) 【窓】:閉 【ロスナイ】:運転 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】:ON 【真空温水器】:ON		熱源運転判断 ⇒(冷発2号:ON) 【冷温水発生機2号機】:ON			熱源停止判断 ⇒(熱源OFF・・・) 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】:OFF 【アトリウムFCU】:OFF 【真空温水器】:OFF	熱源停止判断 ⇒(冷発2号機:OFF) 【冷温水発生機2号機】:OFF	

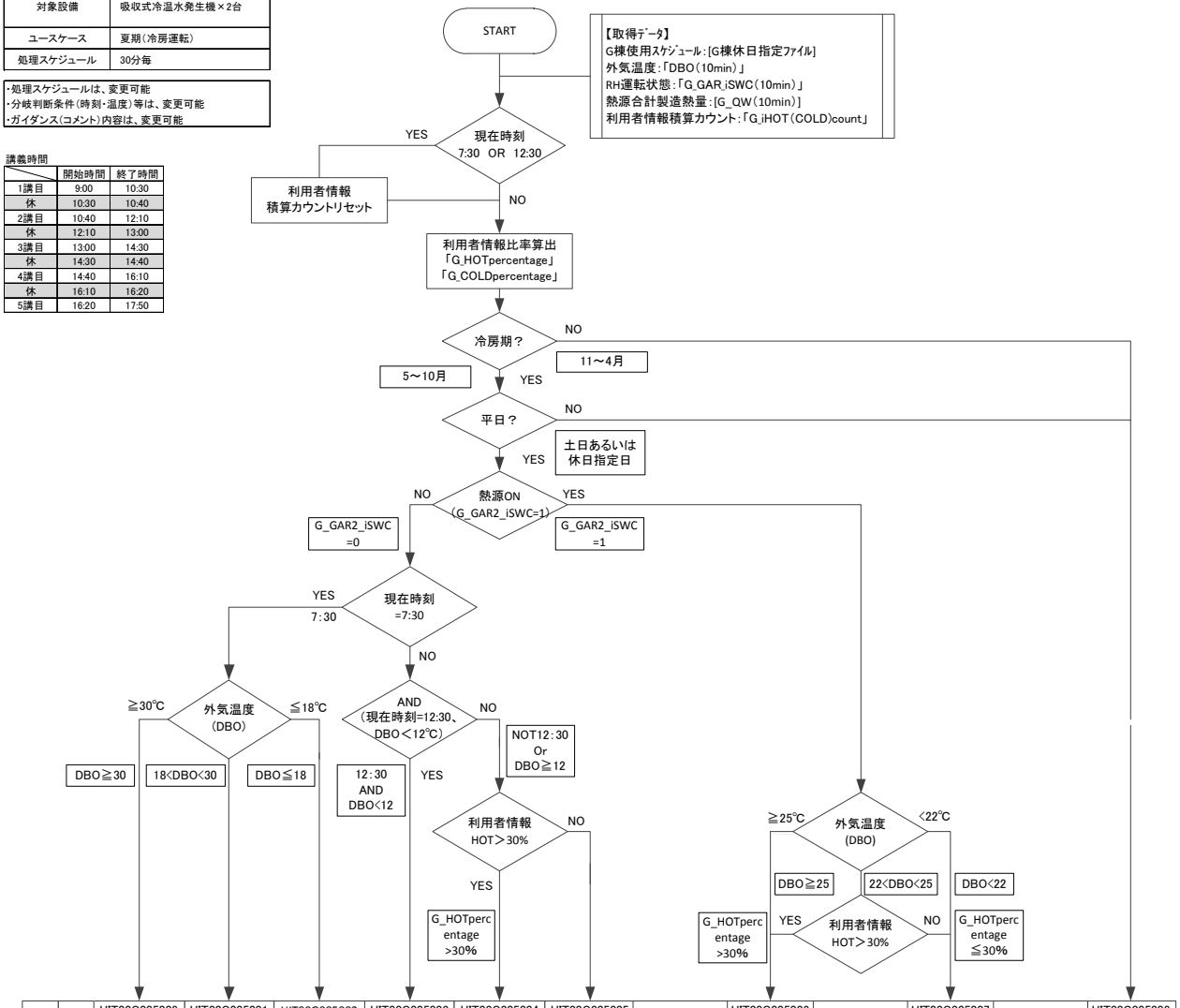
図 4.6　熱源設備　情報発信フロー(暖房期)

対象施設	G棟
対象設備	吸収式冷温水発生機×2台
ユースケース	夏期（冷房運転）
処理スケジュール	30分毎

・処理スケジュールは、変更可能
・分岐判断条件（時刻・温度）等は、変更可能
・ガイダンス（コメント）内容は、変更可能

講義時間

	開始時間	終了時間
1講目	9:00	10:30
休	10:30	10:40
2講目	10:40	12:10
休	12:10	13:00
3講目	13:00	14:30
休	14:30	14:40
4講目	14:40	16:10
休	16:10	16:20
5講目	16:20	17:50



		HIT00G005009	HIT00G005001	HIT00G005002	HIT00G005003	HIT00G005004	HIT00G005005	HIT00G005006	HIT00G005007	HIT00G005008
メール通知	管理者	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	今日は暑いです 冷房運転を行ってください 窓が開いているときは窓を閉めて、ロスナイを運転してください	（今日は涼しいようです） 冷房運転は必要ありません	気温が○℃です。 （利用者情報を確認して）冷房運転を判断してください	室内が暑いようです （利用者情報を確認して） 冷房運転を判断してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	（今日は涼しいようです） 暑く無いので、冷房・ｱﾄﾘｳﾑFUを停止してください 窓を開けるときはロスナイを停止してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)
ポップアップ	管理者		新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります			新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	
判断操作	管理者		熱源運転判断 ⇒（熱源ON･･･） 【窓】：閉 【ロスナイ】：運転 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】：ON 【冷温水発生機】：ON		熱源運転判断 ⇒（熱源ON･･･） 【窓】：閉 【ロスナイ】：運転 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】：ON 【冷温水発生機】：ON	熱源運転判断 ⇒（熱源ON･･･） 【窓】：閉 【ロスナイ】：運転 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】：ON 【冷温水発生機】：ON			熱源停止判断 ⇒（熱源OFF･･･） 【群指令ｽｹｼﾞｭｰﾙ】：OFF 【アトリウムFCU】：OFF 【冷温水発生機】：OFF	

図 4.7　熱源設備　情報発信フロー（冷房期）

2）アトリウム FCU 情報発信フロー

アトリウム FCU の運転判断を行うための、各階温度および外気温度のディスプレイ表示と使用データを図 4.8 に、アトリウム FCU 管理用の情報発信フローを図 4.9 に示す。熱源設備と同様に施設使用スケジュールを取得しアトリウム温度により、熱源の運転状況および FCU の稼働についてガイダンスメッセージを発信する。

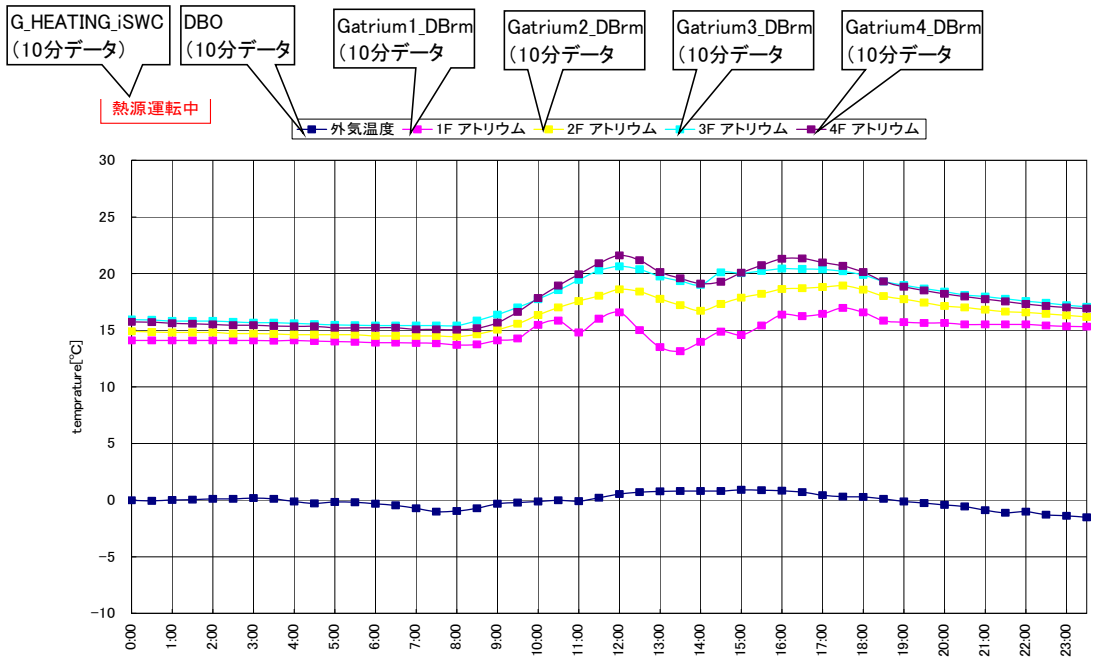
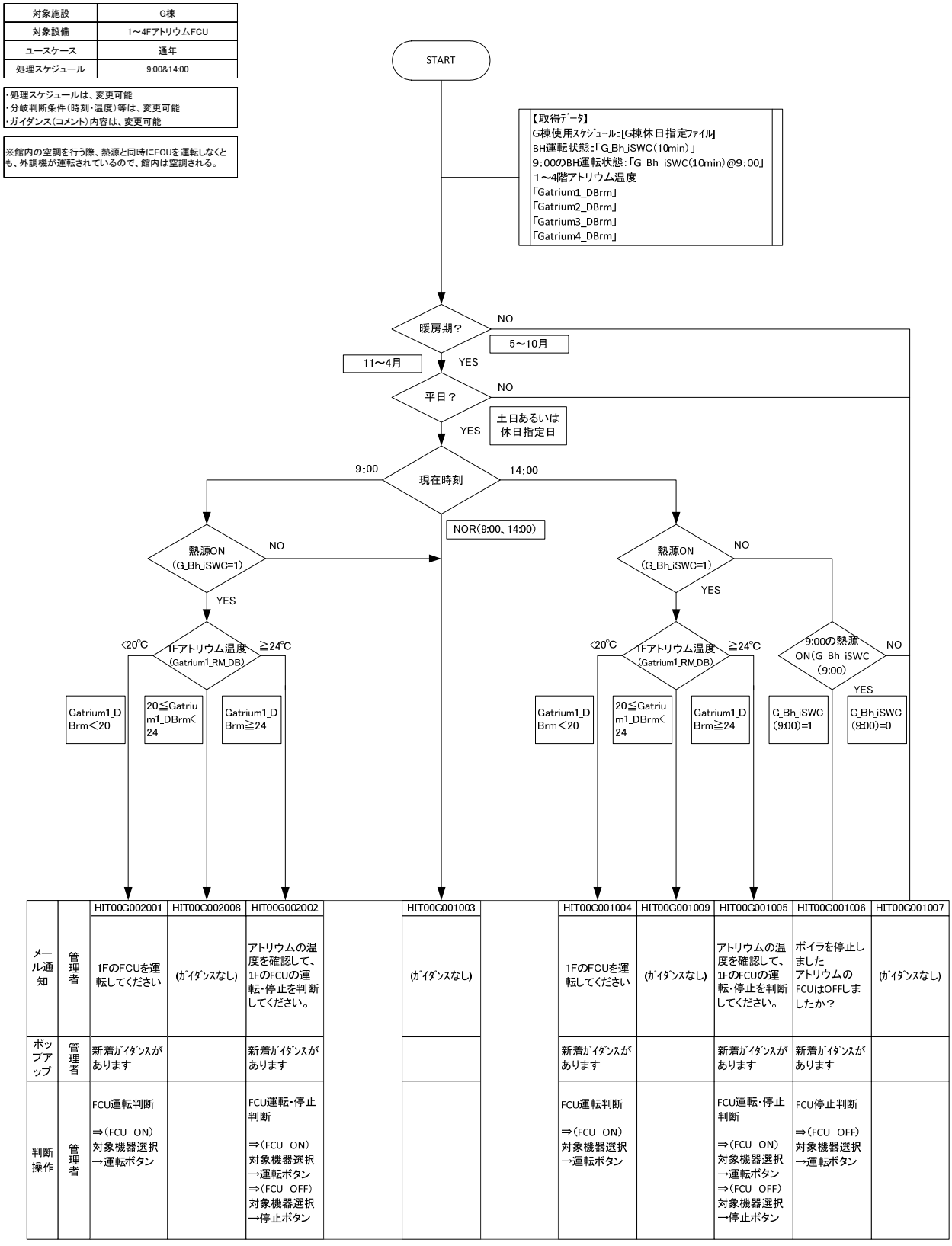


図 4.8　アトリウム各階温度・外気温度表示画面



		HIT00G002001	HIT00G002008	HIT00G002002	HIT00G001003	HIT00G001004	HIT00G001009	HIT00G001005	HIT00G001006	HIT00G001007
メール通知	管理者	1FのFCUを運転してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	アトリウムの温度を確認して、1FのFCUの運転・停止を判断してください。	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	1FのFCUを運転してください	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)	アトリウムの温度を確認して、1FのFCUの運転・停止を判断してください。	ボイラを停止しましたアトリウムのFCUはOFFしましたか？	(ｶﾞｲﾀﾞﾝｽなし)
ポップアップ	管理者	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります		新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります		新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります		新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	新着ｶﾞｲﾀﾞﾝｽがあります	
判断操作	管理者	FCU運転判断 ⇒（FCU ON）対象機器選択→運転ボタン		FCU運転・停止判断 ⇒（FCU ON）対象機器選択→運転ボタン ⇒（FCU OFF）対象機器選択→停止ボタン		FCU運転判断 ⇒（FCU ON）対象機器選択→運転ボタン		FCU運転・停止判断 ⇒（FCU ON）対象機器選択→運転ボタン ⇒（FCU OFF）対象機器選択→停止ボタン	FCU停止判断 ⇒（FCU OFF）対象機器選択→運転ボタン	

図 4.9　アトリウム FCU　情報発信フロー

3）電力使用設備情報発信フロー

電力使用設備は、基準電力消費量を設定し、消費電力の実測値から 30 分後の電力消費量を予測し基準値を上回る可能性がある場合は、ガイダンスメッセージ（注意報・警報）を発信する。

予想電力消費量のディスプレイ表示と使用データを図 4.10 に、電力使用設備の情報発信フローを図 4.12 に示す。また、電力消費量と燃料消費量から求めた一次エネルギー消費量も過年度と比較して表示することが可能である（図 4.11）。

