東京都における冷蔵倉庫のエネルギー消費実態に関する調査研究

A STUDY ON THE ENERGY CONSUMPTION OF THE REFRIGERATION WAREHOUSE IN TOKYO

柳澤 聡子*, 尾島 俊雄**
Satoko YANAGISAWA and Toshio OJIMA

A refrigeration warehouse is an important facility which supports eating habits of the citizens as an important point of a cold chain. Since its energy demand is also high, it is necessary to clarify the actual condition of an energy consumption. In this paper, it is illustrated through a field investigation of refrigeration warehouses in Tokyo. As a result, these refrigeration warehouses were classified into six groups according to the energy intensity. Moreover, the present data of energy intensity is compared to the data of 30 years ago about the same institution. Although most of these groups have increased annual energy consumption, they have decreased annual energy intensity. Meanwhile, the energy intensity of these refrigeration warehouses is on the decline compared to other facilities.

Keywords : Energy Intensity, Refrigeration Warehouse, Field Investigation

エネルギー消費量原単位, 冷蔵倉庫, 実態調査

1. 序

1.1 研究目的

冷蔵倉庫は、食品低温流通機構（コールドチェーン）の要に位置付けられる施設であり、都市における豊かな食生活を支えるべく、食品の安定供給という重要な役割を担っている。高度経済成長期以降、急速な食生活の向上、多様化に対応して設備投資が進められ、収容容積は過去30年間で約4倍¹⁾に伸びた。また、全国の冷蔵倉庫のうち、約4割が大都市に立地し、国内の生産地や海外から集荷された食品等をストックしている。特に、東京の臨海部には、東京都だけでなく首都圏全体の市場機能や物流センター機能を補完する冷蔵倉庫が集中して立地しており、今後も需要増が見込まれている。

一方、冷蔵倉庫におけるエネルギー消費量原単位は、約30年前の調査²⁾において、オフィスビルにおけるそれを上回っていた。都市におけるエネルギー消費が増え続ける中、冷蔵倉庫を取り巻く社会的状況の変化や技術革新を踏まえ、改めてそのエネルギー消費の現状を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、東京都における冷蔵倉庫を対象に実態調査・分析を行う。冷蔵倉庫の特性や電力使用量の調査から冷蔵倉庫を分類し、グループごとの実態を把握することを目的とする。

1.2 研究の方法

冷蔵倉庫は大きく分けて営業冷蔵倉庫と自家冷蔵倉庫の二つに分けられる。収容容積でみると、全国の約8割を営業用が占めること、特に都市部では9割以上が営業用である²⁾ことから、本研究では、営業冷蔵倉庫を対象とした。

はじめに、東京都に立地する冷蔵倉庫の現状を把握し、立地別にみた冷蔵倉庫の特性を明らかにした。

次に、冷蔵倉庫のエネルギー消費に関する実態調査を行った。年間及び月別データについては、関係団体へのヒアリング調査と各冷蔵倉庫からの管理日報等の提供を受けた。時刻別データについては、各冷蔵倉庫の現地に24時間実測調査を行った。これらのデータを用いて、冷蔵倉庫の特性とエネルギー消費の関連性について追求を試みた。冷蔵倉庫の特性の中からエネルギー消費要因を抽出し、クラスター分析により冷蔵倉庫の分類を行った。

さらに、年間、月別、時刻別の原単位をそれぞれ算出し、分類したグループ別に比較・分析を行った。各グループのエネルギー消費パターンを把握し、冷蔵倉庫におけるエネルギー消費の特徴を整理した。また、同一の施設について、約30年前のデータと現在のデータを比較することで、冷蔵倉庫におけるエネルギー消費の量的変化を明らかにした。

* 早稲田大学理工学総合研究センター 助手・工修

** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

Research Assoc., Advanced Research Center for Sci. & Eng., Waseda Univ., M. Eng. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Sci. & Eng., Waseda Univ., Dr. Eng.

2. 東京都における冷蔵倉庫の現状

2.1 冷蔵倉庫の概要

冷蔵倉庫では、水産物、畜産物、農産物、冷凍食品等の貨物をその特性に適した温度で保管するため、別表1の通り保管温度帯を設定している。一般に、C級には冷蔵目的で生鮮食料品を、F級には冷凍目的で冷凍食品を保管する。庫内では、基本的に入庫時の貨物の温度を維持するが、「製氷」や「凍結」など貨物の温度を庫内で急激に下げる機能もある。これらの機能や保管温度帯から、各冷蔵倉庫の主な取扱い貨物やサービス内容が決まる。また冷蔵倉庫の規模は、一般に収容容積（m³又はt）で示される。

