

大学施設における環境負荷低減手法に関する研究

その1 附属病院におけるエネルギー消費実態把握と熱回収ターボ冷凍機の導入効果

A Study of Environmental Load Reduction Technique for University Facilities

Part1: Energy Consumption for Air-conditioning and

Effect of Introduction of Heat-Recovery Turbo Chiller in University Hospital

正会員 河野 匡志 (東京大学) 正会員 柳原 隆司 (東京大学) 正会員 坂本 雄三 (東京大学)
 迫田 一昭 (東京大学) 磯部 雅彦 (東京大学)

Masashi KAWANO¹ Ryuji YANAGIHARA¹ Yuzo SAKAMOTO¹

Kazuaki SAKODA¹ Masahiko ISOBE¹

¹ The University of Tokyo

This report presents the result of measurements on CO₂ emission in the University Hospital area to show the effectiveness of the Todai Sustainable Campus Project(TSCP). The data were analyzed to extract the energy consumption for air-conditioning, and the resulting measures to improve the effectiveness of the heat source equipment were verified.

はじめに

東京大学(以下、本学)は、教育・研究機関としてサステイナブルな社会の実現への道筋を示すために、平成20年7月、東大サステイナブル・キャンパス・プロジェクト¹⁾ ²⁾(以下、TSCP)を立ち上げ、多岐にわたる環境負荷を先導的に低減する取り組みを開始している。このTSCPにおいて、大学が先導的役割を果たす必要性の高さ、問題の緊急性・困難性に鑑み、エネルギー起源のCO₂排出量削減を当面の最優先課題とし、図1に示す共進化システムをコンセプトにして、本学全体のCO₂排出総量に関し削減目標を掲げている。この具体的なアクションプランとして、2006年度を基準年度とし、2012年度に15%削減(実験系を除く)を目指す“TSCP2012”、2030年度に50%削減を目標とする“TSCP2030”を示している。

第一フェーズにあたるTSCP2012において、本郷キャンパス医学部附属病院における空調用大型熱源設備の高効率化対策を実施した。以下にその概要を示す。

1. 建物概要及び設備概要

1.1 建物概要

本郷キャンパス医学部附属病院地区は、図2に示すとおり入院棟や診療棟の病院施設エリア(点線丸印)と医学部研究施設や病院管理施設の研究・管理施設エリア(網掛け斜線)の2つに大別される。また各々のエリアは、様々な規模、竣工年の建物で構成されており、総延床面積は約217,000 m²[本郷キャンパスの24%]となっている。

