

機関番号：82727

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16301

研究課題名(和文) ユーザ個別の最適保全理論の確立を目指したモデル構築とその活用

研究課題名(英文) Establishment of model aimed at implementing the optimum condition monitoring theory for individual users and its application

研究代表者

横山 真弘 (YOKOYAMA, Masahiro)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能力開発院、基盤整備センター)・能力開発院・助教

研究者番号：40735354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年のオンライン状態監視技術の発達に伴い、ユーザ側の詳細な情報である共変量の逐次的な観測が可能になりつつあり、ユーザ個別の最適な保全が求められている。本研究は、ユーザの使い方や環境といった共変量と劣化の関係をモデリングした累積暴露量を扱っている。そして、未知である累積暴露量の分布の型が、仮定された分布の型と異なる場合でも、共変量の影響を表すパラメータの推定が近似的に可能であることを解析的に示し、シミュレーションによりその有効性を確認した。この結果により、共変量を用いた製品個別の寿命予測への活用の幅が広がった。さらに、ユーザ個別の最適な保全を実装する際のリスクの分析手法も併せて提案した。

研究成果の概要(英文)：Along with the recent development of online condition monitoring technology, real-time observation of covariate which is detailed information on the user side is becoming possible. As a result, optimum preservation of each user is required. This research deals with the cumulative exposure modeling the relationship between deterioration and covariates such as user usage and environment. Then, it is analytically shown that estimation of parameters representing the effect of covariates is approximately possible, even if the type of distribution of unknown cumulative exposure is different from the type of assumed distribution. In addition, its effectiveness was confirmed by simulation. This result broadened the range of application for life estimation of individual products using covariates. In addition, a risk analysis method was also proposed for implementing optimal maintenance for each user.

研究分野：信頼性工学

キーワード：ユーザ個別の最適保全 共変量 寿命予測 リスクアセスメント

1. 研究開始当初の背景

従来はユーザ側の情報が活用されずに全製品一律に交換時点の判断が下されていたのに対し、近年ではユーザ個別の詳細な情報の活用について検討がなされている。例えばトラックの保全計画を考える際には、一般的に故障に至るまでの走行距離や暦時間などの寿命データを基にした保全計画が検討される。しかし、走行時の温度、湿度、坂道の勾配（環境情報）やブレーキを踏む回数、積載量（ユーザの使い方）といった要因により、同じ走行距離でもエンジンにかかる負荷は異なる。このようなユーザ側の使い方の情報や環境情報は、共変量と呼ばれる。近年のオンライン状態監視技術の発達に伴い、トラックに限らず、共変量の逐次的な観測が可能になりつつあり、それによるユーザ個別の最適な保全計画が求められている。しかし、共変量の活用に関する研究がなかなか進んでいない現状があった。これは、共変量の実データを用いての学術的な研究があまりなされていないことにより、複雑な共変量を取り入れたモデル構築に関する研究が十分に進んでいないためであった。また一方で、実データを有している多くの企業において、詳細なモデル構築が間に合わず、重回帰分析など非常に簡素なモデルで予測を行っているのが現状となっており、信頼度の高い保全計画のためには、より詳細なモデル構築とそのモデルを活用した最適保全の理論の確立が求められていた。

また、最適な保全を実施するためには、ユーザ側の異常の兆候を検知することも必要となる。ユーザ側で異常状態や異常に至る兆候が表れても、その情報をうまく活用することができずに、大きな被害や損害が発生した後の対応（事後保全）となってしまっている懸念があった。しかし、取得しているユーザ側の情報から、事前にユーザ側の異常の兆候を検知することが可能となれば、被害や損害発生に至る前での保全が可能となり、対応の遅れによる損失を防ぎ、顧客満足や安心・安全性の向上につながる。その際、データからすぐに異常性が判断できる場合であれば良いが、多くの場合では取得されたデータが異常状態に至る兆候を示しているかどうかを統計的に判断することが求められていた。

2. 研究の目的

本研究では、ユーザの使い方の情報や環境情報といった共変量と故障・劣化の関係を適切にモデリングした上で、寿命予測と異常の兆候の検知の二つの観点から、ユーザ個別の最適な保全計画のための理論を確立させることを目的とした。そして、製品寿命や劣化量の予測結果を基に、コストと安全の両面から最適な保全のタイミングが決定されるようにする。そうした兆候の検知に関してはすでに多くの研究がなされているが、共変量と劣化・故障との関係を適切にモデル化した上

で、取得されるユーザ側の共変量が多くの外乱を含んで取得されることを考慮した、外乱に影響されにくい予測方法の提案を目指した。さらに、ユーザ個別の最適な保全計画を実現するために、オンライン状態監視システムを実装する際のリスクの分析手法も併せて提案することを目的とし、研究計画を進めた。

