

建築設備機器の寿命推定（その1）

— 間欠運転ファンのVベルト —

Lifetime Estimation for Building Equipment (Part 1)

— Intermittent-Driven Fan Belt —

泉 山 浩 郎

要 約

建物の構成要素の物理的寿命を的確に知ることは、リニューアル・リサイクルを考える上で欠かせない。特に設備機器の場合は、寿命が建築部材のそれに比べ短いこともあり、さらに重要である。実際の建物の約4年間にわたる設備運用日報から間欠運転のファンのVベルトに関する記事を抽出し、その稼働時間を算出し、累積ハザード解析を用いて、ワイブル分布のパラメーターおよび平均寿命を推定した。推定されたワイブル分布の形状パラメーターは4.2、尺度パラメーターは13,800時間で、平均寿命は12,500時間であった。なおベルトメーカーから公表されている寿命は10,000～24,000時間である。また推定されたパラメーターを用いて、信頼性特性値である信頼度や故障率を計算し、それに基づいて保全時期を設定する方法を提案した。この方法を用いれば、機器毎に一律に決められた頻度で行うことの多かった従来の保全を、用途の重要度に応じてメリハリのついた保全をすることができ、保全・修繕コストの削減に繋がると同時に、予防保全の導入によって設備運用人員の計画配置ができ省力化に貢献する。

目 次

- I. はじめに
- II. データの収集
- III. 寿命推定
- IV. 保全時期の設定
- V. おわりに

I. はじめに

昨年12月に京都で地球温暖化防止会議が開催されたためか、ライフサイクルアセスメント(LCA)やライフサイクルCO₂(LCCO₂)など、ライフサイクル的なものの見方を要求されることが多くなった。また今までの大量生産・大量消費・大量廃棄というプロセスへの反省から「静脈産業」という環境に「やさしい」産業が注目されはじめた。

このような状況下、「建てっぱなし」「作りっぱなし」だった建築物の、特に、運用段階での省エネルギーや機器・部材のリサイクル・リユースなどへのニーズが高まっている。さらに長期間にわたる経済の低迷による新築投資の抑制とリニューアル対応、省エネルギー関連優遇税制や低利融資、保全・修繕費用の高さなどから、運用段階の問題は、得意先の関心の高まりもあって、クローズアップされてきている。

リニューアル・リサイクル・リユースを考える上で欠かせないのが建物の構成要素の物理的寿命である。とりわけ設備機器の場合は、

寿命が建築部材のそれに比べ短いため、確度高く推定することは保全・修繕費用に直接影響を与えるために重要である。

このような重要性にも関わらず、いままで建築設備機器の物理的寿命を求めた例は多くはない。故障モードの分類や該当する故障情報の抽出に手間がかかるためと、実際に機器の稼働時間を調査することが難しいことが大きな理由であるが、故障データを得るには長時間の観測あるいは多数のサンプルが必要という「時間と数」の壁があるからである。

本報告では、約4年間という長期に亘る実際の設備運用日報から、間欠運転のファンのVベルトに関する記事を抽出し、累積ハザード解析を用いて、ワイブル分布のパラメーターおよび平均寿命を推定した。また推定結果を利用し、保全・修繕コストの削減や省力化に繋がる保全時期の設定方法を提案する。

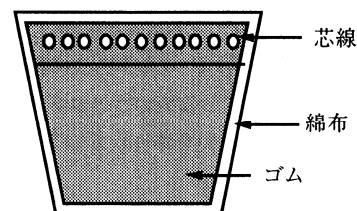
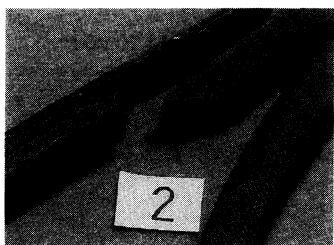
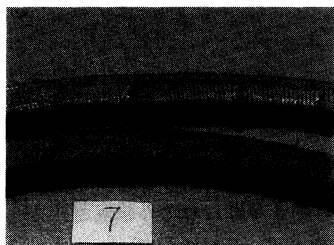
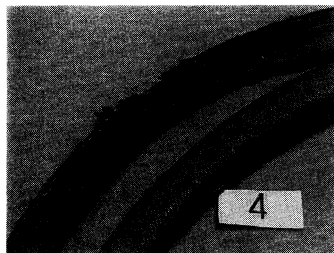


Fig. 1 Vベルトの構造
(Cross Section of V-belt)