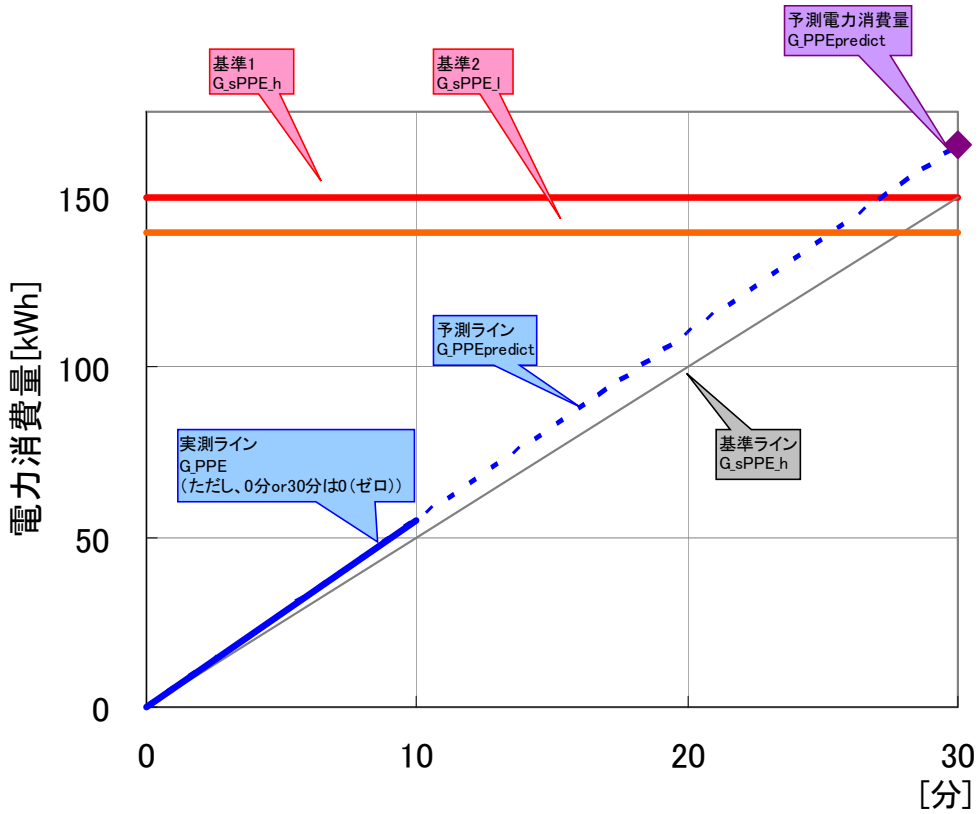


図 4.10　予想電力消費量表示画面

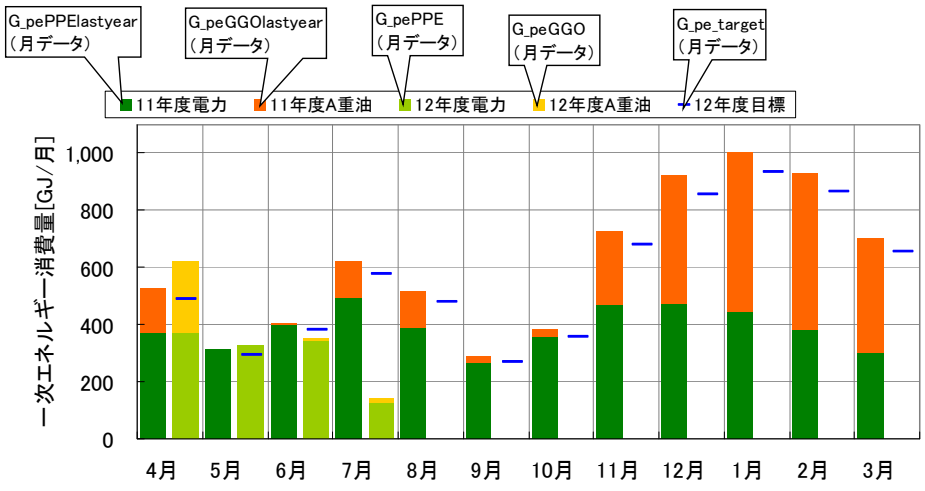


図 4.11　一次エネルギー消費量表示画面

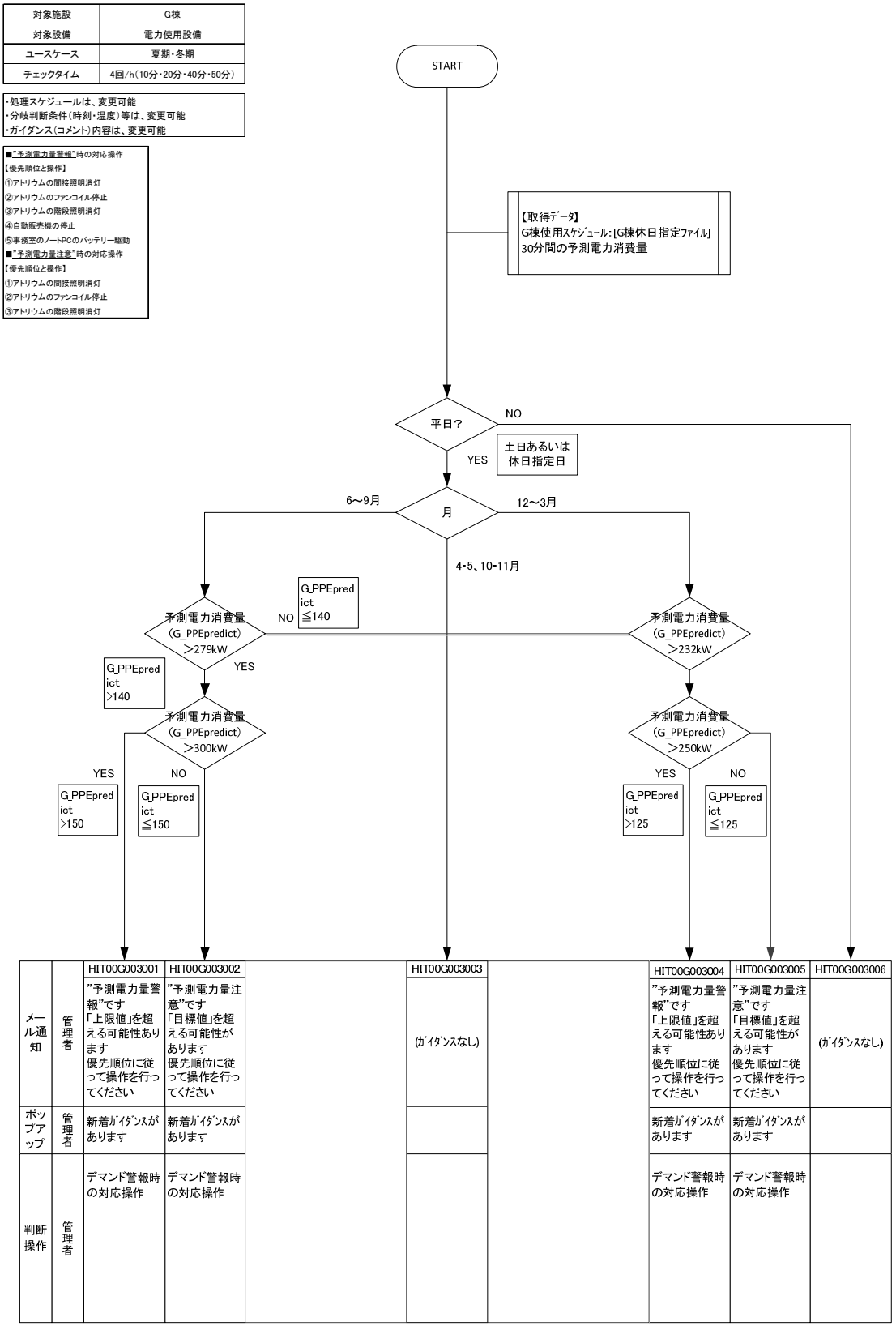


図 4.12　電力使用設備　情報発信フロー

4）講義室（照明）設備情報発信フロー

講義室については、各教室の講義使用スケジュール、開放教室の設定を取り込み、照明電力量の実測値が照明基準電力量を上回っている場合にガイダンスメッセージを発信する。基準電力量は全点灯時と調光設備使用時をそれぞれ設定可能であり、点灯・消灯に加え調光設備の使用を促すガイダンスも発信する。使用スケジュール上、非使用である時間帯に消費電力を計測した場合は、消灯確認のメッセージを発信する。

講義室の情報表示画面を図 4.13 に、情報発信フローを図 4.15 に示す。講義棟ホールのインタラクティブディスプレイに常時表示しているため、電力使用量に加えて、各講義室の室内温度、冷温感申告者の比率等（図 4.14）も教員・学生が閲覧可能としている。

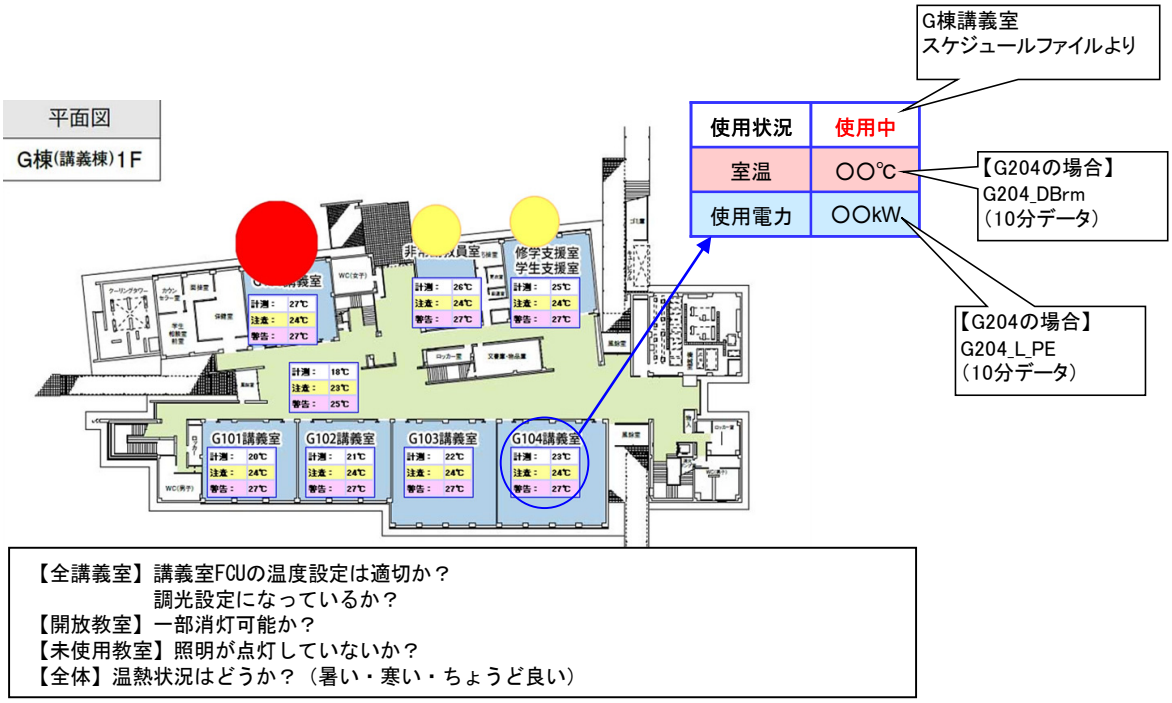


図 4.13　講義室使用電力・室温表示画面

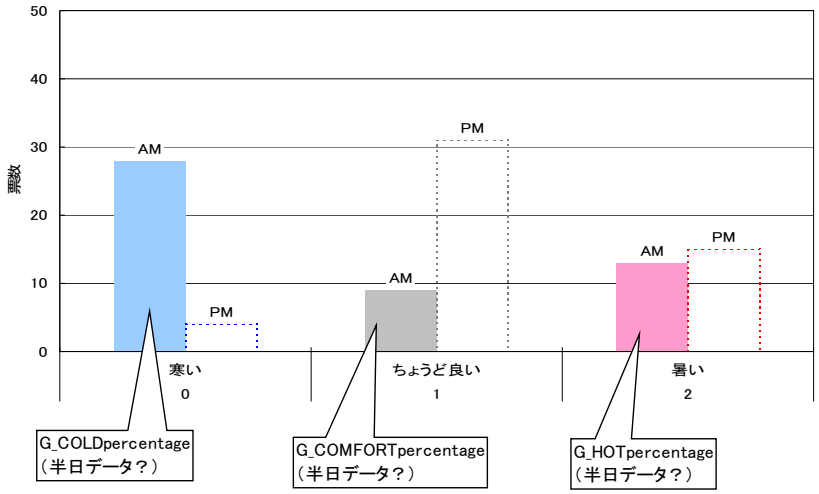


図 4.14　温冷感申告者数表示画面

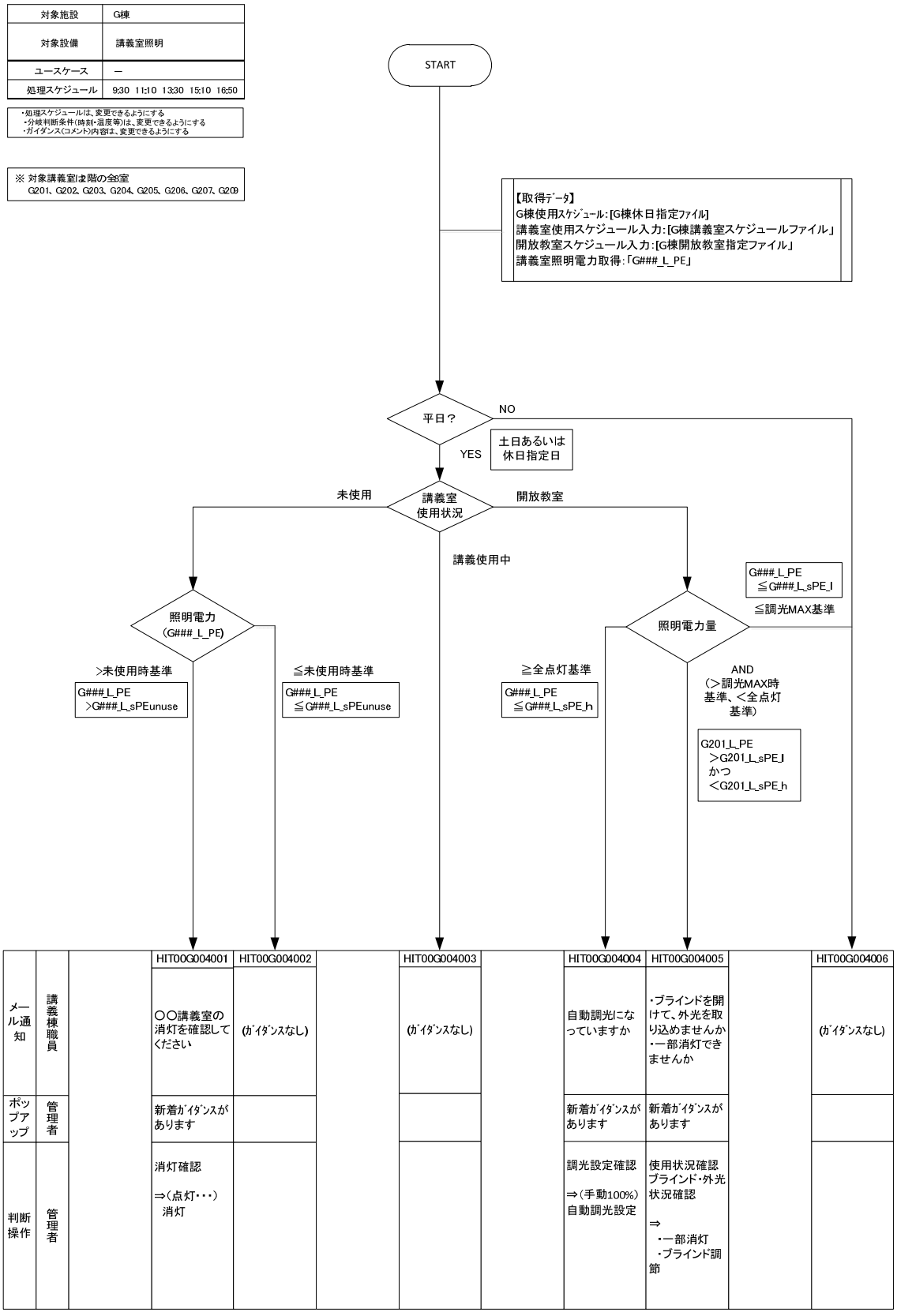


図 4.15　講義室照明設備コントロールフロー

4.3.3 運用評価

1）ユーザー評価

開発した「双方向システム」について、教職員(10 名)、施設管理者（3 名)、学生ボランティア(75 名)をユーザーとして登録し、4 週間の試験運用とアンケート調査を実施し、使用感の確認およびログデータ分析による問題点の把握と修正を実施した。

アンケート内容を表 4.12、主要機能の有効性に関するアンケート結果、試験運用期間のアクセス頻度を図 4.16，図 4.17 に示す。

教職員・学生の携帯端末からの入力操作に問題はなかったが、「温冷感申告」は「暑い/寒い」の 2 択としたため、有効性について「どちらともいえない」と回答した約 50%のユーザーからは、細かい選択肢があった方が望ましいというコメントがあった。

施設管理者からは、「ガイダンスのメール数が多く、緊急性が判断できない」、機器の発停に関するガイダンスには、「室温や機器の運転状況など具体的な数値があった方が判断しやすい」との回答があった。システム全体については、「経験的な操作によるものを、データ情報によって操作できる」、「外気条件や使用者の申告によって適切に操作できる」、「運転状況をリアルタイムに確認できる」、「エネルギー消費量の妥当性（適切な運転管理）をチェックできる」など省エネルギーに対する有効性を評価する回答であった。

講義棟ホールに設置したインタラクティブディスプレイは、スマートフォンでは閲覧できないエネルギー消費状況、各室の室内環境、温冷感申告の比率を任意の操作で閲覧できるため、学生・教職員合計で約 80%のユーザーが、省エネルギー意識の向上や、現状認識に有効であると評価した。

表 4.12　試験運用におけるアンケート項目

【学生用アンケート項目】
① 携帯端末について（ログイン、温冷感情報入力、コメント入力回数、有効性、改善提案）
② システム全体について（有効性、改善提案）

【教職員用アンケート項目】
① ガイダンスメール通知機能について
（メールの受信量、ガイダンス内容と行動、有効性、改善提案）
② ポップアップ通知機能について（有効性、改善提案）
③ 携帯端末入力による利用者情報について
（設備の運転管理への有効性、追加希望項目、改善提案）
④ システム全体について（有効性、改善提案）

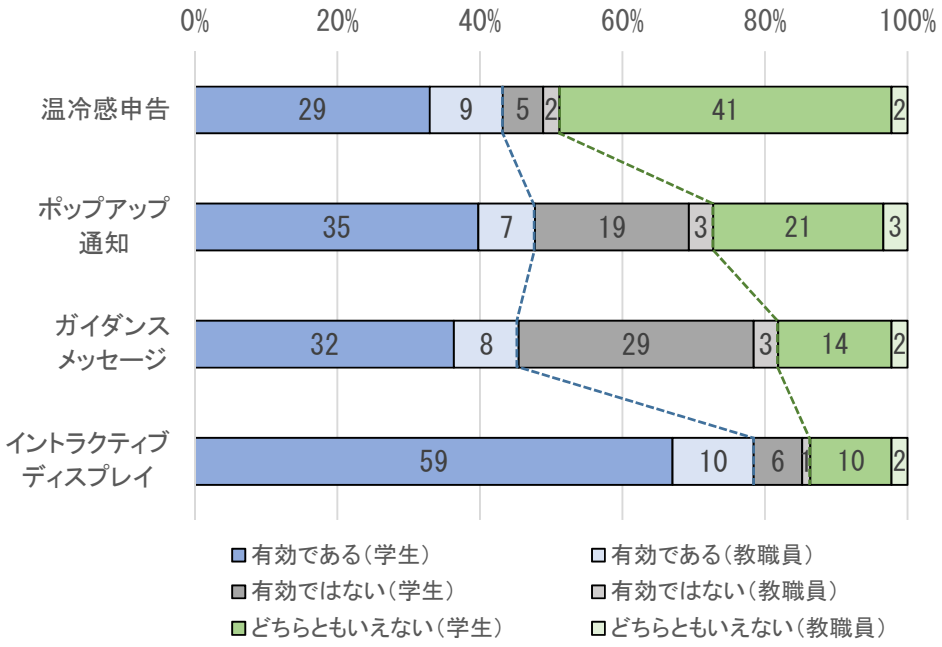


図 4.16　試験運用アンケート（各機能の有効性について）

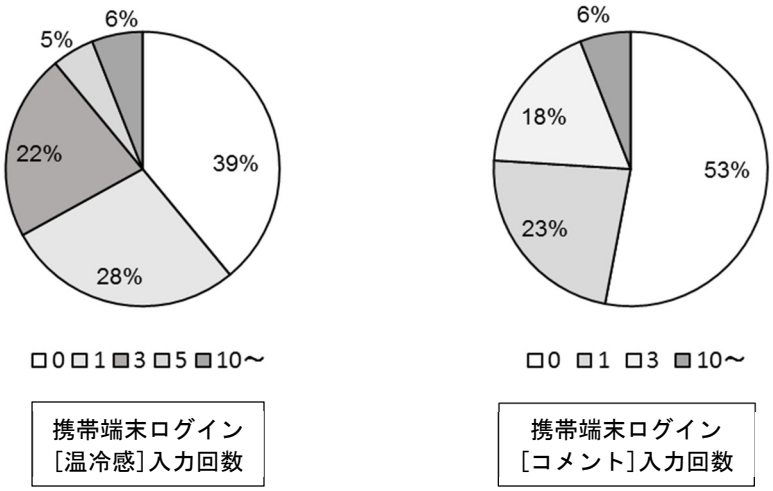


図 4.17　試験運用期間におけるアクセス頻度（学生：2 週間）

2）ログデータ分析

システムの運用状況および問題点を把握するため、一か月間のログデータを分析し、ガイダンスメッセージの発報状況を分析した。

試験運用期間のガイダンス発報状況を図 4.18 に示す。熱源・FCU・電力・照明設備に関する条件判定の結果、試験運用開始日の 2013 年 1 月 8 日には合計 35 件のガイダンス発報があった。ユーザーアンケートにもあるように、ガイダンスが多すぎると緊急性の判断に支障があるため、表 4.13 に示すプログラムの「情報発信フロー」および判定基準値(閾値)の修正を行った。