冷蔵倉庫の件数や規模は、各時代のエネルギー問題や経済状況を反映してきた。戦後の復興期以降、高度経済成長期を経て、コールドチェーンの中軸産業として急速な整備拡充が行われてきたが、1970年代のオイルショックを契機に各倉庫の合理化、減量経営に切り替えられた。1985年以降のバブル期には経営状態が好転し、再び港湾地区を中心に新增設が進んだが、昨今の不況下においては、堅調に推移する一方、食品流通の多様化に対応するべくその整備が見直されている。

2.2 冷蔵倉庫の分布

現在東京都には、収容容積でみて全国の約13%が集中している⁴⁾。東京都全体で66件、そのうち都区部に大部分の62件が立地する。さらに都区部の中では、内陸部に9件点在するほかは、臨海部に53件集中している。図1にその分布を示す。

また、冷蔵倉庫は、その立地により以下の3つに分けられる²⁾。

【市場型冷蔵倉庫】

卸売市場内に立地する冷蔵倉庫を指す。市場にもよるが主に水産物や青果を取り扱っている。市場の時間帯に合わせて保管品の入出庫が行われている。荷主は市場関係者が大半を占める。

【港湾型冷蔵倉庫】

港湾区域及び港湾隣接地域に立地する冷蔵倉庫を指す。主に

水産物や輸入貨物等を取り扱っている。輸入貨物などは一度に大量に入庫するため、大型で中長期貯蔵に対応した冷蔵倉庫が多い。また最近、配送機能を強化した流通系の冷蔵倉庫も見られる。

【内陸型冷蔵倉庫】

内陸に立地する冷蔵倉庫を指す。流通系の冷蔵倉庫が多く、各店舗に配送するための中継ポイントにあたるので、配送機能が充実している。

以下、東京都における冷蔵倉庫66件を対象とし、表1に示す項目について実態調査を行った。このうち52件について有効なデータを得られた。各データの立地別を表2に示す。以下、立地別にみた冷蔵倉庫の特性について分析を行う。なお、当初の調査では建物の断熱性能に関する項目が含まれていたが、有効なデータが十分に得られなかったため、以下の分析結果からは除外している。

別表1 冷蔵倉庫の保管温度帯³⁾

C3級	+10℃以下-2℃未満	F1級	-20℃以下-30℃未満
C2級	-2℃以下-10℃未満	F2級	-30℃未満-40℃以下
C1級	-10℃以下-20℃未満	F3級	-40℃未満-50℃以下
		F4級	-50℃以下

表1 調査項目

1 収容能力	収容容積(m ³)
2 保管温度帯別収容能力	F級・C1級・C2級・C3級(m ³) ^{注3}
3 製氷能力 ^{注4}	(t/日)
4 凍結能力 ^{注5}	(t/日)
5 竣工年	(年)
6 電力の需要調整契約 ^{注6}	ピーク時間調整契約・産業用蓄熱調整契約 時間常別調整契約・季節別時間常別契約
7 契約電力	(kW)

表2 冷蔵倉庫データの立地別⁷⁾

立地別	件数	冷蔵倉庫No.
市場型	5件	No.6~10
港湾型	38件	No.11~54(27, 28, 31, 32, 33, 49除く)
内陸型	9件	No.55~66(57, 58, 65除く)

計 52件

図1 調査対象冷蔵倉庫の分布（東京都区部）

港湾部拡大図

2.3 立地別にみた冷蔵倉庫の特性

7つの調査項目(表1)に対応して、立地別の特性を整理した。

収容能力をみると(図2)、市場型および内陸型は、収容能力10,000m³前後に集中している。港湾型は20,000m³以上が約9割を占め、全国平均⁹⁾の14,595m³と比べても、大型の冷蔵倉庫が多いといえる。

保管温度帯をみると(図3)、いずれもF級が全収容能力の70%以上を占めていることがわかる。特に港湾型は顕著で、F級が全体の95%を占める。また、市場型は他に比べC級の割合が約25%と大きい。

製氷能力をみると(図4)、市場型および港湾型は、製氷機能をもたない冷蔵倉庫が多いことがわかる。一方、内陸型には100t/日を超える製氷能力を持つものも存在する。

凍結能力をみると(図5)、いずれも凍結機能を持つ冷蔵倉庫は、3割に満たない。港湾型は凍結機能が比較的多く、30t/日以上の凍結能力を持つものもある。凍結機能のない冷蔵倉庫が多い背景には、保冷コンテナや冷凍車等の輸送機器能力の向上により、入庫後に再凍結をする必要がなくなった為と考えられる。

築年数をみると(図6)、全体的に築30年以上の冷蔵倉庫が多

い。特に市場型は、築40～50年が約8割を占める。港湾型は、バブル経済期の新設分があるので他に比べて分散している。内陸型は市場型と同様に築40年以上が多く、築50～55年のものが存在するなど施設の老朽化が問題であると考えられる。

契約電力をみると(図7)、契約電力が500kW未満の冷蔵倉庫が大半を占めている。500kWを境に契約料金が上がるためこれを上限に契約電力が抑えられていると考えられるが、港湾型の中には、契約電力が5,000kW前後の大型冷蔵倉庫もみられる。

