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 CO₂排出量削減に向けた実効ある対策の計画と実践の事例

A STUDY ON REDUCTION MEASURES OF ENVIRONMENTAL LOAD FROM UNIVERSITY FACILITIES

A case study of planning and implementing effective measures for CO₂ emission reduction
in the University of Tokyo

河野 匡志*, 柳原 隆司**, 花木 啓祐***, 磯部 雅彦****, 坂本 雄三*****

Masashi KAWANO, Ryuji YANAGIHARA, Keisuke HANAKI,

Masahiko ISOBE and Yuzo SAKAMOTO

There are few public data sources for energy which are consumed at university facilities in Japan. So the authors have surveyed such energy data as have been stored in sixty national universities and have also collected the energy data in details only for the University of Tokyo. This paper describes some aspects which were analyzed and derived from the above energy data. Furthermore additional works were conducted for the University of Tokyo. Consequently two results were presented. Namely, one is the reduction potential concerning CO₂ emission for the university facilities, and the other is a guideline for planning and management of buildings and equipments in university facilities.

Keywords : *University Facilities, Sustainable Campus, Environmental Management, CO₂ Emission Reduction*

大学施設, サステイナブルキャンパス, 環境マネジメント, CO₂排出量削減

1. はじめに

地球温暖化防止が世界的にも喫緊の課題となっている現在, 特に化石燃料由来の温室効果ガスの増加傾向が大きい民生部門における取り組みは必要不可欠となっている。この民生部門に属する大学についてみると, 教育・研究機関として事業規模拡大と環境負荷削減とを両立することが課題であるものの, 特に国公立大学においては, 検討組織を整備し, 戦略的に対応している大学は非常に少ない。また, 教員や学生の研究室・実験室, 講義室や事務室など様々な使用形態に加え, 理科系と文科系施設が併設され, 附属病院等の医療施設や看護師宿舎なども含む様々な用途の建物が混在している総合大学では, 建物毎のデータ集計・分析が複雑となり, エネルギー消費実態を十分に把握できていない。さらに, 大学施設におけるエネルギーデータベース^{1)~6)}はほとんど整備されていない状況であるため, 対象とする建物をどのように選定し, 省エネルギー, 創エネルギー, エネルギー源転換などハード面の更新計画の策定・効果検証から, 適正運用・維持改善などソフト面の対策に至るまで環境負荷削減手法が確立されていない。

本研究は, 東京大学(以下, 本学)において全学的に進めている東

大サステイナブルキャンパスプロジェクト(以下, TSACP)⁷⁾を通じて得られた国公立大学のエネルギー管理に関する実態把握と, 本学の建物・エネルギーに関わる様々なデータとその分析結果について紹介し, 大学施設における環境負荷削減手法について論じたものである。また, 本稿で紹介される様々なデータや CO₂削減の策定方法は, 建築物の環境マネジメント論の発展に資すると考えられる。

2. 全国の国公立大学における調査結果

全国の国公立大学において, 情報公開されている環境報告書をもとに, エネルギー管理やエネルギー消費に関する実態把握を行った。エネルギー管理に関わる組織についての集計一覧を表1に示す。ほとんどの大学において, 環境安全系の事務系組織が主体となって管理・運営を行っており, 専属部署を保有する大学は本学のみであった。環境安全系の組織は, 平成16年度に国立大学が法人化されて以降, 労働安全・衛生管理に関する業務を扱っているが, 最近では ISO の取得による環境マネジメントを中心として, 環境報告書作成を含めた各種法令対応を兼務している大学が多くみられた。なかには, エネルギー管理について, ワーキンググループや委員会等で施設系

* 国立大学法人東京大学 TSACP 室 特任専門職員

** 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
特任教授

*** 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
教授

**** 国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻 教授・TSACP 室長

***** 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
教授

Project Specialist, Todai Sustainable Campus Project Office, The University of Tokyo
Project Prof., Department of Architecture Engineering, The University of Tokyo

Prof., Department of Urban Engineering, The University of Tokyo

Prof., Department of Socio-Cultural Environmental Studies ; Director, Todai Sustainable
Campus Project Office, The University of Tokyo

Prof., Department of Architecture Engineering, The University of Tokyo

部署と連携している大学、逆に組織自体がない大学もあることがわかった。次に全 60 大学について、エネルギーデータを集計した結果を表 2 に示す。年間の一次エネルギー消費量の総計では 38,233[TJ/年]、CO₂ 排出量では 1,886,751[ton-CO₂/年]となった。これらの集計値を延床面積の総計(約 21,000[千㎡])で除して、床面積あたりの原単位として集計すると、年間の一次エネルギー消費量の床面積原単位(以下、一次エネルギー原単位)では 1,821[MJ/㎡年]、年間の CO₂ 排出量の床面積原単位(以下、CO₂ 原単位)では 89.8[kg-CO₂/㎡年]となった。表 3 に教育施設に関する一次エネルギー原単位について文献値①～⑤^{(8)～(12)}を示すが、国公立大学の平均値はこれらの値に比べて大きい値を示していることがわかった。また、これらの原単位を大学別に個別集計すると、図 1 に示すように一次エネルギー消費量原単位では、約 440～3,200[MJ/㎡年]、また図 2 に示すように CO₂ 原単位では、約 20～150[kg-CO₂/㎡年]に分布しており、特に附属病院施設を併設している旧帝国大学や医科系大学については、大きな原単位となっていることがわかった。さらに、図 3 に大学別の CO₂ 排出総量について集計した結果を示すが、原単位の大きな旧帝国大学は 7 大学で全体総量の約 30%を占めていることがわかった。

