

中規模事務所建築設備の保全実態と更新時期算定に関する研究

STUDY ON THE ACTUAL CONDITION OF MAINTENANCE OF EQUIPMENT SYSTEM IN MIDDLE-SCALE OFFICE BUILDING AND RENEWAL TIME CALCULATION

原 英 嗣^{*} , 尾 島 俊 雄^{**}
Eiji HARA , Toshio OJIMA

This research proposes the method of the renewal age prediction for the building equipment system, considering the opinion of professionals who concerns the equipment renewal. Firstly, the survey for the building equipment system was performed, which includes the operating condition and the history of maintenance. Secondly the renewal age was predicted through the Delphi method. These results are combined with an evaluation of the economic life, and the method for the renewal age prediction was proposed. Lastly the case study was performed as a verification.

Keywords: office building, equipment, maintenance, renewal time calculation, Delphi method

事務所建築、建築設備、保全、更新時期算定、デルファイ法

1. はじめに

近年、建物の長寿命化が進み、その維持・向上には、建物イメージや立地条件が重要となる。しかし、高度経済成長期に建てられた多くの建物では、竣工当初に比べて設備の物理的性能劣化以上に、社会的要因から設備への要求性能は高くなっている。建築設備の長寿命化や劣化に対応するためには、長期的な保全・管理が重要で、特に躯体に比べて寿命が短いため、設備の容易な更新が必要になる。

文献¹⁾で、空調システムの更新時期として、経済寿命を用いた算出手法を提案した。経済寿命を算出するLCC平均年価は、経済寿命付近において、明確な差がみられず、ほぼ横ばいであり、よって更新時期を定めるための別の要因が必要である。

そこで本研究では、設備更新に直接関与すると考えられる専門家の意見を考慮した建築設備システムの更新時期算定手法を提案する。そのため、はじめに中規模事務所ビルにおける建築設備システムの稼働状況、保全履歴に関して実態調査を行い、設備システムの更新時期をデルファイ法によるアンケート調査を用いて更新時期予測を行った。この調査結果と経済寿命から建築設備の更新時期算定手法を提案し、最後にこの手法のケーススタディを行った。

2. 中規模ビル設備の稼働、保全状況調査

東京都23区では、多数の中規模事務所建築が存在しており、それらのビルで使用されている建築設備の形態、管理状況は様々である。建築設備の保全形態は多岐にわたっており様に扱うことができない。

そこで、東京都内の中規模事務所建築設備の設置状況、稼働状況、保全状況の調査を行い、その設備実態を把握する。

異なる空調システムを有する3棟の中規模賃貸事務所ビルおよび大学の研究棟を調査対象とする。大学の研究棟は、実質上事務所用途として使用されていることから、賃貸事務所ビル3棟と共に調査を行った。調査建物概要を表1に示す。

調査項目は、各設備機器の稼働時間、定期点検状況及び予防保全状況に関してビル管理者に対しヒアリング調査を行い、中規模ビルの設備の実態把握を行った。各設備機器は、システム、サブシステムに分類し、空調システムは、パッケージエアコン、熱源設備、空調設備、ポンプ類、配管類のサブシステムに分類し、給水システム及び排水システムは、槽類、ポンプ類、配管類のサブシステムに分類した。また、得られた保全データの分析を行い、建物の特徴や設備システムの違いによる傾向を分析した。

* 早稲田大学理工学部建築学科 助手・工修

Research Associate, M. Eng., Dept. of Architecture, Waseda University

** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

Professor, Dr. Eng., Dept. of Architecture, Waseda University

表1 調査対象建物概要

建物名称		Aビル	Bビル	Cビル	Dビル	
所在地		東京都港区	東京都中央区	東京都中央区	東京都新宿区	
種別		賃貸事務所ビル	賃貸事務所ビル	賃貸事務所ビル	大学研究棟	
構造		SRC造	SRC造	RC造、一部S造	SRC造	
延べ床面積		7,554㎡(仮積) 11,324㎡(館積)	9368㎡	7843㎡	20,893㎡	
階数		地上9階、地下3階	地上9階、地下2階	地上8階、地下1階	地上9階、地下1階	
竣工年月		1955年11月(仮館) 1965年6月(館積)	1960年6月	1931年	1993年	
設備概要	空調システム	熱源種 主熱源設備 空調方式 初期投資 (百万円)	電気 開回路式水熱源 ヒートポンプシステム	電気、重油A 水蓄熱システム 4行	ガス 吸収式冷凍水発生機 2行	電気、ガス ビルマルチパッケージエアコン
	給水システム	給水方式	重力式 (受水権取得利用)	重力式 (受水権取得利用)	重力式	重力式
	排水システム	排水方式	重力式	重力式	重力式	重力式
	設備管理人数		5人	5人	2人	不明

各建物の空調、給水、排水システムの稼働時間及び定期点検・予防保全状況を表2に示す。

各建物の設備稼働時間は、空調設備が長く1日当たり10時間近く稼働している。それに対し給排水ポンプは、1~3時間と短い。

設備の保全には大きく分けて、予防保全と事後保全があり、予防保全を行った方が、設備の寿命は延びると言われる。しかし、事後保全に比べて費用がかかることから、調査を行った4棟に関しても、予防保全は行わず事後保全で対応し、故障後に交換という方法をとっていた。本調査で、定期点検及び予防保全状況について調査を行った。表2にメーカーが推奨する定期点検項目数と予防保全項目数に対し、現状の満足している項目数を示す。全体的な傾向として、定期点検は空調システムに満足している項目数が多く、給水、排水システムには満足している項目数が少ない。予防保全は、Bビル、CビルのAHUを除いて全く行われておらず、基本的に事後保全である。