電力需要調整契約の加入状況をみると(図8)、港湾型および内陸型は大半が加入しているのに対し、市場型はいずれも加入していなかった。市場型は卸売市場に合わせて営業するので、入庫ピーク時の蓄熱など契約条件を満たすのが難しいためと考えられる。一方、港湾型では、約95%が加入しており、約40%が複数の契約に同時加入している。

以上のように、冷蔵倉庫は立地別に特性が分かれる。そのエネルギー消費実態を明らかにする為には、これらの特性を踏まえて分析する必要がある。そこで以下においては、同じ52件の冷蔵倉庫を対象に、これらの特性と各冷蔵倉庫の電力使用量の関係からエネルギー消費要因を明らかにし、冷蔵倉庫の分類を行う。

図2 収容能力の比較

図6 築年数の比較

図3 保管温度帯の比較

図7 契約電力の比較

図4 製氷能力の比較

図8 需要調整契約加入状況の比較

3. エネルギー消費要因による冷蔵倉庫の分類

分類にあたり、冷蔵倉庫の電力使用量原単位 (kWh/m^3) 注8を算出した。算出に用いたデータの計測時期を表3に示す。なお、一般に原単位の算出には単位延床面積 (m^2) を用いるが、冷蔵倉庫の規模は収容能力を表す有効容積 (m^3) で示されるため、ここでは単位容積あたりで求めた。

3.1 分類方法

まず、偏相関分析より、各冷蔵倉庫の年間電力使用量原単位と関係性が高い調査項目を抽出する。次に抽出された調査項目をもとにクラスター分析を行い、エネルギー消費特性を考慮した原単位グループに分類する。

3.2 偏相関係数の算出

図9に示す通り、52件の冷蔵倉庫を対象に14個の調査項目と年間電力使用量原単位との間で偏相関係数の算出を行った。その結果、偏相関係数 ± 0.15 以上の高い関係性を示した項目として、立地・収容能力・製氷能力・契約電力・産業用蓄熱調整契約・時間帯別調整契約の計6項目を抽出した。

3.3 クラスター分析

上記の6項目を用いてクラスター分析を行った。最終的に、立地・収容能力・製氷能力・産業用蓄熱調整契約の計4項目を用いた際に最適となり、①～⑨の9個のグループに分かれた。図10にクラスター分析の結果を示す。

3.4 原単位グループの作成

クラスター分析から得た9つのグループのうち、③・④・⑤・⑧グループは年間電力使用量原単位が類似しているため、グループとしてひとつにまとめた。その結果、R1・R2・R3・R4・R5・R6の計6つの原単位グループに分かれた。各グループの件数、立地及び特徴を表4に示す。市場、港湾、内陸の立地別に製氷の有無や収容能力の規模など特徴が表れている。以下、このグループ別に分析を行う。

4. 冷蔵倉庫のエネルギー消費原単位

4.1 年間電力使用量原単位

グループごとの年間電力使用量原単位を図11に示す。これによるとR4が最も小さく、最大値を示すR5の約1/10に相当する。図2に示す通り、港湾型は他に比べて収容能力が大きい。R3、R4の値から年間電力使用量原単位は抑えられている。さらに、R4の収容能力はR3の2倍以上であるが、年間電力使用量原単位は約6割に抑えられていることから、エネルギー消費が冷蔵倉庫の規

図11 年間電力使用量原単位

表3 電力使用量原単位の算出に用いたデータの計測時期

年間・月別	時刻別			
	建物別	夏期	中間期	冬期
1999年4月～2000年3月	No.6	1999/7/30	1999/4/22	2000/2/3
	No.7	2000/7/24	2000/10/29	2000/1/6
	No.8	2000/9/13～9/14	-	-
	No.21	2000/8/31	2000/4/7	2000/2/1
	No.22	2000/9/13～9/14	-	-
	No.23	2000/9/13～9/14	-	-
	No.24	2000/8/31	2000/4/7	2000/2/1
	No.34	2000/8/1	2000/4/7	2000/2/1
	No.37	2000/8/10	1999/11/9	2000/2/8
	No.42	2000/8/29	2000/4/11	2000/2/10
	No.45	2000/8/1	2000/4/1	-
	No.54	2000/8/1	2000/4/1	2000/2/1

図9 調査項目ごとの偏相関係数

図10 クラスター分析結果

表4 原単位グループ

グループ	クラスター分類	件数	立地	特徴
R1	①	2	市場	製氷あり
R2	②	3	市場	製氷なし
R3	③・④・⑤・⑧	35	港湾	収容能力10万 m^3 未満
R4	⑨	3	港湾	収容能力20万 m^3 以上 製氷なし
R5	⑥	6	内陸	製氷あり
R6	⑦	3	内陸	製氷なし