3. 本学における実態把握と CO₂ 削減に向けた検討

(1) 建物ストックの分類

本学では、大小含め約 1,200 棟もの建物を保有しており、2009 年度において、その総延床面積は約 1,600[千㎡]となっている。これらの建物について、後述する建物別エネルギーデータ、機器データとの整理を行うために、文部科学省の用途分類(表 4)に従って建物用途別の延床面積の分類を行った。図 4 にその経年推移を示すが、戦前の 1920 年～1940 年代、高度成長期の 1950 年～1970 年、1980 年以降といった時期において、延床面積の累計値が大きく増加していることがわかる。特に最近では、建物の高層化に伴って年度あたりの竣工面積が大きくなっており、累計値でも 1980 年台から現在に至るまで約 2 倍となっていることがわかった。また、図 4 右に建物用途別の延床面積合計比率を集計した結果を示すが、理工学系が約 5 割弱と高い比率を示し、保健系で約 2 割、人文・社会系が約 1 割、残りが事務系他となっていることがわかった。

表 1 エネルギー管理に関する組織一覧(2008 年度時点)^{†1}

組織なし	組織あり		
	専属組織	環境安全系主体	施設系主体
4 大学	1 大学	52 大学(17 大学で施設系と WG 等で連携)	2 大学

^{†1} 環境報告書に示されている組織一覧を本学が独自に集計

表 2 国立大学におけるエネルギー消費実態(2007 年度)

項目	集計値
延床面積合計[㎡]	21,001,378
年間一次エネルギー消費量 ^{†1} [TJ/年]	38,233
年間一次エネルギー消費量原単位 ^{†1} [MJ/㎡年]	1,821.0
年間 CO ₂ 排出量合計 ^{†2} [ton-CO ₂ /年]	1,886,751
年間 CO ₂ 排出量原単位 ^{†2} [kg-CO ₂ /㎡年]	89.8

^{†1} 一次エネルギー換算係数は、電気 9.76[MJ/kWh]で統一、都市ガスは 45[MJ/nm³]、重油 39.1[MJ/L]を使用
^{†2} CO₂ 排出量換算係数は、各地域のエネルギー会社が公表している値を使用

表 3 教育施設の一次エネルギー原単位に関する文献値

項目	分類	一次エネルギー原単位
文献① ⁽⁸⁾	医療系除く大学	1,350[MJ/㎡年]
文献② ⁽⁹⁾	学校等	1,185[MJ/㎡年]
文献③ ⁽¹⁰⁾	大学・専門学校	1,200[MJ/㎡年]
文献④ ⁽¹¹⁾	学校	1,735[MJ/㎡年]
文献⑤ ⁽¹²⁾	大学等	1,209[MJ/㎡年]

図 1 国公立大学の一次エネルギー消費原単位の実態

図 2 国公立大学における CO₂ 排出量原単位の実態

図 3 全国国立大学の CO₂ 排出総量の分類

表 4 建物用途分類

用途分類	部局名称
人文系	文学部, 東洋文化研究所, 史料編纂所
社会科学系	法学部, 経済学部, 社会科学研究所, 情報学環
教育系	教養学部, 教育学部, 附属中等教育学校
理学系	理学部, 数理科学研究所, 物性研究所, 宇宙線研究所, 大気海洋研究所など
工学系	工学部, 生産技術研究所, 先端科学技術研究センター, 地震研究所, 新領域創成科学研究科など
農学系	農学部, 低温センターなど
保健系	医学部, 薬学部, 医学部附属病院, 医科学研究所, 医科学研究所附属病院
その他	本部, 附属図書館, 留学生センター, 柏地区事務など

図 4 建物用途別の延床面積に関する経年推移

(2) エネルギー消費実態の全体把握

大学の活動のなかで使用されるエネルギー形態は様々であるが、電気、都市ガス、重油、灯油といったエネルギー源別にその内訳を一次エネルギーに換算して集計すると、図5に示すようになる。右の円グラフに示す本学では、電気84[%]、都市ガス15[%]、重油1[%]となっており、全国の大学平均(左円グラフ)と比較すると、重油の比率には差がみられるものの電気の比率が高く約8割、ガス・重油・灯油が約2割を占めている点では同様の傾向を示している。

