

大学キャンパスにおける二酸化炭素排出削減策の立案・実行

ー東京大学サステイナブルキャンパスプロジェクトー

Planning and implementation of carbon dioxide emission reduction in university campus - TODAI SUSTAINABLE CAMPUS PROJECT (TSCP) -

迫田 一昭 *・河野 匡志 **・花木 啓祐 ***・野城 智也 ****・磯部 雅彦 *****
Sakoda Kazuaki Kawano Masashi Hanaki Keisuke Yashiro Tomonari Isobe Masahiko

1. まえがき

気候変動問題が現実に関心すべき問題として社会の重大な関心事になっており、あらゆる部門における取り組みが必要不可欠になっている。とりわけ大学には、環境と調和した持続可能な教育・研究活動を実践することを通じて、環境調和型の経済活動を軸とした新たな社会モデルを示していくことが求められている。

大学のキャンパスにおけるエネルギー消費の内訳は多様である。講義が行われる教室、教員と学生の居室、事務部門などは典型的な民生部門に近い一方で、さまざまな機器を使う実験研究はむしろ製造業部門に近い。また大学によっては、理科系と文科系の併設、附属病院等の医療施設なども有している。さらにエネルギー消費の対象者が、従業員のみである一企業の事務所建物などとは異なり、職員、教員、学生、来訪者など、行動目的、内容、意識が異なるグループにより構成され、様々なエネルギーの使用実態となっていることも特徴といえる。

このように多様な活動を有する大学において、省エネルギー、創エネルギー、エネルギー源転換などによって温室効果ガス排出削減に関する計画策定・実施、効果検証を図っていくためには、大学独自の戦略的な対応が不可欠である。

これに対し、東京大学（以下、本学）では、東大サステイナブルキャンパスプロジェクト（以下、TSCP）を全学的なプロジェクトとして立ち上げた。TSCPにおける取り組みは、他の大学のみならず、民生部門の活動にとっても参考になるものであり、ここにその概要を紹介したい。

2. TSCP の概要

2.1 基本コンセプト

TSCP が対象とすべき環境負荷は多岐にわたっているが、今日の問題の緊急性、困難性と大学が先導的役割を果たす必要性の高さから、温室効果ガス排出削減による低炭素キャンパスづくりを当面の最優先課題として取り組んでいる。

TSCP の遂行にあたっては、以下3つのコンセプトを基に、これらの相互関係や相乗効果を勘案し、効果的かつ効率的に同時進行する“共進化システム”を構築し、大学という研究・教育機関のモデルケースとして先導的に実現することを目指している（図1）。また国内外の大学も含め、これらの試みを社会全体の動きに繋げること、低炭素型の技術・対策の普及をリードすること、経済的な波及効果をもたらすことで、今後の目指すべき持続型社会モデルを提案する。