模に反比例していると考えられる。一方、図2によると市場型と内陸型はほぼ同規模であるが、R1, R2に比べてR5, R6は大きい。図7に示す通り、内陸型は市場型に比べ契約電力が大きいことが要因として指摘できる。また、R1, R2は、それぞれR5, R6に比較して、年間電力使用量が3倍以上高くなっており、製氷能力の有無が要因であると考えられる。

4.2 月別電力使用量原単位

グループごとの月別電力使用量原単位を図12、表5に示す。R1およびR5グループは、他に比べ変動幅が大きく、最大値となる8・9月は、最小値となる2・3月の約2倍に変動する。これは製氷を行うため、季節変動の影響に加え夏場の製氷需要の影響を受けるのが要因と考えられる。他のグループも変動幅は小さいが8・9月にピークを迎えており、外気温の変動に影響を受けていることがわかる。

4.3 時刻別電力使用量原単位

4.3.1 電力需要調整契約を考慮した分析

前述の通り、冷蔵倉庫では、電力需要調整契約に加入しているケースがあり、時刻別の電力使用量はこの契約条件に従い制御されている。よって時刻別については、これまでの原単位グループ内で需要調整契約加入状況を考慮したパターン分類を使う。表6にパターン分類の概要を示す。以下、時刻別の電力使用量データが入手できた11件を対象に時刻別の電力消費パターンについて分析を行う。

4.3.2 時刻別電力使用量原単位のパターン別比較

パターン別の時刻別電力使用量原単位（時刻別比率）を図13～図17及び表7に示し、夏期、中間期、冬期^{注9}に分けて特性を比較する。

A, Bパターンは市場に立地するが、Aに比べBパターンは変動幅が大きい。Aパターンは市場が開く深夜から早朝にかけて市場内の氷需要に対応するのにに対し、Bパターンは開市前後に氷以外の冷蔵需要に対応するためと考えられる。また、A, Bパターンとも、日中午後に変動が小さいのは、閉市時間帯にあたるためと考えられる。一方、港湾地域に立地するC, D, Eパターンは、い

図13 時刻別電力使用量原単位 (Aパターン)

図14 時刻別電力使用量原単位 (Bパターン)

図12 月別電力使用量原単位

表5 月別電力使用量原単位 【単位: kWh/m²・月】

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
4月	23.0	8.2	5.6	3.4	31.6	9.4
5月	28.5	8.1	6.1	3.8	34.8	10.8
6月	37.2	9.3	6.8	4.1	44.2	12.7
7月	41.9	10.7	7.4	4.5	46.1	13.0
8月	48.7	12.1	8.5	5.2	55.6	14.3
9月	43.7	12.3	8.3	4.7	57.7	15.0
10月	31.5	11.2	7.4	4.2	45.3	13.6
11月	24.3	9.1	6.5	3.9	36.1	12.2
12月	20.4	8.0	6.1	3.6	31.1	10.3
1月	17.2	8.3	5.5	2.9	26.4	9.5
2月	16.2	6.7	5.2	3.1	27.3	9.3
3月	16.7	6.6	5.2	3.2	26.0	8.1

表6 パターン分類

グループ	電力需要調整契約	パターン	冷蔵倉庫No.
R1	未加入	A	No. 7
R2	未加入	B	No. 6, 8
R3	ピーク時間	C	No. 21
	ピーク時間+産業用蓄熱	D	No. 22, 23, 34, 42, 45
	ピーク時間+季節別時間帯別	E	No. 24, 54

図15 時刻別電力使用量原単位 (Cパターン)

図16 時刻別電力使用量原単位 (Dパターン)

図17 時刻別電力使用量原単位 (Eパターン)