次に主要キャンパス別の年間一次エネルギー消費量の推移を図6、年間CO₂排出量の推移を図7にそれぞれ示す。本学の主要キャンパスのなかでも本郷キャンパスは、総延床面積が大きいことや附属病院を併設していることから、全体の7割近くを占めていることがわかる。また経年の変化をみると、附属病院における床面積増加や情報基盤センターへのスーパーコンピュータの設備導入など事業規模の拡大により双方ともに増加傾向を示している。しかし、2009年度においては、表5に示すように2008年7月よりTSCPの一環で全学的に進めている省CO₂対策(運用改善、熱源更新・転換)の削減効果が現れ始め、事業規模拡大による増分(情報基盤センターにおける大型電算機導入による約2,600[ton-CO₂/m²年]程度増加)を含めても前年度に比べて減少に転じていることがわかる。

(3) エネルギー消費実態の詳細把握

(2)のキャンパス単位の集計結果を受けて、ここではさらに建物毎に集計を行うことで、これまで明らかになっていなかった大学施設における建物用途別データについて分析した。以下に結果を示す。

表4に示した分類に従って集計した建物用途別の一次エネルギー原単位及び一次エネルギー総量(エネルギー源別の分類も含む)について図8に示す。一次エネルギー原単位については、表2に示した全国平均値に比べ、理学・工学・農学系及び医学・薬学と附属病院を含む保健系の値が大きく上回っていることがわかった。また、最小値である人文系に比べて保健系の値は5~6倍程度異なっており、大学施設では建物用途によってエネルギー消費密度に大きな違いがあることがわかった。また総量については、原単位の大きな保健系用途が最も多くなっており、都市ガス・重油の消費に伴う一次エネルギー消費量の比率も大きく2割強を占めていることがわかった。

次に建物用途別のCO₂排出量の総量及びCO₂原単位について、同様の分類を行った結果を図9に示す。大学施設における建物用途別の原単位については、25[kg-CO₂/m²年]~151[kg-CO₂/m²年]といった値を示すことがわかった。またCO₂排出量については、特に電気のCO₂換算係数の影響もあることから、最も総量の多い保健系用途をみてもわかるように、一次エネルギー消費量における割合と比べ、比率が大きくなる傾向を示すことがわかった。

表5 省CO₂対策実施の効果(2008年度~2009年度実施分)^{注1)}

建物用途	CO ₂ 削減効果	対策内容
工学系	約-70[ton-CO ₂ /年] ^{†1}	熱源機器設定見直し
保健系	約-30[ton-CO ₂ /年] ^{†1}	送水温度見直し
保健系	約-2,550[ton-CO ₂ /年] ^{†1}	大型熱源機更新
全学共通	約-1,800[ton-CO ₂ /年] ^{†2}	施設用照明器具の更新
合計	約-4,450[ton-CO ₂ /年]	

^{†1} 計測調査・エネルギー管理データに基づく実績値^{13)~14)}

^{†2} 経産省国内クレジット制度における方法論に基づき算出

図5 エネルギー種別毎の一次エネルギー消費量内訳

図6 キャンパス別の一次エネルギー消費量の年度推移

図7 キャンパス別のCO₂排出量の年度推移^{注1)}

図8 建物用途別の一次エネルギー原単位と総量(2009年度)

図9 建物用途別のCO₂原単位と総量(2009年度)^{注1)}

図 10 に CO₂ 原単位の年度推移を示すが、1920 年～1940 年代の建物は、概ね 150[kg-CO₂/㎡年]以内に分布しているものの、1980 年以降の建物では 200[kg-CO₂/㎡年]程度となっており、各用途に共通して増加傾向を示していることがわかった。今後、建物ストックが置き換わることで CO₂ 排出量の増加要因に繋がると思定されることから、図 9 に示した現時点における建物用途別の CO₂ 原単位よりも低い値を実現する施設計画が必要であると考えられる。

以上より、大学施設において実効ある CO₂ 削減対策を検討するには、まず建物用途毎に分類が必要であること、また一次エネルギー原単位を判断指標とした従来の方法に加え、CO₂ 原単位や総量などの指標も併せて検討を行うことが必要であること、さらには建物竣工年ごとに原単位が増加していることから、特に建物改修においては従前の原単位を増加させない仕組みが必要であることがわかった。

(4) 各種機器の導入実態の把握と CO₂ 削減ポテンシャルの整理

本学の各々の建物に導入されている設備機器について、実態調査(設置場所、機器容量、台数など)を行った。その集計結果を表 6 に示すが、非実験系から実験系に至るまで様々な機器が導入されており、その方式や容量も様々であることがわかった。なかでも、空調用機器の導入容量が非常に多く、特に個別分散熱源設備については、研究室を中心に個別要求が多いことから、大型熱源機よりも機器合計容量や台数が多くなっていることがわかった。

次に上記調査機器について、年代や機器容量などを分類し、最新の機器に更新した場合の費用対効果や CO₂ 削減量について、概略の推計結果を表 7 に示す。これをみると、設備の耐用年数よりも投資回収年数が大きい機器(表中網かけ部分)があること、対策により削減可能な CO₂ 量の合計や 1[ton-CO₂]を削減するために必要な費用についても 20,000～113,000[円/ton-CO₂]と幅があることもわかった。