【3つのコンセプト】

- ・エネルギー需給に関する自律分散協調
- ・省エネルギー・創エネルギーによる低炭素化
- ・持続型社会建設に向けた社会連携

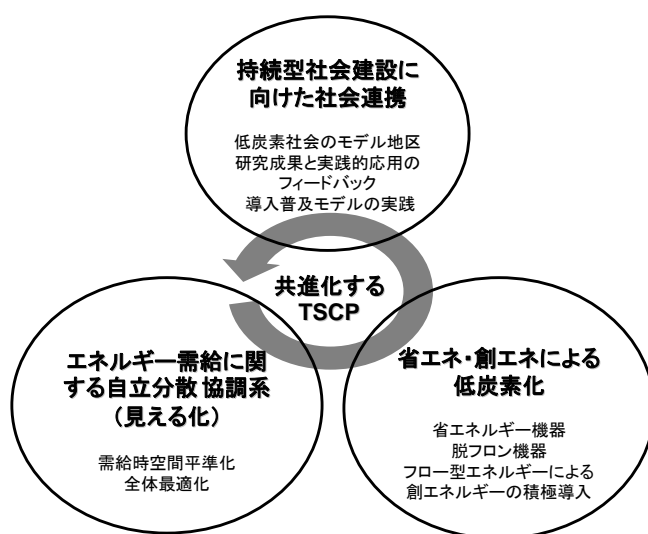


図1 共進化システムの構成

*東京大学TSCP室 室長補佐
〒130-8654 東京都文京区本郷 7-3-1
e-mail k-sakoda@adm.u-tokyo.ac.jp

**東京大学TSCP室 特任専門職員
〒130-8654 東京都文京区本郷 7-3-1

***東京大学大学院工学系研究科 都市工学専攻 教授
〒130-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

****東京大学生産研究所 副所長
〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

*****東京大学TSCP室 室長
〒130-8654 東京都文京区本郷 7-3-1

2.2 対策の具体化における基本的な考え方

温室効果ガス排出量の削減を図るためには、事前にこれらの要因を詳細に把握・分析した上で諸対策を検討することが望ましいが、一方で時間的な遅れにも繋がる側面もある。そこでTSCPでは、現在保有している様々な情報を基に多面的に解析し、まずは概略の状況を把握した段階で二酸化炭素の排出削減、すなわち低炭素化の対策を具体化している。その具体化された対策を基に、次の段階として詳細なモニタリング、計測・調査などを通じて、削減効果の精度向上を図るというアプローチを取っている。また、後述のとおり対象となるものの数量が多いものについては、一括調達による費用対効果の拡大も視野に入れ進めている。

3. 温室効果ガス排出の現状分析

3.1 キャンパス単位の概要

本学では、一定規模以上の建物を有するキャンパスが関東に5キャンパス（本郷、駒場Ⅰ、駒場Ⅱ、白金、柏）あり、本学全体のほとんどを占めている。この5キャンパスについて、エネルギー由来の二酸化炭素排出量の総量をみると、年間約136,000(ton-CO₂/年) [2006年度実績]となっている(表1)。なかでも、総延床面積が約90(ha)と大きい本郷キャンパスは、その7割弱を占めていることがわかる。

床面積当たりの排出量原単位は、0.06~0.19(t-CO₂/年m²)となっている。これは、各キャンパスにおいて営まれる活動が、理科系、文科系、病院などその主体が異なっていること、建物の築年が大きく異なることなどが原因として考えられる。また、この中で最大床面積を占める本郷キャンパスの床面積あたりの原単位については、0.10(t-CO₂/年m²)となるが、東京都の業務系事務所の平均値と同程度となっており、二酸化炭素排出量の総量は面積が大きいに起因していることがわかる。

3.2 部局ごとの電力使用量の推移

本学は、本部を含め全体で54部局から構成されるが、中でも主な10部局について、床面積あたりの電力消費量を分析した結果を図-3に示す(理科系・病院の部局：○印、文科系の部局：△印)。理科系部局・病院は、薬学部から附属病院まで月平均すると約20(kWh/m²月)、年間にして240(kWh/m²年)、文科系部局は、教育学部から文学部まで月平均すると約6kWh(kWh/m²月)、年間にして72(kWh/m²年)となり、約3倍の違いがあることがわかる。理科系部局においては、実験・研究活動があり学生の研究室滞在時間が長いこと、またOA機器や実験用冷蔵・冷凍庫の使用などによりベースでエネルギーを消費していることが要因となっている。

表1 5キャンパスのエネルギー消費量と二酸化炭素排出量(平成18(2006)年度)

キャンパス	エネルギー源別年間消費量			CO ₂ 総量 (t-CO ₂)	CO ₂ 排出量燃料別構成(%)			床面積あたりの 排出量原単位 (t-CO ₂ /m ²)
	電力(kWh)	都市ガス(m ³)	A重油(kL)		電力	都市ガス	A重油	
本郷	193,675,751	7,409,497	843	90,662	79	19	3	0.10
駒場1	18,507,920	559,147	0	8,102	84	16	0	0.06
駒場2	23,088,480	31,419	0	8,569	99	1	0	0.07
白金	26,944,080	2,579,292	159	16,301	61	37	3	0.19
柏	30,945,600	311,300	0	12,107	94	6	0	0.10
5団地合計	293,161,831	10,890,655	1,002	135,740	79	19	2	0.10

※電力消費量あたりのCO₂排出量原単位は、供給元の東京電力㈱の17年度の値として環境省によって認定されている0.368 kg-CO₂/kWhを用いた。また、都市ガスについては2.31 kg-CO₂/m³、重油については2.71t-CO₂/kLを用いた。