3. 研究の方法

共変量を用いた寿命や劣化量のモデル化を進めた。オンライン状態監視により取得される共変量の活用に関する研究として、従来研究[1]や従来研究[2]において、故障時間と多種の共変量から、下式のように累積暴露量をモデル化し、その累積暴露量の分布を推定することにより、共変量を考慮した寿命分布の推定が提案されている。

$$u[t; \beta, \mathbf{z}(t)] = \int_0^t \exp[\beta^T \mathbf{z}(s)] ds.$$

ここで、 β は共変量の影響を表すパラメータ、 $\mathbf{z}(t)$ は共変量を表しており、 $u[t]$ は時点 t までの累積暴露量を表している。

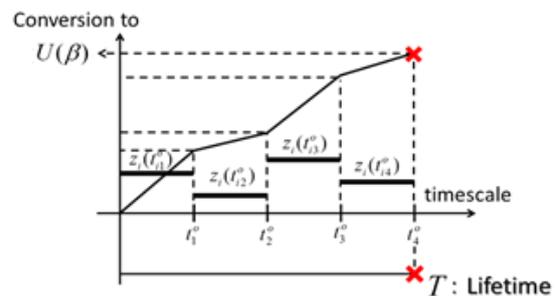


図1 故障時間 T から累積暴露量 U への変換

そして、図1に示すように、故障時間 T を累積暴露量 U に変換し、故障時点の累積暴露量 U が何かしらの寿命分布に従っていると仮定する。しかし、この累積暴露量 U 自体は、実際にはどのような分布の型に従っているかはわからない。そこで、累積暴露量に変換するモデルを基に、分布の型が異なる場合でも共変量の影響を表すパラメータの推定が近似的に可能であることを解析的に示し、シミュレーションによりその有効性を確認した。この結果により、寿命分布の型の仮定に依らずにオンラインで観測される共変量を取り入れたモデルの構築が可能となり、オンラインで観測される共変量を用いた製品個別の寿命予測への活用の幅が広がった。さらに、共変量の活用に関する研究を進める上で、どのようなモデルを考えて共変量の情報を取り入れるかという点で、様々な共変量のデータに当てはめて十分に検証し、扱う共変量に応じたモデルの改良を検討する必要がある。そのために、共変量の分布と推定されるパラメータの偏りについての研究を進めた。

また、オンライン状態監視システムを実装する際のリスクの分析手法に関しては、システムが実装・活用される状況下での様々な状況を考慮する必要があった。そこで、QFD (Quality Function Deployment : 品質機能展開) を活用することで、ユーザ個別の最適な保全計画を実現するために、オンライン状態監視システムに要求される品質と機能を洗い出すことで、具体的なリスクを特定する手法の提案に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) まずは、ユーザ使い方の情報に当たる共変量を取り込んでの、ユーザ個別の最適保全理論の確立を目指した。そのためには、従来研究で提案されている累積曝露量モデルを用いての、故障時点の累積曝露量 U への変換が必要になる。まず、累積曝露量 U の分布の型が、実際にはワイブル分布に従っている場合に、対数正規分布を誤って仮定した際のパラメータ推定に関する研究に取り組み、分布の型が異なる場合でも共変量の影響を表すパラメータの推定が近似的に可能であることを解析的に示し、シミュレーションによりその有効性を確認した。さらに、そこから扱う分布の型を拡張し、累積曝露量 U の分布の型が、電子部品の寿命分布としてしばしば用いられるガンマ分布に従っている際に、誤って対数正規分布を仮定してパラメータ推定を行った際の推定値の偏りについて研究を行った。数値実験の結果を図2に示す。図2は、ガンマ分布の形状パラメータの値を変化させた際の、共変量の効果のパラメータ (真値が 1.0) の推定値の偏りを調べたものである。この結果から、累積曝露量モデルにおける共変量の効果を表すパラメータの推定に対して、ガンマ分布の形状パラメータの値が大きいほど偏りが小さくなり、4 以上であれば、共変量の効果を表すパラメータの推定値の偏りは 0.5%以下となることが分かった。

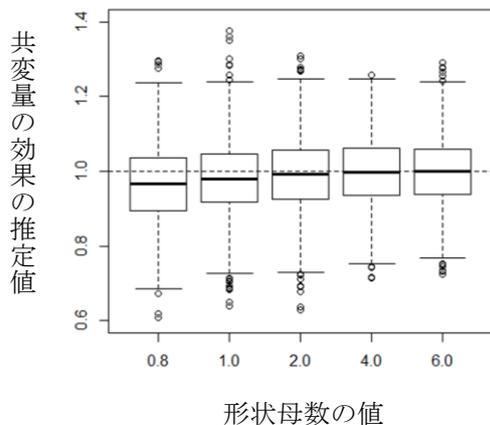


図2 累積曝露量 U がガンマ分布に従っている際に、誤って対数正規分布を仮定した場合の推定値の偏り (一回の推定におけるサンプルサイズ=10000, 推定の繰り返し数=2000)