以上の集計・分析結果から、特に空調用の大型熱源設備や個別分散熱源設備については、表 6 に示したように導入量が多いことから、従来と同様に同じ機器容量で単なる高効率化を行うだけではなく、設備の稼働実態を踏まえ機器容量の見直しを行うなど費用対効果の改善策についてさらなる検討が必要であることがわかった。

図 10 CO₂ 排出量原単位の年度推移【建物用途別】^{注 1)}

表 6 機器導入実態調査結果の一覧

機器名称		容量	台数 [台]
空調用機器	空調用大型熱源機(冷水専用)	6,107[Rt]	42
	空調用大型熱源機(冷温水)	7,740[Rt]	62
	ボイラ設備(蒸気・温水)	87,336[kW]	41
	個別分散空調機【室外機】 ^{†1}	96,133[kW]	6,911
	パッケージ式	43,435[kW]	5,249
	ビル用マルチ式	52,698[kW]	1,662
	個別分散空調機【室内機】 ^{†1}	78,442[kW]	10,897
内部発熱機器	家庭用ルームエアコン ^{†1}	5,338[kW]	1,626
	家庭用冷蔵庫 ^{†1}	741,636[ℓ]	4,060
	200[L]未満	291,440[ℓ]	2,754
	200[L]以上	450,196[ℓ]	1,306
	従来型誘導灯	— ^{†2}	5,265
	小型(片面・両面)	— ^{†2}	4,195
	中型(片面・両面)	— ^{†2}	1,025
	大型(片面・両面)	— ^{†2}	45
	施設用 FLR 照明器具	— ^{†2}	38,807
	実験用冷凍冷蔵庫	— ^{†2}	3,414
	超低温フリーザー ^{†3}	— ^{†2}	854
	フリーザー ^{†3}	— ^{†2}	1,408
	薬用保冷库・冷蔵庫 ^{†3}	— ^{†2}	1,152

†1 容量が不明な機器を含まない合計値

†2 容量の換算が困難なものをさす

†3 -80℃以下のものを超低温フリーザー、0℃以下～-40℃のものをフリーザー、0℃以上のものを薬用保冷库・冷蔵庫として分類

表 7 各種機器における CO₂ 削減ポテンシャルの推計結果^{注 1)}

機器名称		空調大型熱源設備	ボイラ設備	個別分散熱源設備	FLR 照明器具 ^{†1}	家庭用ルームエアコン	家庭用冷蔵庫	従来型誘導灯	実験用冷凍・冷蔵庫
現状把握	消費電力量[MWh/年]	8,050	141	12,400	11,200	293	3,550	860	7,010
	ガス消費量[千 m ³ /年]	2,381	3,890	309	—	—	—	—	—
	水消費量[千 m ³ /年]	130	1,980	—	—	—	—	—	—
	CO ₂ 排出量[ton-CO ₂ /年]	8,460	9,040	5,280	4,120	108	1,307	316	2,580
更新方法		更新前と同容量で高効率機へ更新	2.0[t/h]以上の機器を小型貫流化	更新前と同容量で高効率機へ更新	高効率 Hf 照明器具へ全更新	1995 年以前の機器を同容量で全更新	2006 年以前の機器を同容量で全更新	LED 器具へ全更新	高効率機器へ更新
対策費用[百万円]		1,428	614	1,998	582	19	323	134	1,530
削減効果	消費電力量[MWh/年] ^{†2}	1,210	0	5,820	4,918	171	1,860	758	2,452
	ガス消費量[千 m ³ /年] ^{†2}	349	686	145	—	—	—	—	—
	水消費量[千 m ³ /年] ^{†2}	9	395	—	—	—	—	—	—
	投資回収年数[年]	29.9	2.2	20.5	7.9	7.9	11.6	11.8	41.6
	設備耐用年数[年]	20	15	15	15	15	15	15	15
	CO ₂ 削減量[ton-CO ₂ /年]	1,250	1,590	2,480	1,810	60	680	280	900
費用原単位[円/ton-CO ₂] ^{†3}		56,900	24,700	53,800	21,500	20,000	31,500	32,000	113,000

†1 平成 20 年度 7 月～平成 21 年 3 月に既に対策実施済 †2 電気 15[円/kWh]、都市ガス 70[円/m³]、上下水 600[円/m³]を用いて試算

†3 費用原単位[円/ton-CO₂] = (対策費用[円] ÷ 耐用年数[年]) ÷ CO₂ 削減量[ton-CO₂/年]