2.2 設備概要

2.1 に示したエリアのうち病院施設エリアにおいては、空調用途の冷水・温水、給湯・滅菌用途の蒸気を製造する

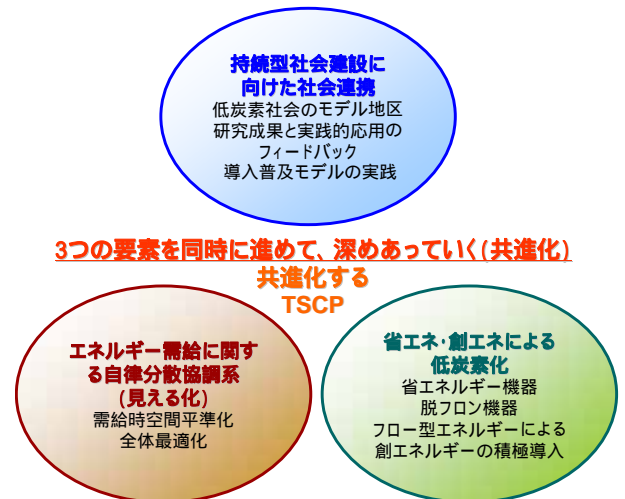


図1 TSCPにおける共進化システム

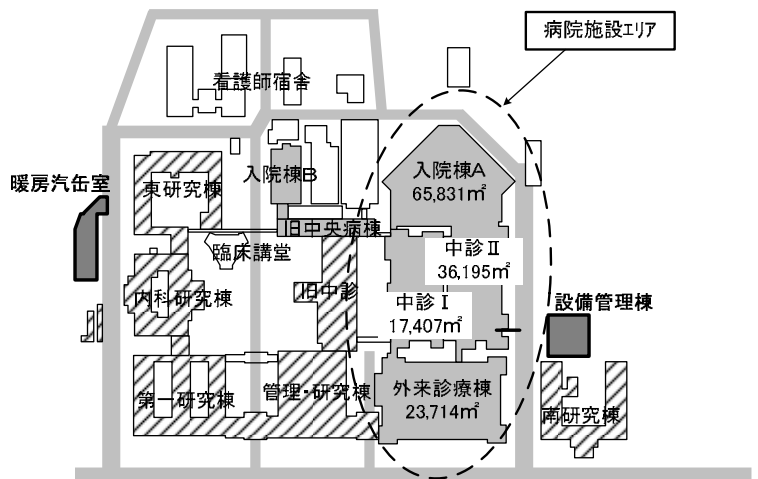


図2 本郷キャンパス医学部附属病院地区の建物概要

ボイラ設備を設備管理棟及び暖房気缶室の双方に集中化して、各建物へ供給するエネルギーセンター方式(入院棟のみ一部単独熱源と併用)を採用している(表1)。また研究・管理施設エリアにおいては、空調に対する個別要求の多い建物から構成されるため、個別分散空調方式を主体とした熱源構成となっている。研究用の給湯・滅菌用途の蒸気製造については、病院施設エリアと兼用している。

2. 計測データに基づく実態把握

2.1 建物の空調熱負荷に関する実態把握

病院施設エリアにおける直近1年間の空調負荷実態について、図3に年間の建物別負荷の推移、表2にその集計値を示す。各建物共に年間を通じて冷熱負荷があり、ピーク日負荷は、冷房で約889GJ/日、暖房で約350GJ/日となっており、圧倒的に冷房負荷主体の負荷形態であることがわかる。また表2をみると、温熱負荷は冷熱負荷の約3割程度の原単位となっており、中央診療棟における手術室系統の空調再熱に温水を活用していることから、年間を通じて冷暖房負荷があることがわかる。

建物別の年間負荷熱量をみると、24時間稼働の中央診療棟、入院棟が大きく、昼間時間帯が主診療である外来棟は、最も小さな値となっている。病院施設エリア全体について、床面積あたりの最大負荷の原単位(MJ/m²h)でみると、夏期は冷熱271、温熱38、中間期は冷熱150、温熱59、冬期は冷熱77、温熱105となっている。

2.2 熱源設備に関する実態把握

2.1に示した建物負荷に対して、熱源設備(生産側)の状況について、図4に熱源機器別の処理熱量の年推移と表3にその集計値を示す。夏期においては、電動冷凍機と蒸気吸収式冷凍機の双方を運転して負荷を賄っている。また冬期においては、ガスボイラにて蒸気を製造し、温水へ熱交換後に暖房用として利用している。熱源機器別の処理熱量をみると、電動ターボ冷凍機をはじめとして、熱製造単価の低い順に稼働している様子がわかる。スクリー冷凍機1は、設置後18年以上が経過していることから、経年劣化による効率低下が影響し、熱製造単価が最も高い傾向を示している。

研究・管理施設エリアも含めた附属病院地区全体のエネルギー消費量を集計(H19年1~12月の実績値)すると、電気63,594.3(MWh/年)、都市ガス5,751.6(千m³/年)、重油240.8(k)となっており、一次エネルギー消費量で年間888.9(TJ/年)、延床面積あたりの一次エネルギー消費量原単位は4,096(MJ/m²年)となる。またCO₂排出量を算定すると、年間36,742(ton-CO₂/年)、床面積あたりのCO₂排出量原単位は169(kg-CO₂/m²年)となり、本郷キャンパス全体の約38%、東大全体の約26%を占め、エネルギー消費密度が最も高い地区となっている。このことから、TSCP2012対策の中でも特に重点的に対策を講じる必要がある地区と位置づけている。