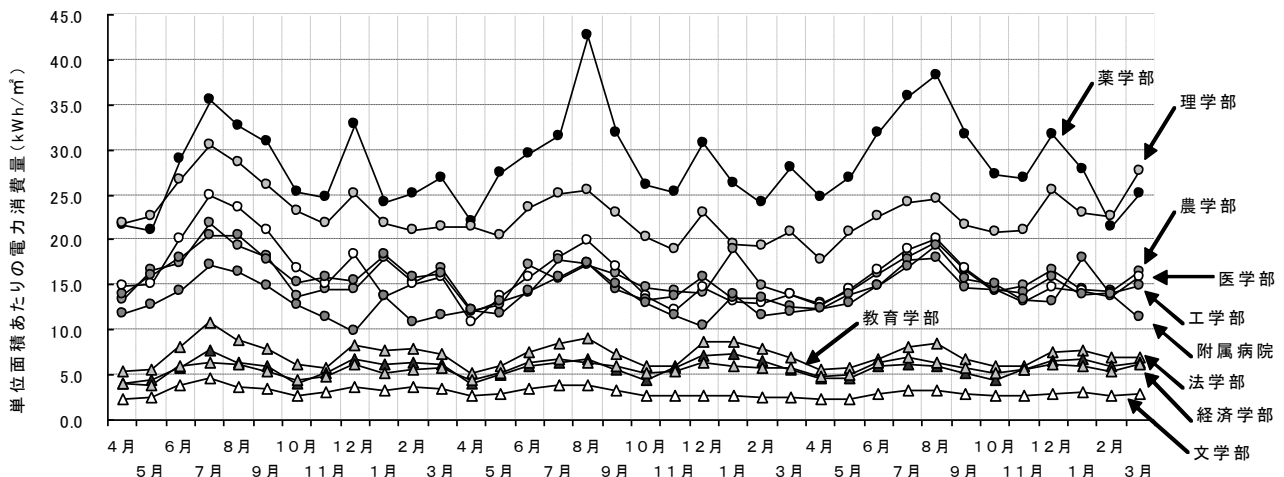


図3 本郷キャンパスにおける部局ごとの床面積あたりの電力消費量(平成16年4月~平成19年3月の実績値)

3.3 用途別電力消費量の推計

省エネルギー対策の基本として用途別の電力消費量の実態を把握することは重要であるが、容易なことではない。実態調査を行う場合、季節毎の把握をするために一年分のデータが必要となる。そこで、保有する機器の調査によるミクロの積み上げと、過去の建物単位の電力消費量の季節変化・時刻変化というマクロ解析を併用して推計を行った。

(1) 保有する機器の調査に基づく推定

平成17年度に本郷キャンパスの各建物に対して、照明器具、空調設備、昇降機（エレベータ）、冷蔵・冷凍庫、実験用インキュベータの保有数量と単機容量の調査・集計結果を活用し、学生数に応じたパソコン台数の想定も含め、それぞれの機器定格値と使用時間想定から、これらの用途別電力消費量を推定した。次に、実際の電力消費量とこれらの積み上げの値の差が実験機器によるものと仮定して用途別の電力消費量の内訳を推定した。また、駒場2キャンパスについても同様の内訳の推定を行った（図4）。

実験系の電力消費は、本郷キャンパスで36.6%、駒場2キャンパスで32.5%となっている。これらの値を基にして、文科系学部の多く実験設備が少ない駒場1キャンパスも含めて全学の用途別分類の値を推定すると、実験系の電力消費はおよそ3割程度とすることができる。また照明に由来する電力負荷は部局によらず16~18%であり、空調に由来する電力消費は、病院・医学・薬学系では37%、それ以外の部局では29%、平均で32%と大きい比率を示している。

(2) 電力消費の季節別・時刻別変動測定値に基づく推計

平成16年度～18年度の3年間について、本郷キャンパス全体の月積算電力の変動をみると、各年度とも4月が最低となり、10月が僅かに4月を上回っている（図5）。この傾向は、各部局においても同様の傾向となっている（図3）。また、夏期（7月、8月）のピーク月では4月の1.5倍程度である。一方冬のピークは、主に文科系では夏と同程度になるものの、理科系及び病院においては、冬のピークは夏に比べて小さい。これは、暖房用熱源に電気式エアコンを用いる場合とガス・重油から製造する蒸気を用いる場合とでその使用比率が異なっていることに起因している。

