

博士論文

老朽化機械設備の安全対策不適合と労働災害
の関連に関する研究

Research on the relationship between aging machinery with insufficient safety measures
and occupational accidents

横浜国立大学大学院

環境情報学府

渡邊 純哉

Junya WATANABE

2023年12月

目次

摘要.....	1
Summary.....	3
第1章 序論.....	7
1. 1. 緒言.....	7
1. 2. 本研究の背景.....	9
1. 2. 1. 我が国の製造業における労働災害の状況.....	9
1. 2. 2. 我が国の高度経済成長期.....	13
1. 2. 3. 製造業における設備投資の推移状況.....	13
1. 2. 4. 厚生労働省「報告書」に記載された経年化機械設備と労働災害の関係.....	14
1. 2. 5. 経年化機械設備に係る管理面や作業面での変化と現状.....	17
1. 3. 既往の研究.....	20
1. 3. 1. 機械等による労働災害.....	20
1. 3. 1. 1. 機械類の保護方策に関する法令・ガイドライン.....	20
1. 3. 1. 2. 機械設備等に起因する労働災害の対策.....	21
1. 3. 1. 3. 管理面からみた労働災害の対策.....	22
1. 3. 1. 4. 作業面からみた労働災害の対策.....	23
1. 3. 1. 5. 国際水準の機械安全と日本の機械安全に関する研究.....	24
1. 3. 2. 機械設備等の老朽化.....	25
1. 3. 2. 1. 設備の老朽化.....	25
1. 3. 2. 2. 老朽化設備や資産の残存数や設備寿命の研究.....	26
1. 3. 3. 経年化機械設備残存台数推計と労働災害件数の相関性に関する定量的解析.....	27
1. 3. 4. 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析.....	27
1. 4. 本研究の目的.....	27
1. 5. 本研究の検討課題.....	28
1. 6. 本研究の構成.....	29
1. 6. 1. 本研究の構成と内容.....	29
1. 6. 2. 本研究に関する投稿論文と発表状況.....	30
1. 7. 本研究で解析に用いたデータ.....	31
1. 8. 本研究で用いた解析方法.....	32
1. 8. 1. 経年化機械設備残存台数推計と労働災害件数の相関性に関する定量的解析.....	32
1. 8. 2. 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析.....	33
第2章 既存不適合機械設備残存台数と労働災害件数の相関性に関する定量的解析.....	34
2. 1. 第2章のはじめに.....	34
2. 2. 製造業における既存不適合機械による労働災害.....	34
2. 2. 1. はじめに.....	34
2. 2. 2. 解析方法.....	35

2.2.2.1. 解析に用いたデータ	35
2.2.2.2. 解析対象の製造業の従業員数と会社数の推移	38
2.2.2.3. 解析対象の動力機械と死亡災害	39
2.2.2.4. 解析方法	41
2.2.3. 解析結果	45
2.2.3.1. はさまれ、巻き込まれ労働災害の年間発生比率	45
2.2.3.2. 代表的な機械設備の生産台数の推移	45
2.2.3.3. ワイブル信頼度関数を用いた機械残存台数の推計	47
2.2.3.4. 不適合機械の残存台数割合と死亡災害比率の相関	49
2.2.4. 結果と考察	52
2.3. 第2章のまとめ	53
第3章 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析	54
3.1. 第3章のはじめに	54
3.2. 経年化機械設備の設備面からみた安全対策不適合の解析	57
3.2.1. はじめに	57
3.2.2. 解析方法	58
3.2.2.1. 解析に用いたデータ	58
3.2.2.2. 解析の方法	58
3.2.2.3. 解析結果の取りまとめ方法	58
3.2.3. 解析結果	59
3.2.3.1. 機械設備経年数と点検回数、修理回数の増加	59
3.2.3.2. 機械設備経年数と設備保全方式の解析	63
3.2.3.3. 機械設備経年数と設備点検箇所、点検項目の解析	65
3.2.3.4. 機械設備経年数と安全対策の実施状況の解析	66
3.2.3.5. 機械設備経年数と定常作業時安全対策の解析	67
3.2.3.6. 機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況の解析	69
3.2.3.7. 機械設備経年数と設備の安全対策ができない理由の解析	70
3.2.3.8. コンベア、ロール機の経年数と労働災害発生原因、保護方策不備の状況	71
3.2.3.9. 保護方策不備による労働災害後の再発防止対策	73
3.2.4. 結果と考察	74
3.3. リスクセシメント実施や安全対策実施の動機付けに関する管理面からの解析	78
3.3.1. はじめに	78
3.3.2. 解析方法	79
3.3.2.1. 解析に用いたデータ	79
3.3.2.2. 解析の方法	79
3.3.2.3. 解析結果の取りまとめ方法	79
3.3.3. 解析結果	80
3.3.3.1. 労働災害の状況	80

3.3.3.2. 労働災害の状況と指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況の解析	81
3.3.3.3. 労働災害の状況とリスクアセスメントの実施見直しのタイミングの解析	82
3.3.3.4. 労働災害の状況と労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況の解析	83
3.3.3.5. 労働災害の状況と設備の安全対策の最新レベル化の解析	84
3.3.3.6 労働災害の状況と最新の安全指針のレベルに合わせるのが困難な理由の解析	85
3.3.4. 結果と考察	86
3. 4. 経験年数の短い中高年齢作業者に求められる教育訓練に関する作業員面からの解析	89
3.4.1. はじめに	89
3.4.2. 解析方法	89
3.4.2.1. 解析に用いたデータ	89
3.4.2.2. 解析の方法	89
3.4.2.3. 解析結果の取りまとめ方法	90
3.4.3. 解析結果	90
3.4.3.1. 「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況	90
3.4.3.2. 経験年数の短い作業員の労働災害件数	91
3.4.3.3. 経験年数の短い死傷者の年齢分布	92
3.4.3.4. 経験年数の短い死傷者の労働災害要因	93
3.4.3.5. 経験年数5年未満と5年以上の死傷者の年齢分布と労働災害要因の解析	94
3.4.3.6. m-SHEL モデルを用いた考察	96
3.4.4. 結果と考察	97
3. 5. 第3章のまとめ	99
3.5.1. 経年化機械設備の設備面からみた安全対策不適合の解析	99
3.5.2. リスクアセスメント実施や安全対策実施の動機付けに関する管理面からの解析	100
3.5.3. 経験年数の短い中高年齢作業者に求められる教育訓練に関する作業員面からの解析	100
第4章 総括	101
4. 1. 本研究の総括	101
4. 2. 結論	102
4. 3. 今後の展開	103
参考文献	105
用語の定義と説明	112
謝辞	114

摘要

製造業における労働災害の件数はここ数年下げ止まっている。特に、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」死傷災害及び死亡災害の件数が多く、また下げ止まっている。同時に、我が国では多くの産業で機械設備やインフラ等の老朽化に関する問題がある。製造業においても高度経済成長時代に生産拡大のための設備投資によって多くの生産設備が導入された。その後の成長が横ばいの時期において、追加投資が低調であったことにより経年化機械設備が多く残存していると推定される。厚生労働省「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」調査報告書（以下、「報告書」と記載する。）によると、経年化機械設備が多く使用されており、その労働災害リスクとして、「設備の老朽化」と「保護方策不備」の二つを挙げている。

残存している「保護方策不備」の経年化・老朽化機械設備が下げ止まっている「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の一因であるとする両者に何らかの関連性があると考えられる。

本研究では、過去に製造されて現在の国際的な技術水準からみて安全上で不具合があるが現在まで長期間にわたり使用されている「保護方策不備」の経年化機械設備を「既存不適合機械」と定義した。更に、「既存不適合機械」について、代表的な機械設備の残存台数を推計する手法を検討して、推計した残存台数と下げ止まりとなっている「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数との相関性について定量的に明らかにする目的で解析を実施した。「既存不適合機械」の残存台数の推計にあたり、代表的な動力機械として「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の主な起因物である一般動力機械及び動力運搬機を選定してワイブル信頼度関数を適用する方法を検討した。残存台数の推計結果を基に機械等による労働災害件数が下げ止まっている現状と相関していることを定量的に示した。「既存不適合機械」から現在の技術水準の保護方策を備えた「適合機械」へ徐々に置き換わる変化点の存在を仮定して1994年頃と推定した。推計結果から代表的な動力運搬機であるコンベアの場合では、既存不適合機械の全台数に対する残存割合は2020年で36%、2025年で約30%、2030年において約25%で推移すると予測される。残存割合と災害件数が今後も相関すると仮定すると、この減少スピードでは、重篤な「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の顕著な減少は期待できないと推定される。

一方、機械設備に起因する労働災害については、個々の機械設備や個々の労働災害に関して解析した研究例が多く、安全対策も個々の事例について研究されている。経年化機械設備の安全対策を検討する上で、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害にみられる特徴を把握することが重要である。しかしながら、これらの特徴について解析をしている例は見当たらない。

本研究のもう一つの目的は、厚生労働省「報告書」に記載された経年化機械設備にみられる幾つかの特徴や起因する労働災害の幾つかの特徴について妥当性を検討することである。「報告書」に記載されたクロス集計データを基に多変量解析を適用して、設備面から「設備の老朽化」と「保護方策不備」について経年化機械設備の特徴として妥当性を検討した。管理面から、経年化機械設備についてはリスクアセスメントなどの管理的手法が十分に実施されていない可能性があることから、妥当性を検討した。また、作業員面からの問題点として、経年化機械設備に起因する経験年数の短い中高年齢層作業員の労働災害が多数発生しているが、中高年齢層作業員の労働災害要因に若年齢層作業員との違いがあり、経験年数の短い若年齢層作業員に実施されている教育や訓練と経験年数が短い中高年齢層作業員に求められる教育や訓練に相違点がある可能性についてその妥当性を検討した。その結果、多変量解析を適用することにより、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害にみられる特徴について把握できることを示した。

経年化機械設備の設備面で、点検回数や修理回数の増加だけでなく「設備の老朽化」によるとみられる設備対策が行われていること及び安全対策が不十分な経年化機械設備が多く運転されているとみられる「保護方策不備」の二つの問題点について妥当性のある解析結果が得られた。リスクアセスメントなどによる安全対策が不十分であるが幸いに労働災害を経験していない事業場が多く存在していることと重篤な労働災害を経験したことが実質的なリスクアセスメント実施や徹底した安全対策実施のきっかけとなったとみられることなど管理面から妥当性のある解析結果が得られた。また、作業員面から経年化機械設備に起因する経験年数の短い若年齢層作業員に実施されている教育や訓練と経験年数が短い中高年齢層作業員に求められる教育や訓練に相違点があるとみられる妥当性のある解析結果が得られた。

以下に本論文の成果を章ごとに記載する。

第1章では、本研究の目的を明確化する上で、本研究の背景について述べた。製造業においては、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の発生件数が下げ止まっている。機械等による労働災害が下げ止まっている理由として経年化機械設備が残存して使用されていることが考えられる。経年化機械設備が残存している背景として、我が国の高度経済成長時代での活発な設備投資とその後の成長が横ばいの時期において設備投資が低調であったことが影響していると推定される。本研究の基となった厚生労働省「報告書」で示された経年化機械設備が多く残存していること及び労働災害が発生していること背景について述べた。また、経年化機械設備の設備面からみた現状だけでなく管理面、作業員面からみた現状について述べた。

第2章では、厚生労働省「報告書」で示された経年化機械設備の労働災害リスクである「設備の老朽化」と「保護方策不備」に焦点を当て、「保護方策不備」の経年化機械設備を「既存不適合機械」と定義して、代表的な経年化機械設備の残存台数の推計方法を検討した。また、「既存不適合機械」の残存台数が機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数が下げ止まっている現状と定量的に相関していることを示した。解析にあたっては「既存不適合機械」から「適合機械」へ徐々に移行する変化点の存在を仮定し、その解析方法と解析結果について述べた。

第3章では、既往の研究例において、個々の機械設備や個々の労働災害に関する研究例が多いことから経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について解析する方法について検討した。厚生労働省「報告書」では、アンケートの集計データを基に設備面、管理面、作業員面からの問題点を挙げている。本研究では「報告書」に記載されたクロス集計データなどを基にして多変量解析を行い、経年化機械の設備面、管理面、作業員面から「報告書」に示された特徴と問題点についてその妥当性を検討し、その検討結果について述べた。

第4章では、第1章から第3章までの検討結果を踏まえて総括した。

Summary

The number of occupational accidents in the manufacturing industry has been shown to have bottomed out in recent years. In particular, the number of "drawn into a machine" injury accidents and fatal accidents is still high and has stopped declining. Along with these, many industries in Japan are facing problems related to aging machinery and infrastructure. In the manufacturing industry, many production facilities were introduced as a result of capital investment for production expansion during the period of high economic growth. In the subsequent period of flat growth, it is presumed that the aging machines remained in position due to low additional investment. According to the report entitled Investigation and Analysis Project for Safety Measures in Aging Production Equipment conducted by the Ministry of Health, Labour and Welfare (hereinafter referred to as the "report"), many aging machines are still used. It also shows two occupational accident risks: aging machines and insufficient protective measures are present.

If it is assumed that the remaining aged machines with "insufficient protective measures" are one of the causes of "drawn into a machine" occupational accidents that have stopped declining, it is thought that there is some relationship between the two.

In this study, machines that have been manufactured in the past and have safety defects in view of the current technical level, but have been used for a long time were defined as "existing non-conforming machines".

A method for estimating the number of remaining units was examined and it was found the relationship between the estimated remaining number of machines and the number of occupational accidents that has stopped declining. To estimate the remaining number of "existing non-conforming machines", a method applying the Weibull reliability function to the selected representative general power machines and power carriers that were the main cause of "drawn into a machine" occupational accidents was examined. In addition, assuming the existence of a changing point from "existing non-conforming machines" to "conforming machines" based on the estimated remaining number of machines, it was quantitatively confirmed that there was a correlation with the current situation where the number of occupational accidents caused by such machines has stopped declining. As a result, the changing point was estimated around 1994. According to the estimation results, in the case of conveyors which are typical power carriers, the remaining ratio of existing nonconforming machines to the total number of existing machines was expected to be 36% in 2020, c.a.30% in 2025, and c.a.25% in 2030. If the remaining ratio and the number of accidents continue to correlate, it is presumed that at this poor rate of reduction, a significant reduction in serious "drawn into a machine" fatal accidents cannot be expected.

In addition, regarding occupational accidents caused by machines, there are many examples of research that analyze individual machines and individual occupational accidents. Safety measures are also studied for individual cases. When considering safety measures for aging machines, it is important to understand the characteristics of aging machines and the characteristics of the occupational accidents caused by them. However, there are no examples of analysis of these characteristics.

Another purpose of this study is to examine the validity of the characteristics of aging machines and the characteristics of occupational accidents caused by them, as described in the "Report". A multivariate analysis was applied to consider the validity of these characteristics based on the cross-tabulation data described in the "Report". In addition, as a characteristic of the management of aging machines and

occupational accidents caused by aging machines, there is a possibility that management methods such as risk assessment are not sufficiently implemented. The multivariate analysis was conducted to verify this possibility. As a problem from a worker's perspective, many occupational accidents caused by aging machines occur among middle-aged and elderly workers with short years of experience. It was considered the validity of the possibility that there was a difference between the education and training provided to young workers with short years of experience and those required of middle-aged and elderly workers with short years of experience.

As a result of multivariate analysis, it was shown that it was possible to grasp the characteristics of aging machines and the characteristics of occupational accidents caused by aging machines.

In terms of mechanical equipment, it was found that not only the number of inspections and repairs of aging machines increased, but also that countermeasures for aging machines were implemented, and that machines were operated with insufficient safety measures. Valid analysis results were obtained for the two problems of "aging machines" and "insufficient protective measures". From a management perspective, valid analysis results were obtained such as the fact that the experience of a serious occupational accident appeared to be the trigger for conducting a substantial risk assessment and implementing thorough safety measures. There are many workplaces where safety measures such as risk assessment are insufficient, but fortunately, they have not experienced any occupational accidents. In addition, from the perspective of workers who operate aging machines, valid analytical results were obtained that there was a difference between the education and training provided to young workers with short years of experience and those required for middle-aged or elderly workers with short years of experience.

The results of this paper are described below for each chapter.

Chapter 1 describes the background of this study to clarify the purpose of this study. In the manufacturing industry, the number of occupational accidents involving "drawn into a machine" has stopped declining. One of the reasons that the number of occupational accidents caused by machines has stopped declining is that aging machines are still in use. It was presumed that the reason for the existence of aging machines was due to the active capital investment during the period of high economic growth in Japan and the slowdown in capital investment during the subsequent period when the growth leveled off. This chapter describes the background of the considerable number of aging machines remaining and the occurrence of occupational accidents, which was indicated in the Ministry of Health, Labour and Welfare "Report" that was the basis of this study. In addition, it discussed not only the current situation of aging machines from the perspective of equipment but also the current situation from the perspective of management and workers.

Chapter 2, it was examined the method for estimating the remaining number of typical aging machines, by focusing on the occupational accident risks of aging machines indicated in the "Report", namely, "aging equipment" and "insufficient protective measures". Defining aging machines as "existing non-conforming machines", it was shown that the number of remaining "existing non-conforming machines" was quantitatively correlated with the current situation where the number of "drawn into a machine" occupational accidents had stopped declining. In this analysis, it was assumed that there was a changing point where the

"existing nonconforming machines" were gradually replaced by the "conforming machines". The analysis method and analysis results are described.

In Chapter 3, methods for analyzing the characteristics of aging machines and the characteristics of occupational accidents caused by them were examined. Many of the existing research examples are related to individual machines and individual occupational accidents. The "Report" shows the problems of equipment, management, and workers based on the data from questionnaires. In this study, a multivariate analysis was conducted based on the cross-tabulation data shown in the "report" and the validity of the characteristics and problems described in the "report" was examined from the equipment, management, and operator aspects of aging machines. This chapter describes the analysis results.

Chapter 4 provides a summary based on the study results from Chapters 1 to 3.

第1章 序論

1. 1. 緒言

厚生労働省が毎年公表している労働災害統計では、製造業における労働災害の件数は、ここ数年下げ止まっている。特に、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」死傷災害及び死亡災害の件数が多く、この10数年間は下げ止まり傾向にある。これらの「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の起因物は、主として一般動力機械、動力運搬機である¹⁻³⁾。

同時に、我が国では多くの産業で機械設備やインフラ等の老朽化に関する問題がある。厚生労働省が2017（平成29）年度から2020（令和2）年度の4年間に実施した「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」⁴⁻⁷⁾の調査報告書（以下、「報告書」と記載する）では、代表的な一般動力機械であるロール機及び代表的な動力運搬機であるコンベアなどの経年化機械設備に焦点をあてて解析を行っている。その結果、高度経済成長時代の生産拡大時に導入された設置から30年以上経過した機械設備が残存しており使用されていることを報告している。「はさまれ、巻き込まれ」労働災害が起きた事業場の方が起きなかった事業場と比較して、経年化機械設備の残存割合が高かったことを示している。また、経年化機械設備では、点検回数や修理回数が増加していることから「設備の老朽化」を挙げている。経年化機械設備に起因する労働災害の解析から多くの経年化機械設備が「保護方策不備」であったことを報告している。

厚生労働省「労働災害統計」の「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の推移及び厚生労働省「報告書」の解析結果を見ると、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の件数が下げ止まっている一因として、残存している経年化機械設備が労働災害の起因物となっている可能性がある。もしこの可能性が高いとすると、経年化機械設備が数多く残存して使用されていることと労働災害件数が下げ止まっている状況に何らかの関連性があると考えられる。

経年化機械設備は、製造された当時の安全基準のレベルが現在の国際的な水準に比較して低いものであり「保護方策不備」により労働災害リスクが高いと考えられる。また、「設備の老朽化」により点検回数や修理回数が増加することにより、作業者が機械設備の近傍で作業する危険点近接作業の頻度や時間が増加することによりさらに労働災害リスクが高くなっている可能性がある。これらの点から「はさまれ、巻き込まれ」労働災害を防止する上で、経年化機械設備の設備更新や追加での安全対策を実施する必要性が考えられる。経年化機械設備のような長期間にわたり使用されている資産の残存数を推計している幾つかの研究例はあるが、経年化機械設備の残存台数を解析した例はない。また、残存台数と労働災害が下げ止まっている状況との関連性について研究している例もない。

一方、機械設備に起因する労働災害については、個々の機械設備や個々の労働災害に関して解析した研究例が多く、安全対策も個々の事例について研究されている。経年化機械設備の安全対策を検討する上で、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について把握することが重要である。しかしながら、これらの特徴を把握するために解析をしている例は見当たらない。

厚生労働省「報告書」では、長い期間使用されてきた経年化機械設備の設備面、管理面、作業面からの問題点を指摘している。設備面から労働災害リスクとして挙げられた「設備の老朽化」及び「保護方策不備」については、一部のデータの傾向を基にまとめられている結果であり

十分に検討を実施した解析結果ではない。この点から経年化機械設備にみられる安全対策不適合の特徴や問題点として妥当性を検討する必要がある。

併せて、経年化機械設備及びこれらに起因する労働災害の管理面からの問題点として、リスクアセスメントなどの管理的手法が不十分で最新の安全対策が実施されていない可能性があることから、経年化機械設備に関する管理面での特徴や問題点として妥当性を検討する必要がある。

また、経年化機械設備に起因する労働災害の作業員面での問題点として経験年数の短い中高年齢層作業員の労働災害が多数発生しているが、中高年齢層作業員の労働災害要因に若年齢層作業員との違いがあり、経験年数の短い若年齢層作業員に実施されている教育や訓練と経験年数が短い中高年齢層作業員に求められる教育や訓練に相違点がある可能性がある。この可能性について経年化機械設備に関する作業員面での特徴や問題点として妥当性を検討する必要がある。

以上を踏まえて、本研究では、「保護方策不備」の経年化機械設備のように過去に製造されて現在の国際的な技術水準からみて安全上で不具合があるが、現在まで長期間にわたり使用されている機械設備を「既存不適合機械」と定義した。

「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数が下げ止まっている一因として、経年化した機械設備が数多く残存して使用されている可能性があることから、両者の関連性について検討する目的で解析を行った。また、残存している経年化機械設備の設備面、管理面、作業員面について「報告書」で示されたそれぞれの特徴や問題点の妥当性について検討する目的で以下の解析を行った。

- 1) 既存不適合機械設備の残存台数を推計する手法を検討して、残存台数と死亡災害の件数が下げ止まっている状況と関連性があることを定量的に解析した。
- 2) 厚生労働省「報告書」に記載された経年化機械設備に関するクロス集計データを基に多変量解析を行って経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について解析した。
 - 2-1) 設備面から「設備の老朽化」や「保護方策不備」などの安全対策不適合について多変量解析を行ってこれらの問題点について妥当性を検討した。
 - 2-2) 管理面からリスクアセスメント実施などの管理的手法が十分に実施されていない可能性について、多変量解析を行ってこの問題点について妥当性を検討した。
 - 2-3) 作業員面で、経験年数の短い中高年齢層作業員に求められる教育や訓練が適切に行われていない可能性について、多変量解析を行ってこの問題点について妥当性を検討した。

これらの検討結果について記載した。

1. 2. 本研究の背景

1. 2. 1. 我が国の製造業における労働災害の状況

厚生労働省が毎年公表している労働災害統計¹⁾をもとに、製造業における労働災害の件数について、死傷災害件数（図 1）と死亡災害件数（図 2）の年次推移をそれぞれ示した。

死傷災害では、製造業全体の件数に対して、「はさまれ、巻き込まれ」死傷災害件数がこの期間 31.2%となっており、2010 年頃からは、下げ止まり傾向にある。死亡災害については、製造業全体の件数に対して、「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害件数がこの期間 30.5%となっており、2010 年頃からは、下げ止まり傾向にある。また、製造業全体の死亡災害件数が減少しているのに対して、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害死亡件数は下げ止まっている。

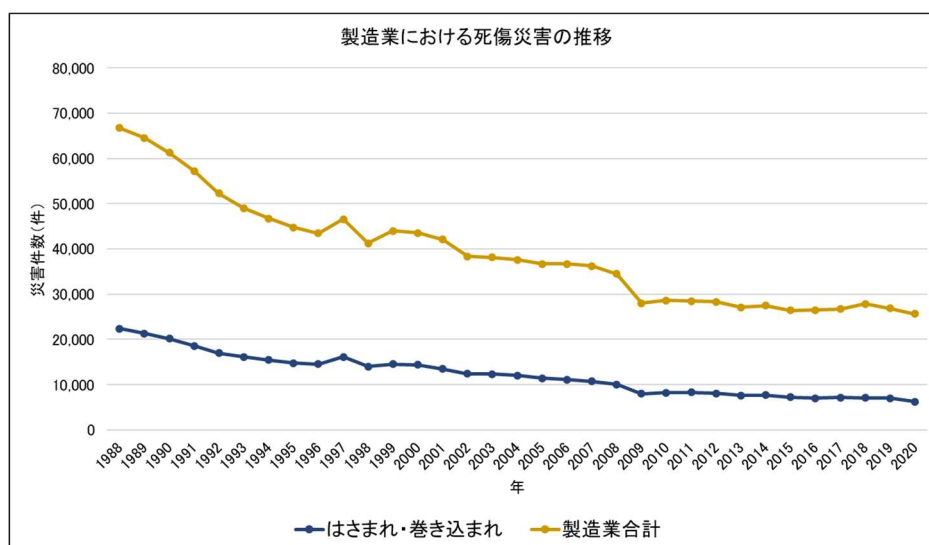


図 1 製造業における死傷災害の推移

出典：厚生労働省、労働災害統計（1988 年～2020 年）

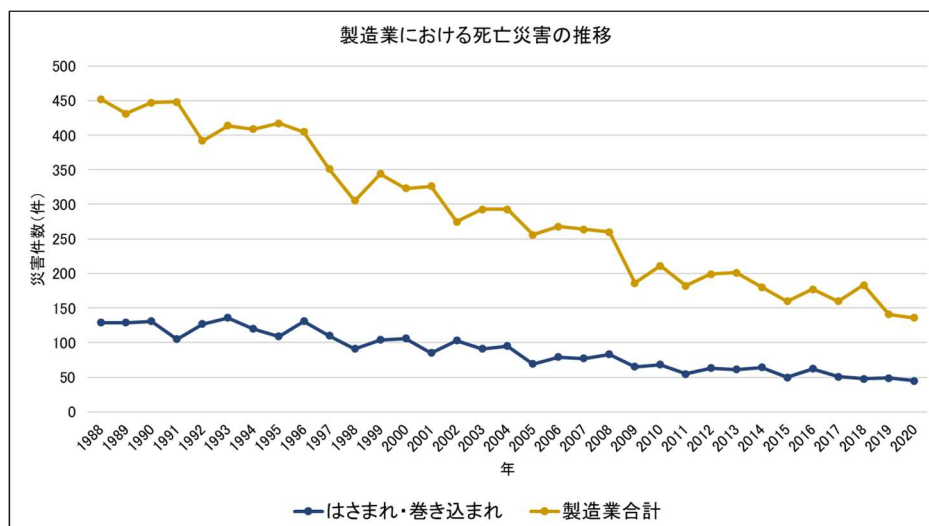


図 2 製造業における死亡災害の推移

出典：厚生労働省、労働災害統計（1988 年～2020 年）

このように製造業における「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数は多い。厚生労働省の「職場のあんぜんサイト」に公表されているデータ（12年分の合計）から、労働災害の起因物（縦軸）と事故の型（横軸）について、労働災害（死傷）（図3）²⁾、死亡災害（図4）³⁾それぞれのバブル図を示した。

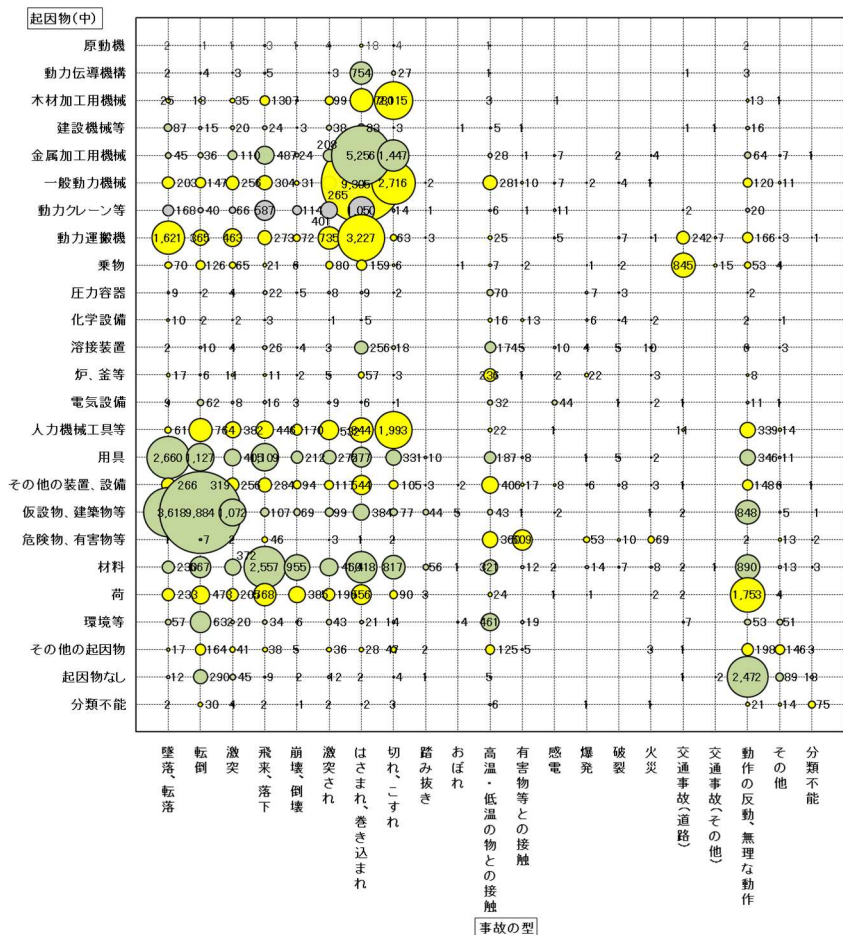


図3 機械設備等による製造業死傷災害の起因物と事故の型

出典：厚生労働省「職場のあんぜんサイト」死傷災害（H18～H29：12年分合計、全数の約1/4）

労働災害の中で、特に、機械等による死傷災害については、一般動力機械、金属加工用機械、動力運搬機による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の件数が多いことが明らかである（図3）。