次に、累積曝露量の分布の型が、信頼性解析でよく用いられているバーンバウム・サンダース分布に従っている際に、誤って対数正規分布を仮定してパラメータの推定を行った際の推定値の偏りについても研究を行った。数値実験の結果を図3に示す。図3は、バーンバウム・サンダース分布の形状パラメータの値を変化させた際の、共変量の効果のパラメータ (真値が 1.0) の推定値の偏りを調べたものである。数値実験の結果から、累積曝露量モデルにおける共変量の効果を表すパラメータの推定に対して、バーンバウム・サンダース分布の形状パラメータの値が小さいほど偏りは小さくなり、2 以下であれば、共変量の効果を表すパラメータの推定値の偏りは 0.5%以下となることが分かった。

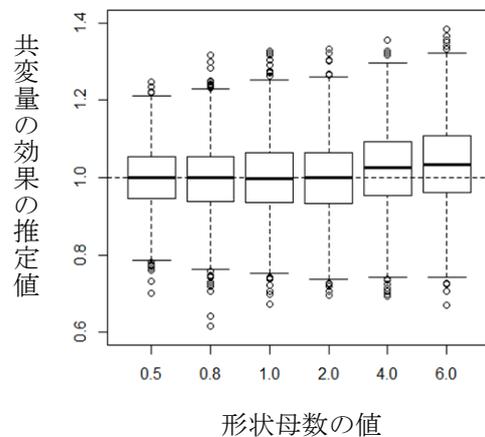


図3 累積曝露量 U がバーンバウム・サンダース分布に従っている際に、誤って対数正規分布を仮定した場合の推定値の偏り (一回の推定におけるサンプルサイズ=10000, 推定の繰り返し数=2000)

さらに、共変量の分布の仕方に特徴がある場合に、累積曝露量の分布のパラメータ、および共変量の効果の推定値の偏りに関する研究を行った。寿命時間が極端に短い場合には、共変量が増加する前に故障が発生する割合が考えられる。このように、共変量の値が全く変化せずに一定となるものが混在しており、それが寿命時間の長さとの関係性を有している場合には、推定値に偏りをもたらすことが考えられる。その場合の、数値実験の結果を表1に示す。表1は、値が全く変化せずに一定となるものが混在する割合を変化させた際の、累積曝露量の分布の各パラメータの推定値の偏りを調べたものである。表1に示されるように、それが寿命時間の長さとの関係性を有している場合には、累積曝露量の分布の平均が真の値よりも低くなる偏りが現れ、共変量の効果の推定値も真値よりも低くなるような偏りが現れることが確認できた。

最終的には、作成した QFD を参照し、「(A) 機能を達成することができない」という視点、「(B) ステークホルダーからの要求間での対立 (conflicts)」という視点、の両方から具体的なリスクの特定を実施する。実際には、システムを導入する企業ごとにどのステークホルダーを優先するかは異なる。そのため、各企業の判断に基づいて、特定されたリスクの評価 (重み付け) を実施する。以上の手法により、システムを導入することによる潜在的なリスクを洗い出すことができる。

今後は、提案した手法により洗い出されたリスクを踏まえて、ユーザ側で特定されたリスクの具体的な検出方法についても取り組んでいく。リスクの検出にあたっては、観測された値が異常の兆候を示しているかどうかをデータから統計的に判断する際に、ユーザ側の共変量の情報は多くの外乱を含んで取得されるデータとなっているため、外乱に影響されにくいロバストな基準を持った検出方法が必要となる。異常の兆候を検知するアプローチにより、寿命に至る前に発生した何かしらの環境の変化やユーザの誤った使い方などに起因する異常状態を検知し、損害の発生や危険な状態となる前での予防保全 (未然防止) が可能となり、ユーザ側の共変量を取り入れた最適保全の理論が確立される。

従来研究[1]

Y. Hong and W. Q. Meeker, "Field-failure predictions based on failure-time data with dynamic covariate information," *Technometrics*, vol. 55, no. 2, 2013, pp. 135-149.

従来研究[2]

W. Q. Meeker and Y. Hong, "Reliability meets big data: Opportunities and challenges," *Quality Engineering*, vol. 26, no. 1, 2014, pp. 102-116.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

① M. Yokoyama, A Study on Estimation of Lifetime Distribution with Covariates Under Misspecification for Baseline Distribution, *Engineering Letters*, 査読有, Vol. 24, 2016, pp. 195-201, http://www.engineeringletters.com/issue_s_v24/issue_2/EL_24_2_11.pdf

[学会発表] (計 2 件)

① M. Yokoyama, S. Yokoyama, Risk Assessment in the Online Condition Monitoring System, Proceedings of the 11th International Conference on Project Management (ProMAC2017), 2017, pp. 993-999.

② M. Yokoyama, A Study on Estimation of Lifetime Distribution with Covariates Under Misspecification, Proceedings of World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS2015), 2015, pp. 907-912.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 真弘 (YOKOYAMA, Masahiro)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援
機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、
基盤整備センター) ・能力開発院・助教

研究者番号：40735354