キーワード：ファン，Vベルト，寿命，保全，累積ハザード，ワイブル分布



(c) 剥離

Photo 1 ファンのVベルトの典型的故障
(Typical Faults of V-belt for Fan)Table 1 Vベルトの交換履歴
(V-belt Replacement Record)

F番号	機器番号	交換・打切1	交換・打切2
A	B	C	D
101	11503	7329	2558
102	11603	9887	
....			
....			
106	11704	7927	6031
107	11505	6872	6454
108	11605	13326	
109	11705	10498	2828
....			
114	11607	14841	
....			
117	11608	14610	2641
118	11708	8210	9041
119	11509	13624	
120	11609	13624	
....			
....			
....			
....			
140	11516	10646	2612
141	11616	13258	
142	11716	13258	
143	11517	9503	2235
144	11617	11738	
145	11717	11738	
146	11518	12643	
147	11618	12643	
148	11718	12643	
149	11519	10386	2331
150	11619	12717	
....			
155	11521	12433	
156	11621	12433	
157	11721	12433	

斜字は交換データを示す

Table 2 累積ハザード計算

(Cumulative Hazard Calculation)

F番号	機器番号	故障・打切	順位	逆順位	H _z %	累積H _z %
E	F	G	H	I	J	K
143	11517	2235	1	74		
149	11519	2331	2	73		
125	11511	2478	3	72		
101	11503	2558	4	71		
....						
....						
106	11704	6031	15	60		
107	11501	6454	16	59		
107	11505	6872	17	58	1.7	1.7
127	11711	6900	18	57	1.8	3.5
113	11507	7303	19	56	1.8	5.3
....						
....						
116	11508	7348	23	52		
113	11507	7538	24	51		
115	11701	7538	25	50		
104	11504	7927	26	49	2.0	12.9
....						
....						
130	11712	9825	37	38		
102	11603	9887	38	37		
116	11508	9903	39	36	2.8	24.6
....						
....						
109	11705	10498	42	33	3.0	33.4
140	11516	10646	43	32	3.1	36.6
126	11611	11434	44	31		
....						
....						
....						
....						
121	11709	13624	71	4		
105	11604	13958	72	3		
117	11608	14610	73	2	50.0	86.6
114	11607	14841	74	1		

斜字は交換データを示す

II. データの収集

1. Vベルトについて

ファンのVベルトはモーターの動力を羽根車の軸へ伝える断面形状が台形の環状のものである。数年前までは自動車の発電機やエアコンに用いられていた。Fig.1に示すように芯線・綿布・ゴムから構成され、幅や高さの関係から、A・B・C型等に分類されている。

2. 対象建物および対象ファン

交換(故障)データは東京23区内に立地する延床面積約45,000㎡の事務所ビルの竣工から約4年間の設備運用日報から拾い出した。対象としたファンは天井裏に設置されている給湯室などの換気用間欠運転のもの57台で、Vベルトの本数は全てA型の1本使用である。連続運転ファンのVベルトの交換履歴も手に入れることができたが、Vベルト本数に複数のものが多いため、分類して解析することとし、今回の報告から除外している。

3. 交換データ

Vベルト交換発生日と間欠運転ファンの特定は日報から行い、交換までの稼働時間はテナント賃料請求のために毎日記録している空調機運転時間から算出した。交換発生日の作業時刻を断定することが難しいため、使用開始から交換前日までの運転時間を稼働時間と考えた。また摩耗・亀裂・剥離など交換理由毎の層別は、日報に記載されているものがわずかであったため実施できず、単一故障モードとして取り扱った。

Photo1にVベルトの典型的な故障パターンである摩耗・亀裂・

剥離の例を示す。

巡回点検時や毎年の定期点検時に発見したVベルトの不正常な動作に対して、「要交換」という判断は、発見者や引継者の業務に対する姿勢や経験に依存し、交換の妥当性が問題にされることが多いが、交換されているVベルトを目視調査したところ、継続使用可能と思われるものが少ないことから交換は適切に行われたと判断した。

Table1は本調査期間における間欠運転ファンのVベルトの交換履歴で、いつ、どのファンのVベルトを交換したかを、暦時間稼働時間に変換し記録したものである。F番号、機器番号、交換または打切時間が稼働時間で示されている。打切時間は交換されていないが調査終了時までの運転時間である。例えばF番号107のファンは6872時間後にVベルトが何らかの理由で交換され、その後、本調査を行った時点まで異常なく稼働していることを示すが、F番号114のファンは運転開始後14841時間、順調に稼働していることを示している。約2倍の稼働時間の差がある。