保全形態を図1のように分類し²⁾、物理的劣化回復保全の劣化回復保全に要した費用を調査した。ただし、フィルター交換費は洗浄・清掃に、消耗品購入費は補強・補修に含める。また、A、B、Cビルは、メーカーと保守契約を結んでおり、内容から点検・調整費に含める。Dビルもメーカーと修理も含めた保守契約を結んでいるが、その内訳が分からないため図3には掲載しない。空調設備のサブシステム別の経年による累積保全費を図2に示す。空調システムの保全形態別年間平均保全費

表2 空調、給水、排水システムの稼働時間及び定期点検・予防保全状況

ビル名	システム分類	サブシステム分類	機器名	設置年	稼働時間 (h/日)	定期点検		予防保全	
						満足 / 推奨 項目数/項目数	満足 / 推奨 項目数/項目数	満足 / 推奨 項目数/項目数	満足 / 推奨 項目数/項目数
Aビル	空調	パッケージエアコン	水熱源HP	1992	10.00%	1 / 2	0 / 1		
			冷却塔	1992	10.00%	14 / 15	0 / 6		
			電気温水ボイラー(補助熱源)	1992	10.00%	4 / 9	0 / 7		
			熱源設備	1992	10.00%	4 / 14	0 / 7		
			空調設備	1992	10.00%	5 / 13	0 / 12		
	給水	ポンプ類	熱源水ポンプ	1992	-	-	-	-	
			配管類	1992	-	-	-	-	
			槽類	1989	-	7 / 9	-	-	
			ポンプ類	1989	1.67%	5 / 16	0 / 15	-	
			配管類	1980	-	-	-	-	
排水	ポンプ類	汚水槽(仮体利用)	1964	-	-	-	-		
		槽類	1964	-	-	-	-		
		ポンプ類	1988	1.39%	2 / 10	0 / 11	-		
		配管類	1990	1.33%	2 / 10	0 / 11	-		
		配管類	1992	-	-	-	-		
Bビル	空調	パッケージエアコン	空冷ファンデラー	2001	7.97%	-	-	保守契約	
			冷凍機	1990	7.25%	-	-	保守契約	
			冷却塔	1990	7.25%	6 / 14	0 / 6		
			ボイラー	1960	不明	9 / 9	-	-	
			空調設備	1990	8.74%	4 / 10	5 / 10		
	給水	ポンプ類	ブラインポンプ1	2001	8.11%	-	-	-	
			ブラインポンプ2	2001	4.27%	-	-	-	
			冷却水ポンプ	1990	7.48%	0 / 14	0 / 14		
			冷却水ポンプ	1990	4.96%	-	-	-	
			冷却2次ポンプ	1990	9.15%	-	-	-	
排水	ポンプ類	排水1次ポンプ	1990	不明	-	-	-		
		配管類	1990	-	-	-	-		
		槽類	1960	-	-	-	-		
		ポンプ類	1995	0.67%	0 / 10	0 / 11	-		
		配管類	1995	0.67%	-	-	-		
Cビル	空調	パッケージエアコン	熱源設備	1990	14.00%	-	-	保守契約	
			冷凍水発生機	1990	不明	7 / 15	0 / 6		
			冷却塔(塔型)	1992	14.00%	6 / 12	2 / 14		
			AHU	1976	14.00%	10 / 12	0 / 12		
			空調設備	1990	14.00%	3 / 16	0 / 15		
	給水	ポンプ類	FCU	1990	不明	-	-	-	
			冷水水ポンプ	1990	14.00%	-	-	-	
			冷却水ポンプ	1990	14.00%	-	-	-	
			配管類	1990	-	-	-	-	
			配管類	1990	-	-	-	-	
排水	ポンプ類	受水槽	1991	-	9 / 9	-	-		
		高置水槽	1991	-	9 / 9	-	-		
		ポンプ類	1991	0.50%	1 / 11	0 / 11	-		
		配管類	1991	-	-	-	-		
		槽類	1957	-	-	-	-		
Dビル	空調	パッケージエアコン	空冷HP	1993	設定なし%	-	-	保守契約	
			受水槽	1993	-	4 / 9	-	-	
			高置水槽	1993	-	4 / 9	-	-	
			ポンプ類	1993	3.00%	0 / 15	0 / 14	-	
			配管類	1993	-	-	-	-	
	給水	ポンプ類	汚水槽(仮体利用)	1993	-	-	-	-	
			槽類	1993	-	-	-	-	
			ポンプ類	1993	3.00%	-	-	-	
			配管類	1993	-	-	-	-	
			配管類	1993	-	-	-	-	

⁰⁾ アンケート形式のビルメンテナンスによる
¹⁾ 2001年7月~9月の計測データによる1日、1台当たりの平均稼働時間
²⁾ 2001年7月~2002年6月までの計測データによる1日当たりの平均稼働時間