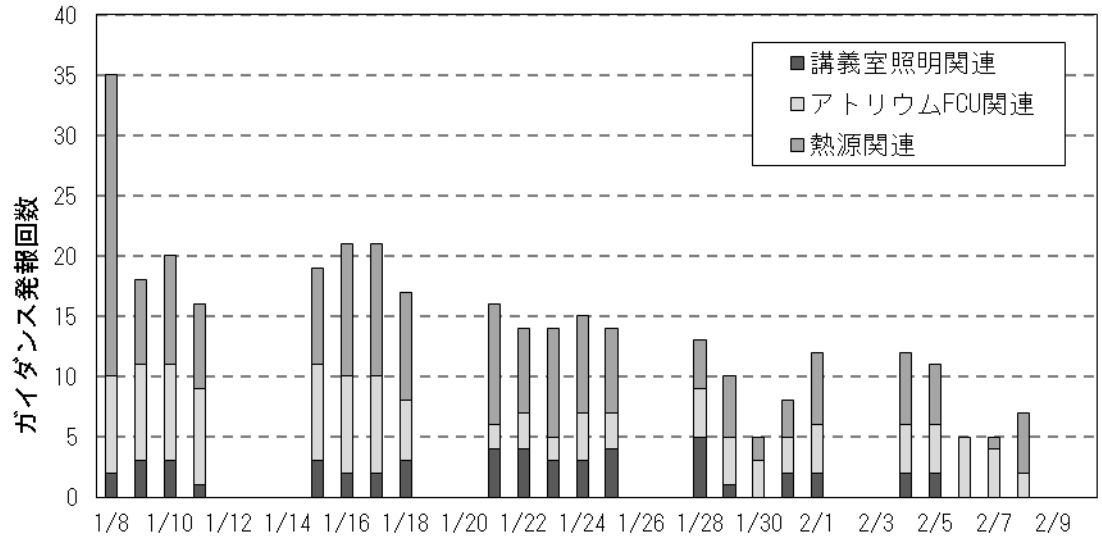


図 4.18　試験運用期間におけるガイダンス発報回数

表 4.13　情報判定フローおよび判定基準値の修正項目

設備種目	①　講義棟熱源設備	②　講義棟アトリウムFCU	③　講義棟電力使用設備	④　講義棟講義室照明
発報数	2～5件/日	8 件/日	発報なし	最大26 件/日
修正理由	毎日決まったガイダンスが発報することが多かった。	アトリウム温度を運転管理者に確認してもらうことを目的としていたため、毎日定時（9:00、14:00）にガイダンスを発報することにしていたが、発報数が多い。	30分間の予測電力が平成22年度冬期（11 月～3 月）における30分間の平均消費電力の最大値に対して93%以上に達した場合に、発報するよう設定。運用期間中は、この値に達しなかったためガイダンス発報はなかった。	講義室毎に照明電力消費量と使用状況（施錠・講義中・自習室）に応じて、省エネの余地がある場合にガイダンスを発報したが、ガイダンスが多く、全てのガイダンスに対応することができない。
修正項目１	7:30時点の外気温度が8℃以下の場合、熱源の運転判断ガイダンスを発報していた。 冬期の大部分は外気温度が氷点下であり、運転判断に迷うことがないため、外気温度が0℃以下の場合はガイダンスの発報を停止。	発報数が多すぎること、アトリウム温度はユーザーPCやインタラクティブディスプレイでも確認できることから、適温の場合は「ガイダンスなし」となる分岐を増やし、ガイダンス数を減らした。		照明電力と使用状況の確認処理は30分毎にしていたが、講義時間内に複数回確認する必要はないため、確認処理回数を18回/日（9:00～18:00 の30分毎）から5回/日（講義時間90分毎に1回）に変更。
修正項目２	熱源機器増段運転判断におけるインターフェース用の熱量演算結果と自動制御用の熱量演算結果の誤差があったため、増段判定の閾値を変更。			現状では使用人数を把握する手段がないため、昼光を利用できる時間帯だけ、判定処理を行うように変更。 具体的には、4 講目終了（16:10）以降は日没後と仮定して、ガイダンスを発報しない設定に変更。

4.4 汎用化に向けての課題

「双方向システム」は、施設利用者、設備運転管理者、施設監理者が施設の運用状況、各種測定値、利用者の温冷感などの情報を受発信し、施設、設備の効率的運用を目的として開発した。

また、既存施設などで詳細な計測データが取得しにくい環境下においても、利用者の情報を受信することで、不足している情報を補完し、実際の環境条件に対応した制御、判定が可能となる。

本システムの構成は、標準的な機能部（標準部）と対象施設によって、設定等を変更する部分（カスタマイズ部）に区分される。他の施設への導入にあたっては、以下(1)～(4)の項目について、カスタマイズを要する。汎用化を図る上では、対象施設に応じたオペレーション項目の絞り込みや情報発信フローの簡略化、判定基準値（閾値）のチューニング設定の簡易化が課題となる。

1）施設運用モデルの構築（ユースケース分析、省エネルギーオペレーション項目の策定、情報発信フローの検討）
2）情報発信の判定に必要な計測ポイントの抽出と計測器の設置および計測データの収集システムの導入
3）情報を受発信するユーザー（施設利用者、設備管理者）の設定と区分
4）ユーザー区分に対応したガイダンスメッセージの作成

本システムは、Web ベースのソフトウェア機能とメールサービスによるガイダンスで構成できるため、現地の計測データを取得し、そのデータをネットワーク経由でリンクすることで、カスタマイズやチューニング操作を ASP サービスとしても実現することで課題の解決は可能であると考えられる。

4.5 第四章のまとめ

本章では、北海道科学大学手稲キャンパスを開発フィールドとして、既設「見える化システム」のデータをもとに、施設のエネルギー消費削減可能量の推計手法を示した。さらに、設備の運転状況や施設の利用状況、屋内外温湿度、利用者の温冷感などの環境条件をもとに、施設管理者や利用者に省エネルギー行動を促すことを目的とした双方向ユーザーインターフェース機能を有する省エネルギー支援システム（「双方向システム」）の開発について述べ以下を明らかにした。

1）施設のエネルギー消費削減可能量は、対象施設とした「講義棟」の年間使用記録と時刻別エネルギー消費量の実測値から、照明・換気設備の削減可能なエネルギー量として推計した。削減可能なエネルギー量は、対象施設年間電力消費量の 7.5%、空調用燃料消費量の 2.4%となり、「双方向システム」の導入によるエネルギー削減効果を期待できることを明らかにした。

2）「双方向システム」は、既設「見える化システム」の評価、システム導入によるエネルギー消費削減効果の推計および抽出した省エネルギー対策をもとに、施設運用モデルを構築し、ユーザーインターフェースの開発を行なった。

「双方向システム」は、計測データや設備運転状況を取り込み、設定した判定基準値（閾値）による分析診断機能、ガイダンスメッセージ（メール）の配信などの情報発信機能、利用者の設備使用状態や温冷感などの情報受信機能を備えたものである。

3）「双方向システム」を、キャンパス内の「講義棟」へ試験導入し、施設管理者、教職員・学生をモニターとした試験運用を行なった。ユーザーによるシステムの有効性・操作性・使用感の評価から、本システムの有する双方向ユーザーインターフェース機能が、ユーザーの省エネルギー行動の誘導に有効であることを明らかにした。

「双方向システム」は、省エネルギー行動の実行を、ガイダンス配信を受けた設備の運転管理者や施設利用者の判断に委ねている点を特徴としており、専任の管理者や設備機器の更新、自動制御設備の導入を必要としない。そのため、あらゆる用途や規模の建物に導入可能であり、省エネルギー対策が進んでいない建物においてもエネルギー消費の削減を実現できるシステムと考えられる。

第五章　寒冷地におけるスマートキャンパスの構築と導入技術の評価

5.1 はじめに

現在日本を含め世界的にスマートコミュニティの実現に向けた取り組みが積極的に推進されている。

スマートコミュニティ実現の目的は、「環境負荷の最小化」、「安心・安全性の向上」、「快適性・利便性の向上」、「社会コストの抑制」である。

都市や街の構成は、エネルギー、交通、上下水、情報といった都市基盤インフラに支えられた建物施設やサービスの上にわれわれの暮らし（ライフスタイル）が成り立っている。スマートコミュニティは、これらを高度なＩＣＴ網によりネットワーク化し、マネージメントしていく社会システムとして構築するものである。

都市基盤インフラの内、エネルギーネットワークは、各スマートコミュニティが包括するエリアにおいて、適正規模の自立したエネルギー源を構築し、エリア内において面的なエネルギー監視を行い、エネルギーの需要と供給を最適にバランスさせることを目的とする。

教育施設は公共性が高く、日常的に地域のネットワークの中心であり、災害時は地域の避難所(避難施設)として指定されている場合が多い。

本章では、大学のキャンパス施設群を一つのコミュニティと捉え、キャンパスの低炭素化に向けた「寒冷地型スマートキャンパス計画」における寒冷地特有の省エネルギー導入技術の評価および技術の導入計画について述べる。

5.2 スマート化技術の展開

5.2.1 キャンパス整備計画の概要

学校法人北海道科学大学は、キャンパスの整備にあたり、「スマートキャンパス化」を主要な整備方針と位置づけ、前章まで示した消費エネルギー削減手法を基礎に、「次世代省エネルギー技術による低炭素化」、「消費エネルギーの見える化」、「再生可能エネルギー利用技術の導入」、「災害時の機能維持」を実現し、将来的には電力需給システムの改革に対応可能な「寒冷地型スマートキャンパス」の実現を目指し、寒冷地特有の省エネルギー技術を導入し、スマートキャンパス化整備計画とした。

キャンパス施設整備計画を図 5.1 に、既存・新設施設を含めた施設概要表を表 5.1 に示す。表 5.1 において、ハッチングした施設群（No1,2,3,5,6,9）は、2012 年以降施設の新築に伴い除却済み、もしくは将来除却予定の施設である。

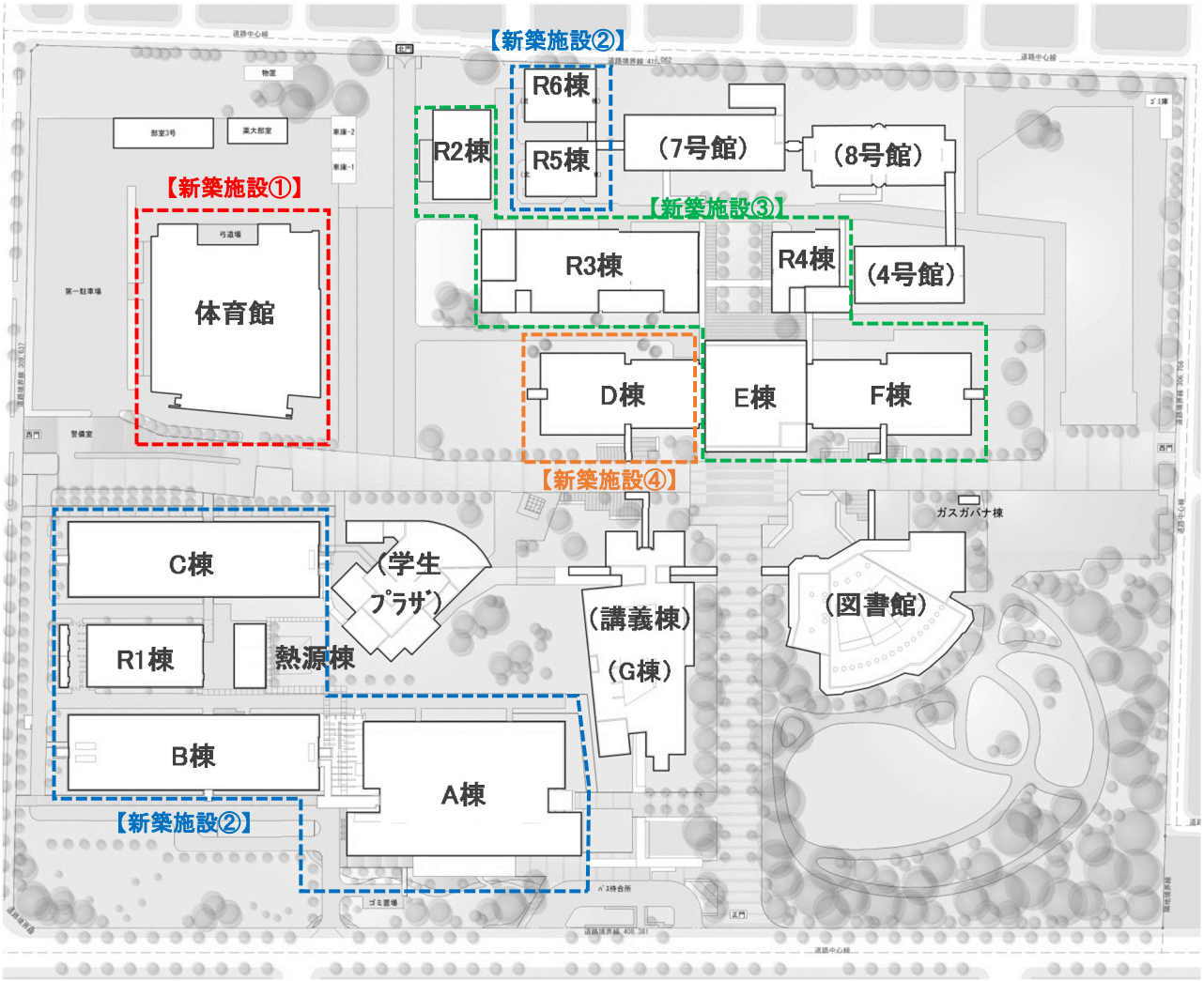


図 5.1　北海道科学大学キャンパス整備計画図

表 5.1　北海道科学大学キャンパス施設概要

No	棟名称	主要室用途	構造/規模	床面積(㎡)			竣工年度
【既存施設(～2011)】				～2011	2012～2018	2019～	
1	1号館	事務室・教員室	RC/3F	3,502			1967
2	2号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/5F	9,405			1968
3	3号館	教員室・ゼミ室・実験室・製図室	RC/5F	8,497			1972
4	4号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	3,589	3,589	3,589	1977
5	5号館	講堂・食堂・ｻｰﾊﾞｰ室	RC/3F	3,214			1977
6	6号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	3,503			1977
7	7号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	3,782	3,782	3,782	1985
8	8号館	教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC/3F	2,649	2,649	2,649	1990
9	体育館(旧)	体育館・武道場	RC/3F	2,460			1970
10	図書館	図書館・購買・自習室	RC/2F	5,531	5,531	5,531	1986
11	学生プラザ	食堂・喫茶・購買	RC/2F	2,197	2,197	2,197	1994
12	講義棟(G棟)	講義室・事務室	RC/4F	9,396	9,396	9,396	2001
小計				57,725	27,144	27,144	
【新築施設①】(2012年度竣工)							
体育館		体育館・武道場	RC+SRC/3F		5,900	5,900	2012
【新築施設②】(2014年度竣工)							
A棟(共用講義棟)		事務室・講義室	RC+S/4F		12,767	12,767	2014
B棟(薬学部棟)		教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC+S/5F		11,364	11,364	2014
C棟(保健医療学部棟)		教員室・ゼミ室・実験/演習室	RC+S/5F		11,320	11,320	2014
R1棟(別棟)		実習室・実験室(医療系)	S/1F		943	943	2014
熱源棟		機械室	S/1F		253	253	2014
R5・R6棟(短大実習棟)		実習室(車検棟)	S/1F		665	665	2014
【新築施設③】(2017～2019年度竣工)							
E棟(中央棟)		事務室・講義室	RC+S/4F		4,758	4,758	2017
R2棟(共同実験棟)		実験室(工学系)	S/1F		665	665	2017
R3棟(工学部実験棟)		実験室(工学系)	S/1F		746	746	2018
R4棟(工学部実験棟)		実習室・実験室(工学系)	S/1F		646	646	2018
F棟(工学部東棟)		教員室・ゼミ室	RC+S/4F		5,813	5,813	2019
小計					55,840	55,840	
【新築施設④(2021年度竣工予定)】							
D棟(工学部西棟)		教員室・ゼミ室・演習室	RC+S/4F			5,813	2021
小計						5,813	
合計				57,725	82,984	88,797	

5.2.2　スマートキャンパス化に向けた導入技術

キャンパスのスマート化を推進するにあたり、年次計画（Phase0~2）に対応する具体的な導入技術を図 5.2 に示す。

スマート化 Phase1 に示した「再生可能エネルギー利用技術」としては、地中熱・雪氷エネルギー、太陽光発電設備の利用、「防災拠点としての機能維持」については、太陽光発電の蓄電システム、コジェネレーションシステムによる防災電源の確保、「次世代省エネ技術」として、高機能な人感センサーによる照明制御等の技術の導入を図る。

教育機関としての省エネルギーの啓発には、前章までで述べた「見える化システム」および「双方向システム」を発展させた「スマート BEMS」の導入により、Phase2 における電力需給調整、電力自由化への対応と設備の最適制御を行う計画とした。