(5)稼働実態に関する計測調査

前述の通り、大型熱源設備や個別分散熱源設備について、短期計測に基づき使用実態把握・運用改善を行った結果を以下に示す。

1)大型熱源設備に関する調査

本学で大型熱源設備を保有する建物について、夏期及び冬期に熱源一次側設備に関する短期計測を行った事例を示す。建物一覧を表8、計測結果の一覧を表9にそれぞれ示す。

表10をみると、設計負荷に近い夏期計測期間においても、機器容量に比べて実負荷は小さくなっており、機器が稼働している時間における平均負荷率をみても低い値を示す建物があることがわかった。これは、冬期においても同様の傾向を示しており、実際の建物負荷に対して、現状の設備容量が過大であることが把握できた。また、負荷率が低いにも関わらず、単機容量が大きい熱源機が複数台稼働することで効率低下を招いている建物もあり、設備導入後の設定調整など適正運用・維持管理面の課題もあることがわかった。

これらの結果を受けて、これらの建物では運用改善を行った。本郷キャンパスの理工学系建物1においては、既設バックアップ配管を利用した熱融通運用による負荷率改善、熱源主機(本体)の台数制御の見直し、補機(冷却塔・ポンプなど)を含めた運転スケジュールの適正化など運用面の改善を行うことで対策費用をかけずに表5に示したように約70[ton-CO₂/年]のCO₂削減実績が得られた¹³⁾。また、白金キャンパスの保健系建物1～4においては、熱源機の稼働台数変更に加え、年間冷水供給を行っていることから冷却水下限温度設定の見直し(27[℃]→22[℃]へ変更)を実施している。

2)個別分散空調機に関する調査

個別分散空調機についても稼働実態を把握するため、表10に示す建物において夏期及び冬期の短期計測を行った。計測には、コンプレッサカーブ(CC法)¹⁵⁾を用いて室外機の能力を計測し、入力については電力量計を用いCOP評価も含めた分析を行った¹⁶⁾。図11に計測結果を示す。この結果、夏期及び冬期共にピーク負荷に近い期間であるものの、処理熱量を室外機能力で除した機器負荷率は概ね25[%]以下となっていることがわかった。インバータ制御による連続運転域の下限負荷率(冷房、暖房共に15[%])以下の部分に散布が多くON-OFF運転主体の低効率稼働となっていることが把握できた。個別分散熱源設備は、導入後の運用改善が難しい機器であることから、この室のように選定機器容量が過大とならないように、設計・計画時における選定の考え方を見直す必要があることがわかった。

表8 大型計測設備の計測対象建物

建物名称	設備概要 ^{†1}
[本郷]理工系建物1 延床面積 6,510[m ²], B1F+7F	GAR:240[Rt]*2台, 98[Rt]*1台
[白金]保健系建物1 延床面積 3,798[m ²], 5F	SAR:185[Rt]*1台 AHP:265[kW]*2台 GB:1.4[t/h]*2台
[白金]保健系建物2 延床面積 4,411[m ²], B1F+5F	SAR:205[Rt]*2台 GB:1.3[t/h]*2台
[白金]保健系建物3 延床面積 2,604[m ²], B2F+8F	SAR:215[Rt]*2台 AHP:455[kW]*1台
[白金]保健系建物4 延床面積 6,369[m ²], B2F+8F	GAR:240[Rt]*2台, 120[Rt]*1台 AHP:256[kW]*1台 GB:6.0[t/h]*3台

†1 GAR:ガス焚吸収式冷温水発生機, SAR:蒸気吸収冷凍機, GB:ガスボイラ, AHP:空気熱源ヒートポンプチラーをさす

表9 大型熱源設備の計測結果一覧

建物名	機器	期間	負荷率[%] ^{†3}	システム COP ^{†4}
[本郷]理工学系建物1	GAR-1	夏期 ^{†1}	6.1~30.5	0.40~0.67
		冬期 ^{†1}	21.9~35.1	0.50~0.79
	GAR-2	夏期 ^{†1}	4.6~23.6	0.40~0.53
		冬期 ^{†1}	20.3~32.5	0.50~0.71
	GAR-3	夏期 ^{†1}	7.1~20.8	0.11~0.13
		冬期 ^{†1}	22.1~30.5	0.48~0.58
[白金]保健系建物1	SAR-1	夏期 ^{†2}	24.9~49.1	0.15~0.41
		冬期 ^{†2}	2.7~4.5	0.07~0.28
	AHP-1	夏期 ^{†2}	未計測	未計測
		冬期 ^{†2}	未稼働	未稼働
[白金]保健系建物2	SAR-1	夏期 ^{†2}	29.7~45.6	0.31~0.58
		冬期 ^{†2}	6.8~22.6	0.47~0.78
	SAR-2	夏期 ^{†2}	38.9~67.4	0.24~0.51
		冬期 ^{†2}	9.6~17.9	0.51~0.79
[白金]保健系建物3	SAR-1	夏期 ^{†2}	46.4~76.2	0.62~0.88
		冬期 ^{†2}	20.6~24.7	0.59~0.69
	SAR-2	夏期 ^{†2}	37.9~64.8	0.68~1.23
		冬期 ^{†2}	未稼働	—
	AHP-1	夏期 ^{†2}	未稼働	—
		冬期 ^{†2}	12.8~18.4	2.84~3.23 ^{†5}
[白金]保健系建物4	GAR-1	夏期 ^{†2}	25.5~49.2	0.23~0.62
		冬期 ^{†2}	未稼働	—
	GAR-2	夏期 ^{†2}	34.8~60.9	0.22~0.85
		冬期 ^{†2}	未稼働	—
	GAR-3	夏期 ^{†2}	40.7~61.2	0.17~0.45
		冬期 ^{†2}	14.8~17.7	評価不能 ^{†6}
	AHP-1	夏期 ^{†2}	未稼働	—
		冬期 ^{†2}	2.9~18.4	2.68~3.32 ^{†5}