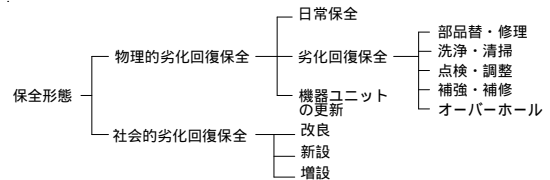


図1 保全形態²⁾

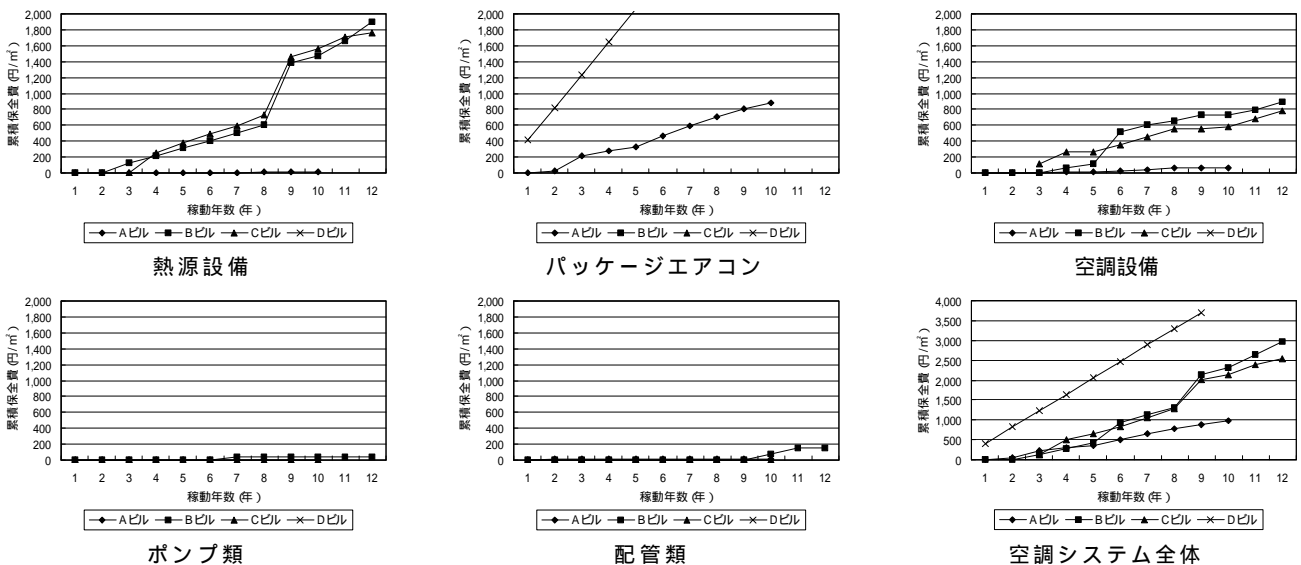


図2 空調設備のサブシステム別累積保全費

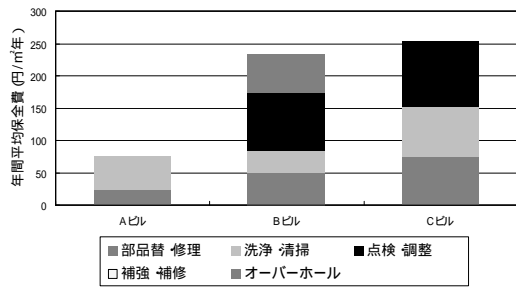


図3 空調システムの保全形態別年間平均保全費

を図3に示す。

図2より、累積保全費は、主に熱源設備、パッケージエアコン、空気調和設備に費用が発生しており、ポンプ類ならびに配管類には、ほとんど費用が発生していない。パッケージのDビルは、保守契約のため毎年一定の割合で費用が発生している。

空調システム全体の累積保全費の推移をみると、セントラル空調であるBビル、Cビルの費用が、個別空調であるAビルと比較し保全費が大きい。保守契約のみのDビルの費用が一番大きいのは、保守契約費の中に設備管理者の人件費等が含まれている為と考えられる。

図3より、年間平均した保全費は、個別空調であるAビルが低く、セントラル式であるB、Cビルの保全費はほぼ同じとなっている。またその内訳は、Aビルが部品替・修理と洗浄・清掃がほとんどであるのに対し、B、Cビルには点検・調整費が発生しており、全体の約40%を占めている。

3. 設備システムの更新時期

第2節では、中規模事務所建築設備の保全実態を明らかにした。この実態を踏まえ、本論文では中規模事務所建築の劣化及び長寿命化における建築設備の維持、保全、更新に直接関与すると考えられる専門家の意見を考慮した建築設備の更新時期を予測する。

代表的な技術予測の手法として用いられているデルファイ法とは、一種の意見収斂アンケートである。匿名で繰り返しアンケートが行われることにより、様々な立場の意見を取り入れることができ、分散しているアンケート回答について、個人的な偏見を減らし、誰もが納得のいく時期に収斂させることができる。

アンケート条件として以下の項目をあげる。

アンケートする内容ははっきりさせる。

アンケート回答者はその内容に関する専門家とする。

最低10人以上を回答者とし、参加する意思を得る。

アンケート概要を図4に示す。

アンケート内容は、Aビル、Bビル、Cビル、Dビルの空調システム、給水システム、排水システムについて、現在から何年後にシステム更新を行うかについて、設備の専門家13名(所有者1名(経験年数22年)、設備管理者3名(26年、20年、17年)、設備設計者4名(20年、15年、10年、4年)、設備診断士3名(20年、15年、7年)、設備研究者2名(35年、20年))にアンケートを行った。調査期間は、1回目のアンケートが2002年12月に行い、2回目のアンケートは2003年1月である。

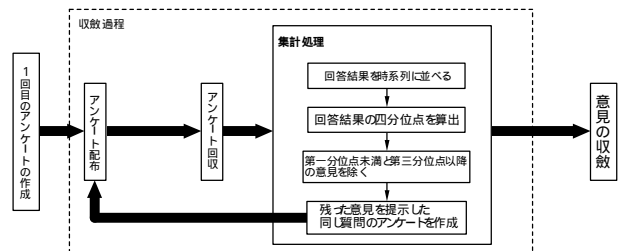


図4 アンケート概要

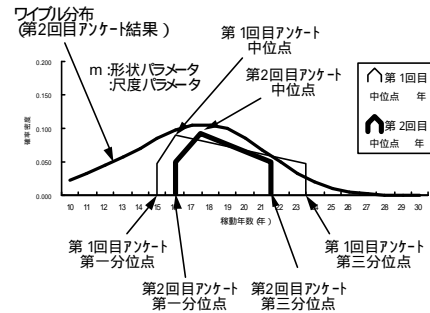


図5 アンケート集計方法

アンケートの集計方法を図5に示す。図のように、第1回目及び第2回目のそれぞれの第一分位点と第三分位点を取り出し、それらの差が縮小していれば、収斂していることになる。また、本調査がシステムの寿命という事象を扱っているということから、意見としての余寿命はワイブル分布に従うと考えられ、ここでは、2回目のアンケート結果の累積ハザード値を算出し、回帰直線からワイブル分布の形状パラメータ m と尺度パラメータを算出し、ワイブル分布による各年の確率密度を算出した。ワイブル分布密度関数 $F(n)$ 及び期待値 $E(N)$ は、以下の式になる。調査結果を図6に示す。

$$F(n) = \frac{m \cdot n^{m-1}}{h^m} \cdot e^{-\left(\frac{n}{h}\right)^m} \quad E(N) = h\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