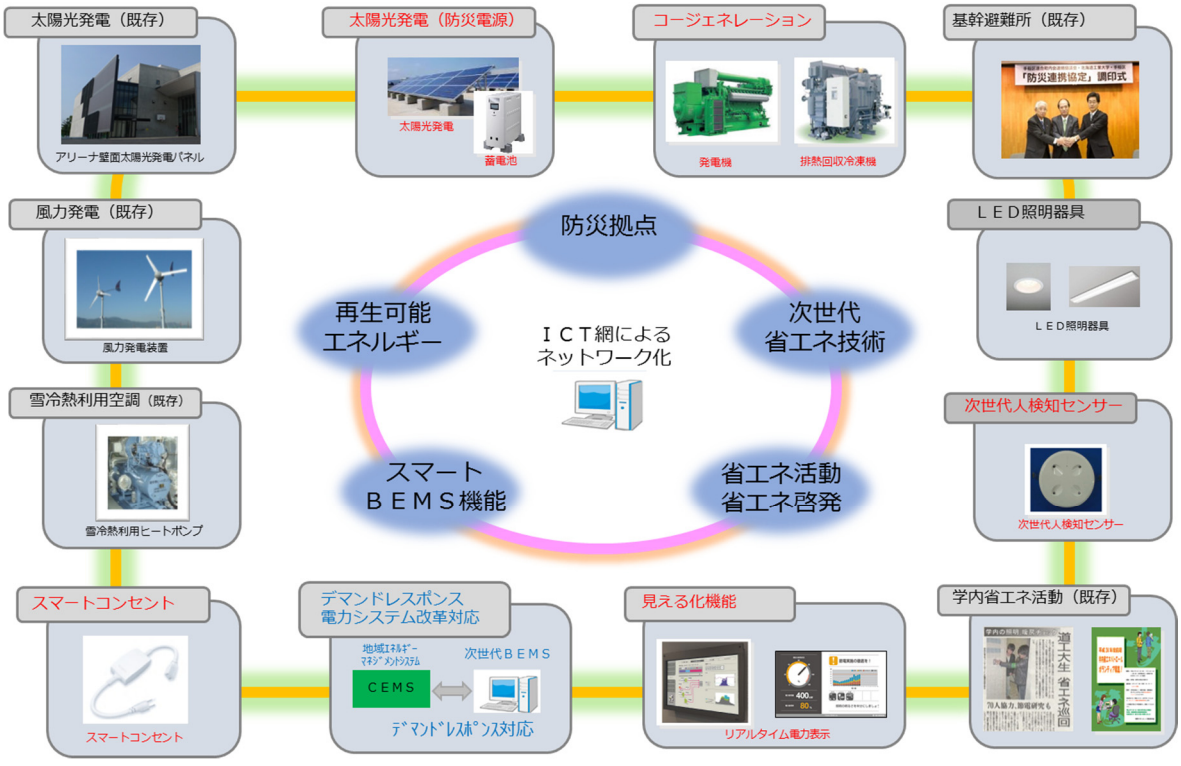


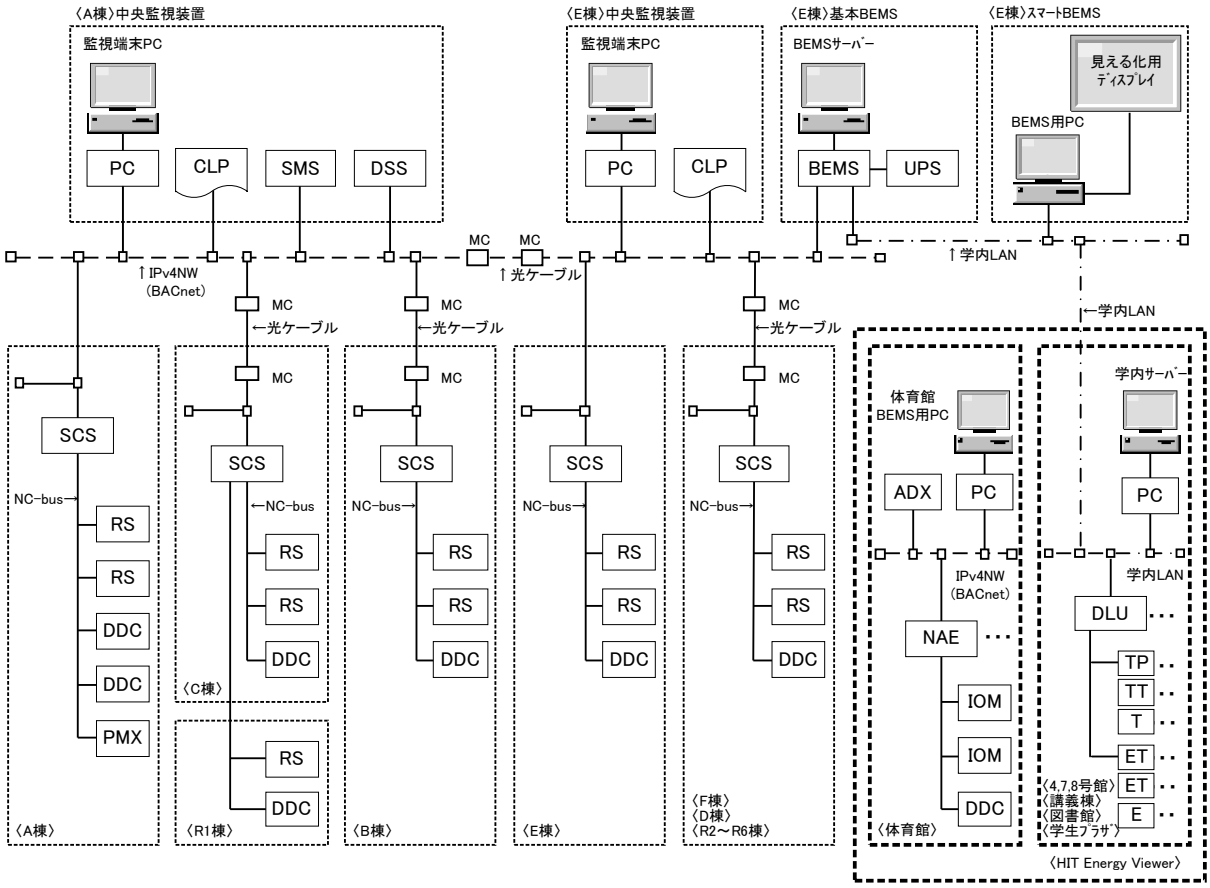
図 5.2　スマートキャンパスへの導入技術

※技術項目
黒字は Phase0 既導入技術
赤字は Phase1 導入技術（一部導入済）
青字は Phase2 導入（予定）技術を示す

5.3 導入技術の評価

5.3.1 スマート BEMS への既存システムの統合

前章までで示した「見える化システム」および「双方向システム」による消費エネルギー削減効果の知見をもとに、スマートキャンパスの構築へ向けて、キャンパス施設群のエネルギー管理を行い、施設管理者や利用者への情報提供を行うために、「スマート BEMS」を導入した。システムの構成を図 5.3 に示す。



〈 凡 例 〉

PC　：中央監視用PC
CLP　：カラーレーザープリンター
SMS　：システムマネジメントサーバー
DSS　：データストレージサーバー
BEMS　：BEMS用サーバー
UPS　：無停電電源装置
SCS　：システムコアサーバー
RS　：端末伝送装置
DDC　：空調機用DDCコントローラー
PMX　：熱源用DDCコントローラー

〈体育館　中央監視システム機器〉

ADX　：アプリケーションデータサーバー
NAE　：ネットワークオートメーションエンジン
IOM　：入出力モジュール

〈HIT Energy Viewer システム機器：図3.2参照〉

DLU　：データロガーユニット
TP,TT,T　：温度センサー（親機・中継器・子機）
ET,E　：電力センサー（中継器・クランプ電力計）

図 5.3　スマート BEMS システム構成図

Phase1 では、中央監視装置エネルギー基本管理機能として、データの収集と蓄積、データのグラフ作成、ピークカットデマンド制御を行うことで、キャンパス全体のエネルギーデータの把握、デマンド制御によるピークカットの効果を期待できる。

さらに、BEMS スマート化機能として、リアルタイム電力計測、データ分析用グラフ作成、エネルギーの見える化、利用者・施設管理者との双方向情報通信機能を有することで、電力ピークカット最適制御、見える化による省エネ啓発、省エネ行動の誘導を行う。

Phase2 では、負荷予測制御機能、最適運転制御、さらに電力自由化やデマンドレスポンス対応機能を付加し、電力料金の最適化制御による省コスト、デマンドレスポンス制御によるピークカット、負荷予測による最適運転制御を行う計画とした。

表 5.1 に示す 2014 年度の竣工施設（A~C 棟、熱源棟、R1,5,6 棟）は、A 棟監視室に設置した中央監視設備で運用を開始した。

2017 年度の BACnet による通信回線を確保することで、F 棟、R2,3,4 棟を含めた全施設を E 棟中央監視室に設置した基本 BEMS で管理を行うものとした。

2012 年度に竣工した体育館は、施設単独の BEMS を実装しているため、施設の運用は既存の体育館単独 BEMS で行い、各種機器の運転状況やエネルギー消費量、室内温湿度等の計測データは、BACnet を用いて E 棟の基本 BEMS へ取り込むこととした。

2001 年度以前に竣工し、将来使用を継続する施設群のうち 4,7,8 号館と図書館は、蒸気貫流ボイラ（旧 1 号館から 4 号館に移設）を熱源としたセントラル暖房、学生プラザおよび講義棟（G 棟）はそれぞれ施設単独の冷温熱源での運用を継続する。

第三章で示した上記施設群に導入した「見える化システム」（HIT Energy Viewer）の計測データは、学内 LAN 経由で、新設するスマート BEMS へ統合することとした。

スマート BEMS は、基本的な中央監視設備としての設備管理機能に加えて、三,四章で得た知見をもとに、施設利用者への情報提供と省エネルギー行動への誘導を行うためのインターフェースとして、施設エネルギー消費状況や設備運転状況をリアルタイムで「見える化」する機能を有している（図 5.4）。

エネルギー消費量は、節電意識の向上を図るため、視認性の高いアナログメーターや、グラフ表示を用い、電力量表示だけでなく、節電・省エネ行動を喚起しやすいアイコン表示や、テロップでの省エネ行動を表示する。

情報の表示は、E 棟のエントランスホールに設置したデジタルサイネージおよび、四章で示した「双方向システム」として G 棟ホールへ設置したインタラクティブディスプレイに行う。また認証を受けた学生・教職員・施設管理者は、学内 LAN を経由して各自の PC での閲覧を可能とした。



図 5.4　施設利用者に対する消費エネルギー「見える化」機能

施設管理者に対しては、図 5.5 に示す詳細な設備運転状況や目標値の管理を行うためのデータ提供機能として、電力・ガス消費量、給水量などのエネルギー使用量を棟毎に集計・グラフ表示し、電力管理目標に対する注意報・警報を自動発信して、電力デマンドの低減を図る。

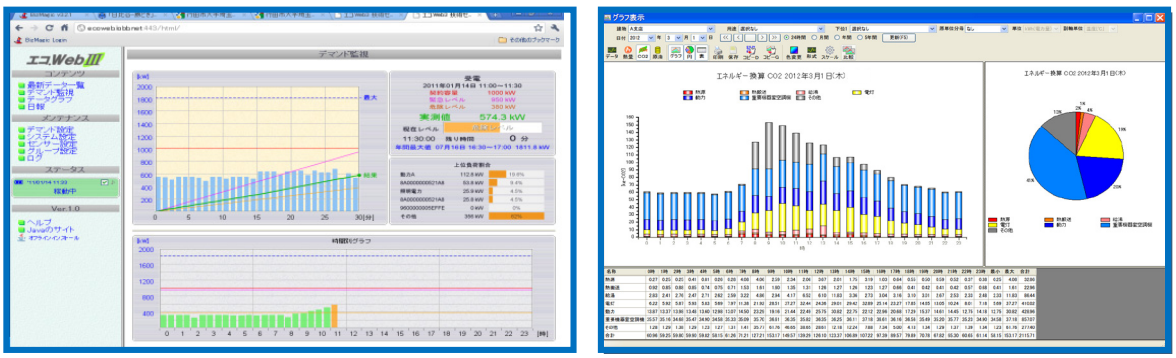


図 5.5　施設管理者に対する管理支援機能

5.3.2 年間一次エネルギー消費量による新築施設の運用評価

2012 年以降に建設された施設群の、2018 年の年間一次エネルギー消費量を表 5.2 に示す（熱源棟、R1 棟は C 棟、R2～R6 棟の消費電力は E 棟に含む)。施設床面積当たりの一次エネルギー消費量は、1,067MJ/㎡･年となり、図 5.6 に示す類似用途施設の一次エネルギー消費量の平均を上回っていることから、今後の運用改善による消費エネルギーの削減方法の検討を要する。

表 5.2　新築施設の年間一次エネルギー消費量

	電力量(kWh)						ガス消費量(m^3)			一次エネルギー換算値（GJ）
	A棟	B棟	C棟	E棟	体育館	小計	ボイラー	冷凍機	小計	
2018年1月	122,254	202,430	113,018	34,394	46,413	518,509	38,920	4,613	43,533	7,172,053
2018年2月	111,297	182,190	104,073	30,798	44,527	472,885	36,453	8,854	45,307	6,798,785
2018年3月	101,944	168,080	84,687	33,364	44,134	432,209	30,132	6,710	36,842	6,003,856
2018年4月	74,459	132,570	57,590	28,929	34,096	327,644	12,422	8,559	20,981	4,231,737
2018年5月	61,528	116,930	46,431	18,716	22,933	266,538	1	4,549	4,550	2,866,684
2018年6月	66,302	119,170	49,429	22,059	23,472	280,432	0	1,081	1,081	2,845,633
2018年7月	91,477	138,710	59,840	20,442	31,469	341,938	0	5,597	5,597	3,666,584
2018年8月	82,216	132,550	54,754	16,834	33,754	320,108	33	4,735	4,768	3,410,805
2018年9月	57,094	105,930	40,114	16,000	23,682	242,820	0	1,205	1,205	2,476,345
2018年10月	66,369	119,870	51,243	15,497	25,651	278,630	0	3,095	3,095	2,920,311
2018年11月	80,082	143,530	73,587	14,418	35,291	346,908	1,788	20,772	22,560	4,496,433
2018年12月	105,828	192,430	102,041	18,887	50,019	469,205	32,381	6,719	39,100	6,476,574
合計	1,020,850	1,754,390	836,807	270,338	415,441	4,297,826	152,130	76,489	228,619	53,365,799

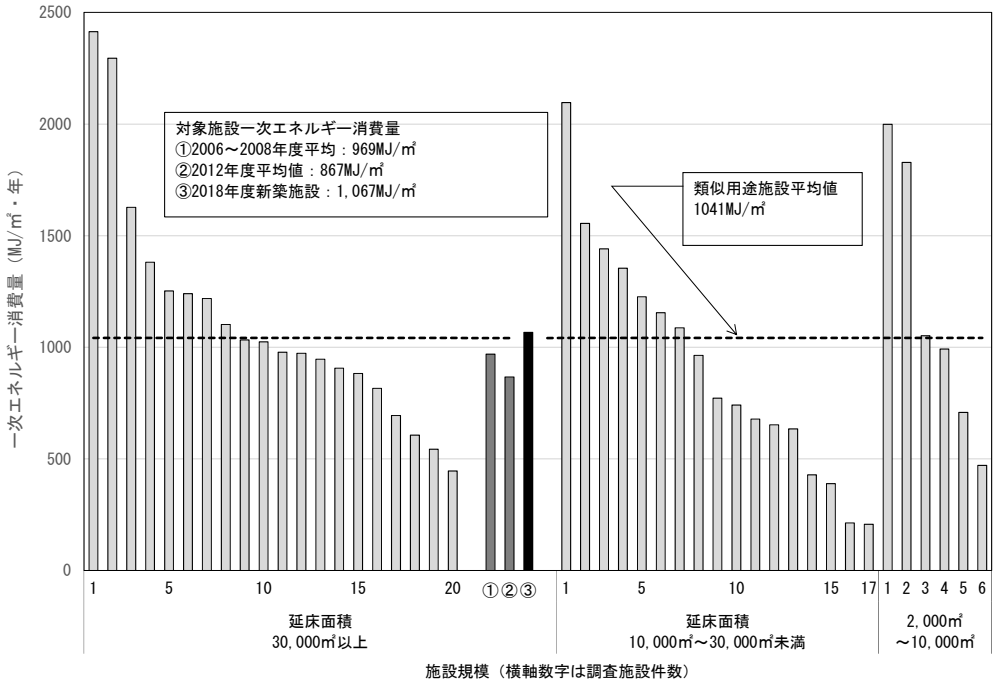


図 5.6　新築施設と類似用途施設とのエネルギー消費量の比較

5.3.3 コジェネレーションシステムの運用評価と震災時の BCP 対応の検証

E 棟（中央棟）には、キャンパス消費電力のピークカットによる契約電力の削減、および災害時の非常電源確保のため都市ガス（中圧ガス）を燃料としたガスエンジン発電機（発電容量 315ｋW×１台）を設置している。

発電機は常用とし、冷房時は、エンジンからの排熱を排熱回収冷凍機（冷房能力 350ＵＳＲｔ×1 台）を用いて冷水を製造し、暖房時は熱交換器を用いて温水を製造することで将来建築予定の D・F 棟負荷分を含む冷暖房熱源とするコジェネレーションシステム（CGS）として計画している。

E 棟コジェネレーションシステムの主要熱源機器を表 5.3 に、2018 年の運転状況を図 5.7 に示す。常用運転を開始した 2018 年 7 月以降は、発電効率は約 35%、CGS の総合効率は、冷房期間（2018 年 7～9 月）は 40%前後であったが、同年 10 月以降の暖房利用期間は向上し、12 月では 60%となった。

表 5.3　E 棟熱源主要機器表

機器名称	台数	発電出力 (kW)	排熱量 (kW)	ガス消費量 (m3N/h)
ガスエンジン発電機	1	315	280	67
機器名称		冷却能力 (kW)	加熱能力 (kW)	ガス消費量 (m3N/h)
吸収式冷温水機		1055	958	89.2
排熱投入型吸収式冷温水機	1	1055	901	82.3
真空式温水器	3	－	930	92.7

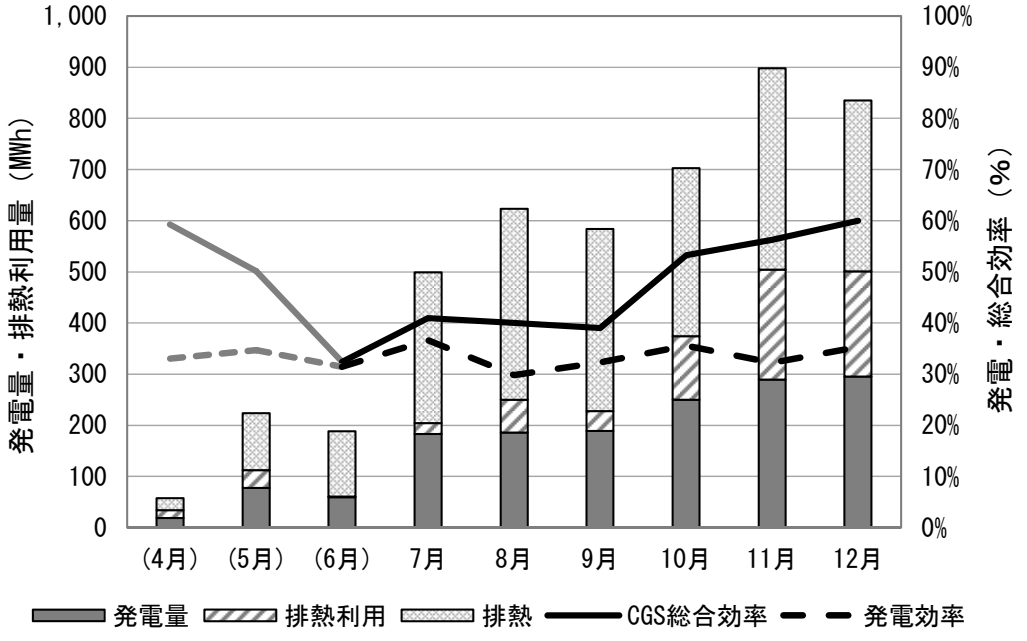


図 5.7　CGS 設備の運転状況(2018 年)

導入した CGS は、災害時（停電時）は、ブラックアウトスタート機能により、自己バッテリーで起動し自動的に非常発電を行う機能を有している。

2018 年 9 月の北海道胆振東部地震による停電発生時には、同機能により E 棟への給電を行った。ブラックアウト時の CGS 発電状況を図 5. 8 に示す。9/6(木)のブラックアウト発生直後に発電機は自動起動し、以降 9/7(金)の復電時まで運転を継続した。

北海道科学大学は地区の基幹避難所に指定されており、停電発生直後から、施設を開放し避難者の受入、WC、洗面など便益の供与非常用飲料水、食糧の提供等を行った。また、CGS による給電が可能なため携帯電話への充電設備の供与、ニュース映像の放映を行った。運転時間の平均発電量は時間平均 30~35kW であった。