†1 夏期 2008 年 9 月 11 日～25 日, 冬期 2009 年 1 月 10 日～23 日

†2 夏期 2009 年 8 月 6 日～19 日, 冬期 2010 年 1 月 20 日～2 月 2 日

†3 負荷率[%]=稼働時生産熱量[MJ/h]÷機器定格容量[MJ/h]×100

†4 システム COP=日生産熱量[MJ/日]÷(燃料消費量[nm³/日]
*45[MJ/nm³]+消費電力量[kWh/日]*9.76[MJ/kWh])

†5 熱回収運転時における二次エネルギーの COP 値

†6 頻繁な発停により入力値が大きく変動し評価不可能

表10 個別分散熱源設備の計測対象建物

建物名	[本郷]保健系建物1
延床面積	34,640[m ²]
建物規模	地下1階地上14階
設備概要	個別分散熱源方式 各階の両サイドコア部分に ビル用マルチ方式の室外機を設置
対象室	3F 医学系研究室 134[m ²]
	2 系統の合計室外機容量 56[kW], 418[W/m ²]
	1 系統:室外機 28[kW]×1 台+室内機 14[kW]×2 台
計測期間	夏期 2009 年 7 月 23 日～2009 年 8 月 4 日
	冬期 2009 年 2 月 16 日～2009 年 3 月 9 日

図11 冷房及び暖房運転稼働における機器負荷率とCOPの関係

(6) 個別分散熱源設備に関する詳細検討

個別分散空調機は、建物設計負荷に加えて実験機器などの機器発熱想定を大きく見込み、室内機の型番選定時の容量増加、併せて室外機との冷媒配管長や高低差補正、とりわけビル用マルチにおいては、複数の室内機を統合した室外機の型番選定時にも容量増加するなど、設計の過程で機器容量が過大化する傾向がある。

まず(4)に示した調査集計結果を用いて室内機冷房能力を室床面積で除した能力原単位[W/m²]を室単位で細かく集計した⁵⁾。全体の集計結果を図12に示すが、横軸の室規模は20~30[m²]の室数が最も多く、能力原単位の分布では200~300[W/m²]が中心となっていることがわかる。また20 m²未満の室については小容量の室内機型番がなく、全般的に原単位が大きい傾向を示すこともわかった。これらの原単位について、表11に示す事務用途の最大熱負荷原単位¹⁷⁾~¹⁸⁾と比較すると2倍以上も大きな値となっていることがわかった。

次に用途別に分類すると、人文・社会科学・教育系・その他など文科系用途では、図13に示すように100~200[W/m²]の比率が高く、理学・工学・農学・保健系の用途では、図14に示すように200~400[W/m²]の比率が半分近くを占めていることがわかった。また各用途に共通する電算室では、図15に示すように室数は少ないものの500[W/m²]を超過する室の比率が高くなっていることがわかった。

そこで費用対効果を改善する方法として、ベンチマークを用いた機器更新について検討を行った。ベンチマークには能力原単位を用いて、表11に示した負荷原単位を十分に満足する能力原単位として、非実験系の室では200[W/m²]以下、実験系の室では250[W/m²]を設定し、更新時に機器容量をこれらの数値以下にした場合の効果について試算を行った。負荷率の向上に伴う効率改善の効果については、JIS-B8616に規定されているAPF計算方法¹⁹⁾を用いることとし、調査した機器に関する細かな仕様値がないことから図16に示す簡略化した計算モデルを作成し検討を行った。この結果、表12示すように、同容量更新(表8)に比べて約4割の機器容量が低減でき、負荷率向上に伴いCO₂削減効果の向上に併せて、投資回収年数も耐用年数の15[年]以内に改善される試算結果を得た。

以上の調査・分析結果から、設計時に過大容量となる傾向を示す個別分散機器について、容量の低減に伴う適正化に能力原単位を判断指標とすることで費用対効果を大幅に改善できることがわかった。

図16 APF計算の簡略化計算モデルの概要

図12 能力原単位集計結果(全体)

図13 能力原単位集計結果(人文・社会科学・教育系・その他)

図14 能力原単位集計結果(理学・工学・農学・保健系)

図15 能力原単位集計結果(電算機室用途)

表11 事務用途に関する最大負荷原単位の文献値

項目	冷房最大負荷原単位	暖房最大負荷原単位
文献① ¹⁷⁾	92[W/m ²]	70[W/m ²]
文献② ¹⁸⁾	65~84[W/m ²]	53~73[W/m ²]