表1 病院エリアにおける熱源設備概要(改修前)

建物名	設備名称	容量、台数	設置年
設備管理棟	空冷スクリー冷凍機	800(Rt) × 2台	1987, 1991
	ターボ冷凍機	800(Rt) × 1台	2006
	蒸気吸収冷凍機	800(Rt) × 2台	2000
	ガス燃料筒煙管ボイラ	12(t/h) × 2台	2000, 2004
	水蓄熱槽(温度成層型)	5,540(m ³)	
暖房気缶室	重油燃料筒煙管ボイラ	6.0(t/h) × 1台	1982
	ガス燃料筒煙管ボイラ	5.0(t/h) × 1台	1979
	ガス燃料筒煙管ボイラ	10(t/h) × 1台	1994
	ガス燃料水管ボイラ	10(t/h) × 1台	1977
入院棟(単独)	ガス蒸気吸収冷温水発生機	400(Rt) × 2台	2000
	ガス燃料筒煙管ボイラ	4.0(t/h) × 1台	2000

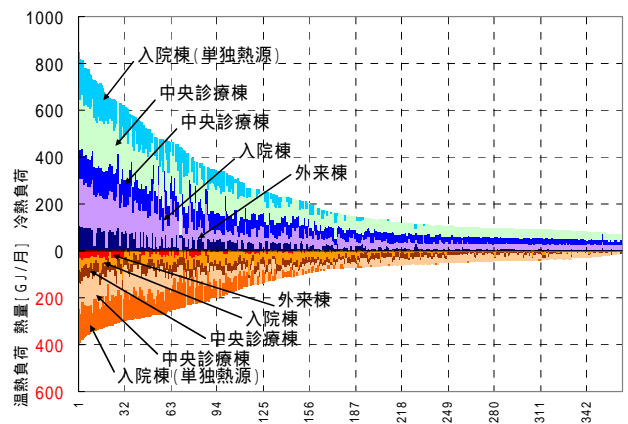


図3 建物別日負荷の年間降順ソート

表2 建物毎の負荷熱量集計

項目	入院棟	中診	中診	外来棟	
延床面積(m ²)	65,831	17,407	36,195	23,714	
冷熱(MJ/m ² 年)	夏期	231	379	337	349
	中間期	157	272	220	200
	冬期	37	249	128	72
温熱(MJ/m ² 年)	夏期	24	89	71	14
	中間期	75	135	75	78
	冬期	136	175	105	163

夏期6月~9月、冬期11月~3月、中間期左記以外とした

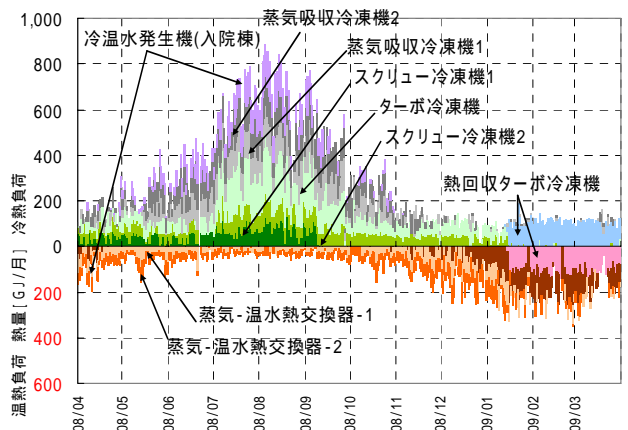


図4 熱源機器別の生産熱量の年推移

2.3 水蓄熱槽の運用について

病院施設エリアの設備管理棟地下にある温度成層型の水蓄熱槽(冷水槽 2,919 m³、冷温水槽 2,230 m³、温水槽 391m³)について、夏期代表日における温度プロフィールを図5に示す。この日の各建物への冷水行き温度は5~6、還水温度は12程度、温度差は tは5~6差となっており、設計(t=8)に比べても小さな値となっている。この要因として、吸収式を含む全ての熱源機器が蓄熱槽を介していることから、夜間負荷対応として稼働する熱源機器の出口温度にばらつきがある点、3.4に示す手術室系統など低温要求のある建物において、負荷側の温度差が確保されていない点などが挙げられる。また、今回の設備改修前の温水槽においては、スクリー冷凍機の不具合により熱回収モードの運転ができず、年間を通じて活用されていない状況となっていた。