9/8（土）9/9(日)は、キャンパスを閉鎖し避難所としての機能も終了したため発電機は停止し、翌週の 9/10（月）からは、平常の運転を再開した。

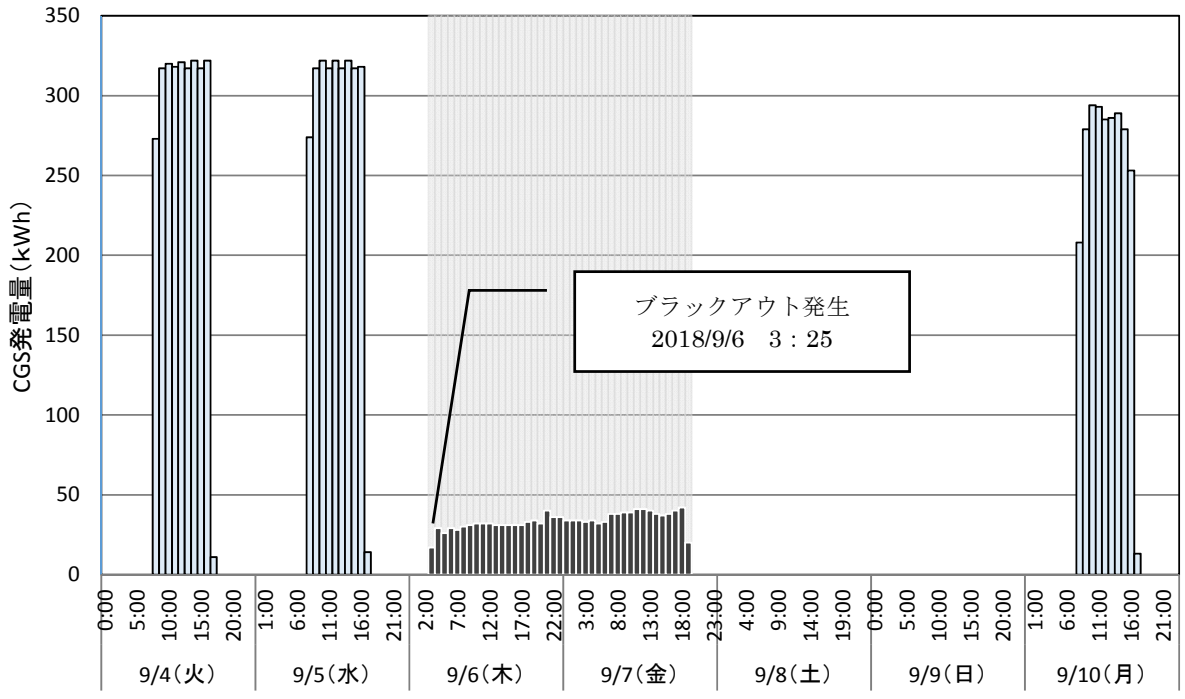


図 5.8　胆振東部地震発生時の CGS 発電状況

5.3.4 雪氷エネルギーを利用した地中熱利用空調システムの評価

1）システム導入の目的

再生可能エネルギーの利用および省エネルギーの両立を目指し、北海道科学大学キャンパスでは、地中熱ヒートポンプシステムを導入した。さらに、本システムでは雪の持つエネルギーを簡易かつ安価に利用することをコンセプトとし、構内に積もった雪を地中に埋設したシート状の熱交換器の上部に堆雪させ、空調の冷房熱源および暖房熱源として利用することを目的とした。冷熱源としては堆雪させた雪から伝わる冷熱と融解水による冷熱を利用する。また、温熱源としては堆雪した雪が地表を覆い、氷点下の外気から地中の熱交換器に与える影響を遮断する効果があると考えた。

雪氷熱と地中熱の両方を有効に活用するシステムであることから、このシステムを以降「雪氷地中熱利用ヒートポンプ空調システム（Snow + Ground Sauce Heat Pump system）　（以下 S+GSHP)」とする。GSHP の仕様を表 5.4 に示す。

2）システムの概要

本システムのフローを図 5.9 示す。ヒートポンプの一次側（地中側）にシート状熱交換器（以下 S-HEX）を縦に設置し、水平方向に対して等間隔に埋設している。

各 S-HEX を配管で並列に接続し、配管内に不凍液を循環させて地中で採熱・放熱を行う。S-HEX の外形を図 5.10 に、S-HEX の敷設状況を図 5.11 に示す。S-HEX 底部までの埋設深さは地表面から深さ約 2mであり、これまで地表面温度の影響を受けやすいことから、寒冷地において導入事例の少なかった埋設深度を浅くした熱交換器を以下の効果が期待できると判断して採用した。上部に雪を堆積することで、夏期には雪の融解水が地中に浸透する際の冷熱を利用する。

一方、冬期には外気温度が氷点下になる寒冷地の場合、堆雪した雪が断熱材の役目をし、地表面温度をほぼ一定に保ち地中熱を有効な温熱源として利用することを可能としている。

さらに、S-HEX 施行時に掘削が少なくて済むため、通常のボアホール方式と比較して施工費が 50%程度安価となることも大きな特徴と言える。熱源機器は一般的に地中熱ヒートポンプシステムで採用される水冷ヒートポンプとした。

S-HEX 上部に堆雪させた雪は、日射遮蔽・遮熱・断熱・防雨を目的に養生シートで覆った。養生シートの仕様を図 5.12 に示す。2017 年の養生シート設置期間は、2017 年 4 月下旬から、堆雪した雪が完全に融解する 7 月上旬までの期間であった。

本システムを熱源とする空調対象室は、24 時間空調を要する B 棟（薬学部棟）動物飼育施設で、床面積は約 230 ㎡である。

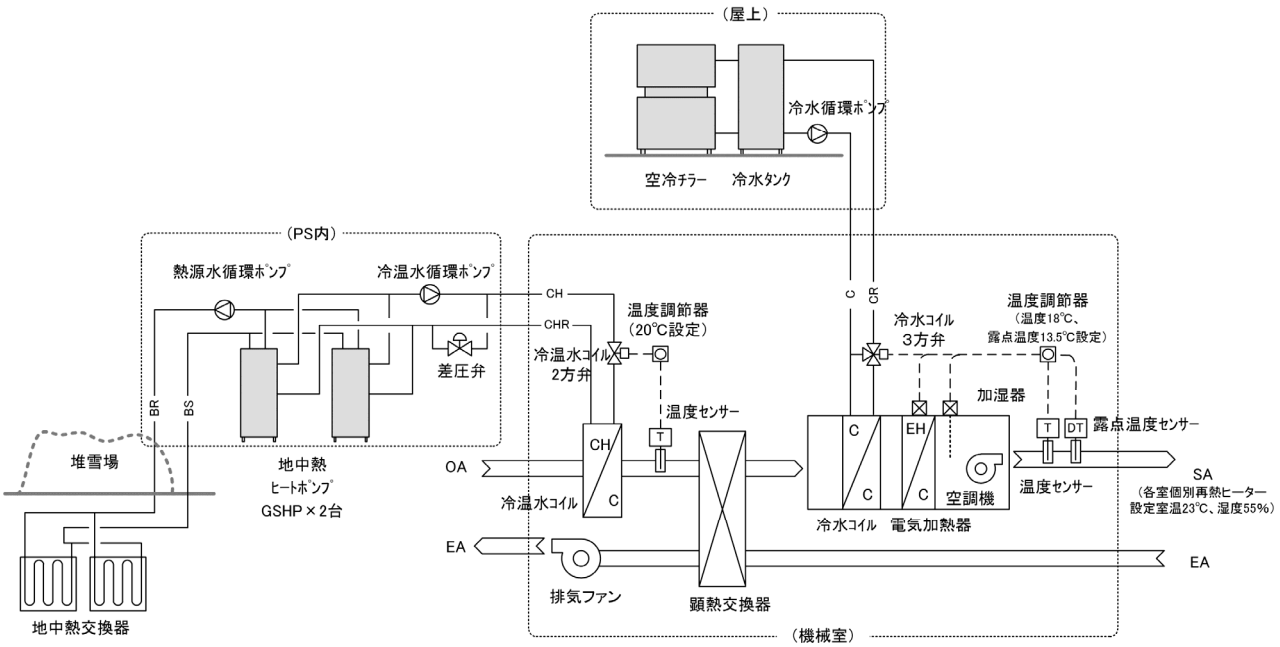


図 5.9　S+GSHP システムフロー

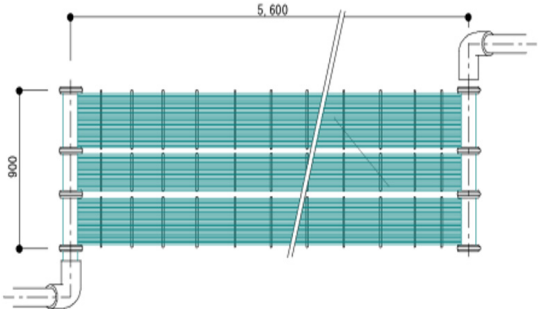


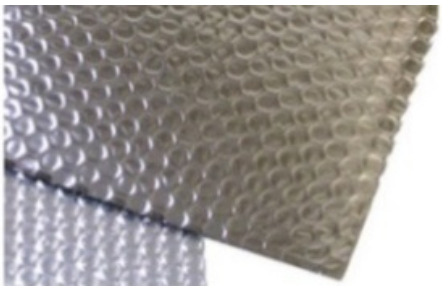
図 5.10　S-HEX 外形図



図 5.11　S-HEX 敷設状況

表 5.4　GSHP 仕様

暖房	定格能力	28.0 kW
	（最大）	30.0 kW
	消費電力	7.0 kW
	COP	4.0
冷房	定格能力	26.5 kW
	（最大）	30.0 kW
	消費電力	30.0 kW
	COP	4.5
定格電圧		3φ 200V
設置数		2 台



熱伝導率：0.031W/m・K
厚み：3.5mm

図 5.12　養生シート仕様

3）計測ポイント概要

S-HEX 設置場所・水冷ヒートポンプ設置場所・空調対象室の全体配置を図 5.13 に示す。また、S-HEX（計 20 枚）と各計測ポイントの平面配置を図 5.14 に示す。地中温度を計測する温度センサーは T 型熱電対を使用した。

各計測ポイントの T 型熱電対設置位置（深度）を図 5.15 に示す。計測ポイントは①S-HEX の影響を受けない点、②S-HEX から平面的に 400mm 離れた点、③S-HEX 同士の中間点（S-HEX から平面的に 1,200mm 離れた点）、④地表面近傍、⑤～⑩S-HEX 直近とした。

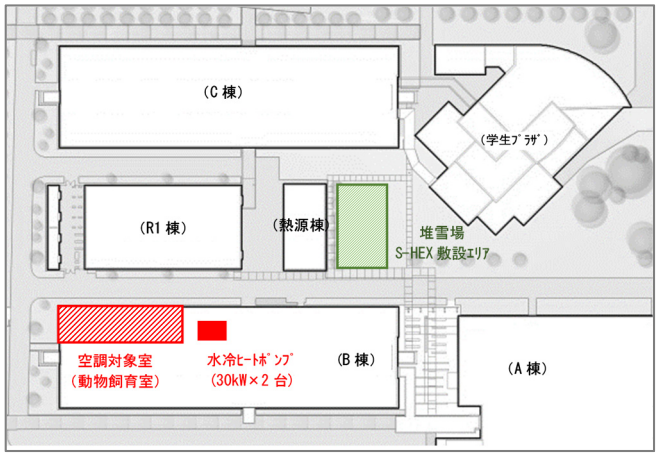


図 5.13　全体配置図

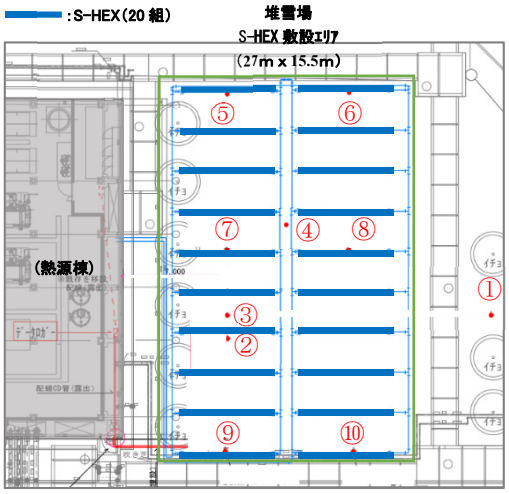
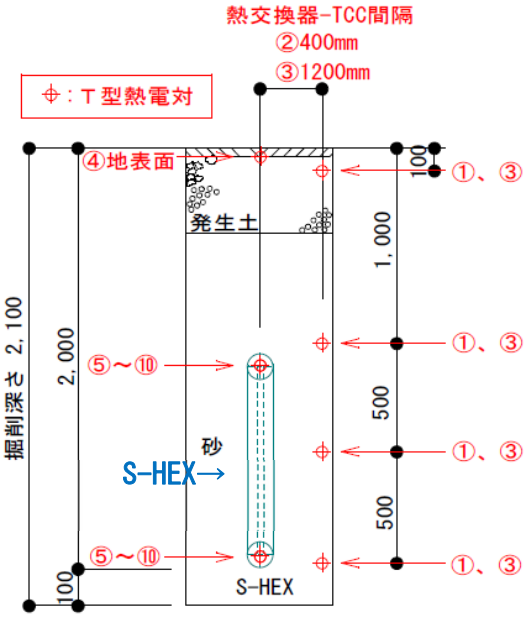


図 5.14　S-HEX・地中温度計測点配置図



計測ポイント	T型熱電対の設置深度(mm)			
①	100	1,000	1,500	2,000
②	-	1,000	1,500	-
③	100	1,000	1,500	-
④	10	-	-	-
⑤～⑩	-	1,100	-	2,000

図 5.15　地中温度センサー設置位置

４）堆雪・融解状況経過

2016 年 12 月の降雪から、2017 年 7 月までの、堆雪状況および融解までの経過を図 5.16 に示す。冬期はキャンパス敷地内に降雪した雪を S-HEX の上に堆雪するために、トラックで堆雪場近くまで運搬し（図 5.16 ①）、除雪車により堆雪場上部に雪を積み上げた（図 5.16 ②）。

2017 年 1 月には図 5.16 ③の堆雪状況となり、その後も堆雪を継続し、自重や降雨によって圧密され、シート養生前（図 5.16 ④）には圧雪となっていた。

2017 年 4 月にシート養生を行い（図 5.16 ⑤）、蓄熱された冷熱を冷房熱源として利用した結果、2017 年 7 月に雪はほぼ融解した（図 5.16 ⑥）。



図 5.16　堆雪・融解状況の経過（2017 年度）

５）年間地中温度の推移

S+GSHP 運転時の S-HEX 周辺と、S-HEX の影響が無い箇所の期間地中温度変化を把握するために実測を行った。温度計測点（①～⑩）は図 5.14、図 5.15 による。

実測期間は冷房運転時・低負荷運転時（中間期）・暖房運転時とし、2016 年 7 月～2017 年 6 月の期間、計測間隔を 10 分として連続計測を行った。地中温度・外気温度経時変化を図 5.17 に示す。

７月の冷房運転開始時（図中 A）は、地中温度が外気よりも低温な状況であった。S-HEX 周囲温度が 0℃に近い理由は、雪にシートを被せていた効果と暖房運転時の地中からの採熱の影響が考えられる。8 月に入り 、冷房運転による地中への放熱の影響により S-HEX 周りは外気温度より高い期間が多くなった。しかし、S-HEX 間にある計測ポイント③の温度は外気温度より低い期間が長いことから、S-HEX の周辺温度は外気温度に対して低温であったといえる。（図中 B)。低負荷運転時の温度変化は、外気温度が下がるにつれてなだらかに低下し、暖房運転開始時には外気よりも地中温度が高い状況にあった（図中 C)。12 月以降は S-HEX 周辺温度は堆雪の影響により 0℃付近で安定するが、外気温度は氷点下になることも多く、相対的に地中温度の方が高い期間が多いことが分かった（図中 D)。2017 年 5 月に再度冷房期間となり、外気温度に比べて低温な地中温度環境が継続し、冷房運転が開始された（図中 E)。

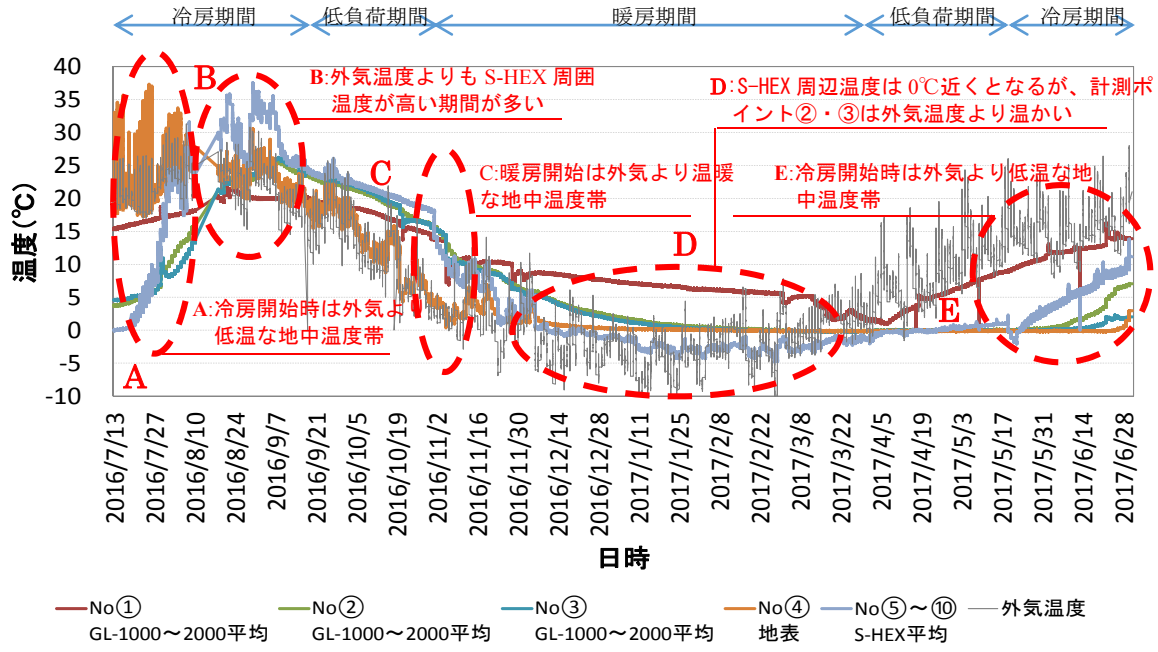


図 5.17　地中温度・外気温度経時変化

６）必要堆雪量の検討

S+GHP システムの必要堆雪量の算出方法を以下に示す。

①地中保有熱量の計算

Qg＝S×h×Cg（TL－T0）＝56,498MJ

Qg：地中保有熱量[MJ]

S：堆雪場所面積[㎡]：15.5m×27m=416.5 ㎡

h：有効深さ[m]：3m

Cg：熱容量[MJ/（m3・K）]：3.00MJ/m³・K（飽和状態の砂を想定）

TL：放熱限界温度[℃]：25℃（実測値から）

T0：地中初期温度[℃]：10℃（1996～2016 年札幌平均気温）

②想定負荷熱量の計算

QL＝D×Hp×α＝123 日×24h/日×60kW×20%＝35,424kWh＝127,526MJ

D：冷房想定期間での運転時間合計[h]