表12 ベンチマーク設定における更新対策の試算結果^{注1)}

項目	同容量更新	ベンチマーク適用 ^{†1)}
機器容量合計[kW]	18,170(基準)	10,700(-42[%])
年間CO ₂ 削減量[ton-CO ₂ /年]	2,480(基準)	3,130(+26[%])
投資回収年数[年]	20.5(基準)	9.6(-53[%])

†1 能力原単位について、非実験系の室は200[W/m²]、実験系の室は250[W/m²]を上限値として試算

†2 JIS-B8616におけるAPF計算[テナント店舗]を使用して試算

4. 大学施設における CO₂ 排出量削減手法に関する検討

2～3 に示した調査・分析、実態把握の結果をうけて、大学施設における建物・設備に関する設計・計画並びに運用といった各フェーズに関わる検討フローを作成した。図 17 にその検討フローを示すが、大学施設は様々な用途や使用形態を有する建物が多いことから、まずエネルギー消費量、導入機器や建物といった様々なデータと一元化し、建物単位のデータベースを構築することが必要であることがわかった。このデータベースを基にして、建物用途やその設備方式、機器設置年代といった統合データにより、改修建物の優先順位を検討することが可能となる。図 18 に空調設備に関する具体検討例を示すが、学内の建物について CO₂ 排出総量順にソート（年間 CO₂ 排出量が 1,600[ton-CO₂/年]以上の建物を例示）をかけ、併せて設備の容量導入年度（10 年を目安に色分け）を集計することで、設備の経過年度が大きく設備更新による省 CO₂ 効果が期待できる場合、設備が比較的新しく運用改善を主体とする場合、CO₂ 排出総量が多いものの空調設備容量は少なくサーバ・実験機器主体の消費形態が考えられる場合など対策の優先順位付けが可能となる。

次に改修に関する手法としては、投資回収年数が設備の耐用年数以内となる対策について、短期計測データに基づいた実態把握を通じて運用改善を実施することを原則とし、個別分散熱源機器のように、台数が非常に多く計測に基づく実態把握が難しい場合については、ベンチマークを設定し容量の見直しを行うことで、投資回収年数を短縮しつつ高効率化・省 CO₂ 化を実現することが可能となる。

次に、大学施設において独自に学内基準を定めることで、投資回収年数が設備の耐用年数を超過する対策や新築建物も含めることができ、大学全体において環境負荷削減に向けた計画・設計が可能となる。この学内基準の全体指針として、本学では建物性能については CASBEE における BEE 値を 1.5 (A ランク) 以上、設備性能については、PAL 値や CEC 値に関して、当該用途（学校・事務など）の基準値から 25% 以上削減する項目を各々設定している。また指針の細目として、表 13 に示すように対策項目ごとに判断の指標や考え方についても策定し、実建物における省 CO₂ 対策の計画策定・実践に活用している。

以上のように、多くの建物を保有する大学施設の特徴を活かし、建物単位のデータベースを構築することで、省 CO₂ 対策の優先順位や学内基準の策定・見直しなどにも活用することが可能であることから、本学のみならず、大学施設全般における短期的及び中長期的な CO₂ 削減戦略の策定に向けた有用な検討材料となると考えられる。

5. 環境負荷削減手法の運用とその効果

本学では、この環境負荷削減手法を活用しつつ、学内の建物において省 CO₂ 対策を立案・実践することで、表 14 に示すようにこれまで累計約 6,400[ton-CO₂/年]の CO₂ 排出量削減の実績を得ている。また保健系建物 A の大型熱源更新対策においては、経産省国内クレジット制度における CO₂ 削減手法の方法論として新しく認証 (002-A) を受け、その他の排出削減事業にも活用される²⁰⁾など、制度の普及にも貢献している。さらに、図 18 に示した理工系 G の個別分散空調設備の改修において、学内基準に準拠して能力原単位に関するベンチマークを適用した実施設計を行うことで、既設機器容量を約 28[%] (1,669[kW]→1,196[kW]) 低減するなど、実際の改修工事においても実効を挙げている。

図 17 設計・計画・運用段階に関する環境負荷低減手法

図 18 空調設備に関する対策に関する優先順位検討例¹⁾

表 13 本学の定めた指針細目における各種機器の判断指標

項目	指標値・考え方
建物外皮	窓開口率と外皮性能 (PAL) の関係を例示
大型熱源設備	能力あたりの CO ₂ 量 (入力値を CO ₂ 換算)
個別分散熱源設備	能力あたりの CO ₂ 量 (入力値を CO ₂ 換算) と室内機の容量原単位
照明設備	単位光束あたりの消費電力と用途分類
熱搬送設備	容量制御、設計温度差の確保
家庭用冷蔵庫	小型容量の統合化と多段階評価
実験用冷凍・冷蔵庫	庫内容量あたりの消費電力
純水製造装置	精製水 1[L] あたりの消費電力
計測設備 (運転監視・管理)	適正運用・維持管理に向けた計測管理ポイントと計測データの確認項目
空調の運用	冷暖房期間の定義、設定温度の緩和など