月間の蓄熱夜間移行率を図6に示す。冷水槽の設計最大蓄熱量は、約155(GJ/日)であるため、日最大冷熱負荷889(GJ/日)の約17%と蓄熱容量は相対的に小さい。昼間負荷に対する蓄熱槽からの放熱量の比率は、夏期の15%~冬期の81%程度で推移している。

2.4 二次側の往環温度差について

水蓄熱槽を介して供給される空調機への冷水について、往環温度差の頻度分布を図7に示す。年間を通じて、中央診療棟及び外来棟において2~3が最も頻度が高くなっており、設計値と比べても小さな値を示している。この要因としては、中央診療棟内の手術室系統における空調機コイルの経年劣化などが挙げられる。また、手術室系統への送水温度確保のため、図5からもわかるように、一定の蓄熱量を残して追掛け運転を行なう運用となっており、二次側空調機の更新は今後の課題である。

2.5 改善事項の整理

以上の実態把握を基に、医学部附属病院地区のエネルギー原単位低減を目的として、改善事項を整理すると、
 冷凍機の効率改善 冷水槽の蓄熱夜間移行率の向上
 温水槽の活用 負荷側の温度差確保などが挙げられる。

3. 更新検討

3.1 改善事項を踏まえた熱源機器の高効率化対策

熱源機器更新にあたり、対象は表3に示す熱製造単価の高い熱源機器を選定し、併せて年間冷暖房負荷のある負荷実態をうけ、冬期においては、温水槽の利用についても極力配慮するために、熱回収機能を有する冷凍機を候補に含め、TSCP2012の対策項目として検討を行った。

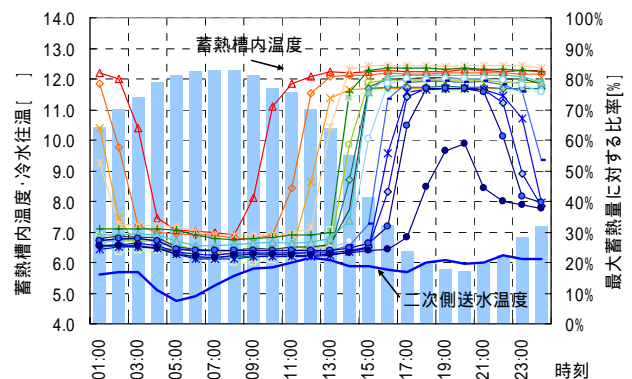
3.2 省エネルギー・省CO₂効果の試算

この結果、熱回収型のターボ冷凍機により機器更新を行なうことで、改修前に比べ、一次エネルギー消費量を約41,500(GJ/年)、CO₂排出量を約1,870(ton-CO₂/年)削減できる試算想定を得た。このCO₂排出量の削減効果は、附属病院地区の約30%、東大全体の約1.3%に相当する。

表3 熱源機器別の年間処理熱量と熱製造単価の一覧

熱源機器種類		処理負荷熱量 (GJ/年)	熱製造単価 (円/GJ)
冷熱	スクリー冷凍機 1	8,894	3,301
	スクリー冷凍機 2	14,632	2,168
	ターボ冷凍機	24,170	1,593
	蒸気吸収冷凍機 1	16,973	3,016
	蒸気吸収冷凍機 2	16,534	3,199
温熱	蒸気-水熱交換器 1	11,439	2,152
	蒸気-水熱交換器 2	11,647	2,202

表中の熱製造単価は、電気・ガス・水道の2008年度実績値の年平均値(更新工事のため、スクリー冷凍機1のみ4~9月)を示す。



槽内温度は、8,900(mm)の水深に対して20点計測
 図5 冷水槽の温度プロフィール(夏期代表日)