5～8 月の 4 ヶ月毎日運転(123 日)、1 日運転時間(24h/日)

Hp：熱源出力[kW]：60kW

α：負荷率[%]：20%（仮定）

③地中保有熱量のみで賄えない熱量

QL－Qg＝127,526MJ－56,498MJ＝71,029MJ

④必要堆雪量の計算

11～6 月までに堆雪した場合の堆雪面での熱収支合計（雪を溶かす熱量）：3,355MJ

必要堆雪熱量＝71,029MJ＋3,355MJ＝74,384MJ

0℃の氷の融解潜熱を 333.5ｋJ/kg、圧密状態の堆雪の比重を 500kg/m³ とすると

必要堆雪量＝74,384MJ÷333.5ｋJ/kg÷500kg/m³＝446m³

現地での実堆雪量は、堆雪状況（図 5.18）を撮影し、3D モデル（図 5.19）を生成して求めた。写真画像による堆雪量の計測は、冬期堆雪途中の期間でも実施できるため、現地の実堆雪量が算出した必要堆雪量を充足しているかを確認することが可能である。



図 5.18 堆雪状況（断熱シート敷設前）

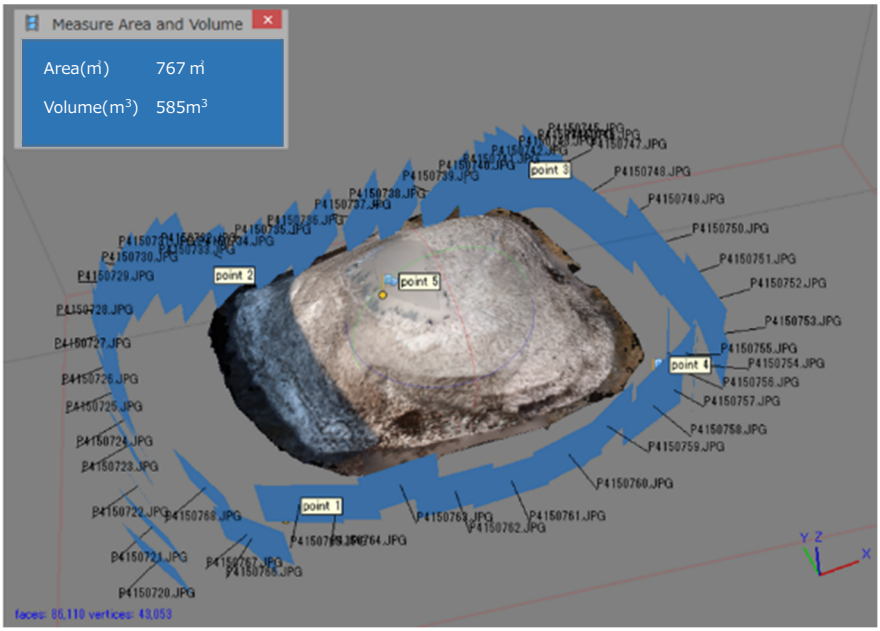


図 5.19 モデル化による堆雪量の算出

7）システムの運転評価

システムの年間運転状況（2017 年度）を、表 5.5 に示す。

S+GHP システムは通年稼働しており、2017 年度では、年間必要熱量の 50%を供給し、「従来システム（空冷チラーのみによる運転)」に対して約 20%の消費エネルギーの削減を果たしている。

表 5.5　S+GHP システムの運転実績（2017 年度）

2017年	電力消費量	熱生産量（地中熱利用）	熱生産量（他熱源）	従来システム※1)		地中熱利用依存率※3)	省エネ率※4)	総合ｴﾈﾙｷﾞｰ効率※5)	システム稼働時間
				電力消費量	1次ｴﾈﾙｷﾞｰ換算※2)				
	（MWh）	（MJ）	（MJ）	（MWh）	（GJ）	（%）	（%）	（%）	（h）
4月	13,422	75,720	80,900	15,947	57,409	48.3	15.8	119.6	720
5月	7,807	48,550	42,800	9,541	34,347	53.1	18.2	119.9	744
6月	14,449	81,650	85,400	17,365	62,514	48.9	16.8	118.5	720
7月	16,564	94,330	95,400	19,933	71,759	49.7	16.9	117.4	744
8月	15,372	90,990	88,100	18,622	67,038	50.8	17.5	119.4	744
9月	6,700	40,600	37,900	8,150	29,340	51.7	17.8	120.0	720
10月	3,201	19,050	17,900	3,881	13,973	51.6	17.5	118.3	744
11月	27,165	159,120	162,200	32,469	116,888	49.5	16.3	121.2	720
12月	63,300	383,710	376,700	76,090	273,926	50.5	16.8	123.1	744
1月	47,820	287,550	281,700	57,405	206,658	50.5	16.7	122.0	744
2月	62,733	309,250	306,100	78,901	284,044	50.3	20.5	100.5	672
3月	20,545	109,250	127,700	24,187	87,072	46.1	15.1	118.2	744
合計	299,078	1,699,770	1,702,800	362,491	1,304,969	50.0	17.5	116.6	8,760

（※1）「従来システム」は、地中熱を利用しない場合のシステムであり、本システムでは、図 5.9 に示した空冷チラーのみで全冷熱を供給した場合を示す

（※2）従来システムの 1 次エネルギー換算
＝従来システムの燃料消費量×燃料高位発熱量＋従来システムの電力消費量×9,760

（※3）地中熱エネルギー依存率
＝熱生産量（地中熱）÷{熱生産量（地中熱）＋熱生産量（他熱源）}×100

（※4）省エネ率
＝{1－（燃料消費量×燃料高位発熱量＋電力消費量×9,760）
/従来システムの 1 次エネルギー換算}×100

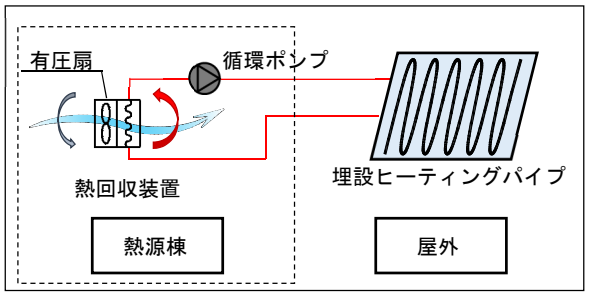
（※5）総合エネルギー効率
＝（熱生産量（地中熱）＋熱生産量（他熱源））
/（燃料消費量×燃料高位発熱量＋電力消費量×9,760）×100

5.3.5　熱源機械室排熱利用融雪システム

熱源棟には A～C 棟を対象とした冷温熱源機器が設置されている。これらの機器発熱は大きいため、室内は冬季でも高い温度になっており、一般的には一種換気により、室温上昇を抑えている。

本施設では、冬期の機器発熱（排熱）を利用し、キュービクル置場のメンテナンス通路の融雪を行っている。システムフローとシステム構成機器の仕様を図 5.20 に示す。

熱源棟とキュービクル周り配管範囲を図 5.21 に示す。埋設しているヒーティング配管範囲は約 145 ㎡である。運用は 11 月～3 月までの冬季には常時運転している。



機器	項目	記号	値	単位
ファン	消費電力	W	0.366	kW
	風量	V	3,900	m^3/h
ポンプ	消費電力	W2	0.250	kW
	流量	qv	0.041	m3/min
熱媒	不凍液比熱	C	1,720	J/kgK
	不凍液密度	ρ	872	kg/m^3
	不凍液質量流量	qm	0.596	m^3/min
	不凍液温度差	⊿T	（計測値）	℃
仕事量	Q=qm×C×⊿T			kW
ｼｽﾃﾑCOP	Q/（W1+W2）			—

図 5.20　システムフローおよびシステム構成機器仕様

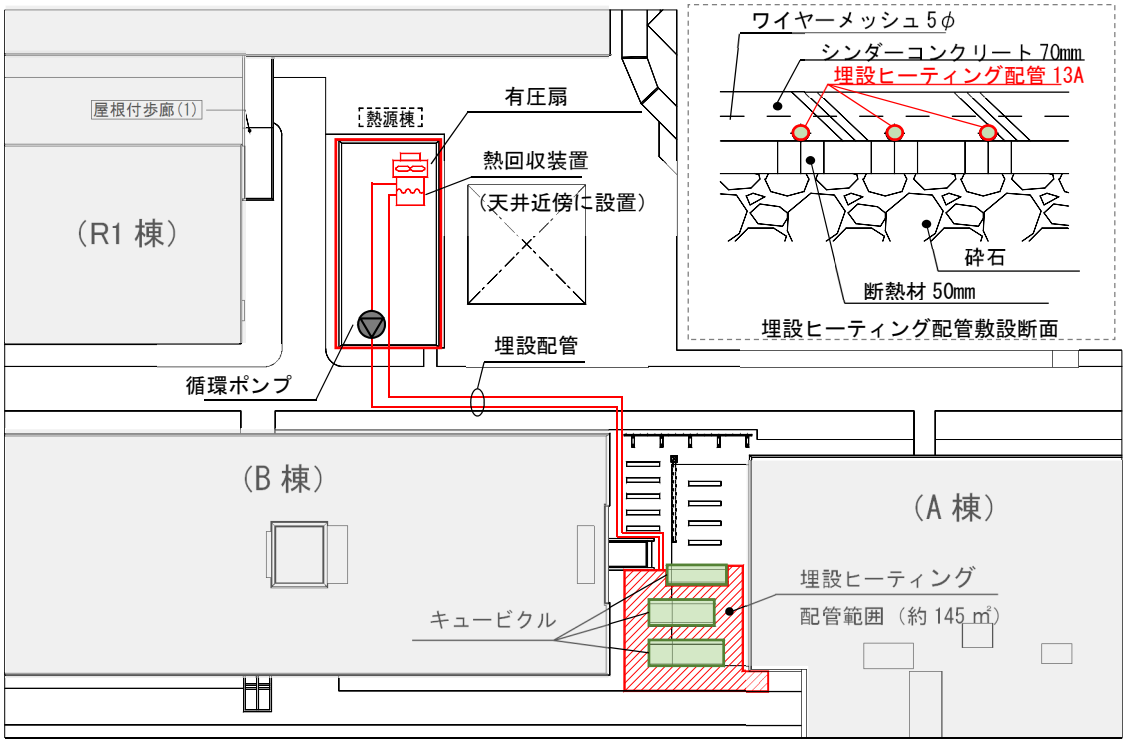


図 5.21　熱源棟・キュービクル周り配管範囲

2017 年 2 月の日平均外気温度は-2.5℃（雪日数 22 日）、3 月は 0.9℃（雪日数 21 日）であったが、融雪状況写真（図 5.22）のように十分な融雪効果を得られた。表面温度を確認したサーモグラフィ画像を図 5.23 に示す。

循環する不凍液の出入口温度差は約 5℃であり、図 5.24 で示すように、システム平均 COP は 6 以上となった。換気排熱を活用した、省エネルギー性の高い効率的な融雪効果を検証した。



図 5.22　融雪状況写真

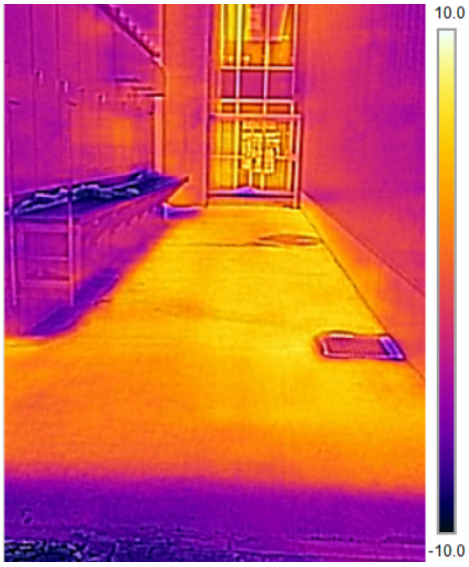


図 5.23　融雪面温度

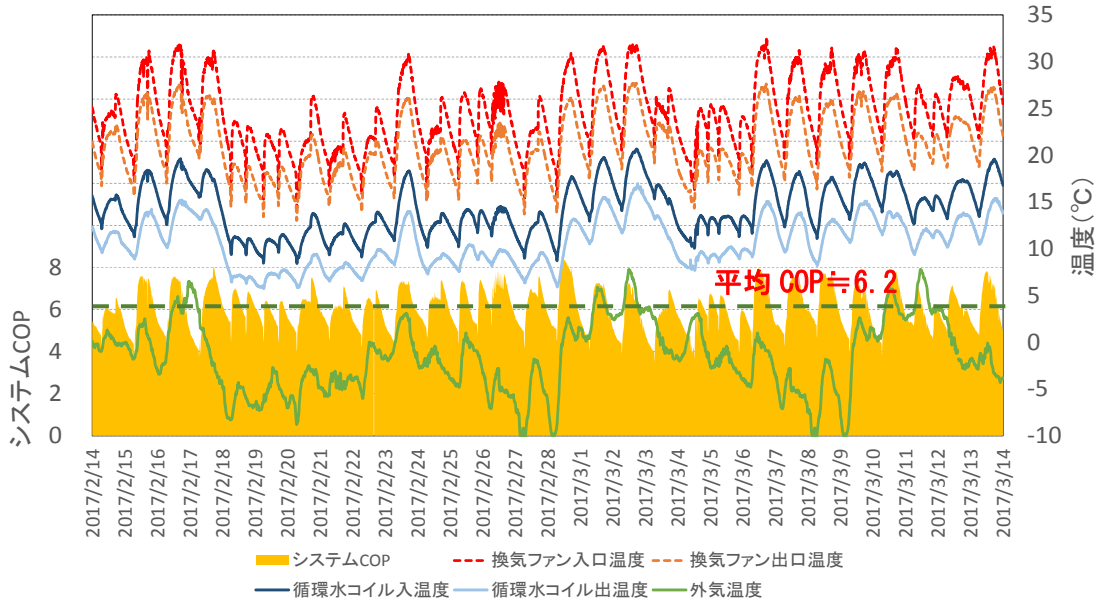
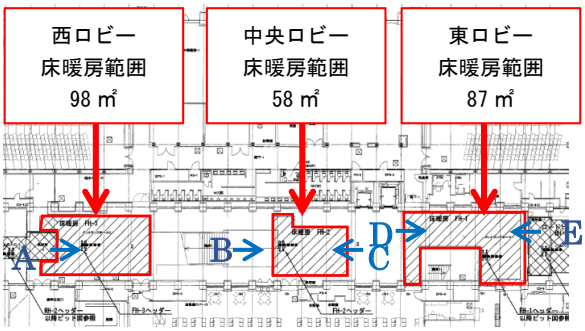


図 5.24　システム COP および各温度変化

5.3.6　温水床暖房によるロビー空間の垂直温度差の解消

A 棟（共用講義棟）の 1 階ロビーは東西に連続しており、アトリウムを含む吹抜け空間となっているため、床暖房方式を採用し、冬期間の室温維持を図っている。図 5.25 に各ロビーの床表面温度をサーモグラフィ画像で示す。放射熱の効果も十分に発揮されていて、PMV 値の実測結果（図 5.26）では PMV 値が+1.0～+0.4 であり、「快適」から「やや暖かい」環境を維持している。



（サーモ画像撮影方向）



（ロビー・アトリウム内観）

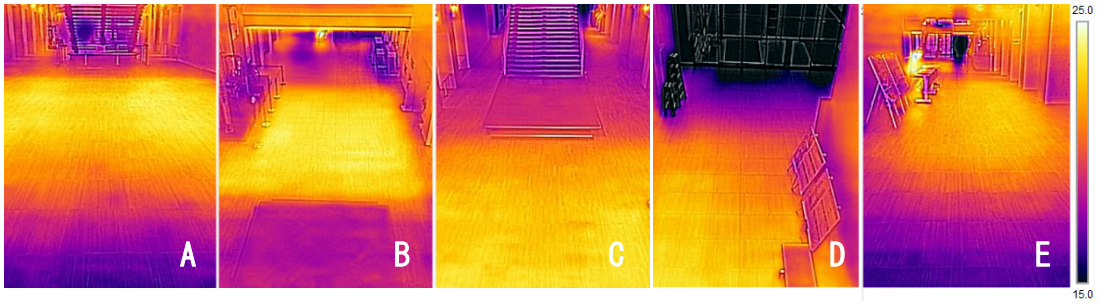


図 5.25　A 棟ロビー床暖房表面温度

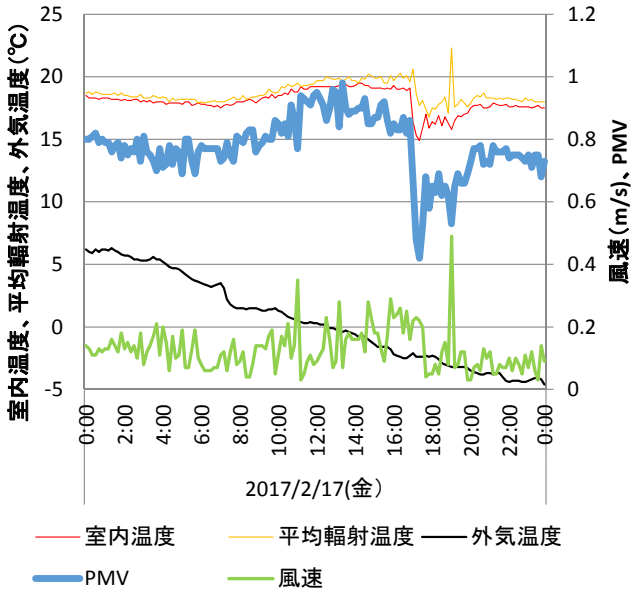


図 5.26　ロビーの温度・風速・PMV 変化

A 棟ロビーおよびアトリウム空間の垂直温度測定点を図 5.27 に、各階の時刻別垂直温度分布を図 5.28 に示す。ロビー吹き抜け部は天井高 14.4m であるが、上下温度差は西ロビーで最大約 1.5℃差、東・中央ロビーでは約 1.0℃程度となり、最上階である 4 階部分も含めて、各階のラウンジ（共用学習スペース）は、快適な空間を実現した。