表 7 時刻別電力使用量原単位

【単位：%】

時刻	Aパターン			Bパターン			Cパターン			Dパターン			Eパターン		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	2.49	3.54	2.07	1.14	0.00	0.00	3.23	3.90	4.18	4.88	4.32	4.02	5.32	5.75	7.29
2	2.74	2.75	2.94	1.49	0.00	0.00	4.38	3.95	2.46	4.71	4.12	3.87	5.40	5.73	7.35
3	4.13	3.55	3.64	2.21	0.00	0.00	4.33	4.34	2.82	4.71	4.08	3.81	5.38	5.70	7.41
4	2.61	2.44	5.44	2.33	0.00	0.00	4.41	2.50	4.36	4.57	4.08	3.79	5.32	5.63	7.27
5	3.64	3.42	2.24	4.88	7.09	7.40	3.74	3.60	4.34	4.56	4.15	3.72	5.31	5.52	7.19
6	4.61	2.61	4.30	5.20	7.61	7.40	3.68	5.21	3.21	4.55	4.02	3.75	5.32	5.55	7.27
7	4.60	3.18	3.13	5.00	7.61	7.40	4.98	4.24	3.47	4.86	3.86	4.23	5.18	5.06	3.01
8	4.64	5.29	3.62	4.88	4.90	8.04	5.30	3.79	5.41	4.69	4.26	4.46	5.25	4.95	3.06
9	4.95	5.68	6.61	5.00	4.90	5.92	5.34	4.57	5.84	3.63	4.32	4.95	3.04	2.23	2.70
10	4.92	5.52	6.43	5.12	4.90	5.92	5.15	6.02	4.16	3.64	4.44	5.17	3.13	2.46	2.91
11	4.93	5.91	5.67	5.12	5.19	5.92	5.02	5.60	4.21	4.68	4.42	5.07	3.14	2.52	2.96
12	4.87	5.99	5.73	5.18	5.13	5.92	4.92	4.52	5.28	4.87	3.78	5.07	3.21	2.50	2.99
13	4.76	5.13	6.48	5.16	5.13	5.92	3.87	3.55	5.24	3.75	4.74	5.01	2.96	4.21	2.89
14	4.89	5.05	4.93	5.10	4.90	5.92	3.74	3.53	4.27	2.96	4.52	4.99	3.04	4.23	2.91
15	4.93	6.02	4.41	5.14	4.90	5.21	4.13	4.96	4.29	2.86	4.60	4.83	3.11	4.37	2.92
16	4.83	5.92	4.24	4.50	6.52	5.21	5.59	5.45	5.82	2.85	4.41	4.48	3.12	4.29	2.85
17	4.77	2.51	4.74	4.32	6.34	5.21	4.93	4.72	5.59	3.94	4.32	4.38	2.94	3.74	2.92
18	4.64	3.86	2.94	4.80	5.94	4.69	2.48	3.19	3.80	4.24	4.43	4.46	3.01	3.86	2.92
19	4.39	5.15	3.77	4.32	6.52	4.69	1.10	3.17	3.69	4.01	4.21	4.27	4.07	2.53	2.80
20	3.68	2.93	2.58	4.48	6.06	4.69	4.86	4.95	4.18	4.03	3.81	2.95	4.02	2.51	2.69
21	4.11	3.97	4.96	4.53	6.34	4.57	3.65	4.88	4.10	3.88	3.49	2.76	3.93	2.50	2.59
22	2.99	4.61	4.02	4.17	0.00	0.00	4.85	3.10	2.57	3.66	3.42	2.74	3.88	2.48	2.66
23	4.12	2.11	2.39	4.31	0.00	0.00	2.10	2.55	2.67	4.74	3.99	3.63	5.45	5.86	2.98
24	2.74	2.87	2.71	1.67	0.00	0.00	4.21	3.71	4.06	4.75	4.20	3.60	5.46	5.80	7.45
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ずれも電力需要調整契約に加入しており、契約の種類が時刻変動に影響していると考えられる。Cパターンは各期とも一般的な午後のピーク時間帯から外れている。Dパターンは各期とも変動幅が最も小さく、蓄熱効果が見られる。Eパターンは変動幅が大きく、夜間のピークが昼間を上回る点でBパターンとは対照的である。Dパターンの夏期とEパターンの各期では、深夜の23～1時にピークを迎えており、電力需要調整契約による夜間へのピークシフトが顕著に見られる。

4.4 過去と現在のエネルギー消費の比較

冷蔵倉庫No.8, No.10, No.21, No.34, No.38については、1967年度に同様の電力消費量調査を行っている。以下、同一施設の過去（1967年度）^{注10}と現在（1999年度）のデータを用いて、エネルギー消費の変化について分析を行った。

表8に各冷蔵倉庫の収容能力及び年間電力使用量を示す。収容能力についてみると、すべての冷蔵倉庫で増加している。特に増加率の高いNo.34とNo.38はいずれもR3グループに属し、収容能力が90%前後増加し、年間電力使用量もそれぞれ増加しているが、年間電力使用量原単位をみるといずれも減少している。一方、収容能力で約3割増加したNo.10（R2グループ）とNo.21（R3グループ）は、年間電力使用量、原単位ともに減少している。No.8は、同じR2グループのNo.10と同規模であるが、収容能力の増加率が他に比べて低いにも関わらず、年間電力使用量、原単位ともに40%以上増加している。

以上のように、No.8以外の冷蔵倉庫では、年間電力使用量の増減に関わらず原単位が減少している。これについては以下のような説明が考えられる。

No.8とそれ以外の冷蔵倉庫の違いは、収容能力の増加率である。前者の収容能力は微増に留まっているのに対し、後者は約30%以上増加している。No.8の建物は、調査を行った2000年度の時点では未改修で、冷蔵倉庫会社によると、年間電力使用量を削減するため、次年度以降に全面改修もしくは建替する計画を検討