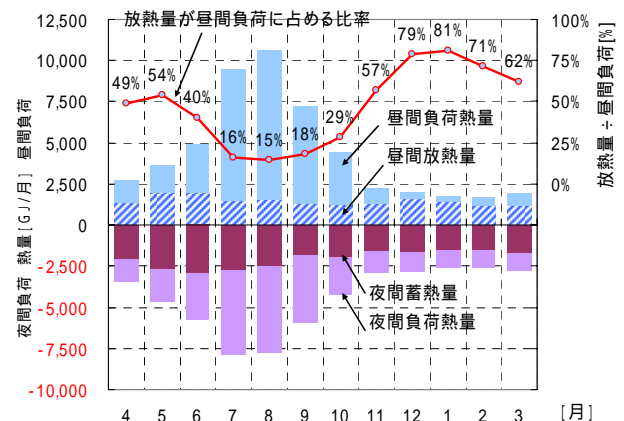


図6 月毎の蓄熱夜間移行率の推移

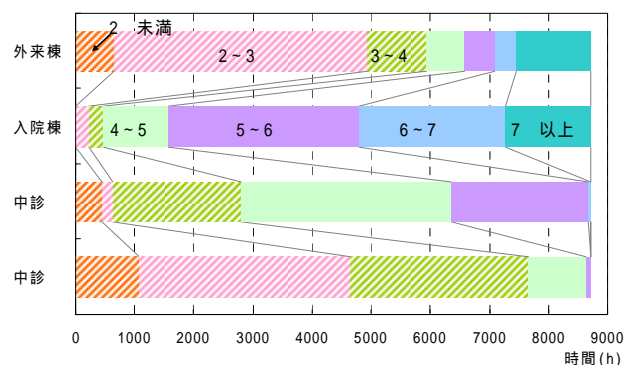


図7 二次側温度差の頻度分布

4. 改修後の結果

4.1 導入効果

機器設置後の稼働状況について、図8に熱源設備の生産熱量比較(2月~4月)、図9に冷熱負荷及び温熱負荷の日推移(冬期代表日)について、それぞれ示す。

生産熱量については、昨年度同月のものと比較すると、月毎の冷熱及び温熱負荷共に月毎の熱負荷合計にはそれほど大きな差は見られない。2008年は、ガスボイラで製造した蒸気と熱交換して温水を製造していたが、導入した熱回収ターボ冷凍機の熱回収運転により、2009年は冷熱及び温熱のほとんどの熱量が代替されていることがわかる。4月は、暖房負荷が小さくなったことから、熱回収運転モードでの熱源機器稼働時間が短くなっているが、それでも冷温熱合計の約半分程度を製造している。

また改修前に活用されていなかった温水槽についても、図9に示すとおり、夜間蓄熱運転時に熱回収運転による温水を温水槽に蓄熱することで、昼間の温水蓄熱利用にて暖房負荷のほとんどを賄っていることがわかる。

表4に熱源機器単体COPに関して、前年の同時期(2月~4月)の比較を示すが、スクリー冷却機1の更新によりCOPが大幅に改善され、スクリー冷却機2及びターボ冷却機についても部分負荷での稼働時間の縮小等からCOPが向上している。また、表5に2月~4月の削減効果を示すが、一次エネルギー消費量では約20,400(GJ)の削減、CO₂排出量では約1,000(ton-CO₂)の削減となっており、現時点で3.2の試算を上回る結果を示している。

4.2 今後の課題

表4に示すとおり、設置後18年が経過したSCR-2についても機器単体COPが低いことから、今後は高効率機器への更新が必要である。また、高効率熱源機器を主体とした運転パターンについて、蓄熱槽の利用率向上も含め、検討が必要である。さらに、二次側の往環温度差の小さい中央診療棟の手術室系統や外来棟について、制御設定や運用上の課題に関し、詳細調査・把握が必要である。

5. おわりに

今回の改修事例は、TSCP2012の対策のなかでも削減効果の大きいものの一つとなっている。病院用途というエネルギー消費密度の高いエリアにおいて、原単位も含め、負荷実態について示すと共に、改善点の整理を行い、併せて対策(熱源更新)後の削減効果について示した。