また、いくつかの建物に対して行われた夏季一週間の集中的なモニタリングの結果から、フリーザーの使用電力の昼夜変動や季節変動が小さいこと、照明用電力については季節変動が少ないことから、使用電力の季節変動の主要部分は空調の利用の有無・利用時間の季節差によるものであると考えられる。月別使用電力が最低になる4月には、中間期における空調停止など空調用に使われる電力が無視できるものとして考え、4月の月積算電力以外のいわば「上乘せ分」を年間で積算すると、本郷キャンパス全体で29(GWh/年)となることがわかった。また、大型計算機を

運用している情報基盤センターや医学部附属病院設備管理棟など建物によっては年間を通じて24時間系の空調負荷を持つ建物もある。これらの建物における空調用の電力消費は各月ともほぼ一定で年間を通じた消費量がある。このため、これらの分を算出すると22(GWh/年)となった。これらの季節間の変動分とベースで消費する分を合計すると、51(GWh/年)が冷暖房用の空調による電力使用量と推定することができる。これは全消費電力量の27%であり、残りの分が空調以外の電力使用量の推計値となる。この空調以外の電力使用量について、照明の占める比率を実測結果を元に推定すると約17%程度となる。このように空調および照明の比率について推定した結果は、前項で述べた保有機器から推定した値と良く整合していることがわかる。

これらの推計を総合すると、電力消費の用途別内訳は、空調：約30%、照明：約20%、その他一般機器：約20%、実験機器：約30%とすることができる。

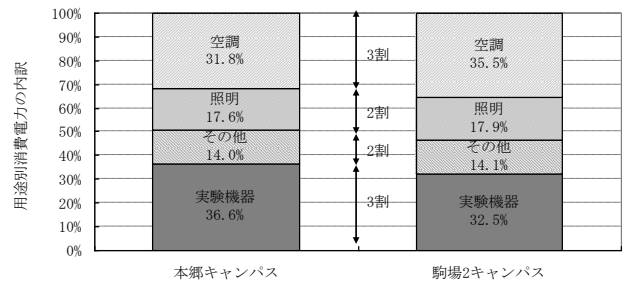


図4 消費電力に関するキャンパスごとの用途別内訳

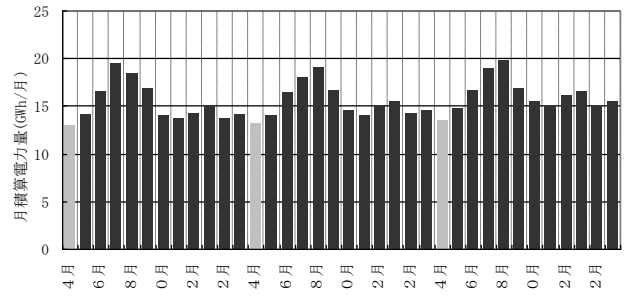


図5 本郷キャンパスにおける月別積算電力量の推移（平成16年4月～平成19年3月の実績値）

4. 二酸化炭素削減に関する具体的対策

TSCPでは、TSCP 2012というアクションプランを掲げ、見える化と投資回収の短いものを対象に省エネ機器を率先導入することにより、2006年度に比べ2012年度には非実験系の二酸化炭素排出量の15%削減を確実に実施し、大量調達による機器導入普及モデルを構築することを目標として計画を立案し、実行している。

(1) CO₂ 排出量削減対策の具体化

前述のとおりエネルギー消費実態を捉え推計することと併せてCO₂削減の具体的対策についても、機器定格入力と想定稼働時間などから、各々の機器・システムにおける省エネルギー対策やその効果予測を項目別に整理・集計している。

具体的対策として、ボイラなど熱源機器の燃料転換(A重油→ガス, 燃焼→電気等)や適正容量化によるもの、一般機器(照明, 冷蔵庫等)の更新・改修・撤去によるもの、太陽光や風力発電など新設によるもの、保全・運用改善によるものに大別し、各々の分類において考えられる項目を検討し、項目ごとに投資回収年数, CO₂削減効果などを集計している。

これらの集計結果に基づいて対策の絞込みを行うにあたり、特に低炭素化のための対策資金が準備されている状況ではないことから、低炭素化とともにライフサイクルにわたっては省コストにもなる対策項目を先行させることを念頭において評価を行った。この結果、該当台数の大小により、“熱源系対策”と“個別機器対策”に大別し、概算値で約18,100(ton-CO₂/年)の削減効果を得られる試算結果を得た(表2)。これは、2006年度の本学全体の排出量の約13%、非実験系のみを対象にすると約20%に相当している。