一方、死亡災害については、一般動力機械、動力運搬機による「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の件数が多いことが明らかである（図4）。

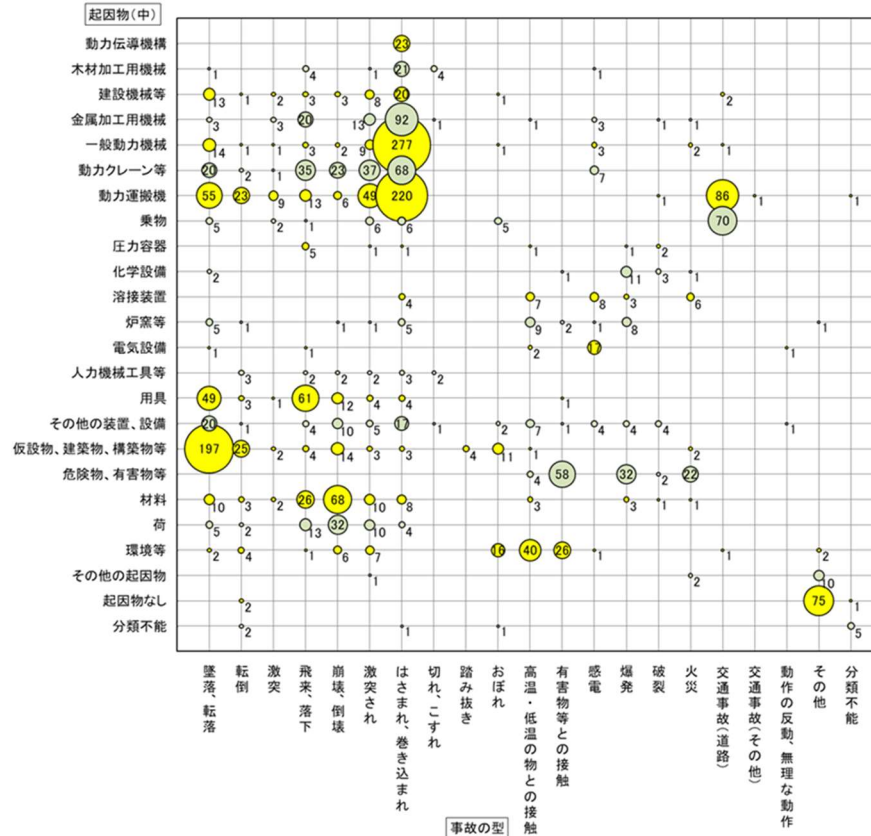


図 4 機械設備等による製造業死亡災害の起因物と事故の型

出典：厚生労働省「職場のあんぜんサイト」死亡災害（H18～H29：12年分合計）

英国のHSE（Health and Safety Executive）が公表している「Cost Benefit Analysis（CBA）Checklist」⁸⁾では、死亡災害のコストは、£1,336,800と記載されており、日本円で2億2700万円に相当すると仮定すると、製造業における2006（平成18）年～2017（平成29）年の12年間の一般動力機械及び動力運搬機による「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害数497件（図4）では、1,128億円に相当する額となる。

製造業には、表1の産業3類型に示されるように大別して、基礎素材型産業、加工組立型産業、生活関連型産業がある⁹⁾。

表 1 製造業の分類（産業3類型）

製造業	各製造業
基礎素材型	木材・木製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、石油製品・石炭製品製造業、プラスチック製品製造業、ゴム製品製造業、窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、非鉄金属製造業、金属製品製造業
加工組立型	一般機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、精密機械器具製造業
生活関連型	食料品製造業、飲料・たばこ・飼料製造業、繊維工業、衣服・その他の繊維製品製造業、家具・装備品製造業、出版・印刷関連産業、なめし革・同製品・毛皮製造業、その他の製造業

出典：神戸市2020年工業統計調査（神戸市以外でも多数の都道府県、市町村で用いられている。）

これらのうち、基礎素材型産業では、例えば、金属、製紙、セメント、石油精製、化学などのように機械設備等により生産を行って、一定の用途や品質の製品を長期にわたり生産供給するところから、生産設備や生産装置を一旦導入すると長期間にわたり、生産に利用することが行われている。

以下には、基礎素材型産業の機械設備等による死亡災害の起因物と事故の型のバブル図（図5）を示した。

基礎素材型産業では、一般動力機械及び動力運搬機に起因する「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の件数が多く、12年分の全体合計数452件のうち289件と64%を占めている。また、製造業全体件数と比較すると一般動力機械及び動力運搬機に起因する「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害（497件）の58%を基礎素材型が占めており、分布の傾向はほぼ同様である。

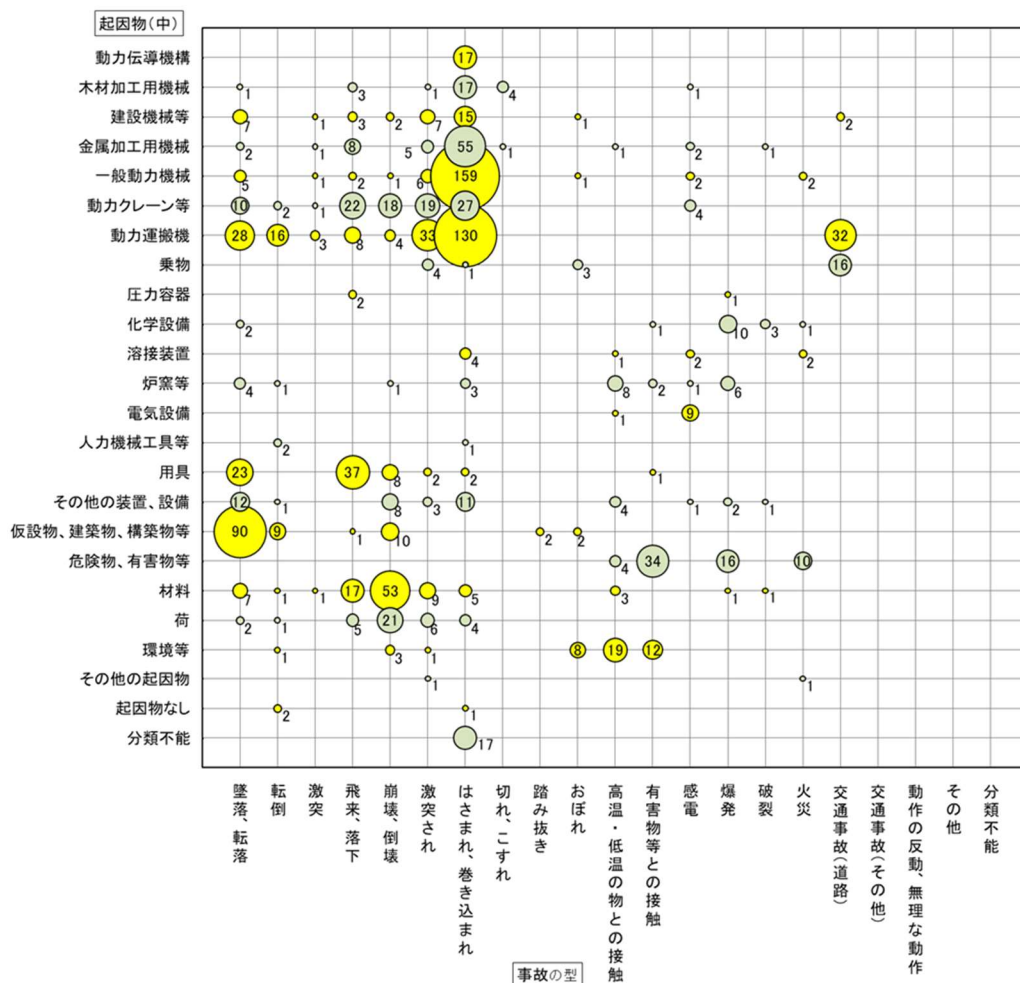


図5 機械設備等による基礎素材型産業死亡災害の起因物と事故の型

出典：厚生労働省「職場のあんぜんサイト」（H18～H29：12年分合計）

以上をまとめると、製造業での「はさまれ、巻き込まれ」労働災害が多く発生しており件数は下げ止まり傾向にある。「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の主な起因物は、一般動力機械及び動力運搬機であり、製造業全体と基礎素材型産業で同様な傾向がある。

1.2.2. 我が国の高度経済成長期

我が国の製造業の多くの業種では、高度経済成長下の生産拡大期に設置された生産設備も多く、設置から30年以上経過した生産設備が多数を占める事業場が多くなっていると推定される。我が国の鉱工業生産指数¹⁰⁾の年次推移を図6に示した。1960(昭和35)年代から1970(昭和45)年代には、図6に示すように盛んな設備投資が行われた結果、鉱工業生産指数が大幅に増加している。その後、1989(平成元年)頃からは、生産指数は年によって増減はあるものの、概ね横ばいの傾向を示しており、生産設備の新規投資も少なくなっていた可能性がある。

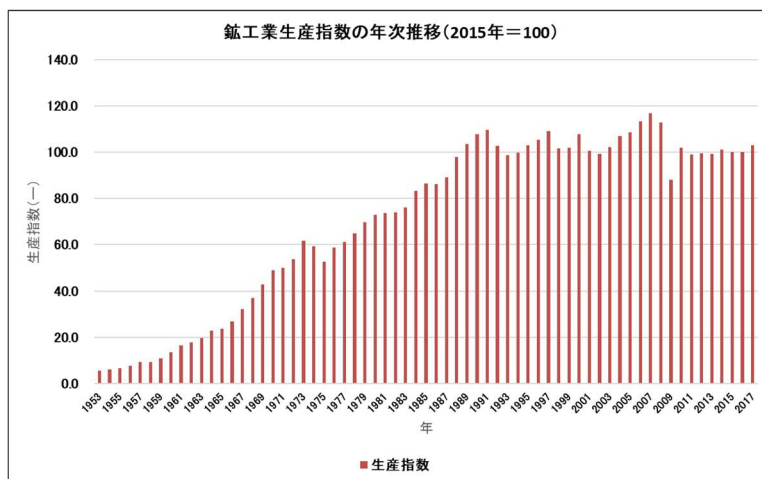


図6 鉱工業生産指数の年次推移

出典：経済産業省、生産動態統計年報鉱工業生産指数より作成（2015年（平成27年）=100）

1.2.3. 製造業における設備投資の推移状況

財務省、法人企業統計¹¹⁾から、製造業の設備投資額（除ソフト）の年次推移を示した（図7）。製造業では、高度成長期の活発な投資により設備や装置が新規投資されて増加した。しかしながら、1991年をピークに設備投資額が増加から減少に転じている。以降、投資額が増加している年もあるが、ほぼ、横ばい状態になっている。

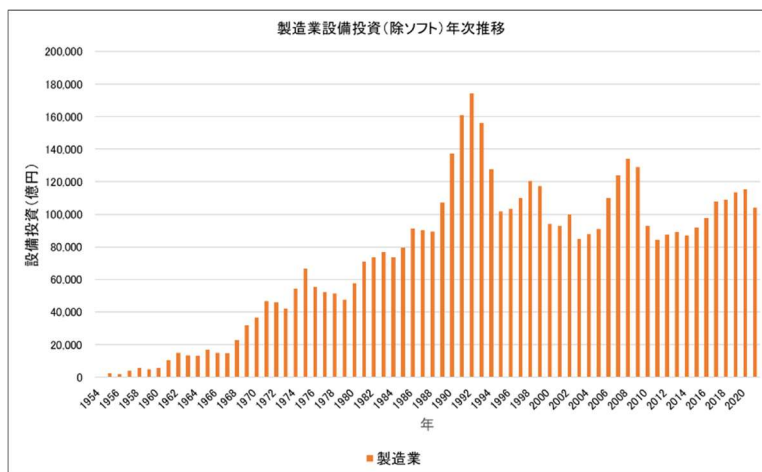


図7 製造業における設備投資額（除ソフト）の年次推移

出典：財務省法人企業統計

この状況は、新規の設備投資や更新の設備投資にも影響していた可能性がある。つまり、古い設備や装置に対して、適切なメンテナンスが、適時行われて、資産の寿命延長がはかられていた可能性がある。

1.2.4. 厚生労働省「報告書」に記載された経年化機械設備と労働災害の関係

前述したように、高度経済成長後の横ばいの時期において、製造業における設備投資（新規設備投資や更新設備投資など）は低調である。多くの古い設備や装置を更新することなく使うことにより生産を行っている可能性がある。厚生労働省「報告書」のアンケート回答結果では、調査対象設備は、約5万1500箇所であり、その中で約35%の設備が設置後30年以上を経過した設備であったことを報告している。労働災害が発生した設備に着目するとさらに古い機械設備の比率が増える結果であった。また、同「報告書」では、経年化・老朽化機械設備の労働災害リスクの要因として、「設備の老朽化」と「保護方策不備」の二つを挙げている（図8）。

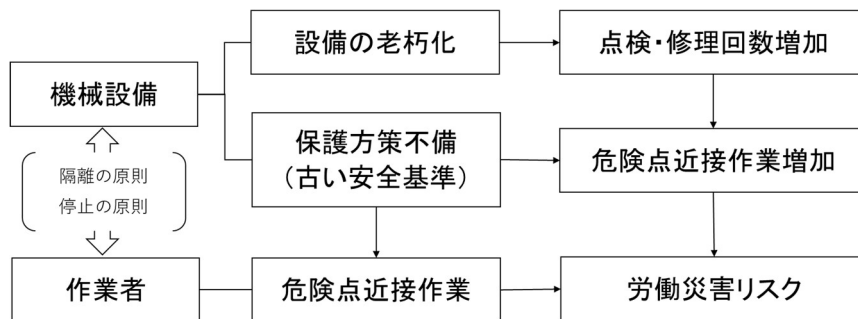


図8 経年化・老朽化機械設備と労働災害リスク

経年化機械設備は、隔離の原則や停止の原則などの「保護方策」が古い安全基準で製造された「保護方策不備」の機械設備である。また、「設備の老朽化」による点検、修理回数の増加により機械設備の近傍で作業する危険点近接作業の回数や時間が増加して、さらに労働災害リスクが高くなっている可能性がある。以下には、経年による故障を示すバスタブ曲線の例（図9）を示した。経年化、老朽化した多くの機械設備は、故障率が増加する摩耗故障期にあると考えられる。



初期故障：機械・装置の使用開始直後に起きる製造上の欠陥により起きる故障
 偶発故障：製造欠陥による故障が減衰後に軽微な欠陥により依然として起きる故障
 摩耗故障：一定時間経過後に構成要素の劣化により起きる故障

図9 設備の老朽化（バスタブ曲線の例）

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度15頁）

厚生労働省「報告書」ではアンケートの回答結果から、機械設備の経年化により機械設備の年間あたりの点検回数（図 10）や修理回数（図 11）の割合が増加していることを示している。このように、作業者が機械設備の近傍で実施する点検作業や修理作業の時間や回数が増加した結果として、危険点近接作業の増加による労働災害リスクが高まる可能性がある。

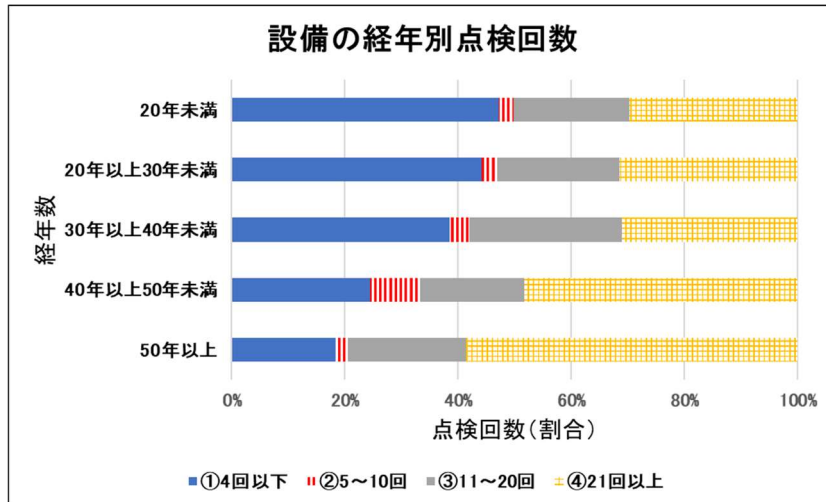


図 10 機械設備経年数と年間点検回数の増加
出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 37 頁）

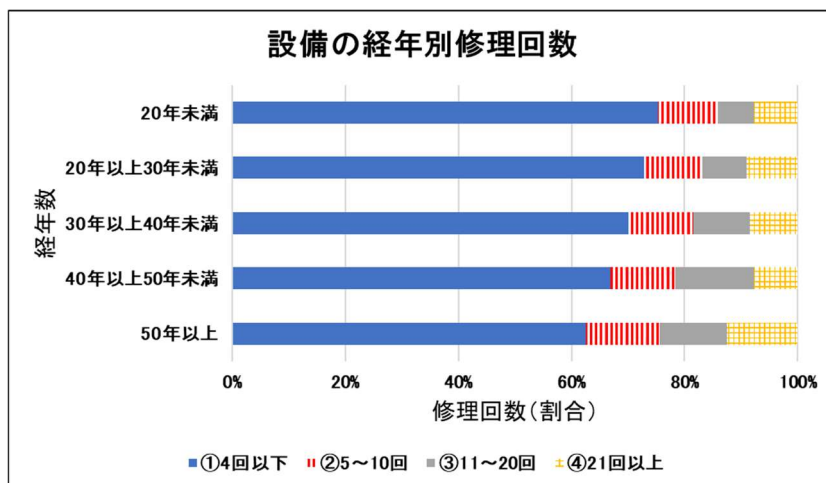


図 11 機械設備経年数と年間修理回数の増加
出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 41 頁）

以下に厚生労働省「報告書」の記載内容を引用してコンベアとロール機それぞれについて、労働災害発生時の作業内容(表 2、表 3)、設備原因(表 4、表 5)について、それぞれの件数を示した。

表 2 コンベア「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の作業内容

作業内容	点検監視	付着異物除去	交換準備	調整起動	補修メンテ	その他
件数	12	45	9	7	2	6

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 64 頁）

表 3 コンベア「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の設備原因

設備原因	隔離原則不備	停止原則不備	その他
件数	47	19	15

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 64 頁）

コンベアに起因する労働災害では、作業内容としては、付着異物の除去清掃によるものが多いが、点検監視、交換準備、調整起動、補修メンテなど点検、修理に関連した作業も合計すると労働災害が多いことが示されている。設備原因としては、隔離原則の不備、停止原則の不備、その他の順番であった。

表 4 ロール機「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の作業内容

作業内容	点検監視	付着異物除去	交換準備	調整起動	補修メンテ	その他
件数	10	52	29	10	2	17

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 67 頁）

表 5 ロール機「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の設備原因

設備原因	隔離原則不備	停止原則不備	その他
件数	53	24	43

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 67 頁）

ロール機に起因する労働災害でも、作業内容としては、付着異物の除去清掃によるものが多いが、交換準備、点検監視、調整起動、補修メンテなど点検、修理に関連した作業も合計すると多かった。設備原因としては、隔離原則の不備、その他、停止原則の不備の順番であった。

このように設備原因として隔離原則不備や停止原則不備などの「保護方策不備」の状態であり、さらに点検や修理などの危険点近接作業に起因すると考えられる労働災害が多く発生していることが示されている。

また、厚生労働省「報告書」では、主として、基礎素材型産業を中心にしたアンケート調査を実施しているが、「保護方策」に不備のある経年化機械設備に起因する「はさまれ、巻き込まれ」労働災害について解析した結果として、労働災害が有った事業場の方が無かった事業場と比較して、古い設備の割合が高かったことを示している。

図 12 は労働災害が起きた事業場と労働災害が起きていなかった事業場について、それぞれの設備の経年数別にアンケート回答集計値（上）と割合（下）を示したものである。集計の結果、労働災害が起きた事業場の方が、労働災害が起きていなかった事業場よりも古い設備の割合が高かった。つまり、古い設備では、労働災害のリスクが高いと報告している。

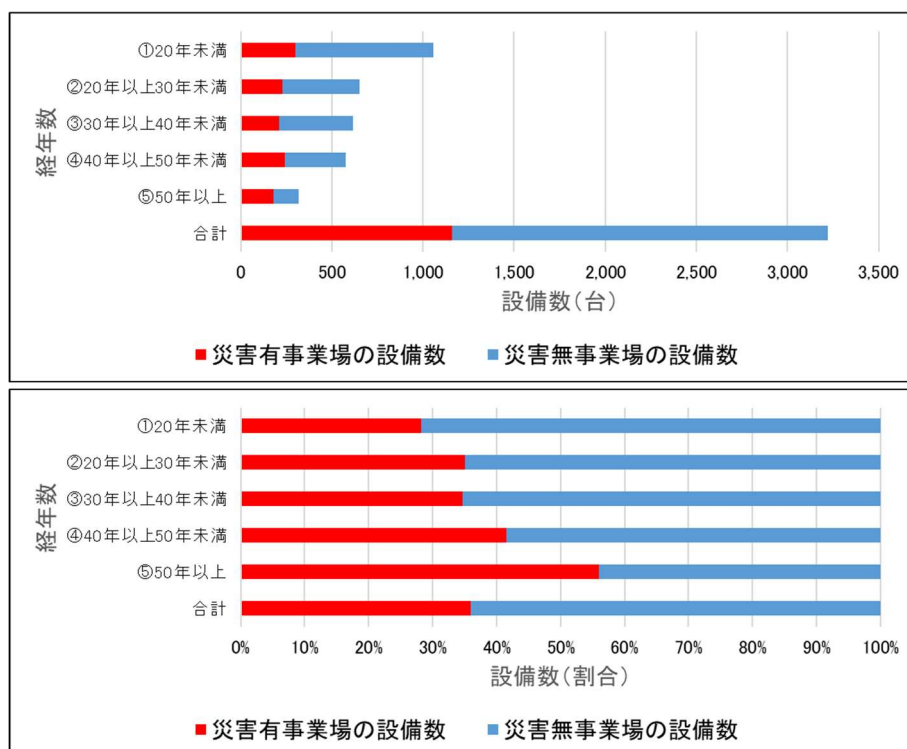


図 12 機械設備の経年化と「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の関係

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 120 頁）

厚生労働省「報告書」では、これらのデータなどを基に経年化機械設備の労働災害リスクの要因として挙げられた「設備の老朽化」と「保護方策不備」の二つの理由により、経年化・老朽化機械設備による労働災害リスクが高いことを示している。

1.2.5. 経年化機械設備に係る管理面や作業面での変化と現状

基礎素材型産業において使用されている経年化機械設備に類似するストック性の資産としては、建築物、橋梁、鉄道、道路、トンネル、発電設備、電線網などが挙げられる。例えば、建築物は、一旦、建築されると数十年にわたって、住居やオフィスなどとして利用される。建て替えの時期までは、適切なメンテナンスが常時行われて、資産の寿命の延長がはかられる。経年化に伴いメンテナンス費用が費用対効果に見合わなくなった場合や一定の年数を越えて老朽化した時点で、建て替えや更新が検討される。

一方、基礎素材型産業などの機械設備の場合には、運転や操作に作業者が関与して生産を行っている。従って、長期間の使用による経年化や老朽化の問題だけでなく、機械設備の運転や操作に係る労働者の安全対策についても考慮する必要がある。厚生労働省「報告書」の記載内容によると、管理面でリスクアセスメント実施などの管理的手法が十分に行われていない可能性がある。また、作業面で、経験年数の短い中高年齢層作業者に求められる教育や訓練が適切に行われていない可能性がある。

管理面の施策として、リスクアセスメントの導入が推奨されて進められている¹²⁾。リスクアセスメントを実施することにより職場の潜在的な危険性や有害性を見つけ出し、事前に的確な対策

を講ずることは、従来の発生した労働災害の原因調査に基づく労働災害防止対策とは異なり望ましい。リスクアセスメントの実施内容を定めた指針もある^{13,14)}。また、OSHMS（労働安全衛生マネジメントシステム）の導入も行われている¹²⁾。これらの安全衛生対策では、自主的に職場の潜在的な危険性や有害性を見つけ出し、事前に的確な対策を講ずることとされている。これは従来の労働災害防止対策である発生した労働災害の原因を調査し、類似災害の再発防止対策を確立し、各職場に徹底していくという手法とは異なっている。労働災害件数全体については、これらの管理的手法の導入により減少していると言われている。しかしながら、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害については下げ止まっている状況にあり、リスクアセスメント実施などの管理的手法が十分に行われていない可能性がある。

作業員面では、ベテランの退職による技術伝承の問題がある¹⁵⁾。厚生労働省「報告書」では、作業員に関連する解析結果として、経験年数の短い中高年齢層作業員の経年化機械設備に起因する労働災害が多数発生していることを報告している。

製造業に従事する従業者数と年齢構成は変化している。総務省の労働力調査¹⁶⁾から製造業に従事する従業者数と年齢構成の過去14年間の変化及び厚生労働省の雇用動向調査¹⁷⁾から製造業の入職率と退職率について年次推移状況を整理して示した。これらのグラフからは作業員数の減少、作業員の年齢構成の変化などが見られる（図13、図14、図15）。

雇用動向調査より2006（平成18）年～2019（令和元）年までの製造業従業者数と年齢構成（図13）の推移について示した。製造業の従業者数は減少後、横ばいから微増の状況にある。

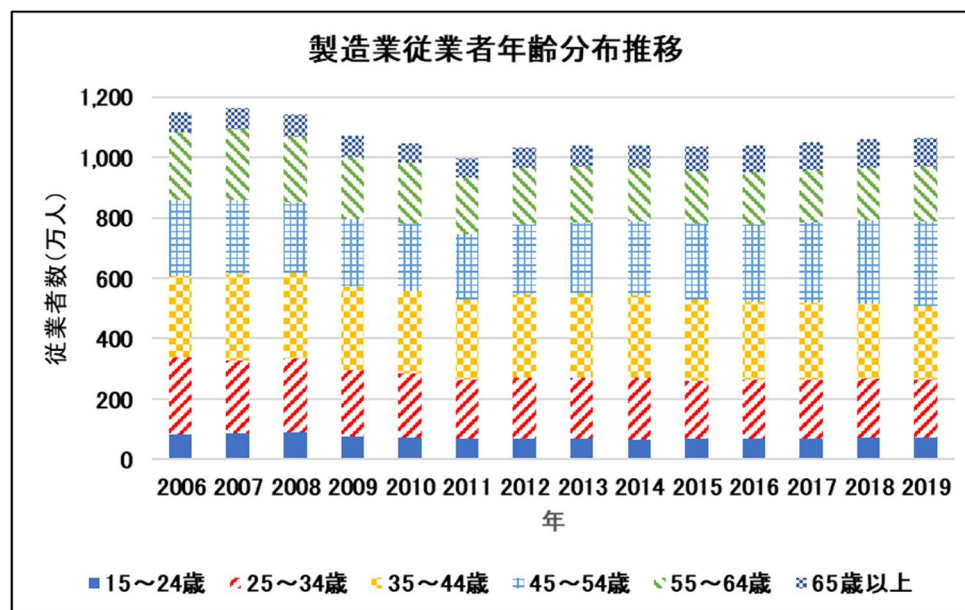


図 13 我が国の製造業従業者数と年齢構成の推移

出典：総務省労働力調査

製造業の従業者の年齢分布の推移（図14）をみると15～24歳、25～34歳の年齢層の割合が徐々に減少していることが明らかである。また、同調査から、この期間における製造業の入職率と退職率の推移（図15）をみると、退職率が入職率を上回る傾向があったことが明らかである。

これらの製造業の従業者に関する年次推移状況からみると、作業者数の減少、作業者の年齢構成の変化なども労働災害防止の上で考慮すべきである。労働災害における作業者のヒューマンファクターの面から、従業者の年齢構成などの変化に応じた対応の必要性も考えられる。