$F(n)$:ワイブル分布密度関数、 $E(N)$: $F(n)$ の期待値、

h :尺度パラメータ、 m :形状パラメータ、 n :稼働年数

空調システム

各ビルの空調システムの調査時における稼働年数をAビルは10年、Bビルは12年、Cビルは12年、Dビルは9年とする。

Aビルは、第1回目のアンケートの第一分位点と第三分位点の差は5年間であり、第2回目のアンケート結果では、4年間と1年間収斂し、中位点はそれぞれ15年と20年となっている。Bビルでは、それぞれ9年間から6年間に収斂し、中位点はそれぞれ19.5年と20年となっている。しかし、意見としては25年という回答が一番多く、これは2年前(2001年)に冷凍機を増設していることに起因すると考えられる。Cビルでは、7年間から5年間に収斂し、中位点はそれぞれ21年と19.5年になっている。Dビルでは、4年間から2年間に収斂し、中位点はそれぞれ19年と19年になっている。また、ワイブル分布のそれぞれの期待値は、18.6年、20.8年、18.4年、18.4年となり、意見の傾向としてDビルのシステムの更新時期の年数が集中していること

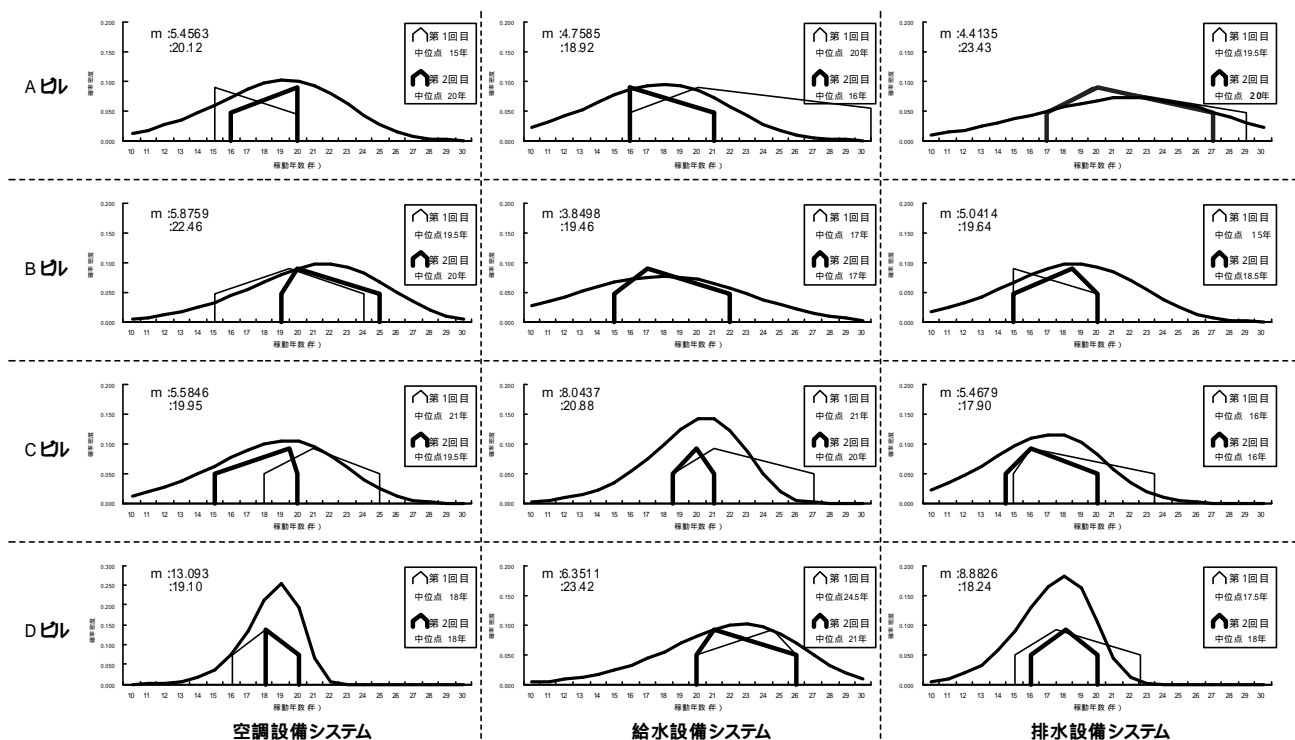


図6 アンケート結果

がわかる。アンケートの意見として、セントラル方式を採用しているビルの意見には、テナント誘致の観点から個別方式への変更を薦める意見が多くなっていた。今後のシステム更新を考慮して、すべての機器の交換時期をそろえるように部分更新を行う必要を指摘する意見も目立った。

給水システム

各ビルの給水システムの調査時における稼動年数をAビルは13年、Bビルは7年、Cビルは11年、Dビルは9年とする。

Aビルでは、19.5年間から5年間に大幅に意見が収斂し、中心点はそれぞれ20年と26年になっている。Bビルでは、7年間と7年間で意見の収斂はなく、また中心点も17年と17年で一致している。Cビルでは、8.5年間から2.5年間に収斂し、中心点は21年と20年になっている。Dビルでは6年間と6年間で意見の収斂はみられないものの、中心点は24.5年から21年に短くなった。ワイブル分布の期待値は、それぞれ17.3年、17.6年、19.7年、21.8年となり、意見としては、受水槽に躯体を使用しているA、Bビルで更新時期が早い傾向があることがわかるが、意見としては躯体の耐久性の判断から意見が分散傾向にある。それに対し、躯体利用をしていない受水槽を使用しているCビル、Dビルに対する意見は、比較的集中しており、また新しい建物であるDビルの更新年数が長くなっていることがわかる。