交換または打切時間が2組あるのは、Vベルトを交換した場合、交換時間と共に打切時間の二つのデータが1回の交換から発生するためである。それが3組以上ないのは本調査期間中にVベルトを2回交換したファンがないからである。

III. 寿命推定

1. 方法

Vベルトの寿命推定には累積ハザード法を用いた。故障率 $\lambda(t)$

の累積値である累積ハザード $H(t)$ と信頼度 $R(t)$ 等は稼働時間 t の関数で式（1）～（4）で表されるが、これら式中のワイブル分布のパラメーター m , η を求め、平均寿命 μ 等を推定する方法である。ワイブル分布の形状パラメーターである m は、典型的な故障パターンである初期・偶発・摩耗故障のどれに属するか示すもので、保全方法を考える上で重要なパラメーターである。

寿命が10年であることを推定するには少なくとも10年間の調査や実験が必要であると思っている関係者が多いが、それは誤解である。推定の確度を考えなければ、故障データが複数あれば3か月の調査であっても寿命が10年であると推定することができる。

ところで式（1）～（6）中の m , b は累積ハザード解析の回帰線の傾きと切片である。

2. 手 順

寿命等の推定手順を箇条書きの形で整理する。Table 2, Fig.2 を用いて説明する。

- Table1 の交換・打切時間データを稼働時間の昇順に並びかえる (Table 2 の G 列)
- 並びかえたデータに順位をつける (Table 2 の H 列)
- 逆順位を追加する (Table 2 の I 列)
- データ数が 50 を越えているため、逆順位の逆数からハザードを求める (Table 2 の J 列)
- 交換したデータのみについて計算したハザードを累積し、累積ハザードを求める (Table 2 の K 列)

$$\text{Cumulative Hazard Function: } H(t) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^m \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Reliability Function: } R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Failure Rate: } \lambda(t) = \frac{mt^{m-1}}{\eta^m} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Probability Density Function: } f(t) = R(t)\lambda(t) \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Scale Parameter: } \eta = \exp\left(-\frac{b}{m}\right) \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Expected Life: } \mu = \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \dots\dots\dots(6)$$

- 累積ハザード H_z (Table 2 の K 列) と稼働時間 t の対数を取り、プロットし、回帰線を引く (Fig.2)

回帰線の傾き 4.2 が形状パラメータ m で、尺度パラメーター η と平均寿命は式（5）～（6）から算出した。尺度パラメーターは 13,800 時間、平均寿命は 12,500 時間である。形状パラメータが 1 より大きく摩耗故障モードを示しているの、故障前に交換する予防保全が有用であることを示している。対象とした間欠運転のファンの月間平均稼働時間は約 220 時間なので、平均寿命を暦時間に換算すると約 57 か月、約 5 年の寿命となる。なおメーカー発表の V ベルトの寿命は 10,000～24,000 時間である。Fig.2 の時間軸 $\ln t$ の値が 8.8～9.0 の範囲で、プロットしたデータが下降し、回帰線とのズレが大きくなっているため寄与率が 0.83 となった。これは交換原因を層別できなかったためと考えられる。

IV. 保全時期の設定

1. 信頼度と故障率

Fig.3 は推定したパラメーターを式（2）～（3）に代入して求めた V ベルトの信頼度 [-] と故障率 [1/hr] である。折れ線の信頼度は母数に対する故障割合を示す。例えば稼働時間 12,000hr の時、信頼度は 0.6 であり、当初 100 本が対象であれば 60 本が交換なく正常に運転していることを示している。棒グラフの故障率は稼働時間当たりの故障割合を示し、例えば稼働時間 20,000hr の時は、故障率が約 0.001 である。その前後±500hr, 1000hr 稼働するならば V ベルト 1 本の交換が発生することを示している。

2. 保全時期の設定

Fig.3 の信頼度を用いて、適切な保全時期を設定する。仮に故障の発生が重大な影響を及ぼすファンであれば、信頼度を高く設定する。例えば 0.9 を下回らないように計画すると、グラフから保全時期は稼働 8,000hr と設定することができる。つまり稼働 8,000hr の時点で、V ベルトの異常の有無にかかわらず保全（この場合は交換）する。一方、故障しても影響が少ないファンの場合には信頼度