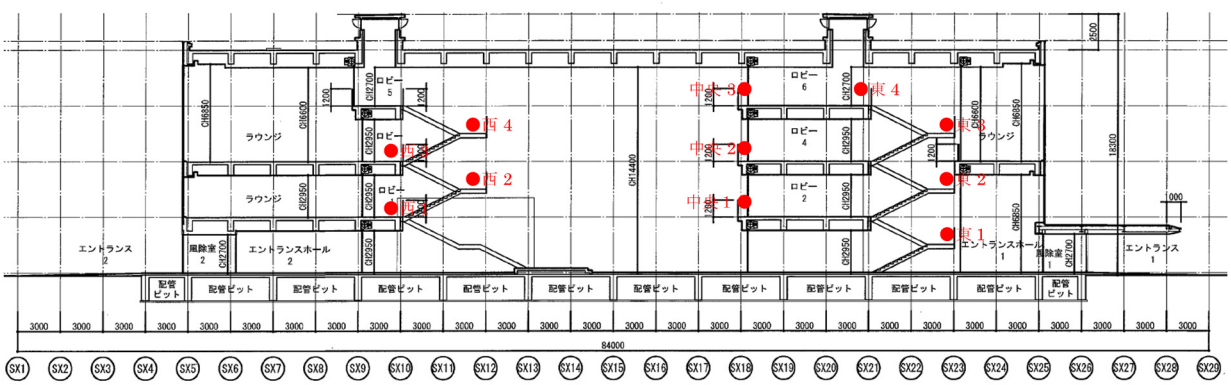


図 5.27　A 棟ロビー垂直温度測定点

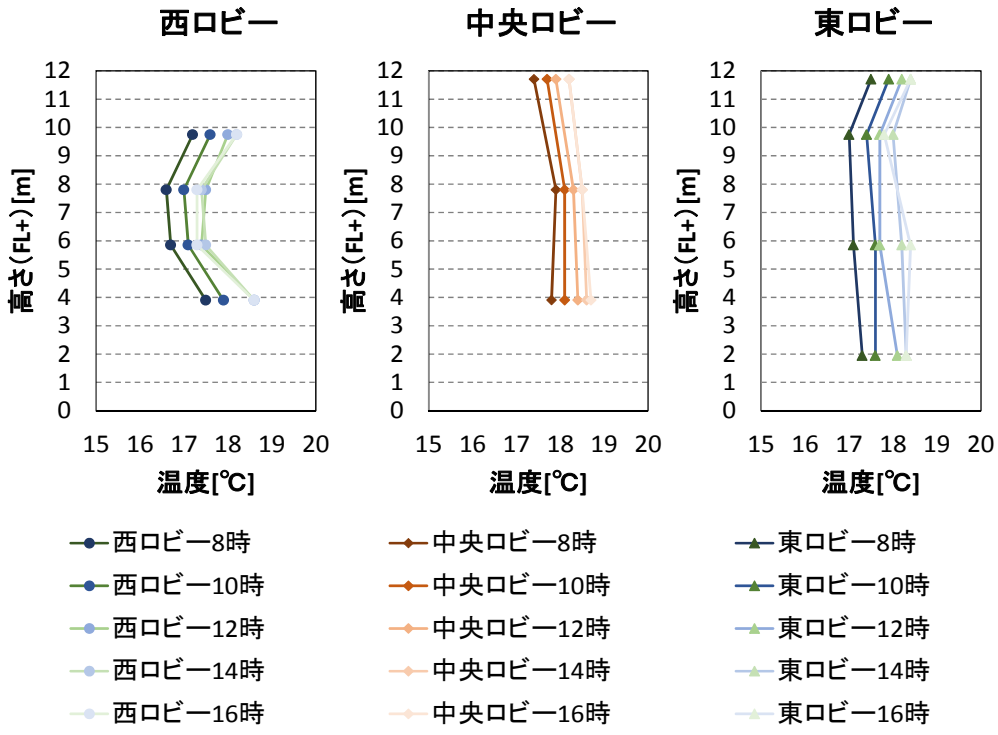


図 5.28　ロビー時刻別垂直温度分布

5.3.7　風除室温風加圧制御による冷気侵入防止

A 棟（共用講義棟）1 階ロビーの東西両端の出入口には風除室を設置し、隙間風が入りにくい建築計画としている。ただし、登下校時や休み時間など学生の出入りが集中する時間帯では風除室扉が開放されている時間帯が多くなり、5.3.6 節で示した床暖房設備のみでは、冷気の侵入を制御しきれないことが懸念された。風除室からロビー空間への冷気侵入対策として、専用の給気ファンと加熱コイルを設け、図 5.29、図 5.30 に示す風除室（温風）加圧設備を設けた。

加圧ファンの発停およびロビー床暖房の運転状況と風除室・ロビー内の温度計測結果を図 5.31 に示す。加圧ファンを稼動時はロビーの温度が急激に下がることはなかったが、加圧ファンを停止した場合では、ロビー内温度が昼休みの時間帯に大きく低下する傾向があった。このことより、本システムはロビーの温度低下を抑制し、屋内環境を良好に維持できることを実証した。



図 5.29　風除室吹出口

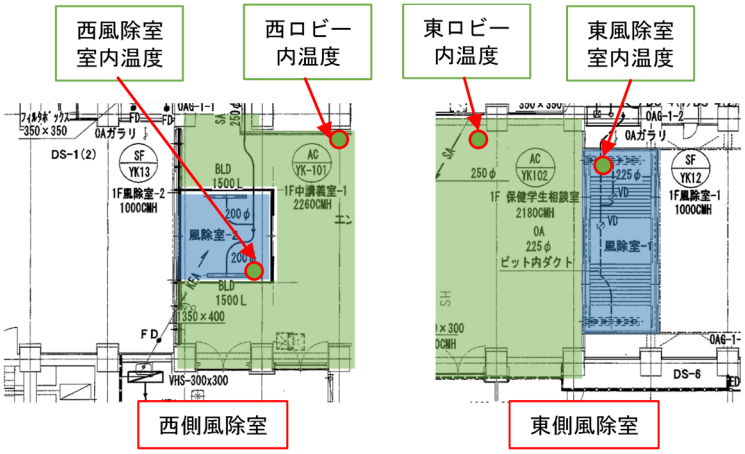


図 5.30　A 棟東西風除室温度計測点

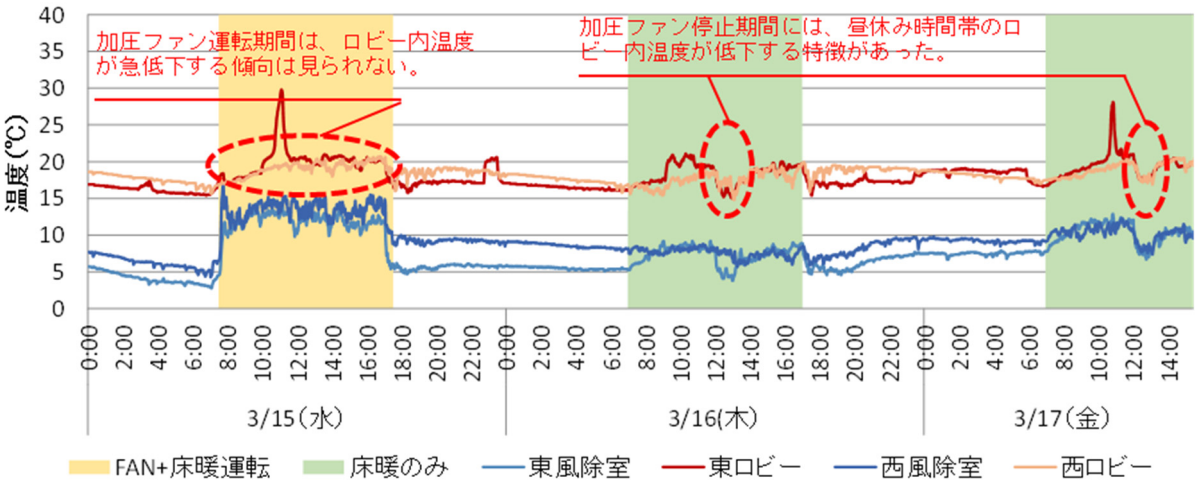


図 5.31　各ロビーおよび風除室内温度変化

5.3.8 CO_2 制御による外気負荷削減

A 棟（共用講義棟）に 4 室ある大講義室の空調では、外気負荷を削減するために CO_2 制御を採用し、室内の CO_2 濃度が 1,000ppm 以下となるように外気取入量を制御している。

室内の CO_2 濃度変化と空調給気量（SA）・外気量（OA）・還気量（RA）の風量推移を図 5.32 に示す。どの日も 8 時から室内の CO_2 濃度が上昇する傾向がみられる。外気量は最小に抑えられていたが、 CO_2 濃度の上昇に合わせて外気量を増やし、室内の CO_2 濃度が 1,000ppm を超えないように制御されていることを確認した。

実測期間中の外気取入量は、各日の最大外気量が 8:00～16:30 まで連続して供給された場合に比べ、CO_2 制御をしたことで最大で約 50%削減されたことを検証した。

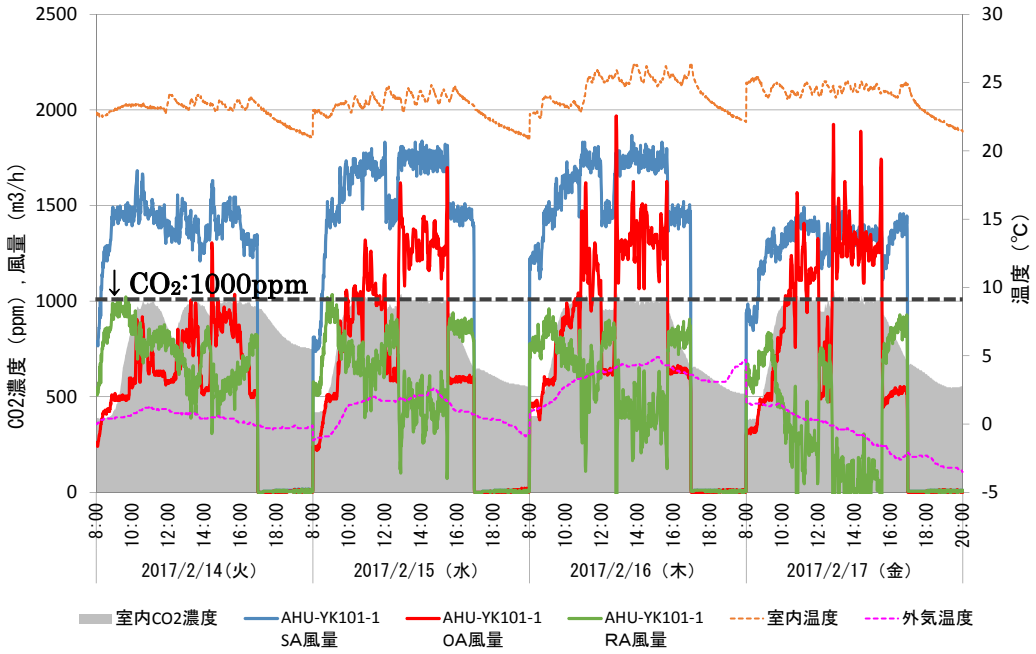


図 5.32　室内 CO_2 濃度変化と各風量の推移

5.4 導入計画予定技術の概要

本節では、図 5.2 で示したスマートキャンパス化に向けた導入技術のうち Phase1 における導入（予定）技術の概要およびスマート化に向けた導入効果を示す。

1）太陽光発電（PV）+蓄電池+電気自動車（EV）

E 棟（中央棟）屋上に再生可能エネルギー利用設備および災害時電源確保のため、太陽光発電パネル 10ｋW（125W×40 枚×2 アレイ）を設置している。太陽光発電からの電力は、6.2kWh 蓄電池にて蓄電を行なうとともに電気自動車バッテリーへの蓄電を行う。システムの概要と導入技術の効果を図 5.33、表 5.6 に示す。

災害時に商用電源、発電機からの給電が停止した場合、太陽光発電と蓄電池からの電力により E 棟の避難所（１階エントランスロビーを想定）への災害時インフラ途絶時の非常電源を供給する。非常電源供給先は、災害時避難場所として計画している E 棟１階ロビー・ラウンジ照明の 30%、同棟１階ＷＣ及び WC に至る廊下の照明の一部、１階食堂内の携帯電話充電用コンセントを想定する。



図 5.33　導入技術の概要（太陽光発電+蓄電池システム+電気自動車）

表 5.6　導入技術の効果（太陽光発電+蓄電池システム+電気自動車）

省エネ・省コスト 低炭素	・再生可能エネルギーの採用による災害時の自立電源確保 ・電源の低炭素化
地域共生 信頼性	・地域への環境性アピール ・地域防災拠点としてのレジリエント化
人材育成 環境啓発	・災害時の安全対策・機能維持についての教育・啓発
学校運営 研究活動	・災害時インフラ途絶時のサバイバル電源確保

日中および夜間の通常時・停電時のシステムの給電フローを図 5.34、5.35 に示す。

2018 年の北海道胆振東部地震によるブラックアウトでは、5.3.3 節で述べたコジェネレーションシステムの運用で非常用電源の確保が可能であったが、都市ガスの供給が停止した場合は、自立型の本システムの運用が必要になる。

日中で停電が発生した場合は、太陽光発電による電力をコンセント給電および蓄電池の受電へ振り分け、電気自動車からはコンセントへの給電を行う。

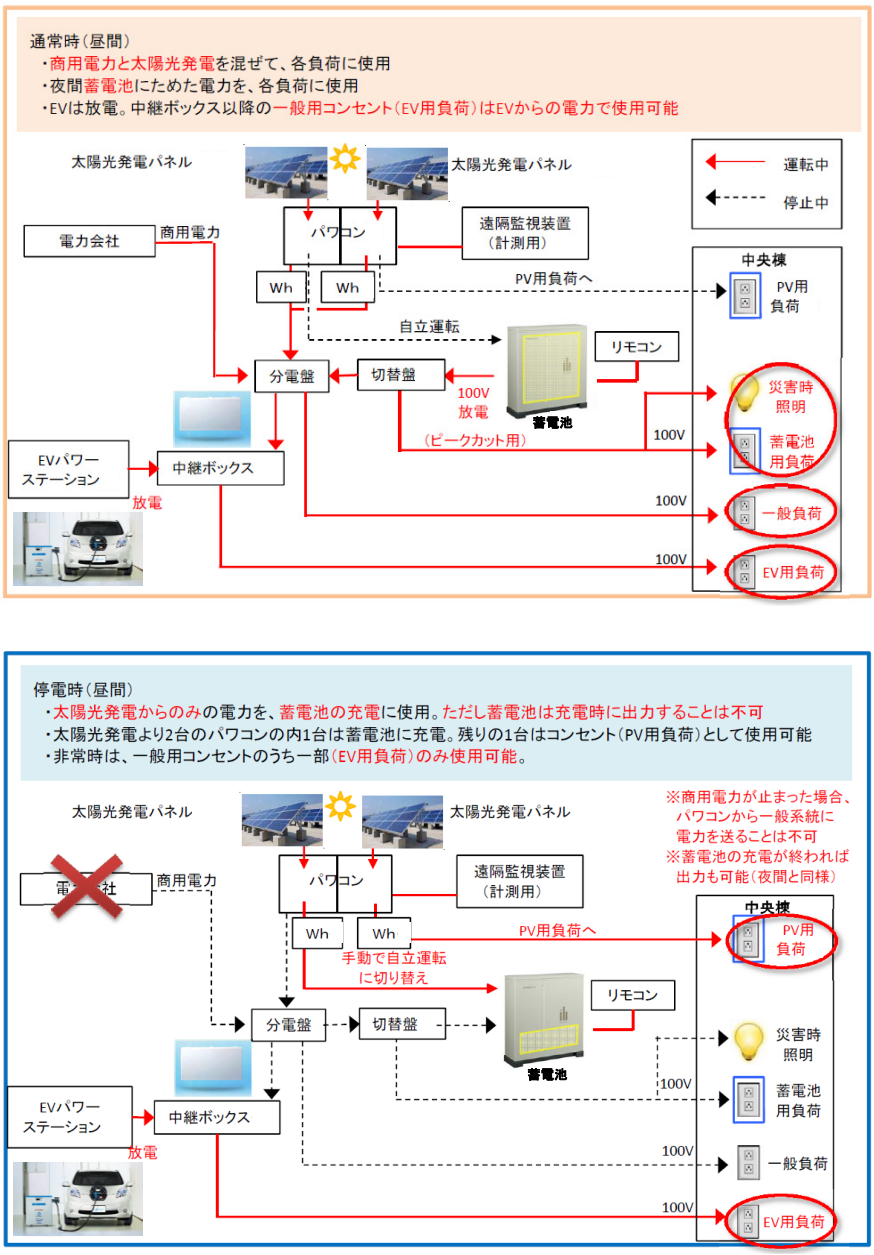


図 5.34　通常時・停電時の運用モード(日中)

夜間に停電が発生した場合は、蓄電池から照明・コンセント給電、EV は日中の停電時と同じくコンセントへの給電を行う。

蓄電池は、定格 6.2kWh、実使用可能電力量は約 5kWh であり、A 棟 1 階ロビー・通路・WC 等の 30%の点灯、携帯 4 台の充電を約 10 時間継続可能な容量である。

また、電気自動車は実使用量約定格 24kWh、実使用可能電力量 19kWh であり、PC(250W)×6 台の使用、携帯(5W)×60 台の充電を約 10 時間継続可能な容量である。

電気自動車は、車両登録を行っており、キャンパス内外で非常用電力が必要な場合、移動電源としての利用も可能である。

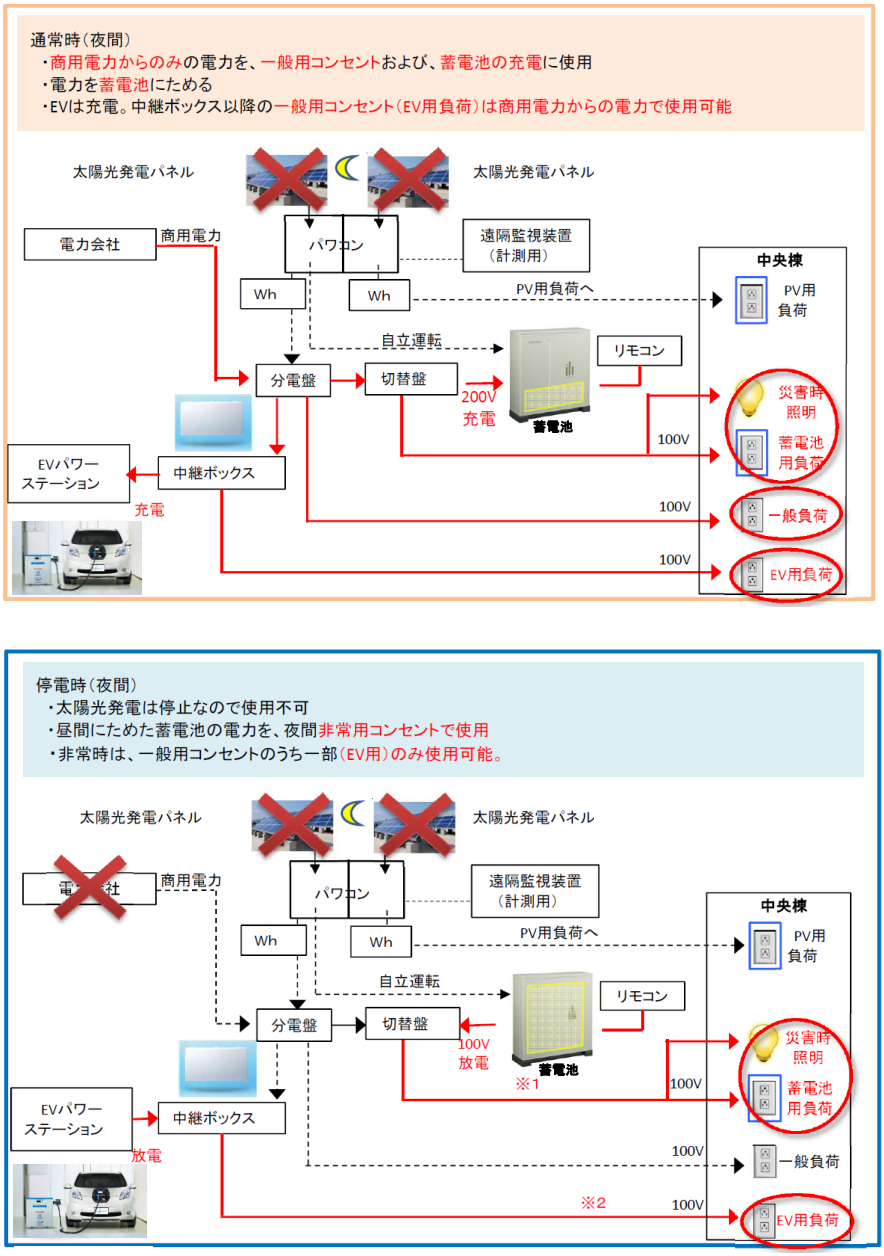
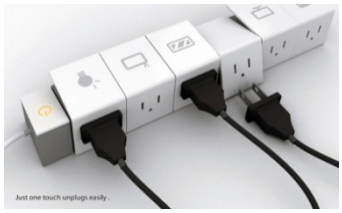