排水システム

各ビルの排水システムの調査時における稼動年数をAビルは14年、Bビルは7年、Cビルは12年、Dビルは9年とする。

Aビルでは、12年間から10年間へ意見の収斂がみられ、中心点は19.5年から20年となっている。Bビルでは5年間と5年間で意見の収斂はないものの、中心点は15年と18.5年となっている。Cビルでは8.5年間から5.5年間に意見が収斂

し、中心点は16年と16年で一致している。Dビルでは、7.5年間から4年間に意見が収斂し、中心点は17.5年から18年になっている。またワイブル分布の期待値は、21.4年、18.0年、16.5年、17.3年となっており、分散傾向もCビル、Dビルが比較的集中しているのに対し、Aビル、Bビルは、分散傾向にあることがわかる。これは、Aビル、Bビルのシステムに竣工当時から稼動している機器が混在していることが影響しているためと考えられる。

全体として、システムの稼動年数がはっきりしている空調システムは、システム更新時期の意見が収斂しており、機器単体の更新を繰り返しているような給水、排水システムは、システムとしての起点がはっきりしないため、意見が分散傾向にある。給水、排水システムは、建物のライフサイクルにおいてシステム全体更新よりも、機器単体更新が専門家の意見であると考えられる。

4. 空調システムの経済寿命の算出

次に空調システムの経済寿命を算出する。ここで用いた経済寿命算出式は、一般的には経済性指標として用いられているLCC平均年価式である。経済寿命はLCC平均年価M(n)の最小となる年数nのことであり、稼動費の平均年価と初期投資額の平均年価の和に金利を掛け合わせたもので表される。金利は、この当時(1990年)の公定歩合を参考にして6%とした。

$$M(n) = \left\{ C_0 + \sum_{j=1}^n \frac{(R_j + H_j)}{(1+i)^j} \right\} \left\{ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\}$$

M(n): LCC平均年価、i: 金利、C₀: 初期コスト

R_j: 稼動 弃目の光熱費、H_j: 稼動 弃目における保全費

表3 空調システムのエネルギー消費量推定値
及びエネルギー単価設定

	空調システムのエネルギー消費量推定値 (2001年度)				熱源 単価
	Aビル	Bビル	Cビル	Dビル	
電力 (MWh/年)	1,144	414	240	1,523	19 円/kwh
ガス (N/m ³)	-	-	61,892	-	55 円/N・m ³
重油 (L/年)	-	24,135	-	-	29 円/L

また稼働費は、保全費と光熱費の和であり、実測調査したデータをもとに以下の設定を行い算出する。

保全費H_jは、本調査では、各ビルの空調システムの生涯に亘る保全費データが得られなかった為、空調システムのイニシャルコストより、文献1)の累積保全費予測曲線 f(n) (現価換算値)を用いて算出する。注1)以上より得られた f(n)とH_jは、以下の関係にある。

$$f(n) = \sum_{j=1}^n \frac{H_j}{(1+i)^j}$$

光熱費R_jは、各建物の2001年度における空調システムのエネルギー消費量をもとに、以下の式より算出する。ここで空調システムのエネルギー消費量の推定値注2)及びエネルギー単価設定値を表3に示す。年間の光熱量上昇による光熱費増加率は、それぞれAビルは3%/年、Bビルは4%/年、Cビルは4%/年、Dビルは4%/年と仮定する。また、エネルギー単価の経年による上昇率は0%/年と仮定する。

$$R_j = R_1 \cdot (1+jf)$$

$$R_1 = E_m \cdot c \cdot (1-mf)$$

R₁:稼働1年目光熱費、j:稼働年数、 f:光熱費増加率
c:稼働1年目のエネルギー単価
E_m:2001年度における空調システムのエネルギー消費量
m:2001年度における稼働年数

空調システムの初期コストは、表1の値を用いる。今回は、システムの稼働年数が1990年以降であるので、デフレタは考慮しない。Bビルに関しては、2001年(システム稼働9年目)に冷凍機を増設しているため、それを考慮する。この時の金利は0.5%とする。

以上より、各建物の空調システムの経済寿命を算出する。結果、Aビルは19年、Bビルは26年、Cビルは20年、Dビルは17年となった。

5. 設備システムの更新時期算定手法の提案

経済寿命はLCC年価が最小になる年数と定義されるが、図7のように、LCC平均年価の経年の推移をみると、経済寿命の付近ではそれほど差が見られず、よって、システム更新時期としての明確な判断基準とは言い難い。そこで専門家の意見による更新時期と経済的な更新時期とを組み合わせた更新時期算定手法を提案する。

システムの更新要因は、物理的劣化と社会的劣化に分類できる^{4)~7)}。この物理的劣化と社会的劣化が、更新の決定要因となっている。LCC平均年価は、物理的劣化と社会的劣化を経済