表 14 省 CO₂ 対策実施の効果(2010 年度実施分)^{注 1)}

建物用途	CO ₂ 削減効果	対策内容
	-4,450	表 5 の合計値再掲
保健系	-450	大型熱源機更新
保健系	-1,070	大型熱源の運用改善
農学系	-430	重油ボイラの更新
合計	約-6,400[ton-CO ₂ /年]	

6. おわりに

大学施設に関する各種データを体系的に整理・分析することにより、これまで十分に把握できていなかったエネルギー消費実態や設備導入・稼働実態について明らかにすることができた。また、得られたデータを基にして、大学施設の新築や改修に関する設計・計画、運用に係わる学内基準(全体指針、指針細目)を策定することで、大学全体の方針を統一することも可能となり、併せて得られた効果を積極的に情報発信することで、大学施設に関する環境負荷低減のマネジメント論の発展にも寄与できる一つの手法を示した。

参考文献

- 1) 依田他：非住宅(民生業務部門)建築物のエネルギー消費量データベース構築に関する研究，九州地域における平成 20 年度調査結果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp. 1143～1146，2009. 9
- 2) 田中他：非住宅(民生業務部門)建築物のエネルギー消費量データベース構築に関する研究，大学・研究機関とスポーツ施設の調査結果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp. 1163～1166，2009. 9
- 3) 高他：非住宅(民生業務部門)建築物のエネルギー消費量データベース構築に関する研究，北九州における教育施設のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の実態に関する研究，空気調和・衛生工学会，pp. 2383～2386，2010. 9
- 4) 恒川他：大学における施設運営費ベンチマークに関する取り組み 地域連携型大学施設マネジメントコンソーシアム設立に向けての活動，日本建築学会大会学術講演梗概集，都市計画，pp. 221～224，2008. 9
- 5) 恒川他：大学における施設運営費ベンチマークに関する研究，日本建築学会技術報告集第 15 巻第 29 号，pp. 295～300，2009. 2
- 6) (財)建築環境・省エネルギー機構，非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会報告書より抜粋，pp. 16～17，2008. 5
- 7) 迫田他：東京大学におけるサステイナブルキャンパス活動，日本建築学会技術報告集 第 30 号，pp. 611～614，2009. 6
- 8) (財)省エネルギーセンター，ビルの省エネルギーガイドブック 2010-2011 診断ビルの用途別エネルギー原単位，p. 7，2010. 6
- 9) (財)建築環境・省エネルギー機構，CASBEE(新築)評価マニュアル(2008 年度版)，LR-1 評価シート 3. 6(参考 1 標準的な建物の一次エネルギー消費原単位)，p. 154，2008. 7
- 10) 高口他：非住宅建築物(民生業務部門)の環境関連データベース構築に関する研究 その 22 全国解析結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，pp. 1135～1136，2009. 8
- 11) (社)日本ビルエネルギー総合管理技術協会，ウェブサイト ビルのエネルギー消費の現状 参考 2(H20 年建物エネルギー消費量調査報告書)より教育・研究施設の数値を抜粋
- 12) 文部科学省(学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議)，環境を考慮した学校施設(エコスクール)の今後の推進方策について一低炭素社会における学校づくりの在り方(最終報告)，p. 62，2009. 3
- 13) 柳原他：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その 2 中央式空調設備システムのエネルギー消費調査と省エネ化提案の事例，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp. 1731～1734，2009. 9
- 14) 柳原他：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その 4 医学系建物における実測調査と更新対策の効果検証，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp. 923～926，2010. 9
- 15) 長澤他：個別分散空調システムの現地性能計測手法に関する研究 空気エンタルピー法とコンプレッサーカーブ法の比較による精度の検証，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp. 297～300，2010. 9
- 16) 河野他：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その 5 個別分

散空調機の調査結果分析と更新手法の提案，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp. 927～930，2010. 9

- 17) (社)空気調和・衛生工学会，空気調和設備 計画設計の実務の知識 2. 設計編 3 章 表 3・40，p. 164，1998. 3
- 18) (社)日本地域冷暖房協会，地域冷暖房技術手引書，2. 2 熱負荷 表 2-5，p. 27，2002. 11
- 19) 日本工業規格(JIS-B8616)，パッケージエアコンディショナ付属書 1，pp. 16～60，2006. 3
- 20) 河野：東大サステイナブルキャンパス活動における CO₂ 削減対策に伴う国内クレジットの創出，(財)省エネルギーセンター，省エネルギー vol. 61，pp. 27～30，2009. 6

注

注 1) 本文中に示す CO₂ 排出量の換算係数は，関係法令の定期報告に使用した係数とし，使用年度は TSCP における削減目標の基準年度としている 2006 年度の値を用いて，電気 0.368[kg-CO₂/kWh]，都市ガス(13A) 2.31[kg-CO₂/m³]，重油 2.71[kg-CO₂/L] として試算している。

(2010年12月9日原稿受理，2011年5月13日採用決定)