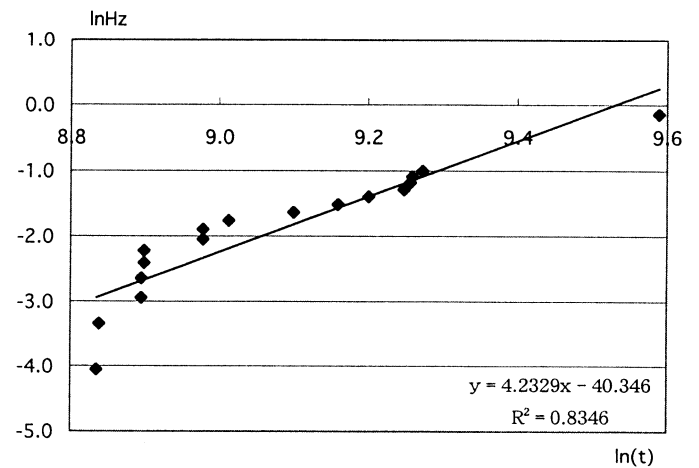


Fig. 2 累積ハザード解析結果
(Analysis Result)

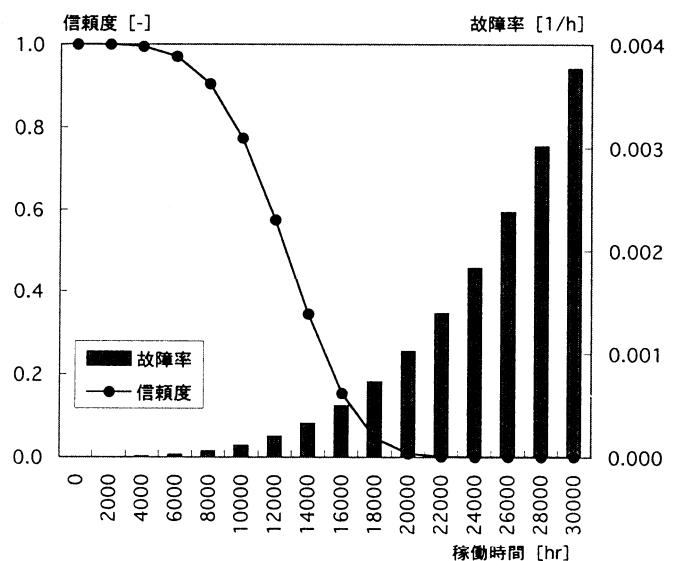


Fig. 3 間欠運転ファンのVベルトの信頼度と故障率
(Reliability and Failure Rate of Intermittent-driven Fan Belt)

0.5 と少し低めに計画し、稼働 13,000hr の保全となる。

今まで機器毎に一律に決められた頻度で行うことの多かった保全を、用途の重要度に応じてメリハリのついた保全をすることが可能になり保全・修繕コストの削減に繋がる。さらに予防保全の導入によって、不意の故障対応の呼び出し回数が減り、設備運用人員の計画配置ができ省力化に貢献すると考えられる。

ここでは信頼度から保全時期を設定する方法を述べたが、過去のデータなどから故障率の管理レベルが既知であれば、それを上回ることもないよう保全時期を決めても差し支えない。仮に管理レベル 0.0005 に計画すれば、稼働 16,000 時間と設定することになる。

V. おわりに

事務所ビルの間欠運転のファンの V ベルトの平均寿命等を推定した。平均寿命は 12,500 稼働時間と推定され、メーカー発表の V ベルトの寿命 10,000～24,000 時間の範囲内であった。

併せて、推定されたパラメーターを用いて計算した信頼度等に基づいて、保全時期を設定する方法を提案した。現状では機器毎に保全時期を設定することが多いが、機器の重要度に応じた保全時期の

設定によって保全・修繕コストの削減や省力化の可能性を示した。

本報告では V ベルトという単一故障モードのファンの部品を対象としたが、他の複雑な機器や部品へ展開し、設備機器の運用を全体的に捉える必要がある。他の機器については一部解析中である。

稼働時間の把握はアワーメーター等の記録計や BMS（ビルマネジメントシステム）等の中央監視装置に取り込まれていれば容易であるが、実際は計量されていることは稀である。暦時間から稼働時間を推定する方法の開発も同時に重要と考える。

なお、本研究のデータ収集については鹿島建物総合管理（株）高瀬典孔氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 信頼性セミナー専門コーステキスト（I），（財）日本科学技術連盟，pp.199～226.
- 2) V ベルト技術資料，三星ベルト.
- 3) 建築物の LC 評価用データ集，（社）建築・設備維持保全推進協会，pp.13～34.