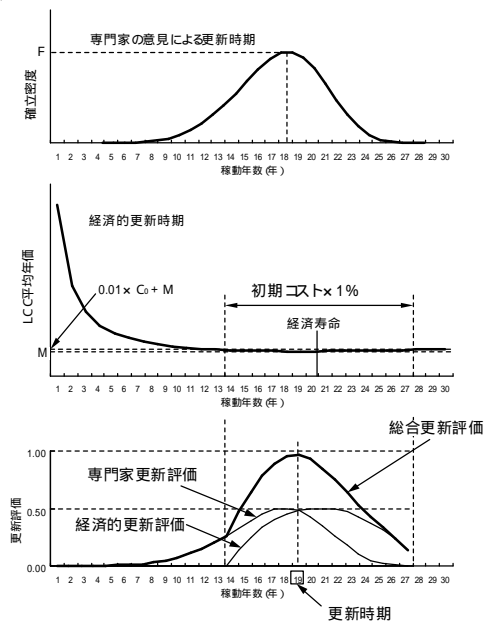


図7 システム更新時期算定概念図

性の観点から評価した結果である。しかし図7からわかるように、経済性の判断を行えるのは、初期投資額のほぼ1%程度の範囲と考えられる。一方で、デルファイ法が専門家の主観を客観的に表せる唯一無二の手法であることから、専門家の主観的な意見と経済性の評価であるLCC平均年価は、同等の価値があると考えて、これらを加算することで、経済性に専門家の主観を取り入れた更新評価が可能となる。

そこで経済的更新評価は、システム更新を考慮し始める期間である区間をLCC平均年価のほぼ横ばいである区間であるとし、経済寿命のLCC平均年価から初期コストの1%の差までの年数を導き出す。専門家による更新評価は、図6のワイブル分布を用いる。また重み付けを1:1とし、それぞれの最大値を0.5として各値を比例させる。システム更新時期として妥当であると考えられる時期は、上記2つの評価を加算した最大値をとる時期となる。概念図を図7に示す。また以下に更新時期算定式を示す。

$$V(n) = Fv(n) + Mv(n)$$

$$Fv(n) = a \cdot \frac{F(n)}{F}$$

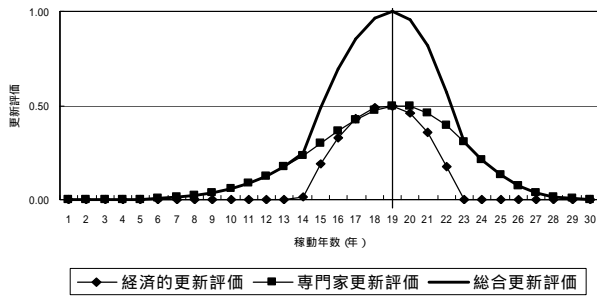
$$Mv(n) = b \cdot \left(1 - \frac{M(n) - M}{0.01 \cdot C_0} \right)$$

$$a + b = 1$$

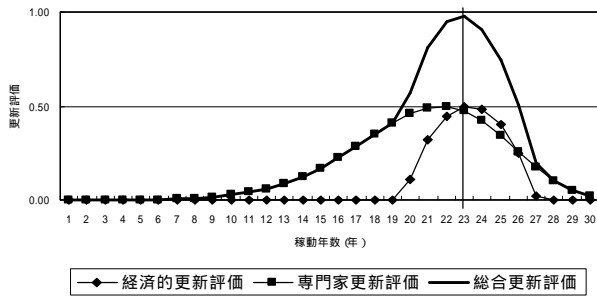
V(n) 総合更新評価、Fv(n) 専門家更新評価、
Mv(n) 経済的更新評価、a, b 係数、
M : 経済寿命時のLCC平均年価
F : ワイブル分布密度関数の最大値

今回調査した4棟に関して、空調システムの更新時期を算定する。結果を図8に示す。

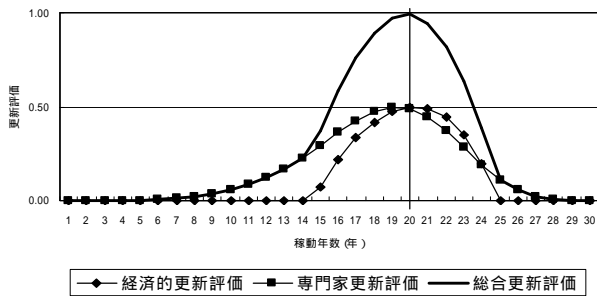
結果、Aビルは19年、Bビルは23年、Cビルは20年、Dビルは、18年でシステム更新するのが最適であることがわかった。



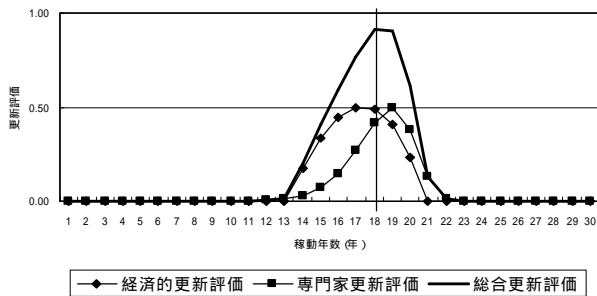
Aビル



Bビル



Cビル



Dビル

図8 各建物の空調システム更新評価

6. システム更新時期算出手法のケーススタディ

ここでは、第5節で提案した更新時期算出手法のケーススタディを行う。ケーススタディには、Eビルの空調システムを用いる。Eビルの空調システムは、1982年の竣工から2001年にシステム更新するまでの19年間稼動していた。Eビルの概要を表4に示す。まず始めに、空調システムのLCC平均年価を算出する。データは、調査で得られた空調システムの初期コスト及び、2001年度のエネルギー消費量である。保全費の算出は、第5節と同様にし^{注1)}、空調システムのエネルギー消費量^{注3)}は、2%/年増加すると仮定し算出した。また金利は、当時の公定歩合を参考にし、5%としている。計算した結果、経済寿命は21年と

表7 Eビル概要

建物名称		Eビル
建物概要	所在地	東京都港区
	種別	賃貸事務所ビル
	構造	SRC
	延べ床面積	20,086㎡
設備概要	階数	地上9階地下2階
	竣工年月	1982年
	熱源種	電気、ガス
	空調システム	主熱源設備 電気、冷水発生機 副熱源設備 センทรัล方式 空調方式 センทรัล方式 (各階ユニット)
	移動年数	1982年～2001年
システム初期コスト(百万円)		370