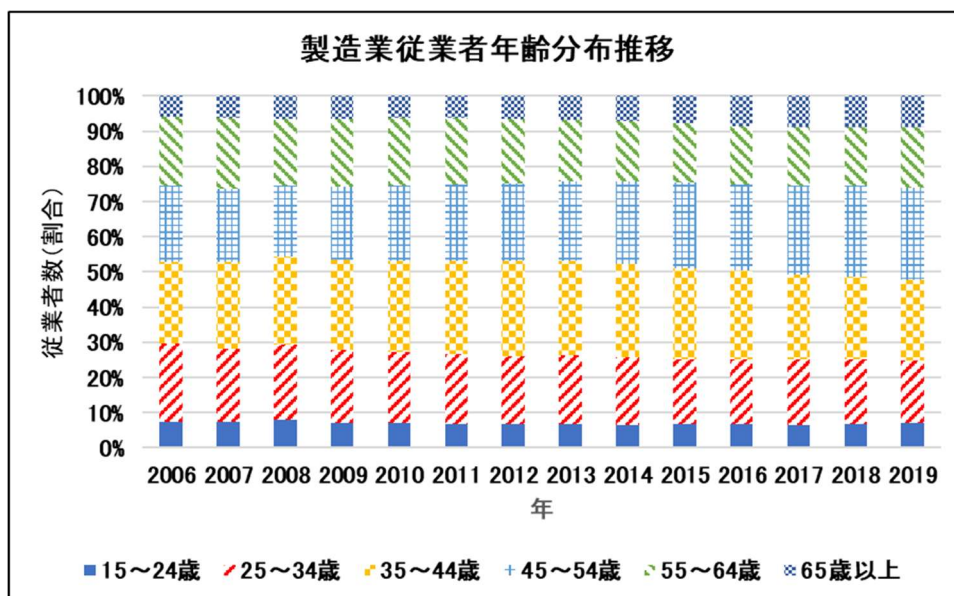


図 14 我が国の製造業従業者の年齢構成割合の推移

出典：総務省労働力調査

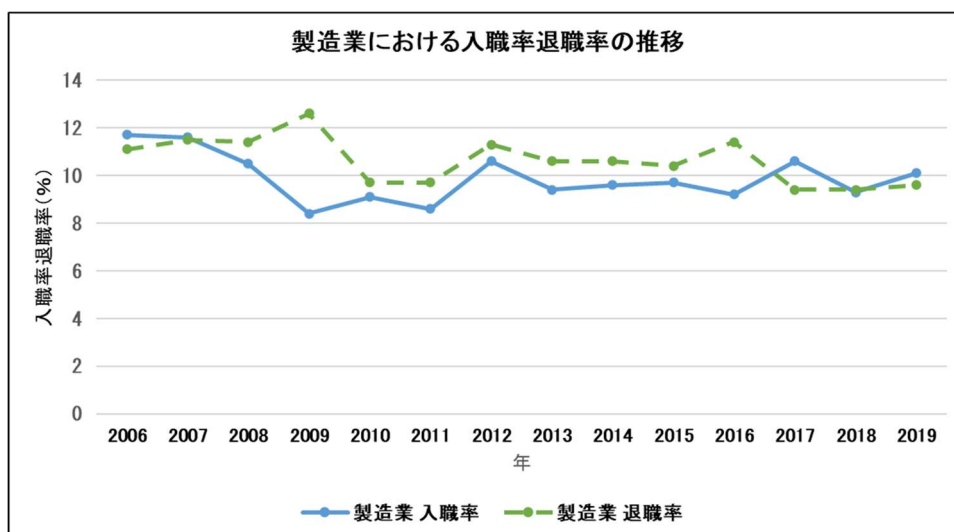


図 15 我が国の製造業の入職率、退職率の推移

出典：厚生労働省雇用動向調査

以上の点を踏まえると、経年化機械設備の残存台数と下げ止まり傾向にある「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数との関連性を定量的に解析すること、また、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について現状や問題点について解析する必要がある。

1. 3. 既往の研究

本研究が対象とする経年化機械設備に起因する労働災害に関する既往の研究例などについて記載した。機械等による労働災害に関しては、国内外の法規やガイドラインなどが定められている。機械等に起因する労働災害に関して、個々の機械設備、個々の労働災害に関する研究例も多く公表されている。一方、経年化した設備やインフラなどに関する研究例も多い。

本研究で着目した過去に製造されて現在の技術水準からみて安全上で不具合があるが、現在まで長期間にわたり使用されている「既存不適合」な資産も多い。これらの資産の残存数や寿命を推計する研究例もある。

本研究の既往研究例については、以下に幾つかのカテゴリーに分類して記載した。「機械類の保護方策に関する法令・ガイドライン」、「機械設備等に起因する労働災害の対策」、「管理面からみた労働災害の対策」、「作業員面からみた労働災害の対策」などの「機械等による労働災害の対策」に関する法令、指針、研究例などがある。「国際水準の機械安全と日本の機械安全に関する研究」などの研究例もある。「設備の老朽化」、「老朽化設備や資産の残存数や設備寿命の研究」などの「機械設備等の老朽化」に関する研究例などもある。また、「経年化した既存不適合機械数と労働災害件数の相関性」、「経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析」などもありこれらを分類して以下に記載した。

1. 3. 1. 機械等による労働災害

1. 3. 1. 1. 機械類の保護方策に関する法令・ガイドライン

機械等による労働災害を減らすためには、個々の機械や設備のリスクアセスメントを実施し、最新の安全レベルの保護方策に基づいた安全対策を実施する必要がある。

機械類については、ISO/IEC Guide 51 が安全側面—規格への導入指針として定められている¹⁸⁾。基本安全規格（タイプ A）、グループ安全規格（タイプ B）、製品安全規格（タイプ C）の階層構造になっている。最初のガイドラインは 1990 年に発行され、その後 1999 年と 2014 年に改訂された。また、多くの機械の安全基準は、ISO/TC199 が制定する国際規格によって示されている。

欧州機械指令は、機械の安全性に関するさまざまな基準を定めている。製造業者が必須要求事項の確認と適合評価基準の選択をして、製品試験・適合性評価を実施した上で適合宣言を行なうが、製品によって加盟国の認定を受けた第三者認証機関の認証を受ける場合と自己宣言が認められる場合がある。この指令は 1989 年に発効し、それ以降数回改訂されている。指令 93/68 / EEC は、マーキング、文書化、法執行機関を含むすべての CE マーキング要件に一貫したアプローチを導入することを目的として設定された。2023 年、欧州委員会（EC）は、欧州 CE マーキングの現在の機械指令（指令 2006/42/EC）に代わる新しい機械規則（規則 2023/1230）を発表している¹⁹⁾。

日本では、「機械の包括的な安全基準に関する指針」において、機械の設計・製造段階及び使用段階における「保護方策」が示されている¹³⁾。この指針は 2001 年に発行され、その後 2007 年に改訂されている。

1.3.1.2. 機械設備等に起因する労働災害の対策

製造業における多くの機械設備では作業者が関与することにより運転操作を行って生産を行っている。機械設備と作業者の関係から、機械設備に起因する労働災害に関する個々の事例と個々の防止対策に関する研究例が多い。梅崎らは、危険点近接作業における人と機械の関係を考察している²⁰⁾。西沢は、設備管理と労働災害防止について触れて、1) 作業者が設備は故障してから直せばよいという行動をとっているため、設備トラブルが減らないというケース、2) 始業点検の仕組みはあるが実行されていないため、生産計画の達成が不安定になっているケースなどの設備管理と労働災害防止の進め方について説明している²¹⁾。畑らは、プレス機械の「手動リセット機能」の保護装置に関して、位置づけ、要求パフォーマンスレベル PLr について考察し、本来プレス機械で求められる「手動リセット機能」の役割と制御システムの安全関連部としてのあるべき位置づけについて提案している²²⁾。機械設備の検査技術として、現在人手に頼っている機械設備の狭隘部や閉塞部の検査、補修などへのマイクロロボットの応用や、メンテナンス作業の軽減につながる新しい概念の検査技術の導入など、新たな先端技術の実用化について紹介している報告もある²³⁾。

機械設備の劣化の観点及び故障の観点から、理論的な解析例も多く、研究例も数多く発表されている。保全の方法についても多くの研究例がある。また、機械設備による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害についても多くの研究例がある。宮川は、労働災害を減少させるには、現行で行われている作業員への教育主導による安全衛生運動だけでなく、生産ラインの機械及び製造システムのライフサイクルにおける設備的な保護方策を実施しなければならないとしている²⁴⁾。谷口らは機械の保護方策に根本的な問題がある場合は、作業員や管理・監督者がどんなに注意を払っていても、労働災害を防ぐのは困難であるとして、新しい災害情報データベースの構築を提案している²⁵⁾。

機械設備に起因する「はさまれ、巻き込まれ」労働災害などに関する研究例としては、動力運搬機であるコンベアについて、梅崎らは、複数の作業員が作業する場合の人間の作業行動に応じたリスク管理区分の決定について考察している²⁶⁾。食品製造の分野でもコンベアについて多くの研究例があるが異物の除去や清掃などの例がある。UCHIYAMA らは、コンベアとその付随する殻取り、皮むき、不良品の除去などのための自動化装置²⁷⁾、黒川らは、サイズ分けのための自動化装置、画像による処理について研究している²⁸⁾。加藤は、作業中の異物対策として、食材コンベアの盛り付け場所での、汚れ、ホコリ、サビ、ペンキ片、結露などの落下、虫が混入する可能性、従事者から毛髪、作業衣に付着したゴミの混入などの問題を提起している²⁹⁾。Andrew は、ベーカリー製品工場で起きたコンベアでの清掃作業での労働災害について述べている³⁰⁾。また、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害対策として米国労働安全衛生研究所 (NIOSH) の Todd, M. は、鉱山運営に使用する機械の巻き込みから作業員を保護する方法を検討した結果、知能の高いビデオの適用で、その視野で指定した地域の従業員が存在を自動的に検出し障害を防止するシステムの開発を提案している³¹⁾。抄紙機のパイロット機の設置については、新製品のテストベンチとしての機能に加え、新入社員教育の教材としても活用されていることが示されている³²⁾。

1.3.1.3. 管理面からみた労働災害の対策

製造業における動力機械等による労働災害防止については、多くの安全対策が行われている。「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」¹⁴⁾では、リスクアセスメントの実施内容や実施について定めている。また、労働安全衛生マネジメントシステムを導入した事業場ではリスクアセスメントの実施率が高いことも示されている³³⁾。「機械の包括的な安全基準に関する指針」¹³⁾では、機械の設計・製造段階及び使用段階でのリスクアセスメントの実施や保護方策の実施について定めている。

リスクアセスメントに関する研究例や解説例は多く発表されている。池田は、機械安全規格（ISO）と電気安全規格（IEC）の体系をもとに機械安全規格体系、安全設計の基本であるリスクアセスメントについて解説を行っている³⁴⁾。福田は、機械安全設計の基礎、安全に関する規格としてISO/IECガイド51について述べて、安全規格体系は、基本安全規格、グループ安全規格、製品安全規格の三層構造になっていることなどを説明している³⁵⁾。清水は、国際安全規格であるISO12100（機械類の安全性-設計のための一般原則-リスクアセスメント及びリスク低減）の説明と機械安全の考え方について述べている³⁶⁾。梅崎も、多発する機械災害の現状を述べた上で、ISO12100について、安全規格と法規制の概要について紹介している³⁷⁾。中村らは、残留リスクに触れて、リスクアセスメントによる事故の防止構造について検討を行っている³⁸⁾。福田は、製品を安全にする、つまり許容できないリスクのない状態にするには、リスクアセスメントとリスク低減プロセスを行い、許容可能なリスクレベルまでリスクアセスメントとリスク低減を繰り返す実施すると述べている³⁹⁾。清水は、リスクアセスメント実施に関わるポイントについて、それぞれの解説論文において述べている。機械安全に関するリスクアセスメントでの「危険源の同定」の留意点⁴⁰⁾。見積られたリスクが受け入れ可能か否かを評価する為に必要なALARPの原則とリスク受容性の考え方⁴¹⁾、リスク見積り手法として、リスクマトリクス法、リスクグラフ法、加算法、積算法、及び加算法と積算法の利点を利用したハイブリッド法の5つの概要や特徴⁴²⁾、安全設計方策の検討・適用後に十分なリスク低減がされていない場合に実施される安全防護と付加保護方策の具体的適用例、隔離原則と停止原則などについて述べている⁴³⁾。濱島は、実務経験の少ない作業者に触れて、労働災害防止とは「労働災害が生じる因果の構造を明らかにし、構造を変えること」であり、リスクアセスメントは「構造を明らかにし、構造を変えるための道具」であると述べている⁴⁴⁾。北條らは、リスク評価とリスク低減措置の実施の妥当性を定量的に評価するための一つの手法である行動分析学の基礎について述べている⁴⁵⁾。荏戸は、ISO45001をベースにした日本版労働安全衛生マネジメントシステムについて説明をしている⁴⁶⁾。化学物質管理分野でのリスクアセスメントの例も紹介されている^{47,48)}。製造業以外の業種でも幅広く採用されており、自治体⁴⁹⁾、林業⁵⁰⁾、建設^{51,52)}、物流⁵³⁾などの例もある。

海外の事例としては、インドネシアでの自然災害、労働災害のリスクアセスメントの例⁵⁴⁾、北キプロスにおける労働安全衛生リスクアセスメントの評価事例⁵⁵⁾、タイでのパラゴム製材所での職場の健康への危険要因を軽減するための行動計画の作成例⁵⁶⁾などがある。福田らは、運用面での課題や問題点を踏まえて、中小規模事業所向けの簡易リスクアセスメント手法の開発について述べている⁵⁷⁾。向殿らは、ヒューマンエラーの中でも、故意によるもので対応が難しい意図的なルール違反に関する現場からの具体的な事例を収集している⁵⁸⁾。山田は、労働安全衛生規則に記

載されている「十分な知識及び技能を有していると認められる者については、当該事項に関する教育を省略することができる」とされている」の実態について調査して、選任された職長がリスクアセスメントに関する十分な知識及び技法を持ち合わせていなかったとしている⁵⁹⁾。山谷は、機械メーカーが機械ユーザーに行う危険情報の通知に関して、機械に関する危険性等の調査手法、労働災害防止のための措置方法、法令等知識が要求されるので、対応できるような人材の育成が必要としている⁶⁰⁾。第13次労働災害防止計画の重点事項に関する厚生労働省の解説例もある⁶¹⁾。向殿は、労働の現場で作業者の安全を守るには、「機械安全」と「作業安全」の分野があるが、リスクアセスメントが重要としている。また、セーフティ2.0を紹介し、技術・人間・組織の側面からの協調安全について述べている⁶²⁾。甲斐は、茨城県内事業場におけるリスクアセスメント実施内容を分析した結果とそれらの事業場での労働災害を発生の有無を比較して、リスクアセスメントの導入効果及び労働災害発生事業場におけるリスクアセスメント実施内容の問題点を明らかにしている⁶³⁾。高比良らは、重大な労働災害を契機に構築した安全衛生マネジメントシステムにより、きめ細かなPDCA管理による安全活動の継続的な改善を行い、安全成績を格段に向上させ、災害発生件数の大幅な低減につなげたとしている⁶⁴⁾。

1.3.1.4. 作業員面からみた労働災害の対策

機械等による労働災害防止に関しては、作業員の経験年数に関する研究例や作業員のヒューマンファクターに関する国内外の研究例が多い。特に、経験年数の短い作業員の労働災害の発生件数が多いことについて、久保田らは、海上工事施工に関して、経験年数の少ない者や入場日数の短い者に対しては、年齢にかかわらず教育訓練が重要としている⁶⁵⁾、高橋らは、全産業の中で大きな割合を占める建設業の労働災害について、墜落・転落災害など建設作業現場特有の災害が多いこと、また、作業員のハザード知覚とリスク知覚に対する個人特性の影響を実証的に検討した結果から、伝達行動には作業員の個人特性が影響し、経験年数の長い管理者が危険場面の周知を重要視するのに対して、経験の浅い作業員は伝達行動の重要性を認識していないとしている⁶⁶⁾。高木らは、中小建設業者について取り上げ、管工事業を対象に安全講習会の受講者に対するアンケート調査から、安全教育の実態等を把握した結果、豊富な実務経験年数を有する者等は安全教育受講頻度が少ない傾向にある、安全教育には教育後の理解度の確認が重要である、高年齢層の講習の理解度は他と比べ高くはないなどの課題について述べている⁶⁷⁾。林業などの労働災害の発生状況について、厚生労働省労働基準局の公表資料では、経験年数3年未満の労働災害が多かったとしている⁶⁸⁾。藤掛は、若年者が被災者となった2件の事例を取り上げ、その背景要因を調べた結果、若年層であり、夜勤であったこと、被災者の一人作業という共通点があったと述べている⁶⁹⁾。LABRIE Ron は、熟練作業員の知識を新人に伝えるための教育訓練期間を短縮するためにeラーニングシステムを導入した例を紹介している。調査の結果、作業手順や安全に関して必要な事項は作業手順書などに書かれているが、作業員がそれらを見ていない、あるいは内容を理解していない点に問題があったことを指摘している⁷⁰⁾。

労働災害におけるヒューマンファクターに関する研究例も多い。堀田は、産業における労働災害の80%以上はヒューマンファクターに起因しており、人間の意思決定が損得、好み（選好）に影響されることを説明し、意思決定問題について選好関数を用いて分析する方法について述べて

いる⁷¹⁾。池田は、労働災害の中には、省略行動や安全確認無視、ルール逸脱、誤操作など人間側の要素が大きく関わっているものがあり、人は記憶を繰り返すことで強固となり、このことが教育訓練の基盤であると述べている⁷²⁾。牧野らのヒューマンファクターと事故の再発防止に関する研究例もある⁷³⁾。高野は、ヒューマンエラーの発生過程に着目し、事故種別を類型化し、事故防止戦略の各バリアにおいて、これらを防止する方法論を考察して、事故防止の戦略、エラー類型別の防止策について述べている⁷⁴⁾。

一方、動力機械等の保護方策については、ベテラン作業員や管理監督者の能力に依存した管理的対策に頼るのではなく設備的な保護方策の採用について述べている例⁷⁵⁾。第3次産業における昇降・搬送用機械の労働災害を抜本的に防止するための保護方策の適用について述べている例⁷⁶⁾などがある。

このように作業員の経験年数やヒューマンファクター、機械等の保護方策に関しては、多くの研究例があり保護方策については、指針も定められている。一方、ものづくり白書ではベテランの退職による技術伝承の問題も提起されている¹⁵⁾。AI技術やIT技術を用いて技術伝承を円滑に行うことも提案されている^{77,78)}。

1.3.1.5. 国際水準の機械安全と日本の機械安全に関する研究

労働災害を防止するために、法規やガイドラインが制定されてその後も改訂されてきている。欧州では「人は誤り、機械は故障やトラブルを起こす」ことを前提に機械安全技術を作ってきたことに対して、日本では現場の優秀な作業員や管理・監督者及び生産技術者が質の高い安全管理と生産技術を行う「現場力」により安全対策が行われていることや日本では開発過程でのトラブルが既に解決された技術を欧米から導入することで発展してきたことなどを指摘して安全対策の考え方の違いについて報告している。この報告では、技術に基づく安全の先進国である欧州の機械安全技術や社会制度など機械安全の考え方の相違点に触れて、実際の機械の労働災害防止対策では、特に経営者及び設計者に対して欧州機械安全の基本理念と災害防止原則を普及促進するとともに、① ISO12100 に定めるリスク低減戦略、②モジュール方式による適合性評価と適合宣言に関する情報伝達を目的としたマーキング、③マーキングの情報に基づく機械の使用段階での妥当性確認、④機械の設計・製造段階への災害情報のフィードバックが特に重要と提言をしている⁷⁹⁾。最新の機械安全国際規格や他事業場等での成功事例に精通した第三者が機械のリスク低減状態を個別具体的に確認する仕組みが必要であることを示し、これを「妥当性確認」と定義している。また、リスクアセスメントに基づく機械安全を日本に先行して推進してきた欧州4カ国を対象に調査を行い、リスクアセスメント結果の妥当性をいかに担保してきたかについて各国の実態を日本国内での場合と比較した結果を報告している⁸⁰⁾。

機械による労働災害に関する研究では、産業機械による死亡労働災害129件の設備要因を分析している。推計結果によると、固定ガード、可動ガード、保護装置、制御システムの安全関連部品に関する国際水準の設備安全対策の要求事項を実施した場合、発生した死亡労働災害の79.2%の事故防止効果があったことを示している⁸¹⁾。

日本の「現場力」に関連した研究もある。プロセス安全分野で活用されている安全文化の8要素、「組織統率」、「積極関与」、「相互理解」、「危険認識」、「学習伝承」、「作業管

理」、「資源管理」、「動機付け」に触れて、各要素間の因果関係を考慮した因果ループを提案した上で、「統率ループ」、「相互理解ループ」、「学習ループ」、「油断ループ」に分類して4つの因果ループの中心にくる「動機付け」の重要性について報告している例がある⁸²⁾。

このように日本の安全対策については、国際水準である欧州との相違点がある。欧州の技術に基づく機械安全対策とは異なり、日本においては「現場力」に依存した安全対策が行われている。このような安全対策は「保護方策不備」の経年化した「既存不適合機械」でも行われている可能性がある。また、「現場力」を担ってきたベテランの退職による技術伝承が十分に行われない可能性も考えられる。

1.3.2. 機械設備等の老朽化

1.3.2.1. 設備の老朽化

設備や公共インフラなどの老朽化については、国内外の多くの産業において研究例がある。築105年を経たニューヨーク市の高層住宅の付属設備であるボイラー、配管、スプリンクラー、エレベータの修繕とメンテナンスの例⁸³⁾、韓国の地下鉄の予知点検による効率性向上、データに基づく標準化、設備の稼働率向上と維持管理コスト削減などの例⁸⁴⁾、駅舎等の建築設備や昇降機設備、出改札設備等の維持管理の例⁸⁵⁾、長大橋の予防保全のための維持管理設備の例⁸⁶⁾、トンネルなどの無線通信による点検の例⁸⁷⁾、道路に付帯する排水ポンプやトンネルの消火栓などの機械設備の点検の例⁸⁸⁾、公共地下通路の天井部の吊りボルト、電気配線、機械設備配管に着目した点検、耐震改修の設計と工事などインフラ点検の例⁸⁹⁾、3Dモデルに各情報をリンクさせたことによるダム(point inspection)の点検の例⁹⁰⁾、河川ポンプ設備の経済的な維持管理手法の例⁹¹⁾、水道事業における水中機械設備のボルト老朽化の疲労破壊と対策の例⁹²⁾、ICTを活用した下水処理場の点検の例⁹³⁾、振動センサーとクラウドサーバ集約による下水道施設の劣化の診断方法の例⁹⁴⁾、港湾施設の維持管理の例⁹⁵⁾、廃棄物処理施設の故障と日常保全の例⁹⁶⁾、発電プラントの保全の例⁹⁷⁾、物流施設の点検計画の例⁹⁸⁾、食品工場の作業管理、品質管理、衛生管理、設備管理などを含む機械設備の定期的な保守点検の例⁹⁹⁾、ボイラーの状態基準保全の例¹⁰⁰⁾、潤滑油などの潤滑管理の例¹⁰¹⁾など多数の例がある。また、国が発注する機械設備工事、機械設備点検・整備に係る機械設備積算基準の改定概要についての紹介例もある¹⁰²⁾。

機械設備の経年化についても、保守点検、保全に関する研究例は多い。修繕問題に関して、有限時間で故障や不具合を発生する機械や設備の群が所期の期間、所期の故障率で正常に作動するための保守・点検・修理すべき間隔について算定している例¹⁰³⁾。リスクベースメンテナンスを実現するための最新設備診断技術及びリモート設備診断システムの活用事例について紹介している例¹⁰⁴⁾。機械保全に必要な技能・技術として、1) 構成部品を適切な工具で分解できる能力、2) 構成部品の良否を点検する能力、3) 生産設備を適切に組み立てる能力、4) 生産設備全体の稼働状態を判断する能力等を挙げている例¹⁰⁵⁾などがある。

機械設備の損傷や疲労破壊に関する研究例も多い。機械設備の損傷疲労破壊について、機械の損傷・破壊の発生個所は、機械部品であり、損傷・破壊の発生率の高いピン・コッタ、シャープペン、ボルト・ナット、転がり軸受、すべり軸受、歯車などについて、損傷・破壊の原因と対策の

知識が必要であるとしている例¹⁰⁶⁾。ボルトの締結不良が原因である設備故障に関する対策について解説した例もある¹⁰⁷⁾。

「設備の老朽化」については、プロセス機器においても、幾つかの研究例がある。例えば、英国の健康安全局（HSE）が公表している資料では、プラントの経年化の影響、影響を受ける資産、経年化の定義、検査にあたっての特定方法の確立、管理の良好事例などについて検討している^{108, 109, 110)}。また、Mansfieldらは、プロセスプラントの事故事例から、経年化設備の事故原因の解析を行って、50%が技術的完全性により、12%が電気、制御及び計装により、38%が人的要因、手順、その他が原因としている¹¹⁰⁾。機械設備に関しては、バスタブ曲線に代表される設備の経年化パターンを示している例もある¹¹¹⁾。金属劣化の計測方法に関する論文も多い^{112, 113)}。このように設備の経年化に関する研究例は多い。

1.3.2.2. 老朽化設備や資産の残存数や設備寿命の研究

日本では、高度経済成長下の生産拡大期に多くの生産設備が設置され、設置から30年以上経過した生産設備が多くの上場企業に存在していると推定される。

老朽化設備や資産の残存数については、長期にわたって使用される代表的なストック性の資産である老朽化建物の残存数に関する研究例がある。長期にわたり使用される建物などのストック性の資産について、建築着工統計と建物別滅失率をもとに着工してから経年した資産の残存率を推計する手法が研究されている。長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーションでは、建物の信頼度関数として、ワイブル分布を仮定して、残存している建物の延べ床面積を建物の種類ごとに推計している。また、経年化により、建物の寿命が長寿命化していることを推定している¹¹⁴⁾。この手法は、建物中に現存する発泡系断熱材の量を推計する方法やアスベストの残存量と建物の解体にともなって今後発生するアスベスト量を推計することにも応用されている^{115, 116)}。

また、電気冷蔵庫、電気洗濯機、電気掃除機、ルームエアコン、カラーテレビ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、パソコン、携帯電話、光ディスクプレーヤー・レコーダー、乗用車（新車）などの家庭用家電製品については、家庭用として、長期間使用されており、テレビ及びエアコンの消費動向調査のデータに基づき、使用期間から長期のバスタブ曲線を描いて、長期使用にともなう製品の事故発生率を推計する統計的手法を提案している¹¹⁷⁾。

また、橋梁コンクリート材料の検査データに基づく劣化原因の定量的解析手法として、カプラン・マイヤー法を用いた残存時間解析の研究もある¹¹⁸⁾。通常、医療分野では、観察中に打ち切りを行った場合の生存率を算出するために、カプラン・マイヤー法が用いられている^{119, 120)}。カプラン・マイヤー法に関する参考書は数多く出版されている。ワイブル分布の適用条件や打ち切りデータの一点代入法などについても述べられている。

1.3.3. 経年化機械設備残存台数推計と労働災害件数の相関性に関する定量的解析

厚生労働省「報告書」によると、経年化した機械が多く残存しており、生産に使用されている。また、経年化した機械の保護方策が不十分であったために労働災害が発生したことを示している。本研究では、保護方策に不備のある経年化機械設備を「既存不適合機械」と定義した。このような保護方策が不十分な経年化機械設備は、現在の国際的な安全基準に比べて安全のレベルが不十分であるため、労働災害の発生の一因となっている可能性がある。

経年化した既存不適合機械が残存し、労働災害を引き起こすことを想定すると、それらを最新の保護方策で改善するか、最新の保護方策を備えた適合機械に更新する必要がある。しかしながら、経年化した既存不適合機械の残存台数と、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の原因との関連性についての研究した例は見当たらない。

著者は、この点を踏まえて、経年化機械設備の残存台数と労働災害が下げ止まっている傾向が相関していることを定量的に解析した結果を報告している¹²¹⁾。本研究では、公表された論文の内容を引用した。

1.3.4. 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析

前述したように機械設備に起因する労働災害については、個々の機械設備、個々の事例に関する解析や対策の研究例が多い。機械等による労働災害の問題点について多くのデータから特徴や問題点を把握した研究例は少ない。一方、多くのデータから傾向や特徴を把握する方法として、多変量解析が用いられている²⁶⁾。多変量解析では、量的なデータである数量を解析する手法と質的なデータであるカテゴリーを解析する手法が用いられている。後者の質的なデータであるカテゴリーを解析する手法としては、アンケートなどの回答データを用いる数量化3類やクロス集計表を用いるコレスポネンス分析などがある。

厚生労働省「報告書」では、経年化機械設備に関する経年別の種々の項目について、傾向や特徴などをまとめたクロス集計データを公表している。これらのクロス集計されたデータにコレスポネンス分析を適用して解析することにより、経年化機械設備や起因する労働災害の特徴に関する解析を行える可能性がある。

著者は、この点を踏まえて、経年化機械設備や起因する労働災害の特徴を設備面、管理面、作業面から解析した結果を報告している¹²²⁻¹²⁶⁾。本研究では、公表された論文の内容を引用した。

1.4. 本研究の目的

本研究では、検討にあたり、過去に製造されて現在の国際的な技術水準からみて安全上で不具合があるが、現在まで長期間にわたり使用されている「保護方策不備」の経年化機械設備について「既存不適合機械」と定義した。

まず、経年化した「既存不適合機械」の残存台数と機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数が下げ止まりとなっている傾向との相関性について定量的に明らかにすることを目的として解析を行った。

次に、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について解析する方法について検討した。厚生労働省「報告書」に記載されたクロス集計データなどを基にして多変量解析を

行い、「報告書」で挙げられた経年化機械設備の特徴及び経年化設備に起因する労働災害の特徴について、設備面、管理面、作業面から解析してその妥当性について検討することを目的とした。

以上を踏まえて、経年化機械設備の残存台数と下げ止まっている「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数との相関性、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴についてとりまとめた。

1. 5. 本研究の検討課題

上記目的の「保護方策不備」の経年化した「既存不適合機械」の残存台数と労働災害件数との相関性について解析するために、以下の検討課題1を設定して検討を行った。

検討課題1

- ・「既存不適合機械」は、どの程度残存して使用されているのか、残存台数の推計方法を検討する。
- ・推計した残存台数が、「はさまれ、巻き込まれ」災害件数が下げ止まりとなっている傾向と関連性があるかどうか検討する。
- ・上記した関連性について検討する上で、「既存不適合機械」から「適合機械」へ徐々に移行する変化点の存在を仮定する。

次に、検討課題2として経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について解析した。厚生労働省「報告書」で挙げられた経年化設備の設備面、管理面、作業面からみた特徴と問題点について、多変量解析を用いた解析結果からその妥当性について検討した。