中とのことであった。また冷凍機械設備は、平成6年にアンモニア冷凍設備からフロン冷凍設備に変更済みであったが、年間電力使用量は、平成9年度に1224MWh/年、平成10年度に1247MWh/年、平成11年度に1295MWh/年と漸増しており、冷凍機の効率向上を上回るほどの熱需要が生じていると考えられる。熱需要の増加には、保管品の出入庫頻度や年間総取扱量なども影響していると考えられるが、30年以上前の該当データは入手が困難なため定量的に確認できない。一方、冷蔵倉庫会社によると、近年の年間総取扱量はほぼ横ばいである上、冷蔵車の能力向上により入庫される保管品の温度管理が適切に行われているため、各入庫時に温度上昇を抑えるための冷却は少なくなっているとのヒアリング結果がある。以上から、保管品の出入庫頻度や年間総取扱量などが年

表 8 過去（1967年度）と現在（1999年度）の比較

冷蔵倉庫 (グループ)	比較項目	過去 1967年度	現在 1999年度	増加率
No.8 (R2)	収容能力(m ³)			
	F級	8,750	9,000	
	C級	0	0	
	合計	8,750	9,000	3%
	凍結能力(t/日)	0	0	
No.10 (R2)	年間電力使用量(kWh/年)	882,114	1,295,178	47%
	年間電力使用量原単位(kWh/年・m ³)	100.81	143.91	43%
	収容能力(m ³)			
	F級	8,604	8,605	
	C級	0	2,301	
No.21 (R3)	合計	8,604	10,906	27%
	凍結能力(t/日)	0	20	
	年間電力使用量(kWh/年)	1,258,415	1,203,091	-4%
	年間電力使用量原単位(kWh/年・m ³)	146.26	110.31	-25%
	収容能力(m ³)			
No.34 (R3)	F級	32,907	42,290	
	C級	0	0	
	合計	32,907	42,290	29%
	凍結能力(t/日)	0	10	
	年間電力使用量(kWh/年)	2,978,500	2,308,311	-23%
No.38 (R3)	年間電力使用量原単位(kWh/年・m ³)	90.51	54.58	-40%
	収容能力(m ³)			
	F級	33,750	49,127	
	C級	0	14,048	
	合計	33,750	63,175	87%
No.38 (R3)	凍結能力(t/日)	0	30	
	年間電力使用量(kWh/年)	3,340,538	4,627,969	39%
	年間電力使用量原単位(kWh/年・m ³)	98.98	73.26	-26%
	収容能力(m ³)			
	F級	27,399	53,260	
No.38 (R3)	C級	0	0	
	合計	27,399	53,260	94%
	凍結能力(t/日)	0	0	
	年間電力使用量(kWh/年)	2,307,500	3,971,712	72%
	年間電力使用量原単位(kWh/年・m ³)	84.22	74.57	-11%

表9 過去(1967年度)と現在(1999年度)の月別比較

月	No.8			No.21			No.38		
	電力使用量(MWh/月)	原単位(kWh/m ² ・月)	増加率	電力使用量(MWh/月)	原単位(kWh/m ² ・月)	増加率	電力使用量(MWh/月)	原単位(kWh/m ² ・月)	増加率
4	66.4	89.5	35%	7.6	9.9	31%	252.0	142.7	-43%
5	73.4	92.9	26%	8.4	10.3	23%	273.0	182.6	-33%
6	83.2	105.6	27%	9.5	11.7	23%	300.0	215.5	-28%
7	94.7	124.1	31%	10.8	13.8	27%	280.0	225.8	-19%
8	99.8	144.0	44%	11.4	16.0	40%	307.0	310.8	1%
9	83.3	152.0	82%	9.5	16.9	77%	333.0	245.8	-26%
10	72.2	136.4	89%	8.2	15.2	84%	287.0	206.7	-28%
11	67.3	104.1	55%	7.7	11.6	50%	247.0	175.4	-29%
12	68.2	92.0	35%	7.8	10.2	31%	214.0	175.8	-18%
1	55.8	105.3	89%	6.4	11.7	84%	168.5	151.1	-10%
2	53.4	77.0	44%	6.1	8.6	40%	167.0	128.5	-23%
3	64.5	72.2	12%	7.4	8.0	9%	150.0	147.6	-2%
平均	73.5	107.9	47%	8.4	12.0	43%	248.2	192.4	-22%

間電力使用量の増加の主要因ではないと考えられる。よってNo.8は、建物の大規模改修が行われていないために断熱性の向上を望めない点が年間電力使用量の増加に影響していると考えられる。

その点、No.8以外については、収容能力の増加規模から大規模改修や設備更新が行われたと考えられ、結果的に建物の断熱性が向上したため、荷捌室のクローズ化による外気流入量の減少、冷凍庫の能力向上による保管品温度の保温、過去数十年で促進された冷凍機設備の効率向上などが相乗効果が順当に反映されて、電力使用量原単位の減少をもたらしたと考えられる。

また、No.10とNo.21を比較すると収容能力の増加率がほぼ同程度であるのに対し、No.21の方が年間電力使用量及び原単位の減少率が高い。要因については以下のような説明が考えられる。