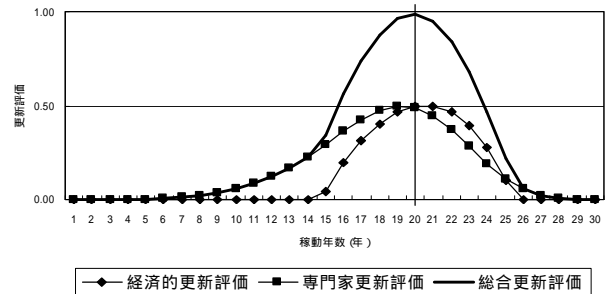


図9 Eビルの空調システムの更新評価

なった。

専門家更新評価として、同じシステムを用いているCビルの空調システムの値を用いる。

結果を図9に示す。更新時期は20年となり、実際の更新時期と1年の差はあるが、ほぼ一致した。

7. まとめ

本研究の成果として、中規模事務所ビルの管理者へのヒヤリング及び記録データを通して、建築設備の稼動状況及び定期点検・予防保全の実態が明らかになった。稼動状況は、給排水ポンプの稼働時間が短く、またメーカーが推奨する定期点検及び予防保全は、空調システムが比較的定期点検の満足している項目数が多いが、その他の設備は定期点検、予防保全がほとんど行われていない実態が明らかになった。基本的に予防保全が行われておらず、事後保全で対処していた。累積保全費は、個別空調方式は低く、セントラル空調は高く、点検・調整費が全体の約40%を占めており、ことが明らかとなった。熱源設備及び空調設備以外に集中し、その他の設備にはほとんど掛かっていない。

このような保全実態を踏まえた上で、設備機器の更新に関わりのある専門家へ、建築設備システムの更新時期についてデルファイ法を用いたアンケート調査を行った。その結果、システムの稼動年数がはっきりしている空調システムは、システム更新時期の意見が収斂しており、機器単体の更新を繰り返しているような給水、排水システムは、システムとしての起点がはっきりしないため、意見が分散傾向にある。以上より、デルファイ法を用いたアンケート調査により、設備システムの更新時期の予測が可能であることを示した。また専門家の意見をワイブル近似で定量化し、LCC平均年価より、物理的劣化及び社会的劣化を考慮したシステム更新時期算定手法を提案した。

最後に更新時期算定手法を用いてケーススタディを行い、結果、実際の空調システムの更新時期と誤差1年でほぼ一致した。

しかし、今回のケーススタディは、1例と少なく、更新時期算定手法の有効性を検証できたとは言えない。今後の展望として、更新時期算定手法の専門家の意見による様々なシステムの寿命を調査することにより、更新時期算定手法の精度を上げ、検証例を増やしていくことが重要になってくる。また今回は、経済寿命の算出の係数上、給排水システムについては検証できなかった。今後は、空調システム以外の更新時期の予測を行い、建築LCCに於ける建築設備の影響を調べる必要があると考える。

謝辞

本論文を書くにあたり、本研究の調査に快くご協力頂きました各オフィスビルの経営者並びにビル管理者、専門家の方々、山田真梨子氏に厚く御礼申し上げます。

注

注1) 本調査では、各ビルの空調システムの生涯にわたる保全費のデータが得られなかった為、空調システムのインシヤルコストより文献1)の累積保全費予測曲線 $f_1(n)$ (観価換算値)を用いて算出する。算出式は以下になる。

$$f_1(n) = C_1 \cdot 0.00343 \cdot n^{1.7573}$$

$$f_2(n) = C_2 \cdot 8.41056 \cdot 10^{-12} \cdot n^{7.9723}$$

$f_1(n)$ 熱源機器の累積保全費予測曲線 C_1 熱源機器の初期コスト

$f_2(n)$ 空調機器の累積保全費予測曲線 C_2 空調機器の初期コスト

注2) 空調システムのエネルギー消費量は、熱源機器と空調搬送機器のエネルギー消費量の和とする。Aビル、Dビルは個別方式のため、熱源機器と搬送機器が同一設備内にあるので、各個別機器の消費エネルギー量の推定を行う。Bビル、Cビルに関しては、熱源機器と搬送機器が別々であるので、これらのエネルギー消費量を別々に推定する。

また、推定手法の共通事項として、各月の稼働日を設定する。稼働日は、平日を1日、土曜日を0.5日、日曜日・祝日を0日として、各月の稼働日を換算する。最終的に、各年度の夏期(6月～9月)、中間期(4月～5月、11月)、冬期(12月、1～2月)における稼働日1日当たりのエネルギー消費量平均値を算出する。

Aビルは、調査より1994年～2001年までの各月における建物全体の電力消費量データと、2002年度の夏期、中間期、冬期における代表日(平日)の時刻別の専用部の電灯、動力電力消費量データが得られた。建物Aは、閉回路式水熱源ヒートポンプの為、空調システムのエネルギー消費量は、専用部の動力電力消費量から算出した。また専用部の電灯電力消費量データから照明・コンセント動力エネルギー消費量(専用部)を算出した。各月の電力消費量データから稼働日換算した値を用いて、夏期、中間期の空調システム及び照明・コンセント動力(専用部)のエネルギー消費量を減算した値は、それぞれ、643kJ/m²・日、681kJ/m²・日(熱量二次換算値)となり、これらの平均値662kJ/m²・日を照明・コンセント電力エネルギー消費量(共用部)と一般動力エネルギー消費量の合計値とした。以上より、各年度の一般電力エネルギー消費量は、照明・コンセント動力エネルギー消費量(専用部)と空調システムのエネルギー消費量の比率及び照明・コンセント電力エネルギー消費量(共用部)と一般動力エネルギー消費量の経年変化は無いものと仮定し、中間期の建物全体の電力消費量データから算出した。よって、空調システムのエネルギー消費量は、建物全体のエネルギー消費量から一般電力エネルギー消費量を減算した値とした。