検討課題2

- ・既往の研究として、個々の機械設備や個々の労働災害に関する研究例が多いことから、既存不適合な経年化機械設備の特徴や起因する労働災害の特徴について解析を行う方法を検討する。
- ・解析方法として、多変量解析を適用して、「報告書」に示された経年化機械設備の設備面、管理面、作業面での特徴や問題点についてその妥当性を検討する。
 - ・設備面から「設備の老朽化」や「保護方策不備」の安全対策不適合について解析する。
 - ・管理面からリスクアセスメント実施や安全対策実施の背景や動機付けについて解析する。
 - ・作業面から労働災害の多い経験年数の短い作業員の年齢層による災害要因の違いについて解析する。

1. 6. 本研究の構成

1.6.1. 本研究の構成と内容

本研究は、図 16 の「本研究の構成」に示したように、以下の 4 章で構成した。また、引用した著者の投稿論文¹²¹⁻¹²⁵⁾の該当章とタイトルについて記載した。

第 1 章 序論（本研究の背景と目的）

第 2 章 既存不適合機械設備残存台数と労働災害件数の相関性に関する定量的解析

第 3 章 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析

第 4 章 総括

第 1 章では、本研究の目的を明確化する上で、本研究の背景について述べた。製造業においては、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の発生件数が下げ止まっている。機械等による労働災害が下げ止まっている理由として経年化機械設備が残存して使用されていることが考えられる。経年化機械設備が残存している背景として、我が国の高度経済成長時代での活発な設備投資とその後の成長が横ばいの時期において設備投資が低調であったことが影響していると推定される。本研究の基となった厚生労働省「報告書」で示された経年化機械設備が多く残存していること及び労働災害が発生していることの背景について述べた。また、経年化機械設備の設備面からみた現状だけでなく管理面、作業員面からみた現状について述べた。

第 2 章では、厚生労働省「報告書」で示された経年化機械設備の労働災害リスクである「設備の老朽化」と「保護方策不備」に焦点を当て、「保護方策不備」の経年化機械設備を「既存不適合機械」と定義して、代表的な経年化機械設備の残存台数の推計方法を検討した。また、「既存不適合機械」の残存台数が機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害件数が下げ止まっている現状と定量的に相関していることを示した。解析にあたっては「既存不適合機械」から「適合機械」へ徐々に移行する変化点の存在を仮定し、その解析方法と解析結果について述べた。

第 3 章では、既往の研究例において、個々の機械設備や個々の労働災害に関する研究例が多いことから経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について解析する方法について検討した。厚生労働省「報告書」では、アンケートの集計データを基に設備面、管理面、作業員面からの問題点を挙げている。本研究では「報告書」に記載されたクロス集計データなどを基にして多変量解析を行い、経年化機械の設備面、管理面、作業員面から「報告書」に示された特徴と問題点についてその妥当性を検討し、その検討結果について述べた。

第 4 章では、第 1 章から第 3 章までの検討結果を踏まえて総括した。

第1章	序論(本研究の背景と目的)	
第2章	既存不適合機械設備残存台数と労働災害件数の相関性に関する定量的解析	
	① 既存不適合機械の残存台数の推計 ② 既存不適合機械の残存台数と労働災害件数の相関性に関する解析	論文1)
第3章	経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析	
	(1) 経年化機械設備の設備面からみた安全対策不適合の解析	論文2, 3)
	(2) リスクセジメント実施や安全対策実施の動機付けに関する管理面からの解析	論文4)
	(3) 経験年数の短い中高年齢作業者に求められる教育訓練に関する作業面からの解析	論文5)
第4章	総括	

図 16 本研究の構成

1. 6. 2. 本研究に関する投稿論文と発表状況

本研究によって得られた該当 (図 16) する投稿論文を以下に示した。

論文 1) Junya WATANABE, Consideration of occupational accidents caused by existing non-conforming aging power machinery, Journal of Japan Society for Safety Engineering, 62-2, pp.130-138 (2023)

論文 2) 渡辺純哉, 経年化機械設備の労働災害防止の安全対策に関する考察—経年化機械設備に起因する「はさまれ, 巻き込まれ」労働災害—, 安全工学, 60-4, pp.246-254 (2021)

論文 3) 渡辺純哉, 経年化機械設備に起因する労働災害に関する考察—保護方策の不備による「はさまれ, 巻き込まれ」労働災害—, 安全工学, 60-4, pp.255-262 (2021)

論文 4) 渡辺純哉, リスクアセスメント及び労働災害防止の安全対策に関する考察—最新の安全対策実施の背景要因—, 安全工学, 60-5, pp.366-374 (2021)

論文 5) 渡辺純哉, 動力機械に起因する労働災害の作業者の経験年数に関する考察—作業者の経験年数と年齢分布の解析—, 安全工学, 61-2, pp.125-132 (2022)

1. 7. 本研究で解析に用いたデータ

本研究で解析に用いたデータを以下に示した。厚生労働省「報告書」のデータを用いるとともに、厚生労働省が「職場のあんぜんサイト」で公表している「労働災害（死傷）データベース」（2006（平成18）年～2017（平成29）年）12年分（全数の約1/4）（以下、「死傷DB」と記載する）及び「死亡災害データベース」（2006（平成18）年～2017（平成29）年）12年分（以下、「死亡DB」と記載する）のデータを用いた。また、厚生労働省が公表している労働災害統計、経済産業省が公表している生産動態統計年報（旧機械統計年報）、財務省が公表している法人企業統計のデータを用いた。

なお、これらのデータは産業分類、機械分類、労働災害分類などの分類方法が年次により変更や見直しを含んでいることもあり、利用可能なデータ分類のある年次範囲で用いることとした。

経年化機械設備の残存台数の推計には、以下のデータを使用した。

- ・厚生労働省「報告書」
機械設備の経年データ（2017年時点）
経年化機械設備及び経年化機械設備に起因する労働災害に関するアンケート集計結果
- ・経済産業省「生産動態統計年報（旧機械統計年報）」に記載された代表的な動力運搬機、一般動力機械などの生産台数データ
1949年から2020年までのコンベアの生産台数
1954年から2020年までの圧延機の生産台数
1955年から2020年までの製紙機械の生産台数
1960年から2020年までのプラスチック加工機械の生産台数

機械による死亡災害率の計算には、以下のデータを使用した。

- ・厚生労働省「労働災害統計」に記載された労働災害データ
1988年から2020年までの機械中分類（動力運搬機、一般動力機械など）別の死亡災害件数
- ・厚生労働省「職場のあんぜんサイト」の労働死亡災害データ
1991年から2018年までの主な機械分類（動力運搬機、一般動力機械など）別の死亡災害件数
1999年から2018年までの詳細機械分類（コンベア、フォークリフトなど）別の死亡災害件数
と災害状況の説明
- ・財務省「法人企業統計」に記載された各種企業統計データ
基礎素材型産業の従業者数及び企業数などのデータ

経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析には、以下のデータを使用した。

- ・厚生労働省「報告書」
機械設備の経年データ（2017年時点）
経年化機械設備に関するアンケート集計結果
経年化機械設備に起因する労働災害に関するアンケート集計結果

なお、本研究では「報告書」の中で実施された経年化機械設備及び「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に関するアンケート回答結果のデータを用いているが、「報告書」の設問肢の記載内容については、論文や参考図書などによって定義方法が異なる場合もあるが、本研究では、「報告書」の記載内容を採用することとした。

1. 8. 本研究で用いた解析方法

本研究では、以下の解析方法を用いた。詳細については後述する。

1. 8. 1. 経年化機械設備残存台数推計と労働災害件数の相関性に関する定量的解析

機械設備の推計残存台数と「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の相関性の検討に関しては、3つのステップにより解析を行った。

- 1) 経年化機械設備のワイブル信頼度関数のパラメータの決定
- 2) 求めたパラメータを用いてワイブル信頼度関数を適用した経年化機械の残存台数の推計
- 3) 得られた推計台数と下げ止まっている死亡災害件数との相関性の検討

厚生労働省「報告書」に記載された機械の経年化データにワイブル信頼度関数を適用して、コンベア、圧延機、製紙機械、及びプラスチック加工機械の残存台数の推計を行った。

ワイブル信頼度関数 $R(t)$ は次のように表される。

$$R(t) = \exp(-((t-\gamma)/\eta)^m)$$

ここで、

- t : 時間パラメータ (投入されてからの経年数)
- m : 形状パラメータ (m > 1 で、摩耗型故障の形状となる)
- η : 尺度パラメータ (グラフのスケーリングを決定)
- γ : 位置パラメータ

厚生労働省「報告書」に記載されたコンベア及びロール機の経年別の台数データを基に、ワイブル分布のパラメータ m と η を、既存の文献等に記載の方法に従って、累積ハザード法、 Kaplan-Meier 法での打ち切りデータの取扱い法、累積ハザード法での位置パラメータ γ を用いてプロット値を直線に近づける方法などを用いて得た^{127, 128)}。各年の機械の生産台数にワイブル信頼度関数を適用して残存台数を推計した。

得られた各年の経年化機械の残存台数の推計値から、既存不適合機械から適合機械に徐々に置き換わる変化点の存在を仮定することにより、既存不適合機械の残存率と死亡災害率の相関性について検討した。詳細については第2章で後述した。

1.8.2. 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析

経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析には、多変量解析を用いた¹²⁹⁾。労働災害、安全対策等の研究例や報告例に関しては、発生した個々の労働災害について、原因や対策を検討する例が多いことから、多くの労働災害データを基にして解析する方法として多変量解析を用いた。

厚生労働省「報告書」のアンケート回答集計結果から主として経年別に機械設備毎、事業場毎など項目毎に集計したクロス集計データを用いた。クロス集計データの多変量解析には、「統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver. 7.8」¹³⁰⁾を用いて多変量解析の一手法であるコレスポンデンス分析を行った¹³¹⁾。本研究では、クロス集計データを基にして、項目間の相関性を把握する解析ができる点でコレスポンデンス分析による解析方法を選定した。コレスポンデンス分析では、解析によって得られた寄与率、累積寄与率等の数値が十分に高い値をとっていることを確認した上で得られた散布図が十分に意味を持つと判断した。また、 χ^2 検定を行って、群間に差があることを確認した。このようにして得られた散布図について考察を行った¹²⁹⁾。コレスポンデンス分析では、縦軸、横軸の定義は特にしない点、距離が近いほど項目間の相関性が高い点から項目間の距離に着目した。また、クラスター分析を併用して相関性の確認、散布図の分布状態の確認を行った。詳細については第3章で後述した。

第2章 既存不適合機械設備残存台数と労働災害件数の相関性に関する定量的解析

2. 1. 第2章のはじめに

本章では、長期間にわたり製造に使用されており、現在の国際的な安全対策の技術水準からみて不具合のある「保護方策不備」の経年化機械設備を「既存不適合機械」と定義した。「既存不適合機械」の残存台数を推計する手法を検討して、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の件数が下げ止まっている傾向と相関性があることを明らかにする目的で検討を行った。

検討にあたり、「既存不適合機械」から最新の安全レベルを備える「適合機械」へ移行する変化点の存在を仮定した。前述した検討課題1について以下に記載した。

検討課題1

- ・「既存不適合機械」は、どの程度残存して使用されているのか、残存台数の推計方法を検討する。
- ・推計した残存台数が、「はさまれ、巻き込まれ」災害件数が下げ止まりとなっている傾向と関連性があるかどうか検討する。
- ・上記した関連性について検討する上で、「既存不適合機械」から「適合機械」へ徐々に移行する変化点の存在を仮定する。

2. 2. 製造業における既存不適合機械による労働災害

2.2.1. はじめに

厚生労働省が毎年公表している労働災害統計によると、製造業では「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害が多く発生しており、減少傾向にはあるが下げ止まっている。「令和2年労働災害発生状況の分析等」においても、製造業全ての労働災害死亡者数のうちの33.1%、死傷者数は24.2%となっている¹³²⁾。また、これらの労働災害の主たる起因物は、動力運搬機及び一般動力機械である。

一方、厚生労働省「報告書」では、経年化機械設備に起因する労働災害について解析を行っている。その結果、保護方策に不備のある経年化機械設備が残存していることが、重篤な労働災害の原因の1つであるとしている。既存不適合機械設備が残存していることが下げ止まっている「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の一因であるとするならば残存台数と労働災害件数には相関性があると考えられる。しかしながら、経年化機械設備の残存台数と労働災害件数との相関性について検討を行った例はない。この相関性について検討するためには、経年化機械設備の残存台数を推計して労働災害件数の推移との相関性を調べる必要がある。

本章では、経年化した既存不適合機械として定義した保護方策に不備のある経年化機械設備の残存台数を推計した。続いて、推計残存台数の推移と動力機械に起因する年間死亡災害発生率との相関性について解析した。その結果、推計残存台数の推移と死亡災害発生率の推移がよく一致していることが明らかとなった。

前述したように、製造業には、大別して、基礎素材型、加工組立型、生活関連型がある（図17）。加工組立型では、例えば、自動車産業や電気製品のように時代の流れに合わせて新製品が開発されて販売されることから、加工組立型の設備や装置は、比較的短期で更新が行われる。生

活関連型でも同様に設備や装置は順次更新が行われる。一方、基礎素材型では、例えば、金属、製紙、セメント、石油精製、化学など機械設備により生産を行って、一定のスペックの製品を長期にわたり生産供給するところから、生産設備や生産装置を一旦導入すると長期間にわたり、生産に利用することが多く行われている。

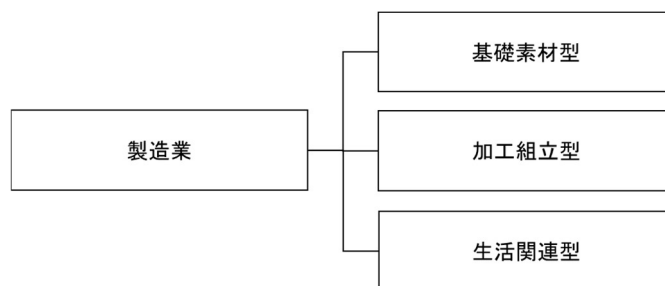


図 17 製造業の分類

本研究では、製造業の中でも、特に厚生労働省「報告書」において調査対象とした基礎素材型について、「既存不適合機械」の推計残存台数と労働災害件数の推移の相関性について検討を行った。

また、厚生労働省「報告書」の記載内容を引用すると、経年化機械設備の「保護方策不備」については、設置時に講じた保護方策が時間の経過により現在の安全基準からみて不十分なものとなった結果であり、隔離の原則や停止の原則に沿った「保護方策」による安全対策のレベルが最新のレベルに比較して不十分なことにより労働災害リスクが高いと記載されている。

2.2.2. 解析方法

2.2.2.1. 解析に用いたデータ

解析に使用したデータについて以下に記載した。

前述したようにこれらのデータは産業分類、機械分類、労働災害分類などの分類方法が年次により変更や見直しを含んでいることもあり、利用可能なデータ分類のある年次範囲で用いることとした。

不適合機械の残存台数の推計には、次のデータを使用した。

- ・厚生労働省「報告書」
機械設備の経年データ
経年化機械設備及び経年化機械設備に起因する労働災害に関するアンケート集計結果
- ・経済産業省「生産動態統計年報（旧機械統計年報）」の機械の生産台数データ

機械による死亡災害率の計算には、次のデータを使用した。

- ・厚生労働省「労働災害統計」に記載された労働災害データ
1988年から2020年までの機械中分類（動力運搬機、一般動力機械など）別の死亡災害件数
- ・厚生労働省「職場のあんぜんサイト」の労働死亡災害データ

1991年から2018年までの主な機械分類（動力運搬機、一般動力機械など）別の死亡災害件数
 1999年から2018年までの詳細機械分類（コンベア、フォークリフトなど）別の死亡災害件数
 と災害状況の説明

- ・財務省「法人企業統計」の基礎素材型産業の従業者数及び企業数のデータ

厚生労働省「報告書」には、調査対象とした機械全体数、ロール機、コンベアの2017（平成29）年における経年分布別の台数と割合のデータ（表6）が記載されている。

表6 「報告書」に記載された2017年での機械全体数、ロール機、コンベアの経年別台数と割合

経年数\機械設備	機械全体数		ロール機		コンベア	
	台数	割合	台数	割合	台数	割合
20年未満	1056	32.8%	202	27.7%	339	32.5%
20年以上30年未満	654	20.3%	103	14.1%	198	19.0%
30年以上40年未満	615	19.1%	153	21.0%	201	19.3%
40年以上50年未満	578	17.9%	142	19.5%	231	22.1%
50年以上	318	9.9%	130	17.8%	74	7.1%
合計	3221	100%	730	100%	1043	100%

出典：厚生労働省「報告書」（平成30年度98頁、23頁）

表6からロール機の経年別の台数は、20年未満が202台、20年以上30年未満で103台、30年以上40年未満で153台、40年以上50年未満で142台、50年以上で130台、この期間の合計として730台のロール機があったことが示されている。また、コンベアについてもそれぞれの期間における台数が記載されている。これらのデータを用いて解析を行った結果を「2.2.2.4. 解析方法」及び表10以降に後述した。

なお、厚生労働省「報告書」のアンケート対象とした業種別、設備別の動力機械の分類及び代表的な設備（コンベア、ロール機）の分類についてそれぞれ下表（表7）に示した。アンケートは各種非鉄金属製造業、セメント製造業、紙パルプ製造業、石油精製、化学工業などの基礎素材型産業の事業場に対して実施されている。調査対象とする機械設備は「はさまれ、巻き込まれ」労働災害が多数発生している動力機械（一般動力機械、動力運搬機、金属加工用機械など）の中から、各業界共通機械としてコンベア、ロール機、成形機、サッシ加工等に分類し、それらを業種ごとに選定して調査対象設備としている。

表 7 「報告書」でアンケート対象とした業種別、設備別の動力機械の分類

業界	設備の種類
アルミニウム	コンベア
	ロール機
	成形機
	サッシ加工
セメント	ベルトコンベア（原料工程）
	ベルトコンベア（焼成工程）
	ベルトコンベア（仕上工程、製品出荷）
	ロータリーキルン
	ボールミル（原料工程）
	ボールミル（仕上工程）
化学	コンベア
	ロール機
	成形機
	混合機、粉碎機
	ロータリーバルブ
鋳業	ベルトコンベア（原料受入工程）
	ベルトコンベア（溶錬工程）
	ベルトコンベア（電解工程）
	ボールミル（原料受入工程）
	その他（アノード整列機）
	その他（カソード剥取機）
伸銅	コンベア
	ロール機
	成形機
	その他
製紙	コンベア
	カッター
	ドライヤーパート
	プレスパート
	ワインダー
石油	コンベア
	その他
新金属	コンベア、ロール機、成形機、混合機・粉碎機、加工機械、その他
マグネシウム	コンベア、ロール機、成形機、その他
チタン	コンベア、混合機・粉碎機、その他

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 74 頁）

また、本研究で解析対象としたコンベアとロール機の詳細は、「報告書」に記載されている。下表（表 8）に各業種の設備を示した。

表 8 代表的な設備（コンベア、ロール機）の分類

代表的設備	業種	各業種の設備
コンベア	アルミニウム	コンベア
	セメント	ベルトコンベア（原料工程）、ベルトコンベア（焼成工程）、ベルトコンベア（仕上工程、製品出荷）
	化学	コンベア
	鉱業	ベルトコンベア（原料受入工程）、ベルトコンベア（溶錬工程）、ベルトコンベア（電解工程）
	伸銅	コンベア
	製紙	コンベア
	石油	コンベア
	新金属	コンベア
	マグネシウム	コンベア
	チタン	コンベア
ロール機	アルミニウム	ロール機
	セメント	－
	化学	ロール機
	鉱業	－
	伸銅	ロール機
	製紙	ドライヤーパート、プレスパート、ワインダー
	石油	－
	新金属	ロール機
	マグネシウム	ロール機
	チタン	－

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 75 頁）

2.2.2.2. 解析対象の製造業の従業員数と会社数の推移

製造業は、前述したように基礎素材型、加工組立型、生活関連型に大別できる。「報告書」のアンケート調査は、各種非鉄金属製造業、セメント製造業、紙・パルプ製造業、石油精製業、化学工業などの基礎素材型産業を対象に実施している。本研究では、基礎素材型産業の範囲での動力機械台数の分析を行った。

法人企業統計から製造業の従業員数（図 18）と会社数（図 19）の推移を基礎素材型、加工組立型、生活関連型に分類して示した。

法人企業統計によると、1988 年から 2020 年までの製造業全体の総従業員数と会社数は基礎素材型、加工組立型の場合とほぼ相関していることから、製造業全体で使用されている個々の機械台数と基礎素材型で使用されている個々の機械台数が比例するとみなした。

また、解析対象とした 1988 年から 2020 年において、製造業の従業員数は 600 万人から 800 万人程度で変動している。基礎素材型産業の従業員数は、200 万人から 300 万人程度で変動している。なお、法人企業統計は、資本金 1000 万円以上の企業を対象とした統計となっている。

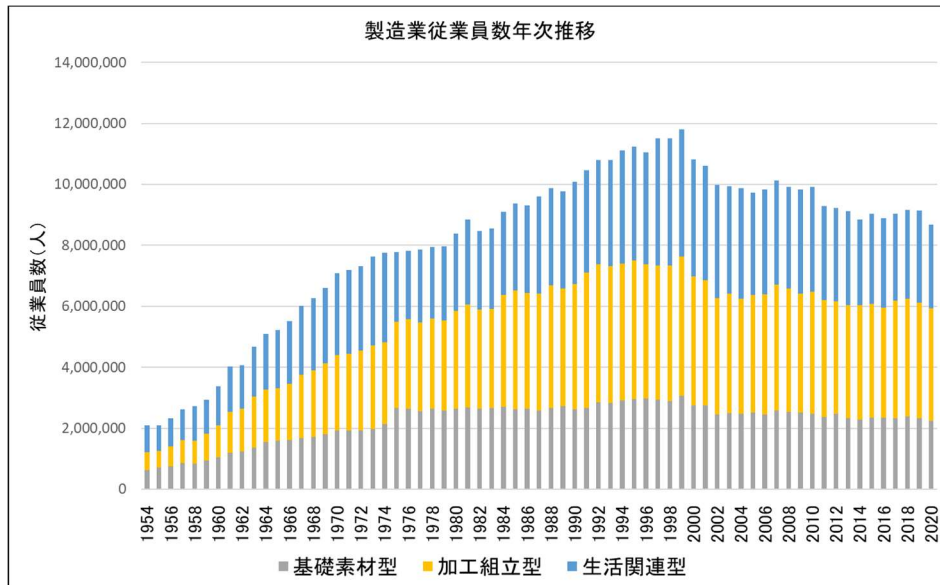


図 18 製造業従業員数の年次推移

出典：法人企業統計

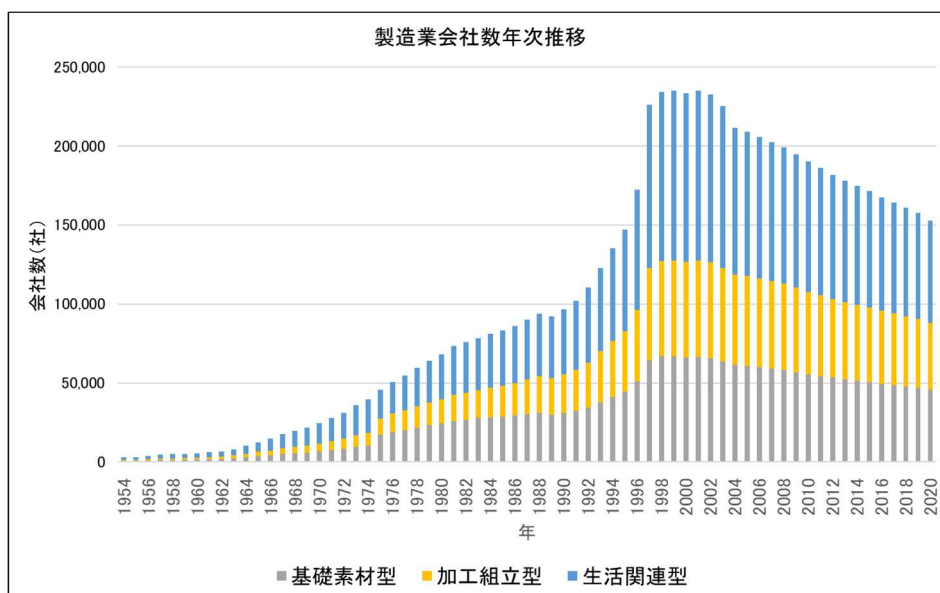


図 19 製造業会社数の年次推移

出典：法人企業統計

2.2.2.3. 解析対象の動力機械と死亡災害

厚生労働省「報告書」では、動力機械としてコンベア（代表的な動力運搬機）、ロール機（代表的な一般動力機械）及びその他多数の動力機械に起因する労働災害と機械の経年数について解析を行っている。一方、労働災害統計には、1988年から2020年までの機械中分類（動力運搬機、一般動力機械など）別の死亡災害件数が記載されている。また、「職場のあんぜんサイト」の動力運搬機の詳細分類データによると、1999年から2018年までの「はさまれ、巻き込まれ」による労働災害は、それぞれ、コンベア（53%）、その他の動力運搬機（20%）、フォークリフ

ト（18%）である。「その他の動力運搬機」の個別データの事故状況の詳細な説明によると、吊り上げ設備、スクリーコンベア、バケットコンベアなどのコンベア、各種輸送機器などが該当している。また、全体の91%を占めるコンベア、その他の動力運搬機、フォークリフトによる死亡災害の割合は、この期間においてほぼ一定であった。一方、生産動態統計年報（旧機械統計年報）にはコンベアの種類があり、1945年から2020年までの生産台数のデータがある。これらの理由から、コンベアを代表的な動力運搬機として選択した。

ロール機については、生産動態統計年報（旧機械統計年報）には該当する分類がなく、ロール機を含む機械またはロール機に類する機械として、圧延機（1954年～2020年）、製紙機械（1955年～2020年）、プラスチック加工機械（1960年～2020年）などの生産データが公表されている。一方、1999年から2018年までの一般動力機械による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害のデータによると、その他の一般動力機械（49%）、混合機、粉碎機（19%）、ロール機（印刷ロール機を除く）（18%）に起因する労働災害が記載されている。この期間の各機械による死亡災害の割合はほぼ一定であり、この3種類の機械で一般動力機械全体の86%を占めている。このことから、圧延機、製紙機械、プラスチック加工機械の残存台数の推計には、「報告書」のロール機の経年データを使用した。これらの3種類の機械残存台数に関する推計結果については後述した。

厚生労働省「職場のあんぜんサイト」に公表されている労働災害の起因物である動力機械と物上げ装置、運搬機械について抜粋して、大分類、中分類、小分類の分類名を表9に示した。

表9 厚生労働省「職場のあんぜんサイト」に記載された起因物の分類（抜粋）

起因物（大分類）		起因物（中分類）		起因物（小分類）	
コード	分類名	コード	分類名	コード	分類名
1	動力機械	11	原動機	111	原動機
		12	動力伝導機構	121	動力伝導機構
		13	木材加工用機械	131	丸のこ盤
				132	帯のこ盤
				133	かんな盤
				134	角のみ盤、木工ボール盤
				135	面とり盤、ルータ、木工フライス盤
				136	チェーンソー
				139	その他の木材加工用機械
				14	建設機械等
				142	掘削用機械
				143	基礎工用機械
				144	締固め用機械
				145	解体用機械
				146	高所作業車
				149	その他の建設用機械
		15	金属加工用機械	151	旋盤
				152	ボール盤、フライス盤
				153	研削盤、パフ盤
				154	プレス機械
				155	鍛圧ハンマ
				156	シャー
				159	その他の金属加工用機械
				16	一般動力機械
162	混合機、粉碎機				
163	ロール機（印刷ロール機を除く）				
164	射出成型機				

起因物（大分類）		起因物（中分類）		起因物（小分類）	
コード	分類名	コード	分類名	コード	分類名
				165	食品加工用機械
				166	印刷用機械
				167	産業用ロボット
				169	その他の一般動力機械
2	物上げ装置、運搬機械	21	動力クレーン等	211	クレーン
				212	移動式クレーン
				213	デリック
				214	エレベータ、リフト
				215	揚貨装置
				216	ゴンドラ
				217	機械集材装置、運材索道
				219	その他の動力クレーン等
				22	動力運搬機
		222	フォークリフト		
		223	軌道装置		
		224	コンベア		
		225	ローダー		
		226	ストラドルキャリヤー		
		227	不整地運搬車		
		229	その他の動力運搬機		
		23	乗物	231	乗用車、バス、バイク
				232	鉄道車両
				239	その他の乗物

出典：厚生労働省「職場のあんぜんサイト」

2.2.2.4. 解析方法

解析にあたっては、以下の3つのステップにより行った。

- 1) 経年化機械設備のワイブル信頼度関数のパラメータの決定
- 2) 求めたパラメータを用いてワイブル信頼度関数を適用した経年化機械の残存台数の推計
- 3) 得られた推計台数と下げ止まっている死亡災害件数との相関性の検討

解析の基にしたデータを表 10 に示した。推計方法の説明を以下の本文、表 10 注記及び図 20 から図 22 に示した。検討結果について図 23 から図 37 に示した。

なお、機械設備の経年による残存台数の推計に関して厚生労働省「報告書」以外に適切なデータがないことから、本研究では、代表的な動力運搬機として、コンベア（コンベアに適用）、代表的な一般動力機械としてロール機（圧延機、製紙機械、及びプラスチック加工機械に適用）として、それぞれの推計を行った。また、両者を比較して同様な傾向を示すかどうかについても確認した。

1) 経年化機械設備のワイブル信頼度関数のパラメータの決定

ワイブル分布の形状パラメータ m と尺度パラメータ η を、厚生労働省「報告書」のデータを基にして、参考文献記載の方法に従って、累積ハザード法、 Kaplan-Meier 法での打ち切りデータの取扱い法を用いて求めた^{120, 127)}。位置パラメータ γ は累積ハザード紙でプロットを直線に近似する方法を用いて求めた^{127, 128)}。