図 5.35　通常時・停電時の運用モード(夜間)

2）スマートコンセントによる電力消費量の計測

三、四章で示したように、キャンパスの電力消費量の削減には、施設利用者の省エネルギー行動が有効である。キャンパスの研究室、ゼミナール室等において、機器ごとの消費電力、夜間待機電力などの電力消費傾向を把握することは、有効な省エネルギー対策を策定するために必要なデータである。スマートコンセントの概要と導入技術の効果を図 5.36、表 5.7 に示す。

スマートコンセントは機器（タップ接続口）ごとの消費電力が計測し、無線でデータの取得が可能である。従来の電力量計測は分電盤にクランプメーター等を用いて計測する方法が一般的であったが、スマートコンセントは移設が可能であるため、必要に応じて計測ポイントの変更が容易である。



スマートコンセント

※機器毎の詳細な
電力使用量を計測可能

【計量対象とする各室負荷】
※各室分電盤で分計しにくい機器
PC・プリンター・コピー機
タスク照明器具
実験機器
冷蔵庫・什器・備品類

図 5.36　導入技術の概要（スマートコンセント）

表 5.7　導入技術の効果（スマートコンセント）

省エネ・省コスト 低炭素	・機器の待機電力の削減による低炭素・省エネ化
地域共生 信頼性	・待機電力削減効果データの地域への展開による地域の低炭素 省エネ化の促進
人材育成 環境啓発	・各機器の電力使用量を使用者に周知することによる省エネ意識の向上
学校運営 研究活動	・機器の夜間待機電等のエネルギー使用データの取得と分析が可能

3）人検知システムによる照明制御システム

従来の人感センサーでは、寒地や制御が困難であった大空間や、利用者の点在するエリアにおいて人そのものを検知することができる人検知センサーにより照明の制御を行なう。システムの概要と導入技術の効果を図 5.37、表 5.8 に示す。

設置計画は、在室人員のピークオフピークの差が大きい D,F 棟（工学部西・東棟）のコミュニケーションラウンジとし、照明・空調制御を人検知センサーにて行なうことによるランニングコストの低減を図る。

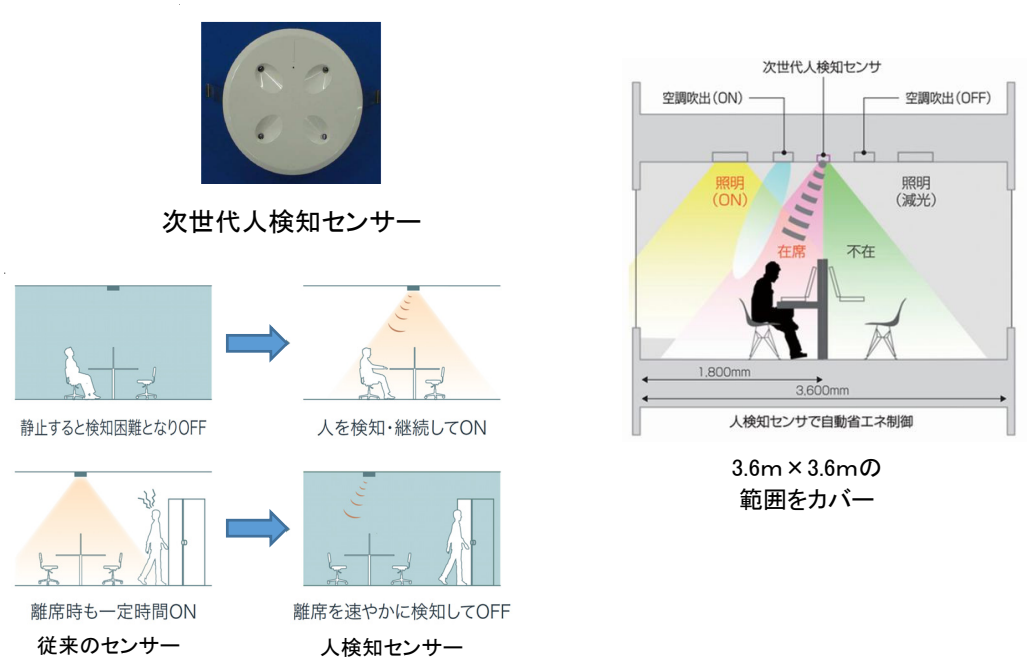


図 5.37　導入技術の概要（人検知システムによる照明制御）

表 5.8　導入技術の効果（人検知システムによる照明制御）

省エネ・省コスト 低炭素	・照明・空調エネルギーの省エネ・低炭素化 ・省エネによるランニングコストの低減
地域共生 信頼性	・地域住民に対する先端環境技術のアピール
人材育成 環境啓発	・次世代環境技術を共用スペースへ設置することによる省エネ教育・啓発
学校運営 研究活動	・人検知センサーによる省エネルギー量の定量的な把握と分析

5.5 第五章のまとめ

本章では、北海道科学大学を実証フィールドとして、寒冷地におけるスマートキャンパスの構築を目的としたキャンパス整備計画を示し、導入システムの評価を行った。また、スマートキャンパスの構築に向けての有効と考えられる導入技術項目と、予想される導入効果について示した。

得られた知見を以下に示す。

1）寒冷地におけるスマートキャンパスの構築を目的に導入した「スマート BEMS」の構成と導入プロセスを示した。「スマート BEMS」は、竣工年次の異なる既設および新築の全施設に対応するものとし、BACnet および学内 LAN の通信ネットワーク用いることで、既設「見える化システム」を含め、既設と新設のシステム間のデータ授受を行うものとした。

「スマート BEMS」は、エネルギー管理者や施設利用者に対して、前章までで得た省エネルギーに有効な情報をリアルタイムで受発信する機能を有する。

2）キャンパス整備計画に基づき、2012 年以降に建設されたキャンパス施設群の年間一次エネルギー消費量は、類似用途施設の平均とほぼ同等であった。施設の供用開始直後であることも要因と考えられるが、第三章で示した既存施設群の消費量を上回っており、今後消費量の削減可能性は高いことを示した。

3）消費電力のピークカットと防災電源の確保を目的に導入したコジェネレーションシステムは、計画に準じて稼働しており、電・熱を併せたシステムの総合効率は 60%となった。2018 年 9 月の胆振東部地震発生時には、非常用発電設備として運転し、キャンパス施設が地域コミュニティの基幹施設としての機能を果たすことを実証した。

4）雪氷エネルギーを利用した地中熱利用空調システム（S-GSHP）では、堆雪場への断熱シートの施設による保温（保冷）効果を確認し、雪氷利用・地中熱利用の有効性を実証した。

5）換気排熱を利用した融雪システム、温水床暖房による居住域の快適な空間の実現および高天井空間の垂直温度差の解消、温風加圧制御による風除室からの冷気侵入防止設備、CO_2 制御による外気取入量の削減効果を検証した。これらの技術は、他用途施設への展開も容易であり、寒冷地施設の消費エネルギーの削減に寄与するものである。

6）スマートキャンパス化に向けての導入(運用)予定の、自立型非常電源システム、スマートコンセント、人検知照明制御システムについて各システムの概要と期待される導入効果を示した。

第六章　総括

6.1 本研究のまとめ

本研究は、北海道内に建設された産業施設及び教育施設を実証フィールドとして、建築設備のコミッショニングによる消費エネルギー削減手法を示すことを目的とし、寒冷地に建設された施設の熱源設備の運転評価や効率的な運用手法の提案を示した。

さらに、キャンパスの施設群における消費エネルギーモニタリングシステムの構築とエネルギー削減効果、削減可能エネルギー量の推計手法を示し、寒冷地のスマートキャンパス整備にあたっての導入技術の評価と提案を示した。

本研究で得られた知見を以下に要約して示す。

第一章「序論」

研究の背景を述べ、既往研究を概説し本研究の位置づけを示した。

地球温暖化抑止のため、産業・業務施設における消費エネルギーの削減は喫緊の課題であり、そのためには設備システムの効率的な運用が必要である。

本研究は、既存施設の運用データから、建築設備のコミッショニングによる消費エネルギー削減手法を示すとともに、持続的なエネルギー消費の削減のため、将来のエネルギー需給の変化や災害に対応可能なスマートコミュニティ（キャンパス）構築のために行ったものであることを示した。

第二章「工場施設におけるフリークーリングシステムの運用評価と熱源管理方法の提案」

産業施設（半導体工場）の BEMS データから、熱源として運用されているフリーク―リングシステムの運用評価を行った。評価対象年度の冬期間では、フリーク―リングによる冷熱の供給のみで施設の運転を行い、年間冷熱負荷の 30%を充足しており、寒冷地における同システムの有効性を実証した。

さらに、現地で日常的に入手可能なデータ（気象予報値）と運用実績のデータから、熱源選択の妥当性の判定材料を提供する気象予報値に基づく冷熱負荷とフリーク―リング能力の予測手法を示した。

気象予報値や運用データを用いた空調負荷の予測手法は、工場施設のみでなく一般施設へも展開が可能であり、施設運用の省エネルギー化に資すると考えられる。

第三章「キャンパス施設におけるエネルギーモニタリングシステムの導入と評価」

BEMS 等のエネルギー管理機能を持たない既存キャンパス施設群に対して、汎用の環境マネジメントツール、無線式のセンサー、既設の構内 LAN の利用などにより、施設機能（運用）を停止せずに導入可能な汎用性を担保した「見える化システム」を構築のプロセスを示した。

また、詳細な調査によって、施設管理者では把握しにくい大学施設の各室の機器等の設置・管理実態を明らかにし、室用途別の負荷原単位および省エネルギー対策項目を明らかにした。さらに、「見える化システム」導入による消費エネルギー削減効果および削減の要因が施設利用者の「環境行動」であることを明らかにした。

第四章「双方向「見える化」インターフェースの開発」

第三章で述べた「見える化システム」のデータをもとに、大学施設のエネルギー消費削減可能量の推計手法を示した。エネルギー消費削減可能量は、対象施設とした「講義棟」の年間使用記録と時刻別エネルギー消費量の実測値から、照明・換気設備の削減可能なエネルギー量として推計した。

さらに、設備の運転状況や施設の利用状況、屋内外温湿度、利用者の温冷感などの環境条件をもとに、施設管理者や利用者に省エネルギー行動を促すことを目的とした双方向ユーザーインターフェース機能を有する省エネルギー支援システム（「双方向システム」）の開発について述べた。

「双方向システム」は、計測データや設備運転状況を取り込み、設定した判定基準値（閾値）による分析診断機能、ガイダンスメッセージ（メール）の配信などの情報発信機能、利用者の設備使用状態や温冷感などの情報受信機能を備えたものである。

同システムを、試験導入し、施設管理者、教職員・学生をモニターとした試験運用を行ない、双方向ユーザーインターフェース機能が、ユーザーの省エネルギー行動の誘導に有効であることを明らかにした。

第五章「寒冷地におけるスマートキャンパスの構築と導入技術の評価」

将来の寒冷地におけるスマートコミュニティの構築に資すること目的に、大学キャンパスを地域コミュニティの主要施設として位置付け、スマート化の基本コンセプトを示し、新たに整備した施設の運用評価、堆雪を利用した熱源設備、コジェネレーションシステムによる災害対応など導入システムの実証評価を行った。

スマートキャンパスのエネルギー管理のために導入した「スマート BEMS」は、キャンパス施設群設備の中央監視機能に加えて、前章までで得た省エネルギーに有効な情報をエネルギー管理者や施設利用者に対して、リアルタイムで受発信する機能を有するものとした。

消費電力のピークカットと防災電源の確保を目的に導入したコジェネレーションシステムは、計画に準じて稼働しており、電・熱を併せたシステムの総合効率は 60%となった。

コジェネレーションシステムは 2018 年 9 月の胆振東部地震発生時には、非常用発電設備として運転し、キャンパス施設が災害時発生時に地域コミュニティの基幹施設としての機能を果たすことを実証した。

寒冷地の再生可能エネルギー利用技術として導入した地中熱利用空調システム（S-GSHP）では、堆雪場への断熱シートの施設による保温（保冷）効果を確認し、雪氷利用・地中熱利用の有効性を実証した。

また、「換気排熱を利用した融雪システム」、「床暖房による高天井空間の垂直温度差の解消」、「風除室冷気侵入防止設備」、「CO_2 制御による外気取入量の削減」効果を検証した。

これらの技術は、他用途施設への展開も容易であり、寒冷地施設の消費エネルギーの削減に寄与するものである。

第六章「総括」

本論文の内容を総括し、得られた知見をまとめ、今後の課題について述べた。

6.2 今後の課題

本論文の主たる開発・実証フィールドである北海道科学大学では、低炭素で地域に開かれた「寒冷地型スマートキャンパス」の整備を目指し、前章までに示した技術を含め、BEMS 計測データを活用して運用改善を継続している。

さらに、デマンドレスポンスやネガワット市場対応など、社会情勢の変化に対応可能な技術を導入し、進化するスマートキャンパスの構築を目指している。

今後の課題を以下に示す。

1）スマートキャンパスの構築と評価

2019 年度の北海道科学大学のキャンパス整備状況は、図 6.1 のロードマップ Phase1 の後半であり、施設建築工事は、2020 年度に予定している表 5.1 の D 棟の竣工（供用開始）と既設 3 号館の除却を残すのみとなっている。

Phase1 のスマートキャンパスの整備項目では、低炭素化とランニングコストの削減を目的として、スマート BEMS の「見える化」機能を活用した消費エネルギー特性の分析と省エネルギー項目の抽出、省エネルギー対策の実施と評価が必要となる。

再生可能エネルギー利用では、既設の地中熱利用・雪氷エネルギー利用システムに加え、太陽光発電システムの運用と評価を行う。

災害時の機能維持対策として、コジェネレーションシステムの有効性については、2018 年の北海道胆振東部地震発生時に検証することができた。現状のコジェネレーションシステムの給電は E 棟のみであるが、発電能力に余裕があること、キャンパスが地域の指定避難所(基幹避難所)

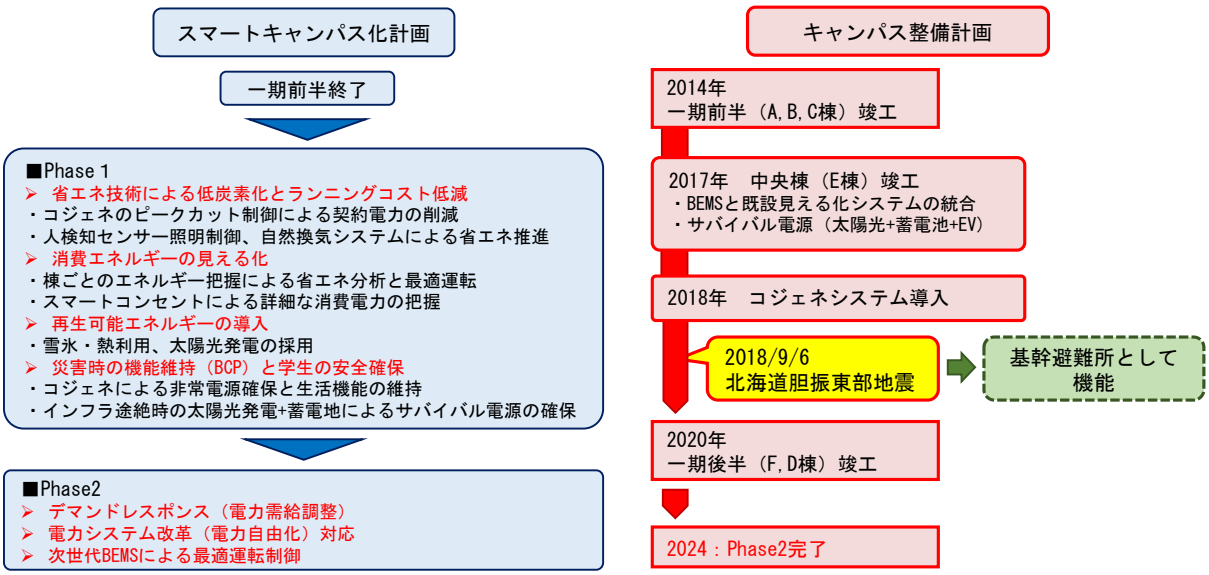


図 6.1　スマートキャンパス化計画ロードマップ

に指定されていることからも、避難者の滞在期間の安全確保のために給電対象施設（エリア）の見直し（拡大）が必要と考えられる。

また、冬期災害発生時の避難施設対策や暖房エネルギーの確保など、寒冷地の特性や課題に対しての研究開発や評価が必要である。都市ガス遮断時の電源確保のため、太陽光発電設備+電気自動車（EV）による防災電源システムの実証実験も急務である。

2）スマートコミュニティへの展開

本論文で示した技術は、持続的なエネルギー消費の削減のため、将来のエネルギー需給の変化や災害に対応可能なスマートコミュニティの構築に寄与することを目的としている。

スマートコミュニティでは、各コミュニティが包括するエリアにおいて、適正規模の自立したエネルギー源を構築し、エリア内において面的なエネルギー監視を行い、エネルギーの需要と供給をバランスさせるネットワークを構築する必要がある。

建設年次や用途が異なる施設群を、ICT 網によりネットワーク化し、地域のエネルギーマネージメントシステムの構築のために、Phase 2 の項目として示した、スマート BEMS を活用したデマンドレスポンス(電力需給調整)、電力自由化への対応技術の確立と汎用化が課題となる。