収容能力の内訳を見ると、No.10の増加分はC級であるが、No.21はF級であることがわかる。また、No.10は電力需要調整契約に未加入だが、No.21はピーク時間帯契約に加入している。F級は保管温度帯以下に過冷却を行っても食品の品質に与える影響が小さいが、C級は主に凍結を避けつつ鮮度を保つ目的で保管される食品を扱うので、保管品の品質管理上、過冷却は適さない。一方、電力需要調整契約では、夜間に過冷却を行い、冷室内の保管品を熱媒として蓄熱効果を図っている。よって、C級よりもF級が増加する方が、電力需要調整契約による蓄熱効果が期待でき、年間電力使用量及び原単位の減少に繋がっていると考えられる。

さらに、No.8、No.21、No.38を取り上げ、各冷蔵倉庫の月別電力消費について分析を行う。各冷蔵倉庫の月別電力使用量及び月別電力使用量原単位を図18～図20、表9に示す。

No.8の年間電力使用量は43%増加しており、図18から特に8～11月を中心に増加していることがわかる。原単位も同時期に増加しているが、電力使用量に比べると増加率は低い。一方、No.21の年間電力使用量は23%減少しており、図19から特に中間期に大きく減少していることがわかる。原単位は年間で40%減少し、夏季の減少率は比較的低いが中間期には40%以上減少している。No.38の年間電力使用量は72%増加しているが、夏季の増加率は他の時期に比較すると低く、No.8における夏季の増加率に比べても低く抑えられている。原単位は年間で11%の減少、夏季の3ヶ月には平均15%の減少がみられる。

No.8は電力需要調整契約に未加入であるが、No.21、No.38はいずれもピーク時間調整契約に加入している。前述の通り、電力需要調整契約により夜間へのピークシフトが促進されるため、電力

図18 現在と過去の比較 (No. 8)

図19 現在と過去の比較 (No. 21)

図20 現在と過去の比較 (No. 38)

使用量が日中の外気温変動に左右されにくく、夏季、中間期における電力使用量の削減に繋がっていると考えられる。

4.5 他の建物用途との年間エネルギー消費量原単位の比較

図21において、冷蔵倉庫の年間エネルギー消費量原単位(一次エネルギー換算【MJ/m²・年】)の変化^{注11}を他の建物用途と比較した⁶⁾。比較対象としては、一般オフィスビルとデパート^{注12}を取り上げた。過去のデータを見ると、冷蔵倉庫の年間エネルギー消費量原単位は一般オフィスビルの約1.5倍に相当しているが、デ

パートには及ばない。現在のデータをみると、冷蔵倉庫R5グループが一般オフィスビルと同等程度になるが、R2～R4、R6グループは一般オフィスビルの3分の1以下の値に相当する。また、一般オフィスビルとデパートの増加に比べると、冷蔵倉庫の年間エネルギー消費量原単位は減少傾向にあることがわかる。

5. 総括及び今後の展望

本研究の成果は、以下の7点にまとめられる。

1)冷蔵倉庫は、立地別に特性が分かれることが明らかになった。港湾型は件数が多く、市場型や内陸型に比べると大規模で、主に冷凍需要に対応しており、電力需要の制御を積極的に行っている。対照的に、市場型は小口貨物の冷蔵需要に対応している。

2)冷蔵倉庫のエネルギー消費を立地別の特性を考慮して分析した結果、6つの原単位グループに分かれた。立地の他に収容能力、製氷能力、産業用蓄熱調整契約等の項目がエネルギー消費に影響していることが明らかになった。

3)原単位グループ別に年間電力使用量原単位を比較した結果、製氷機能を持つグループは、持たないグループに比べて3倍以上高いことがわかった。また収容能力の大きい冷蔵倉庫ほど年間電力使用量原単位が低く抑えられていることから、年間電力使用量原単位は、冷蔵倉庫の規模に反比例する傾向にあることが明らかになった。

4)原単位グループ別に月別電力使用量原単位を比較した結果、製氷ありのグループは夏期のピークに冬期の約2倍に、それ以外のグループの約4～5倍に相当する。また他のグループは年間を通じて変動幅が小さいことがわかった。

5)時刻別の電力使用量は、需要調整契約への加入状況により異なるパターンになることを考慮し、時刻別電力使用量原単位を分類した。需要調整契約に加入しているパターンは、夜間の消費割合が高く、加入していないパターンに比べると時刻変動が小さいことがわかった。

6)同一施設について1967年度と1999年度に行われた調査データを比較した結果、全体的に収容能力が増加しているのに対し、年間電力使用量は増加するケースと減少するケースがあるが、電力使用量原単位は減少していることが明らかになった。一方、建物の老朽化によるエネルギー効率の低下を示唆するケースもみられた。