ワイブル信頼度関数 $R(t)$ は次のように表される。

$$R(t) = \exp(-((t-\gamma)/\eta)^m)$$

ここで、

- t : 時間パラメータ (投入されてからの経年数)
- m : 形状パラメータ ($m > 1$ で、摩耗型故障の形状となる)
- η : 尺度パラメータ (グラフのスケールリングを決定)
- γ : 位置パラメータ

表 10 に示すように、厚労省「報告書」には、2017 年での、20 年未満、20 年以上 30 年未満、30 年以上 40 年未満、40 年以上 50 年未満、50 年以上の各年の範囲の機械台数が記載されている。20 年未満のような 20 年間とそれ以外は 10 年間とデータの範囲が異なっている。50 年以上のような打ち切りデータも含まれている。

表 10 に示すように各年次範囲のコンベア (1043 台) 及びロール機 (730 台) の合計台数から、各年次範囲の残存台数 (割合) と廃棄台数を求めた。

各年次範囲の廃棄台数を残存台数で除してハザード値を求め累積値を累積ハザード値とした。

50 年以上のデータについては、カプラン・マイヤー法の打ち切りデータとして取り扱った。

累積ハザード値を累積ハザード紙上にプロットして、直線近似する方法で位置パラメータ γ を求めた。コンベア (図 20) 及びロール機 (図 21) のそれぞれについて示した。

補正したプロットの傾きと y 切片から形状パラメータ m と尺度パラメータ η を求めた¹²⁸⁾。

表 10 2017 年における機械残存台数

年範囲 ^{a)}	20 年未満	20 年以上 30 年未満	30 年以上 40 年未満	40 年以上 50 年未満	50 年以上	合計
t (年) ^{b)}	20- γ	30- γ	40- γ	50- γ	60- γ	-
コンベア						
台数 ^{a)}	339	198	201	231	74	1043 ^{c)}
残存台数(割合) ^{c)}	1043(1)	704(0.67)	506(0.49)	305(0.29)	74(0.07) ^{d)}	-
廃棄台数 ^{d)}	339	198	201	231	0 ^{d)}	
ハザード ^{e)}	0.325	0.281	0.397	0.757	0	
累積ハザード ^{e)}	0.325	0.606	1.004	1.761	1.761	
ロール機						
台数 ^{a)}	202	103	153	142	130	730 ^{c)}
残存台数(割合) ^{c)}	730(1)	528(0.72)	425(0.58)	272(0.37)	130(0.18) ^{d)}	-
廃棄台数 ^{d)}	202	103	153	142	0 ^{d)}	
ハザード ^{e)}	0.277	0.195	0.360	0.522	0	
累積ハザード ^{e)}	0.277	0.472	0.832	1.354	1.354	

注：ワイブル信頼度関数のパラメータ m 及び η は、参考文献^{120, 127, 128)}に記載されている方法で求めた。

- a) 「報告書」には、各年の範囲におけるコンベアとロール機の数に記載されている。
- b) 時間軸は、 $t=20-\gamma$ を開始点とした。ここで、 γ は位置パラメータである。これは、20 年未満は 20 年、それ以外は 10 年と、データの範囲が異なっているためである。
- c) コンベア 1043 台とロール機 730 台の合計値を用いて、 $t=30-\gamma$ から $t=50-\gamma$ までの残存台数 (割合) を計算した。
- d) 50 年以上残存している機械の台数は、カプラン・マイヤー法の打ち切りデータとして取り扱った。
- e) 累積ハザード法を用いてパラメータ m とパラメータ η を得るために、ハザードと累積ハザードの値を計算した。位置パラメータ γ の値は累積ハザード紙上でプロットを線形近似することにより求めた。

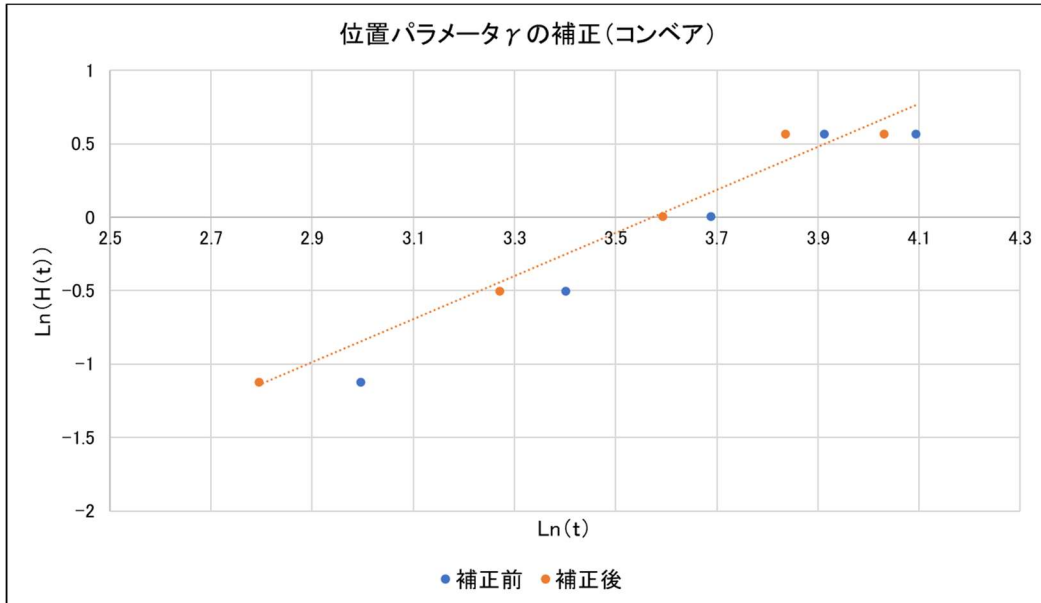


図 20 位置パラメータ γ の補正 (コンペア)

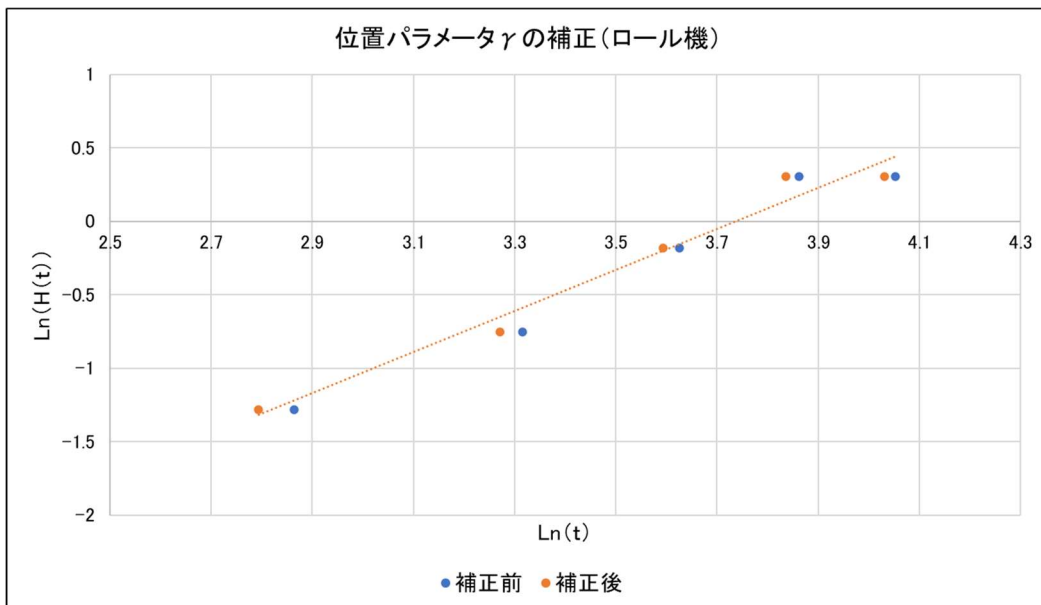


図 21 位置パラメータ γ の補正 (ロール機)

注：累積ハザード紙上で各プロットが最も直線近似できる位置パラメータ γ 値を求めて補正を行った。位置パラメータ補正後の累積ハザード紙上では、 $\text{Ln } H(t) = m (\text{Ln } t - \text{Ln } \eta) = m \text{Ln } t - m \text{Ln } \eta$ の関係が成り立つので、補正後のプロットの傾きとy切片から形状パラメータ m と尺度パラメータ η を求めた。

2) 求めたパラメータを用いてワイブル信頼度関数を適用した経年化機械の残存台数の推計
 コンベア、圧延機、製紙機械、及びプラスチック加工機械の残存台数の推計にワイブル信頼度関数を適用した。推計のイメージを図 22 に示した。n 年に新規導入された機械設備台数に、ワイブル信頼度関数を適用して残存台数を求めた。残存台数は、n+1 年、n+2 年、n+3 年、n+4 年とワイブル信頼度に従って減少する。例えば 2020 年で集計すると各年次で新規導入→使用→廃棄のサイクルで残存している導入年次別の台数を求めることができる。

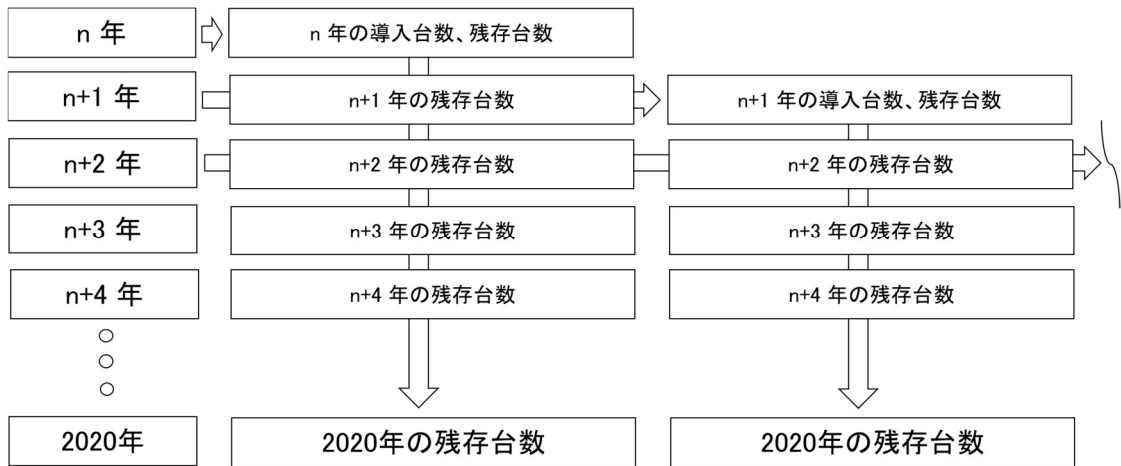


図 22 ワイブル信頼度関数を適用した残存台数の推計イメージ

3) 得られた推計台数と下げ止まっている死亡災害件数との相関性の検討

得られた各年の既存不適合な経年化機械設備の残存台数の推計値から、図 32 に示すように変化点 X 年を仮定した。さらに、X 年を基準として X 年以前に導入された機械設備は既存不適合機械であり、年間の労働災害発生率は、保護方策が不十分な不適合機械の残存台数と相関していると仮定した。この仮定が正しければ、残存台数と死亡災害率の相関係数が最も高い X 年が、不適合機械から適合機械への変化点となるはずである。この変化点を求めるために、各年の既存不適合機械設備残存率の推移と死亡災害率の推移の相関係数を比較して最大値をとる年を選定した。詳細な結果は、図 32 から図 37 に示した。

変化点を基準とした場合の不適合機械の残存台数と「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害発生率の推移をプロットして、両者の相関性について検討した。

なお、長期間にわたりワイブル信頼度関数近似結果を適用して解析を行うが、この期間の各パラメータ値は一定であると仮定した。

2.2.3. 解析結果

2.2.3.1. はさまれ、巻き込まれ労働災害の年間発生比率

図 23 に、1988 年から 2020 年までの基礎素材型産業における一般動力機械と動力運搬機による年間の「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害比率の推移を示した。「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害比率の推移は、減少傾向にはあるが下げ止まっている。

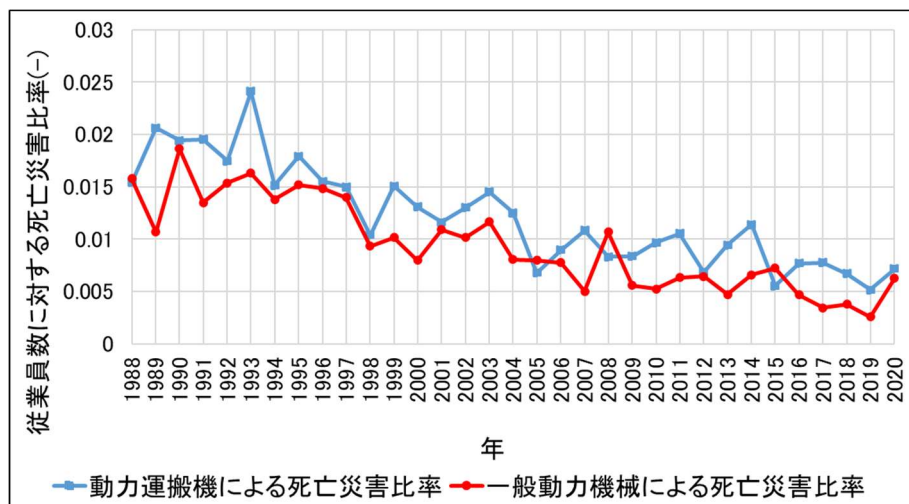


図 23 基礎素材型の動力運搬機と一般動力機械による「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害比率

注：死亡災害比率は以下の方法で求めた。基礎素材型産業の各年の動力運搬機及び一般動力機械に起因する死亡災害数を各年の従業員数で除して 1000 倍した。法人企業統計によると基礎素材型産業の従業員数は、1988 年から 2020 年にかけて 200 万人から 300 万人の間で変動している。

2.2.3.2. 代表的な機械設備の生産台数の推移

生産動態統計調査（旧機械統計年報）のデータに基づき、図 24 に代表的な動力運搬機であるコンベアの 1949 年から 2020 年までの生産台数の推移について棒グラフを示した。なお、コンベアの内訳としては、ベルトコンベア、チェーンコンベア、ローラーコンベア、その他のコンベアの合計した台数となっている。

一般動力機械であるプラスチック加工機械についても同様のグラフ（図 25）を示した。プラスチック加工機械については、射出成型機、押出成形機、ブロー成型機などの合計した台数となっている。なお、プラスチック加工機械に関しては、1960 年以降のデータが公表されている。同様に、圧延機（図 26）、製紙機械（図 27）の生産台数のグラフを示した。なお、製紙機械に関しては、現在は、国内で機械を製造しているメーカーはなく、欧州の 2 社が製造していることから、最近の生産台数が減少している。本研究では、輸入された機械については考慮せずに解析を行った。

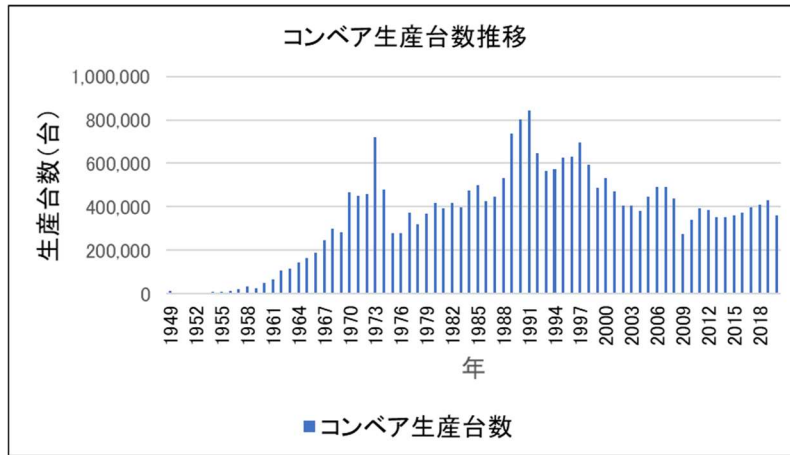


図 24 コンベア（動力運搬機）の生産台数推移

注：経済産業省、生産動態統計年報（旧機械統計年報）の各年のデータから作成した。

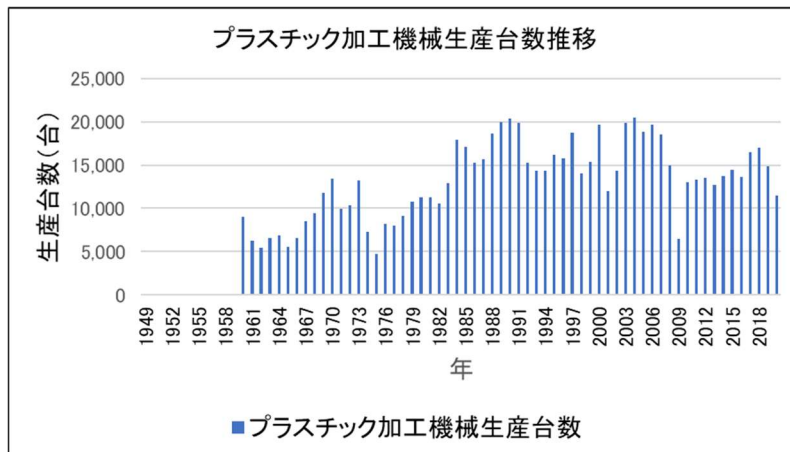


図 25 プラスチック加工機械（一般動力機械）の生産台数推移

注：経済産業省、生産動態統計年報（旧機械統計年報）の各年のデータから作成した。

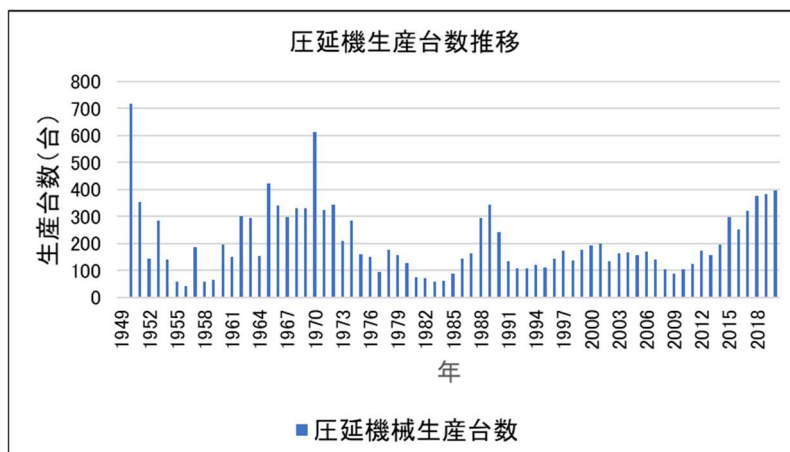


図 26 圧延機（一般動力機械）の生産台数推移

注：経済産業省、生産動態統計年報（旧機械統計年報）の各年のデータから作成した。

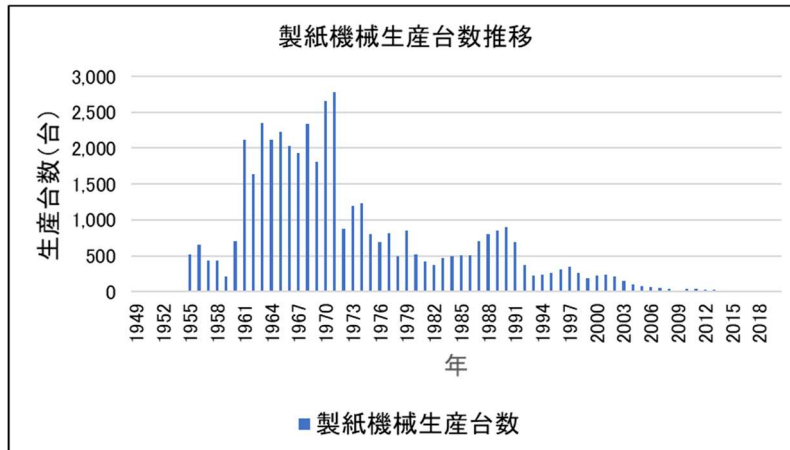


図 27 製紙機械（一般動力機械）の生産台数推移

注：経済産業省、生産動態統計年報（旧機械統計年報）の各年のデータから作成した。

2.2.3.3. ワイブル信頼度関数を用いた機械残存台数の推計

ワイブル信頼度関数 $R(t)$ を適用して、コンベアとロール機の残存台数を推計した。近似パラメータ (m 、 η 、 γ) は、各経年数での機械の残存台数から求めた。コンベアとロール機の残存台数のデータを表 10 に示した。ワイブル信頼度関数の各パラメータ値は、「2.2.2.4. 解析方法」及び表 10 の注記に記載した方法で求めた。図 28 にコンベアとロール機のワイブル信頼度関数による近似結果を示した。コンベアについて得られたパラメータは $\gamma=3.65$ (年)の時に $m=1.47$ 、 $\eta=35.6$ (年)であった。同様に、ロール機では $\gamma=2.47$ (年)の時に $m=1.45$ 、 $\eta=43.7$ (年)であった。得られた位置パラメータ値 γ から、コンベアでは導入後 3.65 年、ロール機では 2.47 年間は廃棄されずその後から廃棄時期が始めていると予測される。また、得られた形状パラメータ値 ($m > 1$) から、いずれも摩耗故障型であった (図 9)。

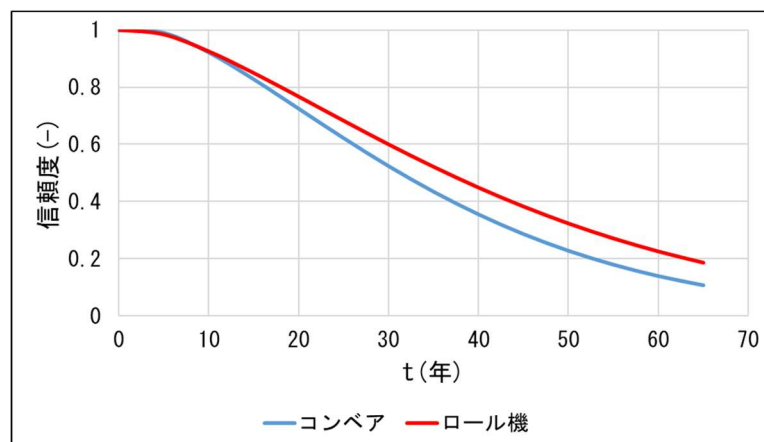


図 28 コンベアとロール機の残存率をワイブル信頼度関数で近似した結果

注：機械の経年データを基に表 10 記載等の方法でワイブル信頼度関数を用いて近似を行った。

「既存不適合機械」の残存台数の推計にあたり、図 29 に示すように「報告書」のデータは厚生労働省の分類に準じているので、前述したように生産動態統計（経済産業省）の分類方法との

相違点を考慮して残存機械台数の推計を行った。コンベアにはコンベア（動力運搬機）のデータ、プラスチック加工機械、圧延機、製紙機械には、ロール機（一般動力機械）のデータを用いた。なお、長期間にわたりワイブル信頼度関数近似結果を適用して解析を行うが、この期間の各パラメータ値は一定であると仮定した。

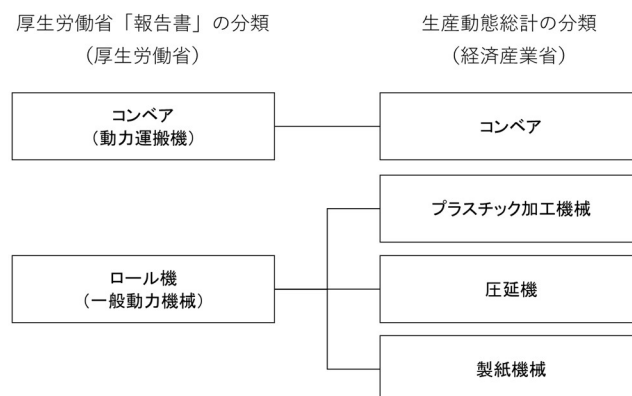


図 29 解析対象とした動力運搬機及び一般動力機械

コンベアの各年の生産台数とワイブル信頼度関数を用いた残存率の近似結果から、新規投入→使用→廃棄のサイクルを考慮した 1990 年と 2020 年のコンベア台数の推計結果を図 30 に示した。図中の①の部分は 1990 年現在の稼働台数のうちの廃棄台数 (5, 980, 901 台)、②の重複部分は 2020 年現在の稼働台数、③は 1990 年以降の新規導入台数である。2020 年には、②と③の合計は 3, 824, 285 (26. 2 %) + 10, 799, 958 (73. 8 %) = 14, 624, 243 (100. 0%) であった。

②の部分の②+③の部分に対する割合、つまり 1990 年以前に生産されて現在も使われている割合は全体の 26. 2%であり、ここでは示していないがプラスチック加工機械では 27. 6%であった。

「報告書」の 2017 年において、30 年以上前の動力機械が約 35%である結果に近い値であることが明らかとなった。ワイブル信頼度関数を用いた残存台数の推計結果からも、30 年以前に導入された機械設備が多く使われていることが明らかとなった。

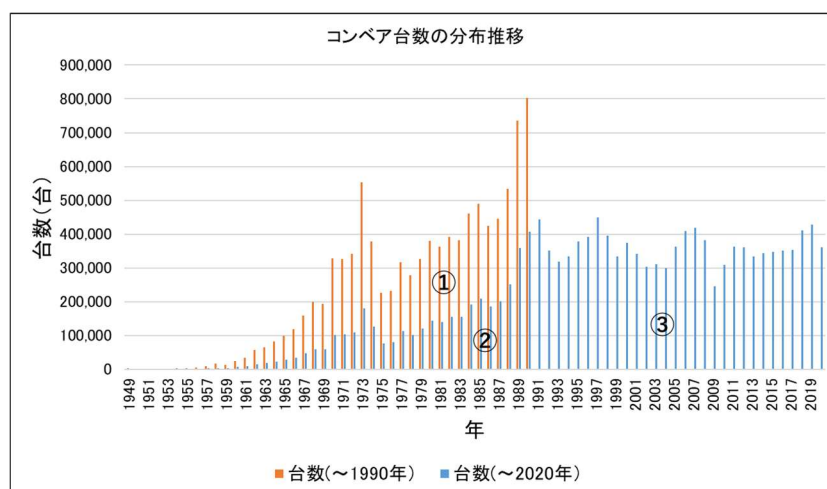


図 30 1990 年と 2020 年のコンベア台数の推計分布

同様に2000年と2020年のコンベア台数の推計結果を図31に示した。①は2000年現在の稼働台数のうちの廃棄台数(6,203,241台)、②の重複部分は2020年現在の稼働台数、③は2000年以降の新規導入台数である。2020年には、②と③の合計は7,592,658(51.9%) + 7,031,585(48.1%) = 14,624,243(100.0%)であった。このことから、20年以前に導入された機械設備は2020年で使用されているコンベアのうち51.9%、また、プラスチック加工機械では49.0%であり、ほぼ半数を占めていることが明らかとなった。

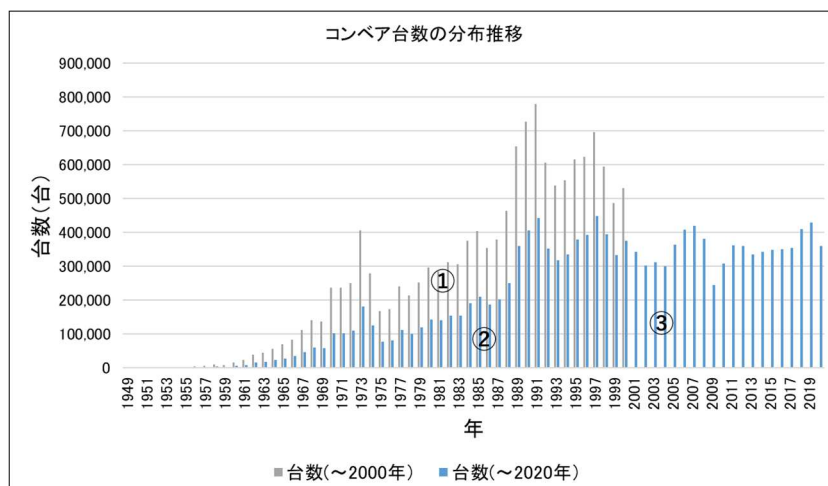


図31 2000年と2020年のコンベア台数の推計分布

2.2.3.4. 不適合機械の残存台数割合と死亡災害比率の相関

図32に示すように、不適合機械から適合機械への変化点をX年として、全台数に占める残存台数割合と死亡災害比率の相関係数が最も高くなるとの仮定に基づき変化点X年を求めた。図33にX年を変数とした場合の1989年から1999年までの各年で既存不適合コンベア残存割合と死亡災害比率の相関係数の値を示した。不適合機械の残存割合と死亡災害比率の相関性が最も高かったのは1994年で、相関係数は0.906であった。