Bビルは、調査より2001年7月～2002年8月における熱源機器及び空調搬送機器の詳細な日別電力消費量データ及び1995年度から2001年度までの各月の電力消費量データ、重油消費量データを得た。詳細データより、中間期における空調搬送機器の電力消費量の稼働日平均は、226kJ/m²・日である。中間期において一般電力エネルギー消費量と空調搬送機器のエネルギー消費量比率の経年変化が無いと仮定し、中間期の電力消費量データに同比率を乗じて一般電力エネルギー消費量を算出した。夏期の空調システムの電力消費量は、電力消費量データから一般電力エネルギー消費量を減算した値とする。また、冬期は重油焚きボイラーを使用している為、重油消費量から冬期の熱源機器のエネルギー消費量を算出した。

Cビルは、吸気式冷水発生機を熱源としているため、各期とも空調用ガス消費量から熱源のエネルギー消費量を算出した。空調搬送機器のエネルギー消費量は、Bビルのデータより、空調機、ポンプの中間期における稼働日一日あたりの稼働時間を10時間とした場合の稼働率を算出し、Cビルの空調機及びポンプの消費電力より、それぞれに同稼働率(標準稼働時間14時間/日)を掛けて算出した結果、205kJ/m²・日を得られた。これを中間期における空調搬送機器のエネルギー消費量とし、Bビルと同様の手法を用いて経年の一般電力エネルギー消費量を算出し、夏期、冬期の電力消費量データから一般電力エネルギー消費量を減算して、夏期、冬期空調搬送機器エネルギー消費量を算出した。

Dビルは、空調システムをビル用マルチパッケージエアコンとしている。調査より1997年度～2001年度における建物全体の電力消費量データと各部屋の電力消費量データを得られた。各年度、各月の一般電力消費量は、各部屋の消費電力データと共用部の一般電力を建物Aのものを用いて、各月の一般電力エネルギー消費量を算出し、また空調システムのエネルギー消費量は、建物全体の電力消費量データから、一般電力エネルギー消費量を減算したものをを用いた。

2001年度の各建物における各期稼働日の空調システムのエネルギー消費量推定値に、各期の稼働日合計(3月、10月は中間期と想定する)を積算することにより年間のエネルギー消費量を推定した。

注3) Eビルは、調査より1997年度～2001年度における各月の電力消費量及び空調用ガス消費量データを得られた。Eビルは、吸気式冷水発生機であるので、Cビルと同様の手法より、熱源機器のエネルギー消費量は空調用ガス消費量から算出し、中間期における電力消費量データから空調搬送機器エネルギー消費量を減算して、一般電力エネルギー消費量を算出した。また夏期、冬期の空調搬送機器のエネルギー消費量は、電力消費量データから一般電力エネルギー消費量を減算して算出した。2001年度のEビルにおける各期稼働日の空調システムのエネルギー消費量推定値に、各期の稼働日合計(3月、10月は中間期を含む)を積算することにより2001年度の年間エネルギー消費量を推定した。

参考文献

- 1) 原英嗣, 高偉俊, 尾島俊雄 事務所建築における空調設備の保全費予測と更新時期の評価手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第547号, pp209～214, 2001.9
- 2) 高草木明 空調機器の信頼度・保全度調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第436号, pp1～9, 1992.6
- 3) 村上公哉・尾島俊雄・竹林芳久・高部素行 建物の保全費用からみた物理的要因の機能劣化に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 4 1 8 号, pp115～124, 1990.12
- 4) 村上公哉・尾島俊雄 某ビルの建築部位の保全要因の発生過程とその特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 427号, pp119～128, 1991.9
- 5) 竹林芳久・尾島俊雄・村上公哉・佐藤文人 某ビルの更新時における劣化要因別・部位別の保全費用構成に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第431号, pp129～136, 1992.1
- 6) 竹林芳久・尾島俊雄・村上公哉・長谷川隆 建築工費の分析による事務所ビルの要求性能の変化に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第4 4 3 号, pp151～158, 1993.1
- 7) 建築設備の更新に関する研究 第2報 設備改修工事の実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 1988.10
- 8) 東京大学教養学部統計学教室編 統計学入門, 東京大学出版会, 1991
- 9) 建築経済委員会 修繕方式の標準、耐火建築物の維持保全に関する研究, 日本建築学会, 1955
- 10) 久保井敬二(建設省官庁管轄課部) 設備機器の耐用年数について、建築保全2号、建築保全センター、1979
- 11) 尾島俊雄研究室 建築の光熱水原単位, 早稲田大学出版部, 1995
- 12) 井上宇市 建築設備ポケットブック, 相模書房, 2001
- 13) 木村建一 環境工学, 彰国社, 1996
- 14) 建築設備設計マニュアル 空調編, (社)建築設備技術者協会, 1992
- 15) 建設大臣官庁官庁管轄課部監修 建築物のライフサイクルコスト, 財団法人経済調査会, 1998
- 16) 建築物のLCC評価用データ集, BELCA
- 17) 日本空調衛生設備士協会編著 建築設備更新マニュアル, 技術書院, 1987.11
- 18) 建設大臣官庁官庁管轄課部監修 建築物の維持保全と劣化診断, 経済調査会, 1995
- 19) 高草木明 空調設備の物理的劣化の回復のための保全費用に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第459号, pp27～36, 1994.5
- 20) 高草木明 空調設備の予防保全に関する解析的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第430号, pp45～53, 1991.12
- 21) ビル実態調査のまとめ東京版CD-ROM, 東京ビルディング協会
- 22) 先端産業技術予測集, 地域環境工学研究所, 1982.11
- 23) 空調調和衛生工学, 空調調和 衛生工学会, 1995