7)他の建物用途と年間エネルギー消費量原単位の変化を比較した結果、冷蔵倉庫は減少傾向にあることがわかった。

近年、都市においてオフィスや住宅のエネルギー需要が増加の一途を辿る中で、冷蔵倉庫等の大規模な需要源におけるエネルギー消費の効率化を図る意義は大きい。本研究の結果、30年前に比較して概ね効率の向上が確認できたが、建物の老朽化が進む今後は、より一層確実な方策を求めていく必要がある。今後の施設更新にあたっては、その立地を考慮の上、エネルギー供給形態を含めた対策が検討されることを期待する。

謝辞

本研究における冷蔵倉庫の実態調査にご協力頂きました日本冷蔵倉庫協会及び各冷蔵倉庫の関係者の皆様に深く感謝致します。また調査データの実測・分析に力を貸してくれた研究室メンバーの皆様、ご協力有難うございました。

図2-1 他の用途との年間エネルギー消費量原単位の比較

注

注1)1967年及び1968年に早稲田大学尾島俊雄研究室が都区部の冷蔵倉庫28件を対象に行った実態調査を指す。尾島俊雄，建築の光熱水費，丸善株式会社，1984，p.78-82に記載。

注2)本調査の一環として行ったヒアリング結果に基づく。ヒアリングは、2000年8～9月にかけて社団法人日本冷蔵倉庫協会、立地の異なる複数の冷蔵倉庫を保有する冷蔵倉庫を対象に、冷蔵倉庫の概要を把握するために行った。

注3)C級と同様、F級についても保管温度帯別に表記することが本来望ましいが、本調査ではF級の保管温度帯別データが入手できなかった為、F級全体として表記している。

注4)製氷能力とは、1日あたりに生産可能な氷の量(t/日)を表す。一般に、製氷能力1(t/日)は日本冷凍トン1.72(JRT)に相当するとされている。

注5)凍結能力とは、1日あたりに凍結可能な食品の量(t/日)を表す。ここで凍結とは、食品の初期温度から最大氷結晶生成帯(食品の水分が凍り始めてからその大部分が凍り終わる温度帯: -1℃～-5℃)を速やか通過し、食品の中心温度が-18℃以下に下がるまで冷却する加工作業のことをいう。

注6)電力会社は、工場など高圧・特別高圧電力の契約主に対し、主に付帯契約で運用できる選択約款により、安価な夜間電力の有効利用を勧め、夏期の午後を生じる電力需要のピークカットを図っている。

注7)冷蔵倉庫No.40とNo.41は、港湾区域及び港湾隣接地域に建設された冷蔵倉庫ではないが、港湾隣接地域と隣接しているので便宜上港湾型とする。

注8)原単位は、冷蔵倉庫全体の電力使用量(荷捌室や事務室も含む)を収容容積で割って算出した。

注9)夏期とは7・8・9月を、中間期とは3・4・5・6・10・11月を、冬期とは12・1・2月を指す。

注10)尾島俊雄，建築の光熱水費，丸善株式会社，1984，p.129-130，p.181-185，その他調査原データより1967年度の調査データを引用した。

注11)過去については、尾島俊雄，建築の光熱水費，丸善株式会社，1984，p.181-182に記載の1967年のデータを用いた。現在については、ここまで延床面積あたりのデータを扱っていない上、実態調査では延床面積のデータが入手できなかったため、以下の方法で延床面積あたりの原単位を算出した。よって厳密な値ではない。まず、表8に記載の冷蔵倉庫について、1967年度の収容能力A(m³)と建築延床面積B(m²)のデータから係数(A/B)を求め、平均値を取り0.5196(m³/m²)を得た。これを1999年度の収容能力に乗じて建築延床面積を算出し年間電力使用量をこれで割った。

注12)参考文献6に記載のデータを引用した。過去については、一般オフィスビル(10階以下の事務所ビル)は、1995年～1985年、デパートは1976年のデータを、現在については、それぞれ1986年～1993年、1990年～1991年のデータを用いた。

参考文献

- 1)社団法人日本冷蔵倉庫協会，冷蔵倉庫業界レポート1999，p.2より。
- 2)社団法人日本冷蔵倉庫協会，冷蔵倉庫業界レポート1999，p.4より。
- 3)社団法人日本冷蔵倉庫協会，営業冷蔵倉庫の機能と物流サービス，http://www.jarw.or.jp/guide_f.html，2001より。
- 4)東京冷蔵倉庫協会，協会紹介，<http://www.toreiso.gr.jp/about.html>，2001より。
- 5)社団法人日本冷蔵倉庫協会，冷蔵倉庫業界レポート1999，p.5より。
- 6)尾島俊雄研究室，建築の光熱水原単位(東京版)，早稲田大学出版部，1995年，p.29-33(一般オフィスビル)p.72-75(デパート)より。

(2002年2月10日原稿受理，2002年11月12日採用決定)