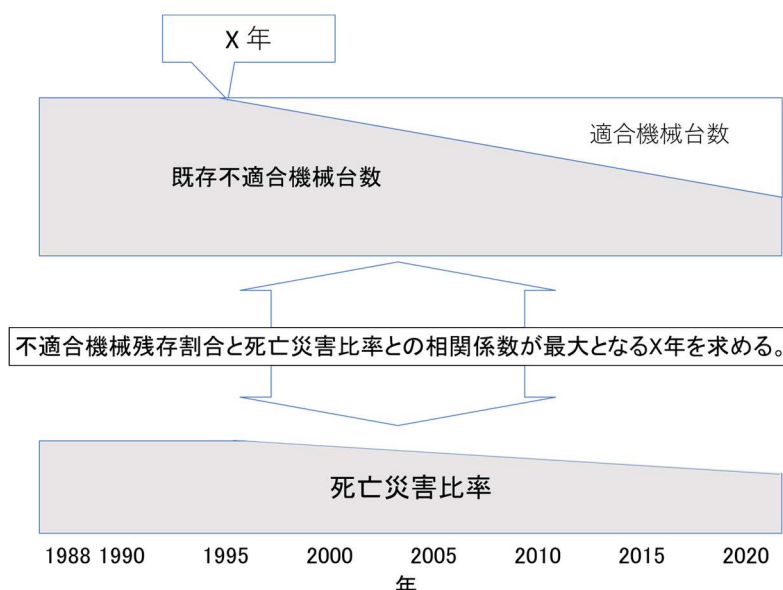


図32 既設不適合機械残存割合と死亡災害比率の相関関係の模式図

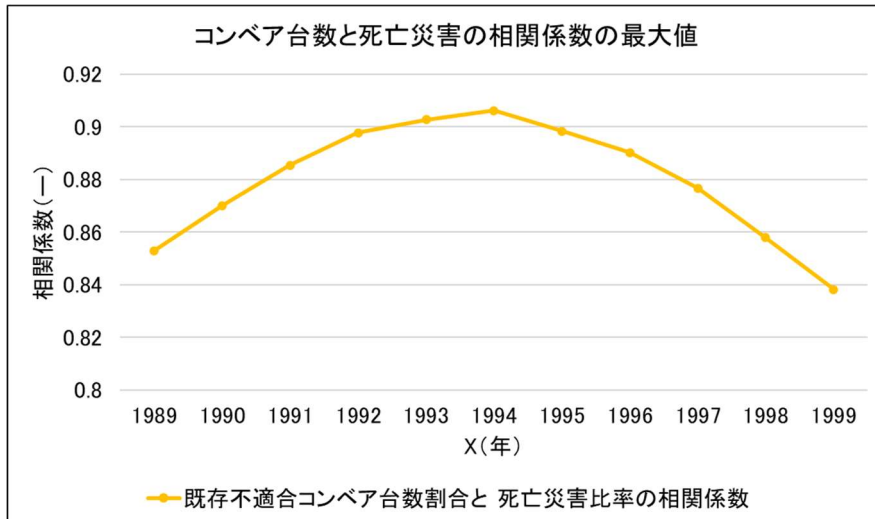


図 33 既存不適合コンベアの残存割合と死亡災害比率の相関係数が最大値となる X 年

注：既存不適合コンベアの残存割合と死亡災害比率の相関係数の変化をプロットし、最も相関の高い X 年を求めた。

図 34 に、X 年を 1994 年とした場合の基礎素材型産業の既存不適合コンベアの残存割合と死亡災害件数を従業員数で割った死亡災害比率のプロットを示した。X 年が 1994 年である場合、既存不適合機械の推計残存割合と死亡災害比率は同様の傾向を示すことが明らかになった。

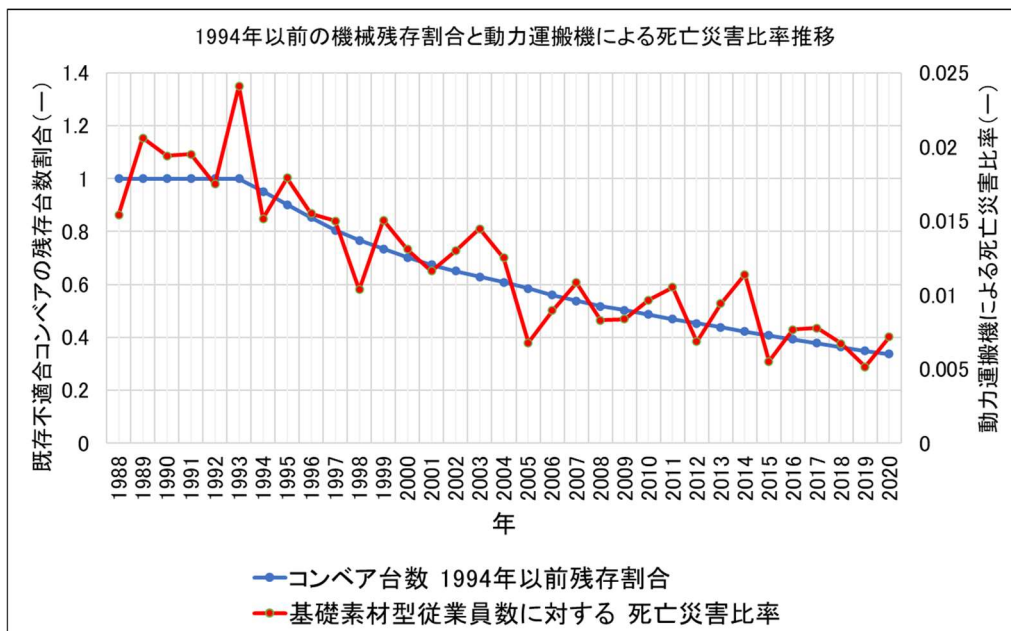


図 34 既存不適合コンベアの残存割合と死亡災害比率 (X=1994 年)

比較として、X 年が 1990 年または 1998 年である場合の基礎素材型産業における既存不適合コンベアの残存割合と死亡災害件数を従業員数で割った比率をそれぞれ図 35 及び図 36 に示した。いずれの場合も死亡災害比率との相関性が 1994 年よりも低くなっていることが明らかである。

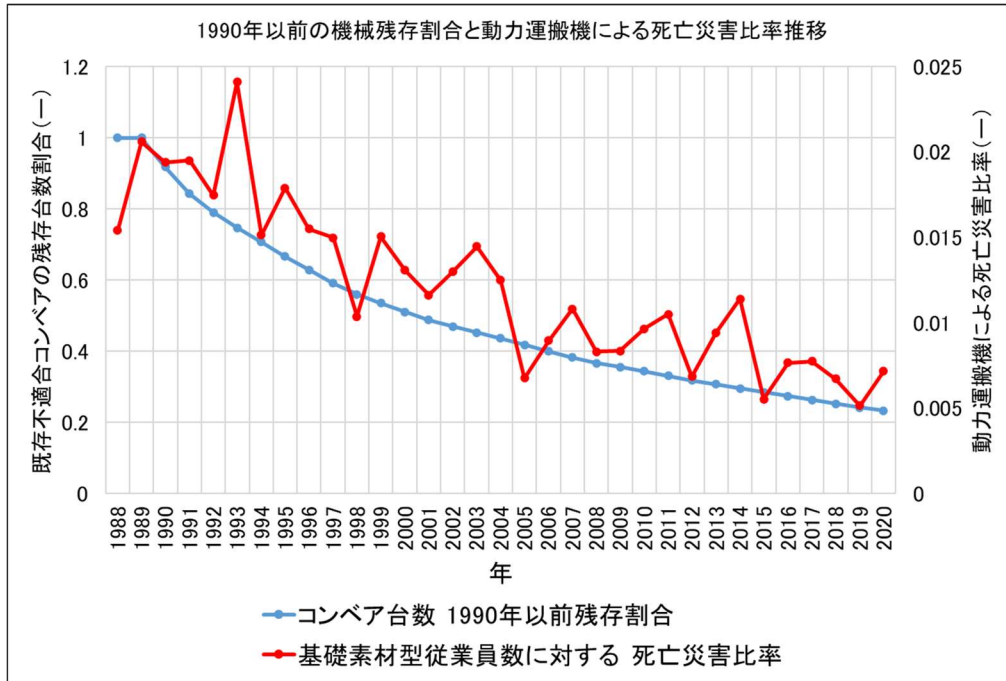


図 35 既存不適合コンペアの残存割合と死亡災害比率 (X=1990 年)

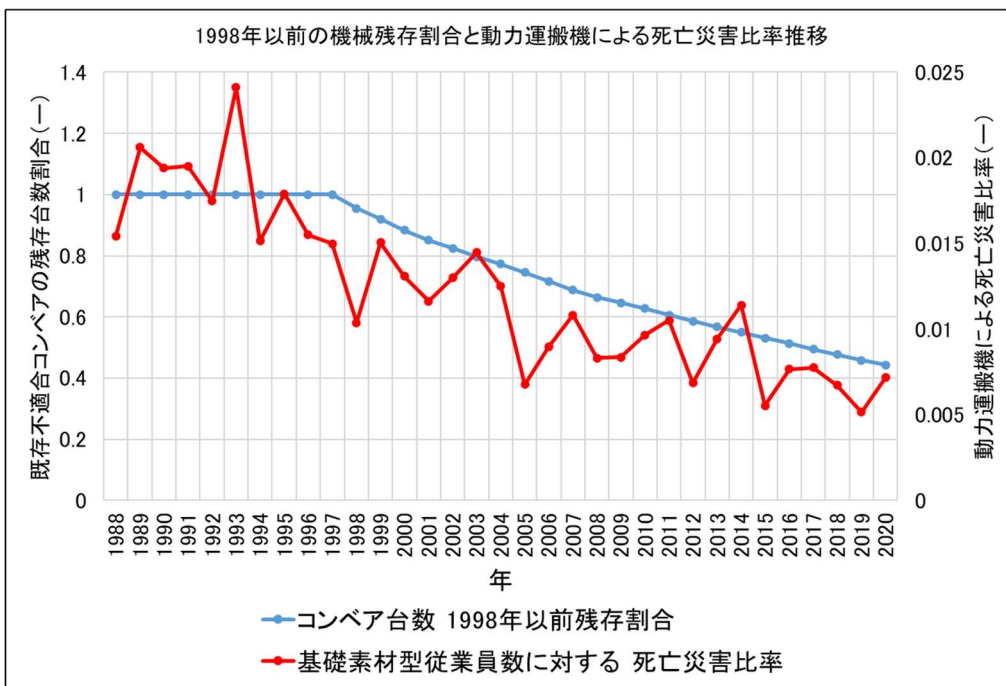


図 36 既存不適合コンペアの残存割合と死亡災害比率 (X=1998 年)

圧延機、製紙機械、プラスチック加工機械について X 年を求めると、それぞれ、1995 年、1993 年、1994 年に既存不適合機械の残存割合と死亡災害比率の相関係数が最も高く、相関係数はそれぞれ 0.906、0.905、0.909 であった。X 年が 1994 年である場合の既存不適合プラスチック加工機械の残存割合と死亡災害比率を図 37 に示した。

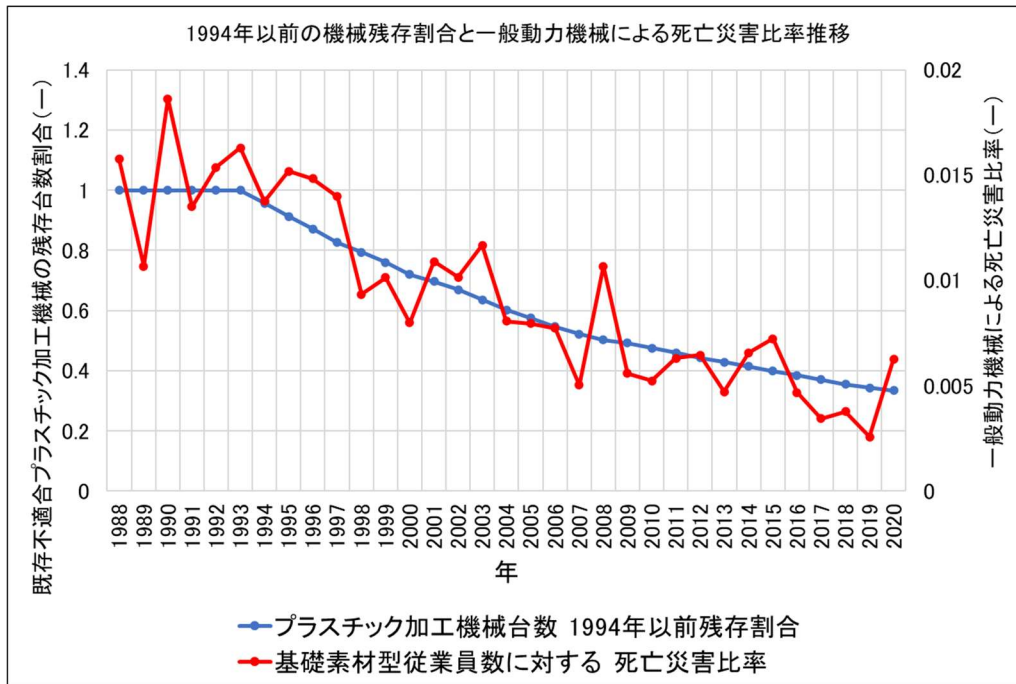


図 37 既存不適合プラスチック加工機械の残存割合と死亡災害比率 (X=1994 年)

動力運搬機であるコンベア及び一般動力機械であるロール機（圧延機、製紙機械、プラスチック加工機械）のいずれにおいても、不適合機械から適合機械に徐々に移行する変化点が 1994 年頃であると推定した。

変化点が 1994 年頃であるとするそれぞれ図 34 及び図 37 に示すように経年化既存不適合機械の残存台数と「はさまれ、巻き込まれ」労働死亡災害発生件数の推移に相関性があると推定した。

2.2.4. 結果と考察

厚生労働省「報告書」に記載された基礎素材型産業の経年化機械設備のデータをもとに代表的な動力運搬機であるコンベア及び代表的な一般動力機械であるロール機についてワイブル信頼度関数のパラメータ値を求めて、それぞれ、コンベア及び圧延機、製紙機械、プラスチック加工機械に適用して既存不適合機械設備の残存台数を推計した。推計した残存台数と「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の件数推移の相関性について検討した。検討にあたり、経年化した不適合機械から最新の適合機械へ徐々に移行する変化点の存在を仮定して解析した。検討結果として以下のことが明らかとなった。

- ・経年化した機械台数の「報告書」データと機械の生産データから、既存不適合機械の残存台数を推計する方法を検討した。ワイブル型累積ハザード法を適用した結果、動力運搬機、一般動力機械のいずれにおいても残存台数を推計できることが明らかになった。30 年以上前に生産されて 2020 年で稼働している割合はコンベアで全体の 26.2%であり、プラスチック加工機械では 27.6%と推計した。「報告書」の 2017 年において、30 年以上前の動力機械が約 35%である結果

に近い結果であることが明らかとなった。また、20 年以上前の機械設備では 2020 年で使用されているコンベアのうち 51.9%、また、プラスチック加工機械では 49.0%であり、ほぼ半数を占めていると推計した。

- ・1988 年から 2020 年までの「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害発生比率は、減少傾向にはあるが下げ止まっている。現在市場に新規導入されている機械設備が最新の保護方策を備えた「適合機械」であると仮定して、「既存不適合機械」が徐々に「適合機械」に置き換わる変化点の存在を仮定すると、1994 年頃と推定された。
- ・変化点を 1994 年として、代表的な動力運搬機であるコンベアについて、1988 年から 2020 年までの労働死亡災害発生件数と経年化した既存不適合機械の残存台数との推移を見ると、傾向はほぼ同じであり相関していることが明らかになった。一般動力機械でも、経年化した既存不適合機械の残存台数と死亡災害の推移と相関していることが明らかとなった。
- ・動力運搬機及び一般動力機械に起因する「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害は「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害全体数の 64%を占めている。また、1994 年以前の機械設備が不適合機械であると仮定して、図 30 や図 31 で示した方法と同様な推計を行った結果、コンベアの場合には 2020 年で稼働しているコンベアのうちの約 36%が、プラスチック加工機械の場合には約 35%が既存不適合機械であると推定した。
- ・「既存不適合機械」が徐々に「適合機械」に置き換わる変化点を 1994 年とすると、代表的な動力運搬機であるコンベアの場合では、既存不適合機械の全台数に対する残存割合は 2020 年で 36%、2025 年で約 30%、2030 年において約 25%で推移すると予測される。残存割合と災害件数が将来にわたり相関すると仮定すると、この減少スピードでは、重篤な「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の顕著な減少は期待できないと推定した。
- ・変化点の背景として、労働安全衛生法の改訂、告示や指針の改訂、第 1 次～第 13 次労働災害防止計画の施策、ISO や JIS 発行の経緯、欧州機械指令など様々な要因が考えられる。特に欧州機械指令が 1989 年から施行されて数回改訂されているが、動力機械の設計や製造に影響を与えたことが考えられる。ただし、更なる考察が必要である。

2. 3. 第 2 章のまとめ

本章では、保護方策に不備のある経年化した既存不適合機械の残存台数を推計する方法を検討した。ワイブル型累積ハザード法を適用した結果、動力運搬機、一般動力機械のいずれにおいても残存台数を推計できることが明らかになった。推計した既存不適合機械の残存台数と、動力機械による「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害件数との相関性について解析した。その結果、これら 2 つの数値の間に相関性があることが明らかとなった。また、「既存不適合機械」が徐々に「適合機械」に置き換わる変化点の存在を仮定すると、1994 年頃と推定された。代表的な動力運搬機であるコンベア及び代表的な一般動力機械であるロール機のいずれにおいても同様な結果が得られた。

第3章 経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析

3. 1. 第3章のはじめに

第3章では、検討課題2として示した経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について、設備面、管理面、作業員面から多変量解析を用いて解析した。厚生労働省「報告書」に記載されたクロス集計データを用いてコレスポネンス分析を行うことにより、経年化機械設備の設備面、管理面、作業員面から示された特徴と問題点について、それらの妥当性について検討してその結果について記載した。

検討課題2

- ・既往の研究として、個々の機械設備や個々の労働災害に関する研究例が多いことから、既存不適合な経年化機械設備の特徴や起因する労働災害の特徴について解析を行う方法を検討する。
- ・解析方法として、多変量解析を適用して、「報告書」に示された経年化機械設備の設備面、管理面、作業員面での特徴や問題点についてその妥当性を検討する。
 - ・設備面から「設備の老朽化」や「保護方策不備」の安全対策不適合について解析する。
 - ・管理面からリスクアセスメント実施や安全対策実施の背景や動機付けについて解析する。
 - ・作業員面から労働災害の多い経験年数の短い作業員の年齢層による災害要因の違いについて解析する。

なお、第3章では、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に関するアンケート回答結果を取りまとめた厚生労働省「報告書」に記載されているクロス集計データを用いて多変量解析を行った。アンケートは各種非鉄金属製造業、セメント製造業、紙パルプ製造業、石油精製、化学工業などの基礎素材型産業の事業場に対して実施されている。調査対象とする機械設備は「はさまれ、巻き込まれ」労働災害が多数発生している動力機械（一般動力機械、動力運搬機、金属加工用機械など）の中から、各業界共通機械としてコンベア、ロール機、成形機、サッシ加工等に分類し、それらを業種ごとに選定して調査対象設備としている。「報告書」に記載された業種別、設備別の動力機械の分類（表7）及び本研究で解析対象としたコンベアとロール機の詳細（表8）は前述したとおりである。

設備面からの解析として「設備の老朽化」及び「保護方策不備」の安全対策不適合の点から、機械設備の経年数と設備の保全、点検、安全対策、最新のレベル化、安全対策ができない理由などについてコレスポネンス分析を実施した。

- ・機械設備経年数と点検回数、修理回数の増加
- ・機械設備経年数と設備保全方式の解析
- ・機械設備経年数と設備点検箇所、点検項目の解析
- ・機械設備経年数と安全対策の実施状況の解析
- ・機械設備経年数と定常作業時安全対策の解析
- ・機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況の解析
- ・機械設備経年数と設備の安全対策ができない理由の解析

また、保護方策不備の経年化機械設備に起因する労働災害の点から労働災害の発生原因、保護方策の実施状況、再発防止対策などについて解析を実施した。

- ・コンベア、ロール機の経年数と労働災害発生原因、保護方策不備の状況
- ・保護方策不備による労働災害後の再発防止対策

管理面からリスクアセスメント実施や安全対策実施の動機付けに関する解析を実施した。労働災害の状況（死亡災害、休業災害、無災害に分類）とリスクアセスメント実施状況や安全対策実施状況との関連性についてクロス集計データを用いてコレスポネンズ分析を実施した。

- ・事業場毎の労働災害（死亡災害、休業災害、無災害）の状況
- ・労働災害の状況と指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況の解析
- ・労働災害の状況とリスクアセスメントの実施見直しのタイミングの解析
- ・労働災害の状況と労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況の解析
- ・労働災害の状況と設備の安全対策の最新レベル化の解析
- ・労働災害の状況と最新の安全指針のレベルに合わせるのが困難な理由の解析
- ・まとめ（多変量解析結果）

作業員面からの解析として、労働災害件数の多い経験年数の短い作業員の年齢構成（若年層から中高年齢層）と年齢別の災害要因の相違点に着目してクロス集計データを用いてコレスポネンズ分析を実施した。

- ・「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況
- ・経験年数の短い作業員の労働災害件数
- ・経験年数の短い死傷者の年齢分布
- ・経験年数の短い死傷者の労働災害要因
- ・経験年数5年未満と5年以上の死傷者の年齢分布と労働災害要因の解析

また、以下にはスイスチーズモデル図を示した。安全対策の優先順位は、設備的対策（工学的対策）、管理的、人（作業員面）的対策の順番で実施することとなっている^{12,13)}。

経年化機械設備においても、設備面での安全対策を優先して、管理面、作業員面の順番で安全対策を実施するべきである。しかしながら、厚生労働省「報告書」に記載された経年化機械設備に関する報告内容からみると実態として、工学的な安全対策が不十分な「保護方策不備」の経年化機械設備において、「リスクアセスメントなどの管理的な手法が不十分」であるケースや作業員面での「ベテランの経験知」や「現場力」により運転が行われているケースなどの可能性が考えられる。

これらのことを考慮に入れて、厚生労働省「報告書」に記載された経年化、老朽化した機械設備の「設備面」から「設備の老朽化」及び「保護方策不備」の安全対策不適合の点で、また、「管理面」でのリスクアセスメント実施状況や安全対策実施状況との背景や動機付けの点から、「作業員面」で労働災害件数の多い経験年数の短い作業員の年齢構成（若年層から中高年齢層）

と年齢別の災害要因の相違点から、それぞれの問題点について多変量解析を行い示された問題点の妥当性の検討を行った。

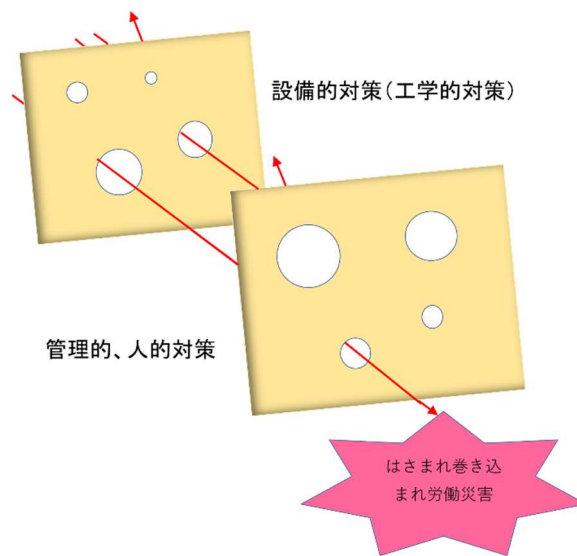


図 38 スイスチーズモデル図（設備的対策、管理的、人的対策）

以下、解析した結果について記載した。

3. 2. 経年化機械設備の設備面からみた安全対策不適合の解析

3. 2. 1. はじめに

本節では、前述した検討課題2のうちの経年化機械設備の「設備面からみた安全対策不適合」について、多変量解析を適用してその妥当性を検討した。前述したように、厚生労働省「報告書」では、経年化機械設備による労働災害リスクとして「設備の老朽化」と「保護方策不備」を挙げている。これら二つの安全対策不適合の問題点について、経年化設備の点検箇所や点検項目など、安全設備や安全設備の最新レベル化などの分析項目について二つの問題点の妥当性を検討することを目的として多変量解析を行った。また、経年化機械設備に起因する「はさまれ、巻き込まれ」労働災害についても「報告書」の記載内容を引用した。

従来、労働災害とその安全対策については、個々の労働災害について解析を行う場合が多い。一方、厚生労働省「報告書」では、約500事業場、約5万1500カ所の設備（そのうち約35%が30年以上の経年化設備）のデータをもとに解析を行っている。経年化機械設備に起因する労働災害及びその安全対策について、全体の傾向や特徴を把握するために「報告書」のクロス集計データを用いて多変量解析を行った。

経年化機械設備の設備面からの安全対策等について、以下に示す分析項目に対して多変量解析の一手法であるコレスポンデンス分析を適用して解析結果を散布図として示した。特に、機械設備の経年数による安全対策の相違点に着目して、設備の保全、点検、安全対策、安全対策ができない理由などの分析項目について解析を実施した。

- ・ 機械設備経年数と点検回数、修理回数の増加
- ・ 機械設備経年数と設備保全方式の解析
- ・ 機械設備経年数と設備点検箇所、点検項目の解析
- ・ 機械設備経年数と安全対策の実施状況の解析
- ・ 機械設備経年数と定常作業時安全対策の解析
- ・ 機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況の解析
- ・ 機械設備経年数と設備の安全対策ができない理由の解析

また、保護方策に不備のある経年化機械設備に起因する労働災害の観点から安全対策の実施状況、再発防止対策などについて「報告書」の記載内容を引用した。

- ・ コンベア、ロール機の経年数と労働災害発生原因、保護方策不備の状況
- ・ 保護方策不備による労働災害後の再発防止対策

3.2.2. 解析方法

解析に用いたデータ、解析方法、解析結果のとりまとめ方法については、以下のとおりとした。

3.2.2.1. 解析に用いたデータ

本節では、前述した「報告書」の中で実施された経年化機械設備及び「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に関するアンケート回答結果のデータを用いた。なお、「報告書」の設問肢の記載内容については、論文や参考図書などによって、定義方法が異なる場合もあるが、本研究では、「報告書」に記載された設問肢の記載内容を採用して解析を行った。また、引用した「報告書」データの掲載年度及び掲載頁をそれぞれの図表に記載して示した。

3.2.2.2. 解析の方法

「報告書」のアンケート回答に基づく機械設備毎、または、事業場毎に解析したクロス集計データを用いて多変量解析を行った。解析結果をそれぞれ表、グラフ、散布図として示した。前述したように、機械設備の経年数と機械設備の保全方式、点検項目、安全対策等の実施状況の多変量解析には、「統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver. 7.8」¹³⁰⁾を用いた。表 11 に示すように多変量解析の中でクロス集計表を構成するカテゴリーを 2 次元で視覚的に把握する解析手法であるコレスポンデンス分析を用いた^{129, 131)}。解析にあたり、カテゴリー間の関係から得られた第 1 成分及び第 2 成分の寄与率がいずれも 0.1 以上であり、第 1 成分及び第 2 成分の累積寄与率の和が 0.6 を超えていることを確認して、散布図が十分に意味を持つと判断した¹²⁹⁾。また、 χ^2 検定を行って、群間に差があることを確認した。コレスポンデンス分析では、縦軸、横軸の定義は特にしない点、距離に近いほど項目間の相関性が高い点から項目間の距離に着目した。散布図には距離が近く相関性が高いことをわかり易く示す目的で赤円、赤楕円、矢印などを適宜描き加えて示した。また、クラスター分析を併用して相関性の確認を行った。クラスター分析では、ウォード法、群平均法などを用いた。なお、具体的な解析方法については、「3.2.3.1. 機械設備経年数と点検回数、修理回数の増加」及び「3.2.3.2. 機械設備経年数と設備保全方式の解析」で補足説明を加えた。

表 11 多変量解析の手法と説明変数¹²⁹⁾

解析手法	説明変数
数量化 3 類	カテゴリー
コレスポンデンス	クロス集計表
因子分析	数量
主成分分析	数量
クラスター分析	数量
共分散構造分析	数量

3.2.2.3. 解析結果の取りまとめ方法

データの取りまとめにあたっては、機械設備の経年数と前述した各設問肢の項目（「報告書」（2018（平成 30）年度及び 2019（令和元）年度に記載））を引用して解析を行い、結果を散布図などとして示した。また、保護方策不備の経年化機械設備に起因する労働災害についても解析を行って結果を示した。

3.2.3. 解析結果

3.2.3.1. 機械設備経年数と点検回数、修理回数の増加

機械設備は通常、運転状態か停止状態にある。設備の劣化や故障により、運転状態にある設備に計画外の停止が発生する。機械設備を正常な状態で運転するためには、日常の維持管理が重要であり、設備の保全、特に、設備の点検や修理により、設備の劣化や故障による停止を事前に回避しているが、点検が不十分であると計画外の停止に至ってしまう。

厚生労働省「報告書」に記載された経年化機械設備の経年数と年間点検回数の割合（図 39）、年間修理回数の割合（図 40）をグラフとして再掲した。設備の経年数別の年間点検回数及び年間修理回数は、経年化に伴って回数が増加することを示している。なお、「報告書」では計画外停止回数でも同様な傾向があったことを示している。