今後は、夏期の効果について検証を継続すると共に、残された課題に対する解決策に関して、検討を行う予定である。また得られた知見を本学における同用途の建物をもつキャンパスへの水平展開や学外への情報発信等、TSCPの取り組みに活用していきたいと考えている。

謝辞

東京電力株式会社には、機器設置後の計測フォローの際に多大なるご協力を頂いた。ここに記して関係者に深く謝意を表す。

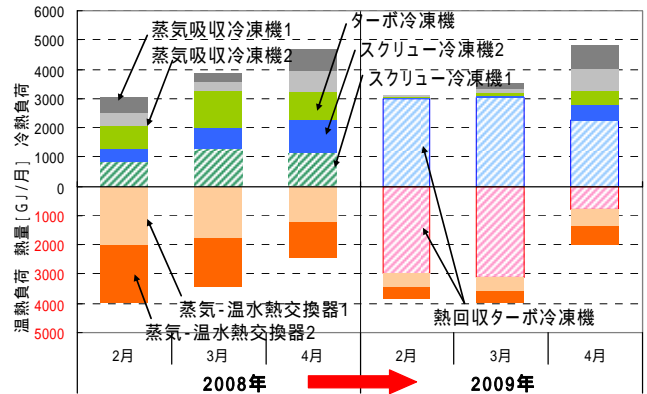


図8 熱源設備の生産熱量比較(2月~4月)

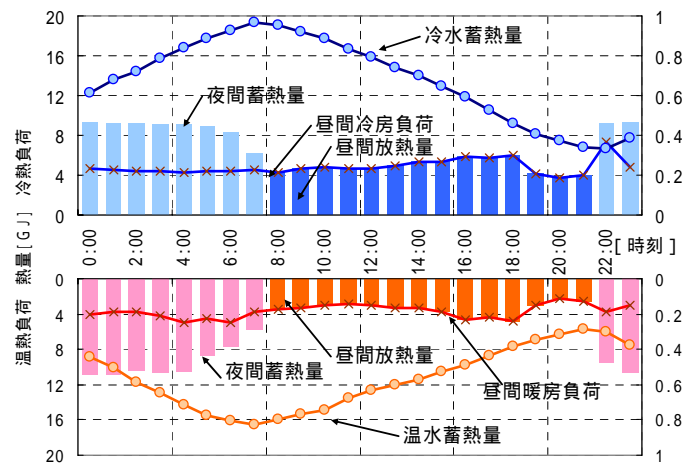


図9 冷熱負荷及び温熱負荷の日推移(冬期代表日)

表4 熱源機器単体COP(2月~4月分)

年	スクリー冷却機1	スクリー冷却機2	ターボ冷却機
2008	1.95	2.07	2.67
2009	ターボ冷却機へ更新 6.79(熱回収時)		2.16
			3.86

表5 削減効果一覧(2月~4月分)

年	負荷熱量(GJ)		CO ₂ 排出量 (ton-CO ₂)	一次エネルギー 消費量(GJ)
	冷熱	温熱		
2008	11,550	9,851	3,901	79,357
2009	11,466	9,834	2,897	58,985
削減効果(3ヶ月分)			1,004	20,371

試算条件 一次エネルギー換算係数は、電力9.76(MJ/kWh)、都市ガス45(MJ/nm³)。CO₂排出原単位は、TSCP2012の固定値で、電力0.368(kg-CO₂/kWh)、都市ガス2.309(kg-CO₂/nm³)を使用。

参考文献

- 1) 迫田一昭・河野匡志・花木啓祐・野城智也・磯部雅彦：東京大学におけるサテライトキャンパス活動，日本建築学会技術報告集，第15巻第30号(2009.6)
- 2) 迫田一昭・河野匡志・花木啓祐・野城智也・磯部雅彦：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～東京大学におけるサテライトキャンパスプロジェクト～，エネルギー資源学会，技術報告，会誌通巻176号(2009.7)