TSCP2012では、これらの対策を重点に位置づけており、熱源系対策については、運転稼働状況や負荷実態を捉え、エネルギー供給形態の変更、設備容量の適正化、設備系統の簡素化などさらなる詳細検討を行った上で具体的対策を講じる。個別機器対策においては、対象となる機器台数が多いことから、一括調達モデルを構築し、施工を含め効率的にCO₂排出削減に取り組む予定である。また、TSCP2030に向けて、再生可能エネルギーの効率的利用に関する実験も併せて開始することにした。以下に、熱源系および個別機器対策に関する取り組みの一例を各々紹介する。

(2) 熱源系対策における取り組み内容

本郷キャンパス内にある附属病院では、空調用途の冷水・温水, 給湯・滅菌などの用途の蒸気を製造する熱源設備を集中化し、各建物へ供給するエネルギーセンター方式を採用している。運転日誌データを基に負荷実態を詳細に分析した結果、年間を通じた冷水需要があり圧倒的に冷熱負荷主体であること、温熱負荷は僅かであることなど年間負荷実態を捉えることができ、併せて機器単体の効率低下など経年の劣化状況についても把握できた。

これらの使用実態に基づき、単位初期コストあたりのCO₂排出削減効果を評価指標として最適な熱源構成の検討を重ねた結果、熱回収機能を有する熱回収電動ターボ冷凍機を導入することで、冷水を製造しつつヒートポンプ熱回収運転による温水製造も可能となり、機器単体の高効率化に加えさらなる省エネルギー効果を期待することができる(表2に示す冷凍機の更新をさす)。

またこれらの設備稼働実績値は、一般的な文献値と比べても年間負荷原単位や冷温熱比率など大きく乖離しており、熱負荷実態を捉えた今後の更新計画において参考情報となることが判った(表3)。今後、特に大きな冷房負荷についても最適な運用方法を含めて詳細な検討を行う予定である。

(3) 個別機器対策における取り組み内容

本学全体で約20万台近く設置されている蛍光灯器具のうち、更新されないままのFLR照明器具について、57,150台と推計していたが、対策を実施するにあたり、器具形状などを含め大学全体で詳細に現地調査を行った結果、36,325台が対象となった(表2の高効率蛍光灯器具への更新をさす)。これらを高効率のHf蛍光灯器具へ更新するにあたり、一括調達することにより、大幅なCO₂排出量の削減になると共に、投資回収の短縮化も図ることができた。今後、他の個別機器対策項目に関し、同様に現地調査結果を踏まえた上で、導入年代や容量等に分類し、費用対効果の大きなものを対象に一括調達の実施検討をすることとしている。

表2 TSCP2012におけるCO₂排出削減対策一覧

対策項目		CO ₂ 排出削減効果 (ton-CO ₂ /年)	台数 (台)
熱源系	冷凍機の更新	1,842	1
	ボイラの更新(燃料・熱源転換)	5,890	17
	蒸気配管の断熱・漏れ点検	196	196
	冷温水ポンプのインバータ化	55	13
	その他	577	1,470
個別機器	一般冷蔵庫の更新	3,416	6,350
	高効率蛍光灯器具への更新	2,669	57,150
	ルームエアコンの更新	3,332	10,160
	トイレ節水対策	157	10,583
合計		18,134	—

表3 文献値と実績値の差異

年間熱負荷原単位	東大実績値	文献1 ¹⁾	文献2 ²⁾
冷熱(MJ/m ² 年)	632.9(72%)	418.7(56%)	334.9(52%)
温熱(MJ/m ² 年)	245.1(28%)	334.9(44%)	309.8(48%)

※()内は年間合計に対する冷熱, 温熱の比率

5. まとめ

多様な主体の活動によりエネルギー使用実態が様々な大学キャンパスを対象に、利用可能な情報に基づいたエネルギー消費の用途別内訳の推定を行った。この結果に基づき、非実験系の活動を対象としたCO₂排出削減対策について網羅的に検討し、費用対効果及び二酸化炭素排出削減量の面から優先順位をつけ、一括調達モデル等の手法も含め実践している。これら本学の取り組みは、他大学はもとより、民生部門の対策全般に活用・展開可能であることから、今後その一助となることを期待している。

参考文献

- 1) 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2005, 日本工業出版(株), p35, 2005. 4
- 2) 地域冷暖房技術手引書<改訂新版>, (社)日本地域冷暖房協会, p46, 2002. 11