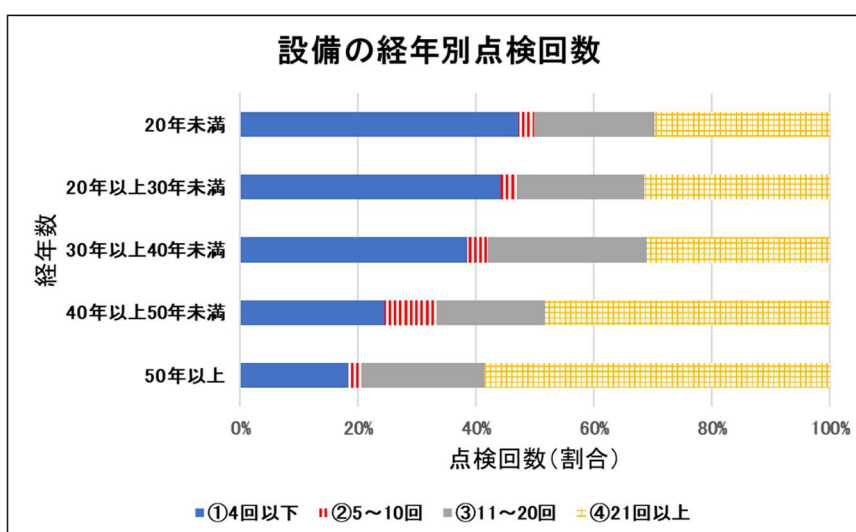


図 39 機械設備経年数と年間点検回数の増加（再掲）

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 37 頁）

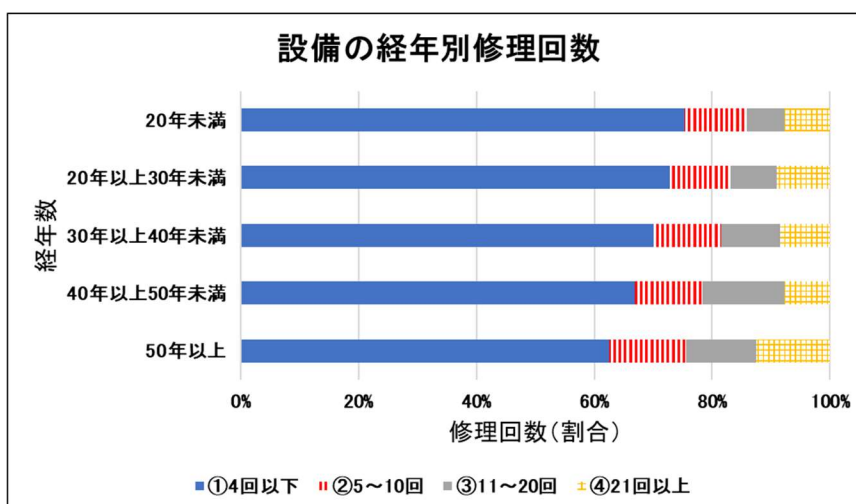


図 40 機械設備経年数と年間修理回数の増加（再掲）

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 41 頁）

これらの傾向は、経年化設備の維持管理が点検回数や修理回数を増やすことにより行われているためであると推定される。一方、点検作業や修理作業は、定常作業の場合や非定常作業の場合を含むと考えられるが、いずれの場合でも作業にあたっては、危険源への近接作業を伴う。設備面、作業面、管理面からの十分な安全対策が実施される必要があるが、特に設備面での工学的対策（保護方策）が求められる。

厚生労働省「報告書」に経年化機械設備による労働災害リスクとして挙げられている「設備の老朽化」と「保護方策不備」についてみると、図 41 に再掲するように経年化・老朽化機械設備は古い安全基準の「保護方策不備」の設備であり「設備の老朽化」による点検・修理回数の増加により機械の近傍で作業する危険点近接作業の回数や時間が増加して、さらに労働災害リスクが高くなっていると推定される。

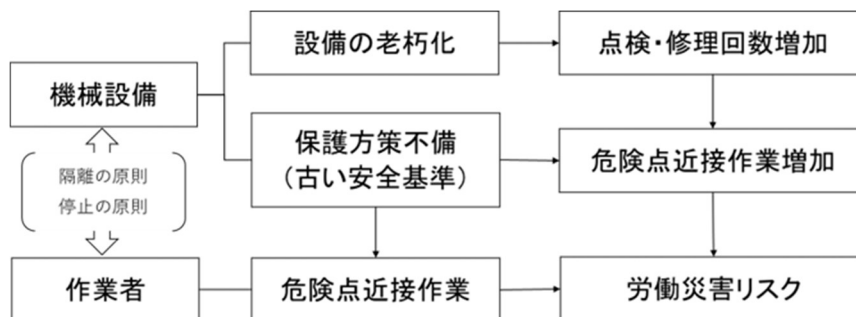


図 41 経年化・老朽化機械設備と労働災害リスク（再掲）

表 13 には、表 12 の「報告書」クロス集計データを基にして「統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver. 7.8」を用いて解析した機械設備経年数と年間修理回数のコレスポネンダ分析の各成分の固有値、相関係数、寄与率、累積寄与率のデータを示した。表 13 から、第 1 成分及び第 2 成分の寄与率がいずれも 0.1 以上であり、第 1 成分及び第 2 成分の累積寄与率が 0.992 であり 0.6 を超えていることから散布図が十分に意味を持つと判断した。また、機械設備経年数と修理回数のクロス集計データの χ^2 検定を行い「帰無仮説は棄却され、群間に差がある」ことを確認した（表 14）。散布図には、重み第 1 成分と重み第 2 成分の値をプロットした。

表 12 機械設備経年数と年間修理回数のクロス集計データ（単位：回答数）

経年数\設問肢	①4 回以下	②5～10 回	③11～20 回	④21 回以上
①20 年未満	593	84	50	61
②20 年以上 30 年未満	332	47	36	41
③30 年以上 40 年未満	292	48	42	35
④40 年以上 50 年未満	312	54	65	36
⑤50 年以上	169	35	32	34

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 41 頁）

表 13 機械設備経年数と年間修理回数のコレスポネンス分析の寄与率、累積寄与率

	群	第1成分	第2成分	第3成分	重み1成分	重み2成分	重み3成分
固有値		0.012	0.003	0	—	—	—
相関係数		0.108	0.052	0.011	—	—	—
寄与率		0.806	0.186	0.008	—	—	—
累積寄与率		0.806	0.992	1	—	—	—
①20年未満	1	-1.084	0.082	-0.666	-0.117	0.004	-0.007
②20年以上30年未満	1	-0.501	-0.365	1.938	-0.054	-0.019	0.021
③30年以上40年未満	1	0.217	0.225	-0.777	0.023	0.012	-0.009
④40年以上50年未満	1	1.321	1.357	0.208	0.143	0.07	0.002
⑤50年以上	1	1.391	-2.318	-0.49	0.15	-0.12	-0.005
①4回以下	2	-0.539	0.283	0.205	-0.058	0.015	0.002
②5～10回	2	0.546	-0.526	-2.715	0.059	-0.027	-0.03
③11～20回	2	2.767	1.238	0.685	0.299	0.064	0.008
④21回以上	2	0.705	-2.984	1.087	0.076	-0.155	0.012

注：「統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver.7.8」を用いて解析

表 14 機械設備経年数と修理回数クロス集計データの χ^2 検定

機械設備経年数と修理回数クロス集計データの χ^2 検定	
データ数	2398
分割数行	5
分割数列	4
自由度	12
χ^2 統計値	34.71
χ^2 分布表より、 $P=0.052\%$ (χ^2 統計値及び自由度を用いて求めた)	
優位水準	$\alpha=5\%$
$P<\alpha$ より、帰無仮説は棄却され、群間に差があると言える。	

表 12 に示した機械設備経年数別、年間修理回数別のクロス集計データ及び表 13 の第1成分及び第2成分の値に基づいて、コレスポネンス分析の散布図 (図 42) を示した。また、成分及び重み成分に基づいてクラスター分析結果 (図 43) を示した。これらの解析結果からも設備の経年数と修理回数の相関性が明らかとなった。「4回以下」が「20年未満」と「20年以上30年未満」に近い距離にあり、「5～10回」が「30年以上40年未満」に近い距離に、「11～20回」が「40年以上50年未満」に近い距離に、「21回以上」が「50年以上」に近い距離にありそれぞれ相関性が高かった。年間点検回数、年間計画外停止回数についても同様な多変量解析結果が得られ、それぞれ、設備の経年数と明確な相関性があることが明らかとなった。

機械設備経年数と年間修理回数の多変量解析により解析が可能であることから、本研究では、厚生労働省「報告書」に記載された幾つかのクロス集計データを基にコレスポネンス分析を行って散布図を得ることにより解析を行った。

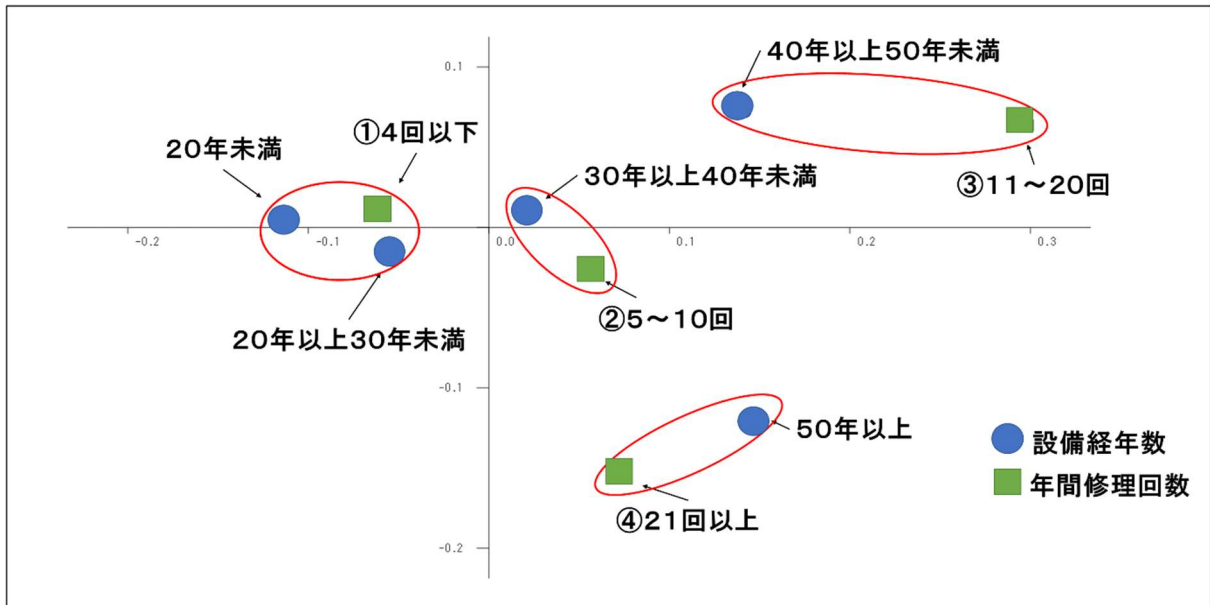


図 42 機械設備経年数と年間修理回数のコレスポンデンス分析

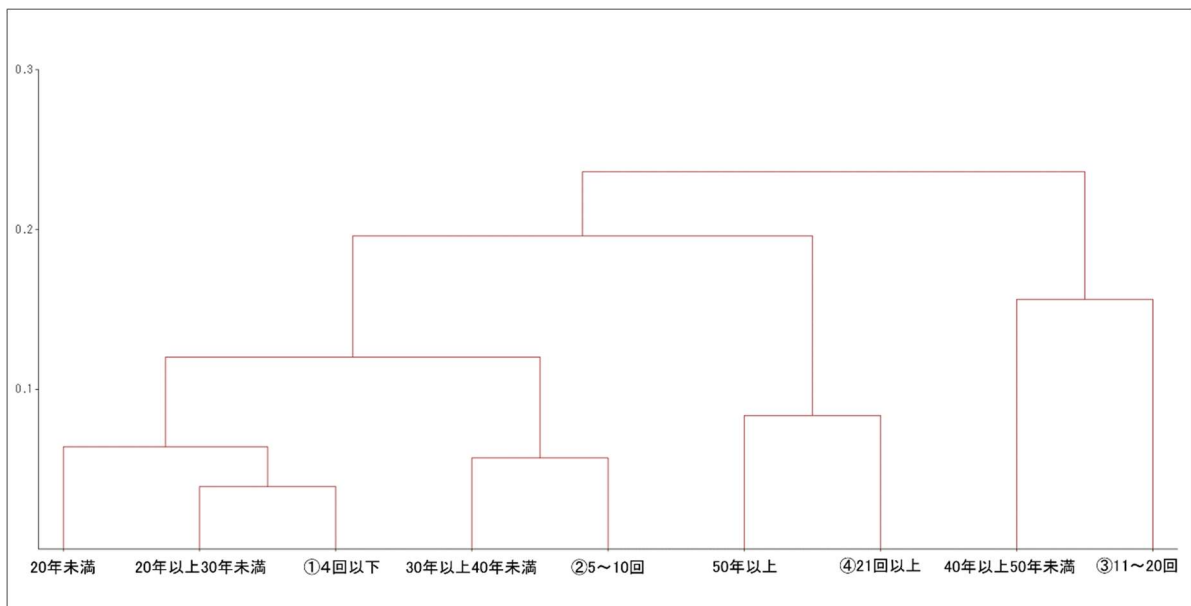


図 43 機械設備経年数と年間修理回数のクラスター分析

3.2.3.2. 機械設備経年数と設備保全方式の解析

経年化機械設備における点検回数や修理回数の増加について、経年化機械設備ではどのような目的で保全が行われているか保全方式の観点から解析を行った。「報告書」に記載されたアンケートの設問の選択肢を以下に示した。機械設備毎に行っている保全方式（表 15）の設問肢から回答のあったクロス集計データ（表 16）を用いて解析を実施した。

表 15 設備保全方式の設問肢

保全方式	方式の説明
①予知保全	設備の運転情報を集積し、ビッグデータを傾向分析する等によって予測された設備の保全時期を基に保全計画を立てて検査、修理する
②寿命予測	肉厚検査の結果等から設備寿命を予測し、必要なタイミングで検査、修理する
③定期保全	一定期間ごとに検査、修理する。1年毎（2年毎）の定期修理や法定期間での貯蔵タンクの開放検査、5年毎の再塗装等
④定期的交換	摩耗、劣化しやすい部品を一定時間ごとに交換する（予備品を保有）
⑤事後保全	設備が故障したら修理する。（予備機や予備品を保有）

出典：厚生労働省「報告書」（平成30年度132頁）

表 16 機械設備経年数と設備保全方式のクロス集計データ（単位：回答数）

経年数\設問肢	① 予知保全	② 寿命予測	③ 定期保全	④ 定期的交換	⑤ 事後保全
①20年未満	165	145	636	594	706
②20年以上30年未満	107	126	390	345	425
③30年以上40年未満	77	125	358	329	431
④40年以上50年未満	148	130	375	349	382
⑤50年以上	73	78	198	167	235

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度129頁）

表 17 機械設備経年数と設備保全方式のコーレスポネンダ分析の寄与率、累積寄与率

	群	第1成分	第2成分	第3成分	第4成分	重み1成分	重み2成分	重み3成分	重み4成分
固有値		0.005	0.002	0	0				
相関係数		0.07	0.048	0.017	0.006				
寄与率		0.649	0.308	0.037	0.005				
累積寄与率		0.649	0.957	0.995	1				
①20年未満	1	-0.909	-1.035	0.487	-0.156	-0.064	-0.05	0.008	-0.001
②20年以上30年未満	1	0.011	0.407	-0.558	1.902	0.001	0.02	-0.009	0.012
③30年以上40年未満	1	-0.784	1.502	-0.656	-1.035	-0.055	0.072	-0.011	-0.007
④40年以上50年未満	1	1.534	-0.714	-0.916	-0.651	0.107	-0.034	-0.015	-0.004
⑤50年以上	1	1.248	1.016	2.42	-0.041	0.087	0.049	0.041	0
① 予知保全	2	2.735	-1.567	1.173	-0.371	0.191	-0.076	0.02	-0.002
② 寿命予測	2	1.619	2.589	-1.191	-0.067	0.113	0.125	-0.02	0
③ 定期保全	2	-0.233	-0.3	-0.218	1.56	-0.016	-0.014	-0.004	0.01
④ 定期的交換	2	-0.401	-0.694	-1.158	-0.996	-0.028	-0.033	-0.019	-0.006
⑤ 事後保全	2	-0.626	0.53	1.167	-0.47	-0.044	0.026	0.02	-0.003

注：「統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver.7.8」を用いて解析

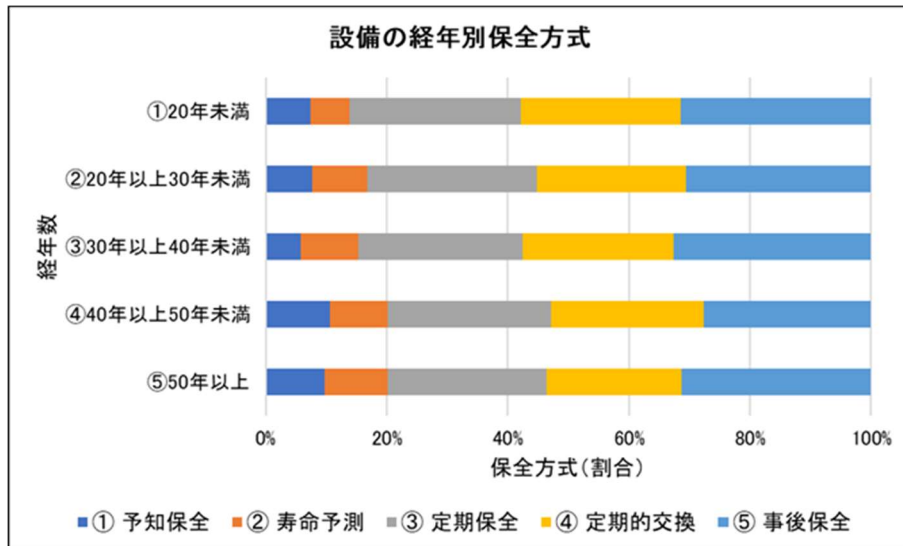


図 44 機械設備経年数と設備保全方式
 出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 129 頁）

表 16 のクロス集計データを基にした機械設備経年数と設備保全方式のコレスポンデンス分析（表 17）の第 1 成分及び第 2 成分の寄与率がいずれも 0.1 以上であり、累積寄与率の第 1 成分及び第 2 成分が 0.957 と 0.6 を超えていることから、散布図が十分に意味を持つと判断した。図 44 の経年別の横棒割合グラフでは、特徴が把握できないが、散布図からは、機械経年数と保全方式の設問肢に相関性がある項目があることが明らかとなった。

図 45 の散布図から、「40 年以上 50 年未満」では故障を事前に予測する「①予知保全」が、「50 年以上」では設備の寿命を予測する「②寿命予測」が近い距離にあり、相関性が高かった。この点から、経年設備では、「設備の老朽化」によるとみられる対策が実施されていると推定した。一方、新しい設備では、「④定期的交換」や「③定期保全」と相関性が高かった。

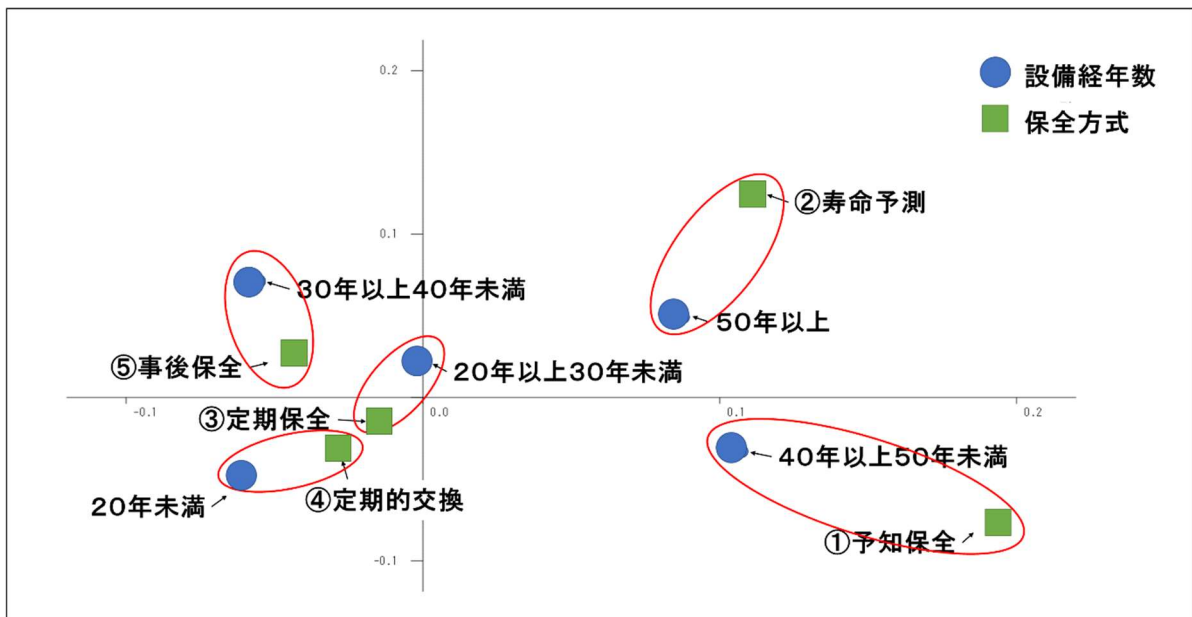


図 45 機械設備経年数と設備保全方式のコレスポンデンス分析

3.2.3.3. 機械設備経年数と設備点検箇所、点検項目の解析

設備の点検箇所、点検項目について設備経年数別のクロス集計データ（表 18）及びコレスポネンデンス分析結果の散布図を図 46 に示した。

表 18 機械設備経年数と設備点検箇所、点検項目（単位：回答数）

経年数\設問肢	点検箇所			点検項目					
	A 駆動部、回転部	B 動力機構	C 安全設備	①音	②振動	③変形・キズ	④腐食、割れ	⑤安全設備の機能	⑥汚れ
①20 年未満	1,016	853	789	964	923	898	856	758	810
②20 年以上 30 年未満	622	566	424	605	583	571	529	431	486
③30 年以上 40 年未満	591	554	449	580	541	537	517	416	456
④40 年以上 50 年未満	575	543	452	556	535	543	525	427	431
⑤50 年以上	308	289	253	300	296	263	274	249	233

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 100 頁）

図 46 から、「50 年以上」の設備では「C 安全設備」や「⑤安全設備の機能」との相関性が高いことが明らかとなった。また「20 年未満」も、「C 安全設備」について「⑤安全設備の機能」と近い距離にあり、相関性が高かった。これらは、いずれも「保護方策」に関連する点検箇所、点検項目であると推定した。

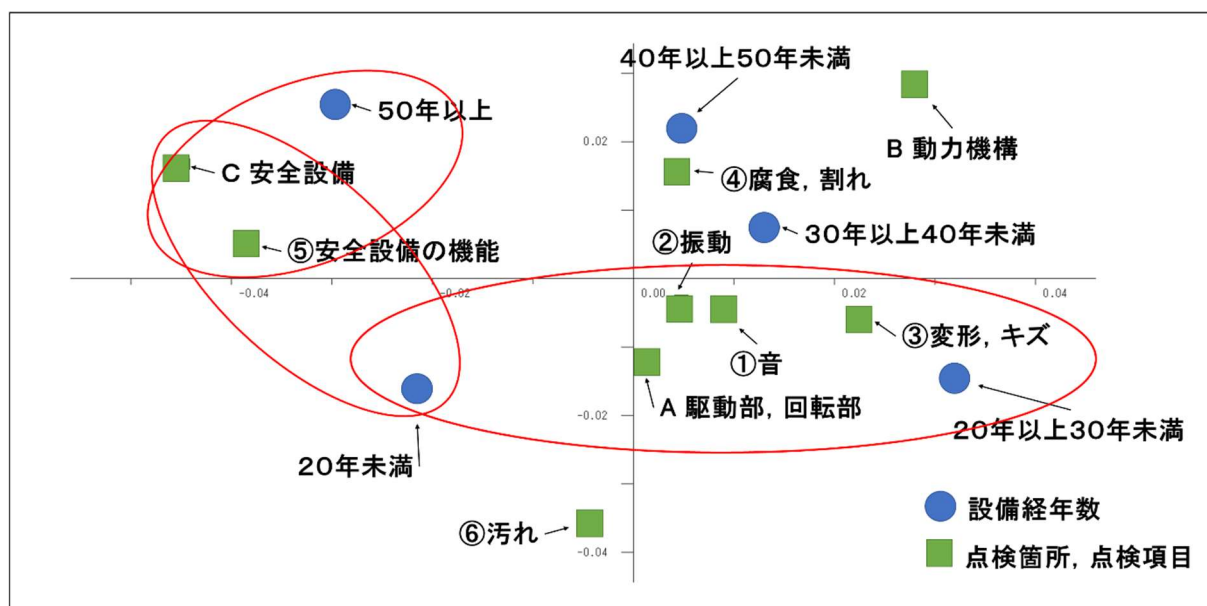


図 46 機械設備経年数と設備点検箇所、点検項目のコレスポネンデンス分析

一方、「20 年未満」、「20 年以上 30 年未満」、「30 年以上 40 年未満」、「40 年以上 50 年未満」の関係について見ると、「20 年未満」と「20 年以上 30 年未満」の間に「A 駆動部、回転部」について、「①音」や「②振動」、「③変形、キズ」といった項目が近い距離にあることが明らかとなった。「30 年以上 40 年未満」、「40 年以上 50 年未満」については、「B 動力機構」について、「④腐食、割れ」などが近い距離にあり「設備の老朽化」によるとみられる点検が行われていると推定した。設備の経年数によって、新しい設備から古い設備にかけて、「A 駆動

部、回転部」→「B 動力機構」と点検箇所の違いがあると推定した。駆動部、回転部は機械設備の一部であるが、動力機構は、機械設備の動き全体に関連した重要な部分であり、経年化によって、点検している範囲がより大きな範囲になっていると推定した。言い換えると一部の部品ではなく機構全体をみているためであると考えられる。また、「20 年以上 30 年未満」と「30 年以上 40 年未満」の間に「③変形、キズ」が位置しているのに対して、「30 年以上 40 年未満」と「40 年以上 50 年未満」の間に「④腐食、割れ」が位置していた。「③変形、キズ」に比較して、「④腐食、割れ」は経年数が多いことに起因する点検項目であると推定した。「50 年以上」を除き、「30 年以上 40 年未満」と「40 年以上 50 年未満」の間に「④腐食、割れ」が位置していることから、「設備の老朽化」によるとみられる点検項目と関連性があると推定した。

3.2.3.4. 機械設備経年数と安全対策の実施状況の解析

経年化設備の安全対策の実施状況に着目して多変量解析を実施した。「報告書」のデータから、機械経年数別の安全対策の実施状況に関するクロス集計データ(表 19)及びコレスポンデンス解析した解析結果の散布図を図 47 として示した。

表 19 機械設備経年数と安全対策の実施状況 (単位: 回答数)

経年数\設問肢	①指針*)に基づいた安全対策を講じた	②アセスメントの結果、安全対策は指針に適合している	③指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある	④指針の別表第 2、別表第 3、別表第 4 については知らなかった	⑤その他
①20 年未満	413	309	233	159	29
②20 年以上 30 年未満	235	162	171	87	26
③30 年以上 40 年未満	247	178	187	57	15
④40 年以上 50 年未満	227	165	229	61	41
⑤50 年以上	96	55	179	26	21

指針*) : 「機械の包括的な安全基準に関する指針」

別表第 2 (本質安全設計方策)

別表第 3 (安全防護の方法)

別表第 4 (付加保護方策の方法) など

出典: 厚生労働省「報告書」(令和元年度 124 頁)

図 47 に示すように、設備の経年数と安全対策の実施状況について解析した結果、「50 年以上」及び「40 年以上 50 年未満」の設備に近い距離に「③指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある」が位置しており相関性が高かった。経年化機械設備の「保護方策不備」に関連していると推定した。一方で「20 年未満」及び「20 年以上 30 年未満」の設備に近い距離に「①指針に基づいた安全対策を講じた」及び「②アセスメントの結果、安全対策は指針に適合している」が位置しており相関性が高かった。指針に沿った「保護方策」が実施されていることと関連性があると推定した。

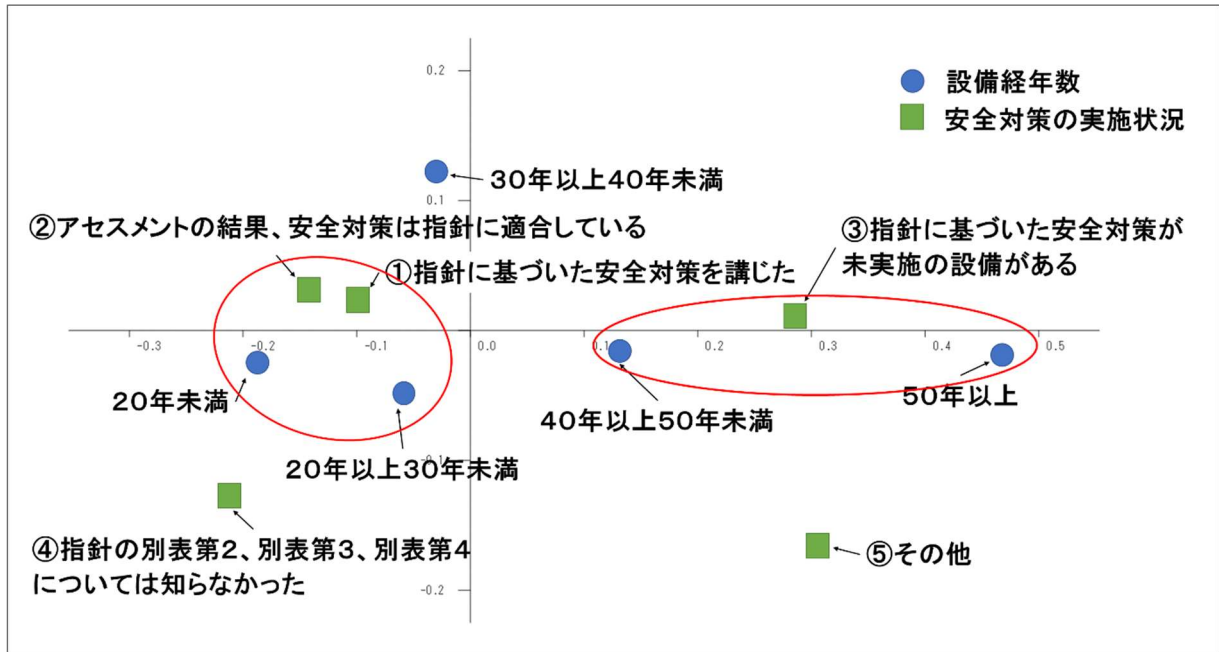


図 47 機械設備経年数と安全対策の実施状況に関するコレスポネンズ分析

3.2.3.5. 機械設備経年数と定常作業時安全対策の解析

機械設備経年数別の定常時の安全対策についてのクロス集計データ（表 20）及びコレスポネンズ分析の解析結果の散布図を図 48 に示した。

表 20 機械設備経年数と定常作業時安全対策（単位：回答数）

経年数\設問肢	①カバー設置、隙間の縮小などで可動部分への手指などの接触を防止している	②可動部分に人が立ち入らないように安全柵を設置している	③非常停止装置を設置している	④安全柵内に人が立ち入った場合、センサー等により機械を停止する	⑤安全柵を開けた場合（撤去した場合）、機械を自動停止する	⑥可動部分の近くに注意喚起の標示をしている	⑦その他
①20年未満	828	432	762	154	281	627	46
②20年以上30年未満	502	257	401	80	129	369	21
③30年以上40年未満	468	262	414	66	90	328	47
④40年以上50年未満	477	363	389	74	85	299	77
⑤50年以上	238	432	230	39	53	213	10

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 123 頁）

図 48 からは、古い設備と新しい設備では安全設備の最新のレベル化に違いがあると推定した。「50 年以上」の近い距離に「②可動部分に人が立ち入らないように安全柵を設置している」が、「30 年以上 40 年未満」の近い距離に「①カバー設置、隙間の縮小などで可動部分への手指などの接触を防止している」が位置しており、それぞれ相関性が高く、「40 年以上 50 年未満」は中間に位置していた。これらの古い設備では「隔離の原則」に沿った設備と関連性があると推定した。一方、「20 年未満」と「20 年以上 30 年未満」に近い距離に「③非常停止装置を設置している」、「④安全柵内に人が立ち入った場合、センサー等により機械を停止する」、「⑥可動

部分の近くに注意喚起の標示をしている」が位置しており、相関性が高かった。「⑤安全柵を開けた場合(撤去した場合)機械を自動停止する」には、「20年未満」が一番近かった。これらの新しい設備では、「停止の原則」に沿った設備との関連性があると推定した。「50年以上」、「30年以上40年未満」に相関性が高いのは、いずれも空間的に作業者と機械設備を隔離する安全柵による保護方策に関するものである。一方、「20年未満」及び「20年以上30年未満」の場合には、センサーの設置や自動停止の装置に関するものであり、時間的に機械設備を停止して作業者が作業にあたる装置に関するものである。「50年以上」、「30年以上40年未満」に相関性の高い安全柵のような古くから用いられている設備に比較すると新しく、また、設置のためのコストも相対的に高い「保護方策」に関するものであると考えられる。

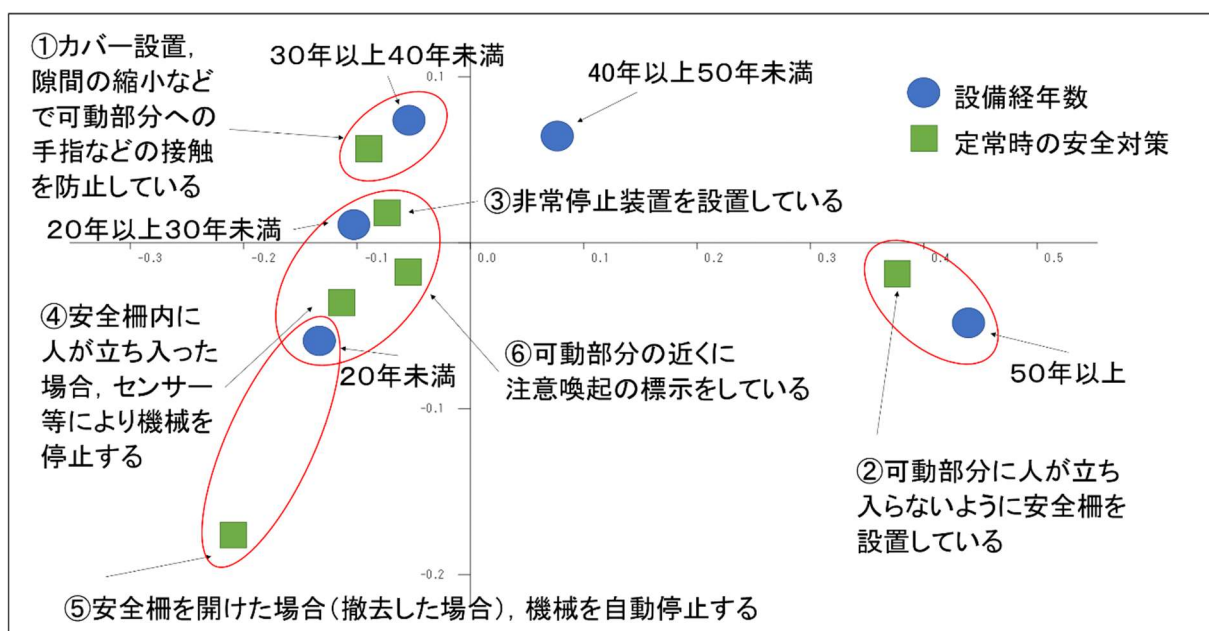


図 48 機械設備経年数と定常作業時安全対策のコレスポネンス分析

図 46 で示した散布図では「C 安全設備」と「⑤安全設備の機能」が、「50年以上」と「20年未満」のそれぞれ近い距離にあったが、図 48 の散布図から、設備の新旧によって、安全設備の内容が異なっていると推定した。安全設備は、運転や作業を安全に行い労働災害を防止するために機械設備に付与された設備であり、「保護方策」に関係した設備である。古い設備では、点検対象として古い安全基準の安全設備、例えば、単純なカバーや安全柵などと相関性が高かった。設計された当時の安全基準で設計、製造されており、安全のレベルが現在の安全基準に比較して不十分であるとしている次に示す散布図(図 49)の結果にも共通した結果であった。

一方、図 48 の散布図から新しい設備においては、非常停止装置や自動停止装置などのインターロックの設置やセンサーにより人の立ち入りを検知して機械を停止する装置の設置など最新の安全対策による「保護方策」との相関性が高かった。これらのことから、新しい安全レベルの安全設備の機能を点検対象としていることと相関性が高いと推定した。

3.2.3.6. 機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況の解析

機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況に関するクロス集計データ(表 21)及びコレスポネン分析結果の散布図を図 49 として示した。

表 21 機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況(再掲) (単位: 回答数)

経年数\設問肢	①現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである	②安全対策を最新の安全のレベルに適合させた	③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている	④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている	⑤現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である	⑥その他
①20年未満	112	200	357	365	78	3
②20年以上30年未満	30	89	178	262	81	2
③30年以上40年未満	21	118	191	207	63	6
④40年以上50年未満	3	50	205	260	81	7
⑤50年以上	11	36	107	112	69	3

出典: 厚生労働省「報告書」(令和元年度 130 頁)

図 49 に示すように、設備の経年化と最新の安全対策のレベル化状況について解析した結果、「①現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである」には「20年未満」が一番近く、また、「②安全対策を最新の安全のレベルに適合させた」にも「20年未満」が近い距離に位置しており相関性が高かった。一方で、「50年以上」の設備に近い距離には、「⑤現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である」が位置していた。また、「20年以上30年未満」、「30年以上40年未満」、「40年以上50年未満」に近い距離には、「③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている」及び「④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている」が位置しておりそれぞれ相関性が高いことが明らかとなった。

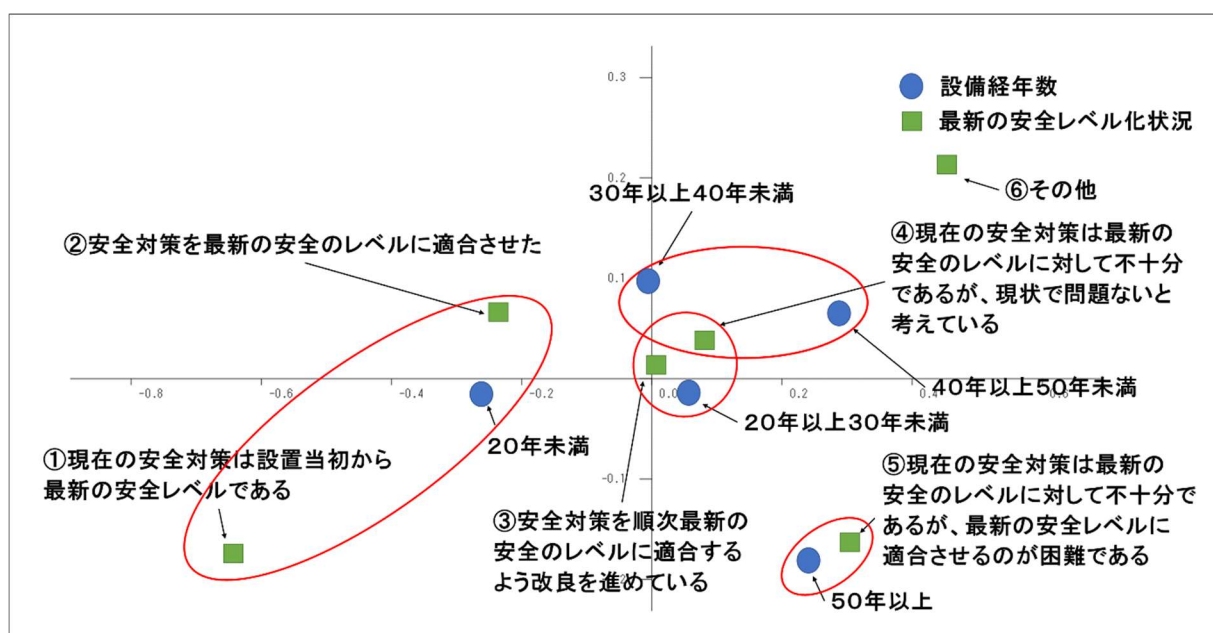


図 49 機械設備経年数と最新の安全対策のレベル化状況に関するコレスポネン分析

散布図（図 49）から経年化機械設備では安全対策の最新レベル化が不十分であるが「適合が困難」や「問題がないと考えている」など「保護方策不備」の状態が設備が運転されていることと関連性があると推定した。

このように経年化した設備では、指針に基づいた安全対策が未実施の設備があると推定した。新しい設備と経年設備での安全対策の相違点、安全対策の最新の安全のレベル化が不十分であることなど経年設備は、労働災害の発生リスクが高い設備であると考えられる。

3.2.3.7. 機械設備経年数と設備の安全対策ができない理由の解析

設備経年数別の安全対策ができない理由のクロス集計データ（表 22）及びコレスポネンシス分析結果の散布図を図 50 に示した。

表 22 機械設備経年数と設備の安全対策ができない理由（単位：回答数）

経年数\設問肢	①具体的な安全対策を検討する人材がない	②安全対策設備を追加設置するスペースがない	③安全対策設備を追加設置する予算がない	④安全対策設備投資の優先順位が低い	⑤その他
①20年未満	13	40	20	17	21
②20年以上30年未満	8	26	13	11	10
③30年以上40年未満	9	28	21	17	16
④40年以上50年未満	13	26	21	15	9
⑤50年以上	8	14	18	5	10

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 19 頁）

図 50 から、設備の安全対策ができない理由が、古い設備と新しい設備とでは異なっていることが明らかとなった。「50 年以上」に近い距離に「③安全対策設備を追加設置する予算がない」と「40 年以上 50 年未満」の近い距離に「①具体的な安全対策を検討する人材がない」などが位置していることが明らかとなった。一方で、「20 年未満」と「20 年以上 30 年未満」の近い距離に「②安全対策設備を追加設置するスペースがない」や少し離れて「④安全対策設備投資の優先順位が低い」が位置しており、近傍に「30 年以上 40 年未満」も位置していることが明らかとなった。「50 年以上」と「40 年以上 50 年未満」では、人材がない問題や予算がないなど経年化機械設備での安全対策の問題点があると推定した。古い設備では、安全対策を検討する人材が不足している点や予算が潤沢になく設備の更新ができないままに使い続けているなどの状況があると推定した。

経年化設備の安全対策は設置当時の安全基準で作られたために、安全基準のレベルが現在の水準に比較して低いと考えられ、労働災害のリスクが高い設備であると考えられる。一方で、比較的新しい設備である「20 年未満」と「20 年以上 30 年未満」の近い距離に「②安全対策設備を追加設置するスペースがない」や「④安全対策設備投資の優先順位が低い」などが位置しており、設置スペースの問題があることや他に予算を優先して使用していると推定した。

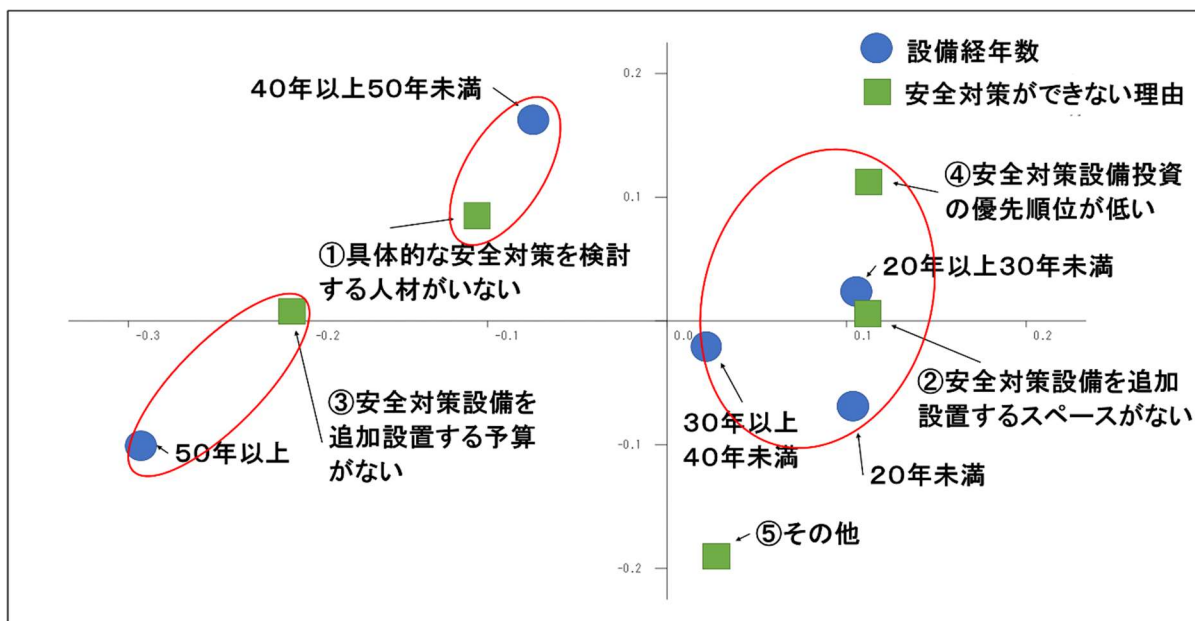


図 50 機械設備経年数と設備の安全対策ができない理由のcorespondens分析

3.2.3.8. コンベア、ロール機の経年数と労働災害発生原因、保護方策不備の状況

厚生労働省 2018（平成 30）年度「報告書」では、動力機械による休業 4 日以上「はさまれ、巻き込まれ」災害の発生件数、発生状況についてアンケート調査を実施している。以下、「報告書」の記載内容を引用した。

回答のあった合計 306 件の労働災害件数のうち、動力運搬機であるコンベアによるもの 81 件、一般動力機械であるロール機によるもの 120 件、その他動力機械によるもの 105 件の回答が記載されている。以下にコンベアとロール機それぞれについて、労働災害発生時の作業内容（表 23、表 25）、設備原因（表 24、表 26）について、それぞれの件数を示した。

表 23 コンベア「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の作業内容（再掲）

作業内容	点検監視	付着異物除去	交換準備	調整起動	補修メンテ	その他
件数	12	45	9	7	2	6

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 64 頁）

表 24 コンベア「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の設備原因（再掲）

設備原因	隔離原則不備	停止原則不備	その他
件数	47	19	15

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 64 頁）

コンベアに起因する労働災害では、作業内容としては、付着異物の除去清掃によるものが多いが、点検監視、交換準備、調整起動、補修メンテなど点検、修理に関連した作業も合計すると労働災害が多いことが示されている。設備原因としては、隔離原則の不備、停止原則の不備、その他の順番であった。

表 25 ロール機「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の作業内容（再掲）

作業内容	点検監視	付着異物除去	交換準備	調整起動	補修メンテ	その他
件数	10	52	29	10	2	17

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 67 頁）

表 26 ロール機「はさまれ、巻き込まれ」災害発生時の設備原因（再掲）

設備原因	隔離原則不備	停止原則不備	その他
件数	53	24	43

出典：厚生労働省「報告書」（平成 30 年度 67 頁）

ロール機に起因する労働災害でも、作業内容としては、付着異物の除去清掃によるものが多いが、交換準備、点検監視、調整起動、補修メンテなど点検、修理に関連した作業も合計すると多かった。設備原因としては、隔離原則の不備、その他、停止原則の不備の順番であった。

コンベアとロール機に関する回答のうち、労働災害状況の記載のある回答から、保護方策の不備の観点から隔離原則の不備の場合、停止原則の不備の場合について、さらに解析を実施した結果（表 27）を示した。

表 27 労働災害の発生原因の解析

原因\機械設備		コンベア	ロール機
隔離原則の不備	安全柵やカバーが無い	24	34
	安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある	9	11
	安全柵やカバーがあるが取り外しが可能	12	—
停止原則の不備			25
その他の原因 または記載なし		36	50
合計		81	120

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 20～23 頁）

コンベアについては、安全柵やカバーが無い場合が 24 件、安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある場合が 9 件、安全柵やカバーがあるが取り外しが可能だった場合が 12 件あった。

また、ロール機については、安全柵やカバーが無い場合が 34 件、安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある場合が 11 件、停止の原則が不備の場合が 25 件あった。

以上の結果から労働災害発生時の作業内容として、付着異物の除去清掃によるものが多いが、交換準備、点検監視、調整起動、補修メンテなど点検、修理に関連した原因による場合も多く、いずれの場合も「保護方策」による安全対策がきちんとなされていれば労働災害が防止できた可能性が高かったと推定される。

表 27 に示したコンベアとロール機の労働災害原因について該当する設備の経年数を考慮して保護方策の実施状況についてさらに解析した結果を、それぞれ、図 51 及び図 52 に示した。なお、各事業場の設備の全体数については、アンケートでは調査対象としていないことから、経年数による設備件数の大小が比較できないため、経年別、原因別の設備数割合を示した。図 51 から、コンベアにおいては、設備の新旧によって保護方策の実施状況に違いがあることが明らかと

なった。隔離原則については、安全柵やカバーがある場合と無い場合に大別されるが、新しい設備では、単純に安全柵やカバーが無い割合が高いが、古い設備では、安全柵やカバーはあるが、安全柵やカバーが部分的である、隙間がある、取り外しが可能であるなど、古い安全基準で設計されたとみられる設備において労働災害が発生している割合が高いことが明らかとなった。

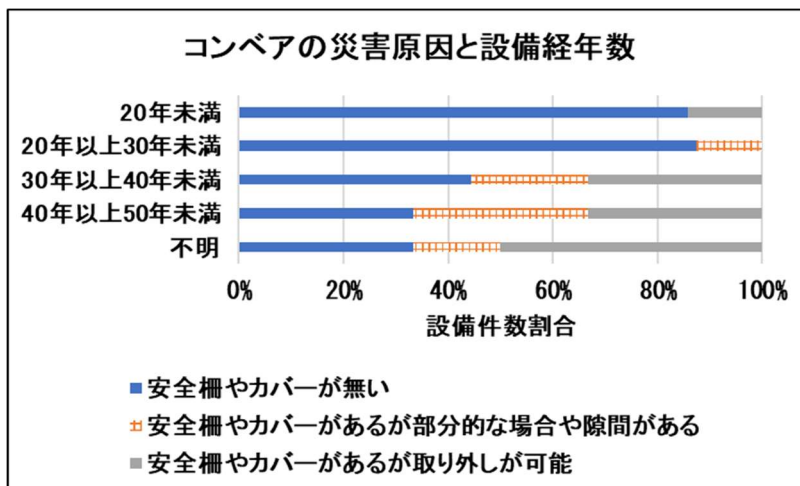


図 51 コンベアの経年数と原因別の労働災害件数

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 20～23 頁）

図 52 のロール機では、隔離原則不備の他に停止原則不備による労働災害も発生しているが、隔離原則不備については、コンベアと同様に、古い設備では、安全柵やカバーが部分的である、隙間があるなど古い安全基準で設計されたとみられる設備による労働災害の割合が高い傾向があることが明らかとなった。

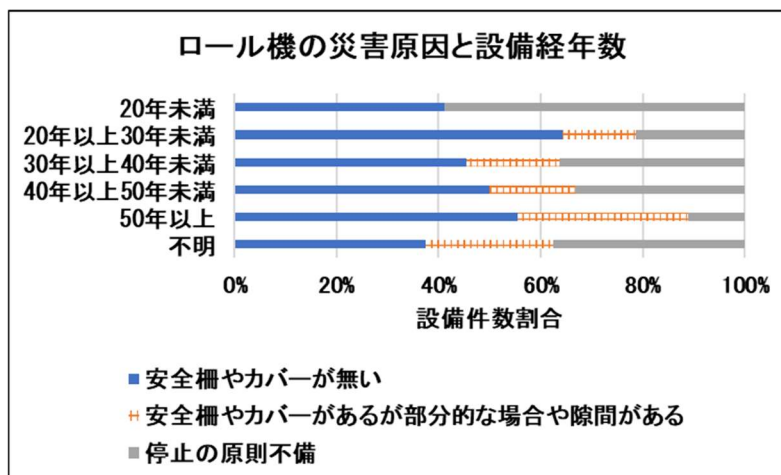


図 52 ロール機の経年数と原因別の労働災害件数

出典：厚生労働省「報告書」（令和元年度 20～23 頁）

3.2.3.9. 保護方策不備による労働災害後の再発防止対策

これら労働災害のあった設備の労働災害後の再発防止対策に関する「報告書」（令和元年度 22, 23 頁）のアンケート回答結果について見ると、安全カバー（インターロック付き）の設置、

防護柵、侵入センサー等機能安全強化、駆動ローラへ安全カバーの設置、リミットスイッチ付安全柵及びエリアセンサーの設置など、労働災害後に「保護方策」の対策を行ったことが回答されていた。つまり、労働災害を経験したことにより安全対策が不十分であった設備の「保護方策」による安全対策が実施されたとみられる結果であった。

3.2.4. 結果と考察

経年化機械設備の「設備の老朽化」と「保護方策不備」の安全対策不適合について解析結果を示した。設備面からコレスポネンダ分析により相関性の高かった項目を解析結果（表 28）として示した。また、経年化機械設備の「保護方策不備」による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害解析結果（表 29）を示した。

表 28 コレスポネンダ分析により相関性の高かった項目

分析項目\経年数	20 年未満	20 年以上 30 年未満	30 年以上 40 年未満	40 年以上 50 年未満	50 年以上
保全方法	④定期的交換	③定期保全	⑤事後保全	①予知保全	②寿命予測
点検箇所	A 駆動部・回転部 C 安全設備	A 駆動部・回転部	A 駆動部・回転部		C 安全設備
点検項目	①音、②振動、③変形・キズ、⑤安全設備の機能	①音、②振動、③変形・キズ	①音、②振動、③変形・キズ、④腐食、割れ	①音、②振動、③変形・キズ、④腐食、割れ	⑤安全設備の機能
安全対策の実施状況	①指針に基づいた安全対策を講じた ②アセスメントの結果、安全対策は指針に適合している	①指針に基づいた安全対策を講じた ②アセスメントの結果、安全対策は指針に適合している	①指針に基づいた安全対策を講じた ②アセスメントの結果、安全対策は指針に適合している	③指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある	③指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある
定常作業時安全対策	③非常停止装置を設置している ④安全柵内に人が立ち入った場合、センサー等により機械を停止する ⑤安全柵を開けた場合（撤去した場合）、機械を自動停止する ⑥可動部分の近くに注意喚起の標示をしている	③非常停止装置を設置している ④安全柵内に人が立ち入った場合、センサー等により機械を停止する ⑤安全柵を開けた場合（撤去した場合）、機械を自動停止する ⑥可動部分の近くに注意喚起の標示をしている	①カバー設置、隙間の縮小などで可動部分への手指などの接触を防止している	—	②可動部分に人が立ち入らないように安全柵を設置している
安全対策の最新レベル化状況	①現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである ②安全対策を最新の安全のレベルに適合させた	③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている ④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている	③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている ④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている	③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている ④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている	⑤現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である
設備の安全対策ができない理由	②安全対策設備を追加設置するスペースがない ④安全対策設備投資の優先順位が低い	②安全対策設備を追加設置するスペースがない ④安全対策設備投資の優先順位が低い	②安全対策設備を追加設置するスペースがない ④安全対策設備投資の優先順位が低い	①具体的な安全対策を検討する人材がない	③安全対策設備を追加設置する予算がない

表 28 から、以下のことが明らかとなった。

- ・「50年以上」、「40年以上50年未満」の「経年設備」では、「寿命予測」や「予知保全」と相関性が高く「設備の老朽化」によるとみられる設備対策が行われていると推定される。一方で「20年未満」、「20年以上30年未満」の「新しい設備」では、「定期的交換」や「定期的保全」と相関性が高かった。
- ・「安全設備」や「安全設備の機能」の点検は、「50年以上」と「20年未満」の設備との相関性が高く、いずれの場合も機械設備の「保護方策」に関連していると推定した。また、「40年以上50年未満」の経年化設備では、「動力機構」について「腐食、割れ」との相関性も高く、「設備の老朽化」に関連した点検項目であると推定した。
- ・「50年以上」の経年化設備では、「指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある」との相関性が高く「保護方策不備」の設備が多いことと関連すると推定した。一方で「20年未満」、「20年以上30年未満」の「新しい設備」では、「指針に基づいた安全対策を講じた」や「アセスメントの結果、安全対策は指針に適合している」との相関性が高かった。
- ・「50年以上」では、安全柵による安全対策であるが、「新しい設備」では、センサーや自動停止装置との相関性が高かった。「経年設備」では、安全柵などの物理的な隔離手段が用いられているが、「新しい設備」では、センサーや自動停止装置などの比較的新しく価格も高い安全設備が用いられていると推定した。
- ・経年設備ほど、安全対策の最新レベル化が不十分であり、「問題ないと考えている」、「適合が困難である」などとの相関性が高く、「保護方策不備」の状態であることと相関性が高かった。一方で、「20年未満」の近傍に「現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである」及び「安全対策を最新の安全のレベルに適合させた」が位置していた。「50年以上」の近傍に「現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である」が位置していた。「20年以上30年未満」、「30年以上40年未満」、「40年以上50年未満」の近傍に「安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている」及び「現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている」が位置しており、相関性が高かった。経年設備では安全対策が最新の安全のレベルに対して不十分である「保護方策不備」の機械設備が多いことを示していると推定した。
- ・経年設備では、予算や人材の問題で安全対策ができていない。「50年以上」の近傍に「具体的な安全対策を検討する人材がない」や「安全対策設備を追加設置する予算がない」が位置していた。一方で、「20年未満」、「20年以上30年未満」、「30年以上40年未満」の近傍に「安全対策設備を追加設置するスペースがない」や「安全対策設備投資の優先順位が低い」が位置していた。

また、経年化機械設備の「保護方策不備」による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害解析結果（表 29）を示した。

表 29 経年化機械設備の保護方策不備による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害解析結果

災害要因\経年数	20年未満	20年以上 30年未満	30年以上 40年未満	40年以上 50年未満	50年以上
コンベアの災害要因	安全柵やカバーがない(6) >安全柵やカバーがあるが取り外し可能(1)	安全柵やカバーがない(7) >安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(1)	安全柵やカバーがない(4) >安全柵やカバーがあるが取り外し可能(3) >安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(2)	安全柵やカバーがない(3) =安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(3) =安全柵やカバーがあるが取り外し可能(3)	—
ロール機の災害要因	停止の原則不備(10) >安全柵やカバーがない(7)	安全柵やカバーがない(9) >停止の原則不備(3) >安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(2)	安全柵やカバーがない(5) >停止の原則不備(4) >安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(2)	安全柵やカバーがない(6) >停止の原則不備(4) >安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(2)	安全柵やカバーがない(5) >安全柵やカバーがあるが部分的な場合や隙間がある(3) >停止の原則不備(1)

注：表中の（ ）内の数値は件数を示す。

表 29 より、以下の点が明らかとなった。

- ・経年化設備では、後付けで安全対策をしても不十分で、労働災害が発生している。コンベアとロール機による労働災害の原因について、新旧の設備で保護方策の実施状況に違いがみられた。隔離原則については、安全柵やカバーがある場合と無い場合に大別されるが、新しい設備では、単純に安全柵やカバーが無い割合が高いが、古い設備では、安全柵やカバーはあるが、安全柵やカバーが部分的である、隙間がある、取り外しが可能であるなど、古い安全基準で後付けされたとみられる設備で労働災害が発生している割合が高いことが明らかとなった。
- ・一方、労働災害後の再発防止対策のアンケート回答結果を見ると、安全カバー（インターロック付き）の設置、防護柵、侵入センサー等機能安全強化、駆動ローラへ安全カバーの設置、リミットスイッチ付安全柵及びエリアセンサーの設置などのきちんとした「保護方策」が行われたとみられる結果であった。

以上について、「設備の老朽化」及び「保護方策不備」の安全対策不適合の点からまとめた。

「設備の老朽化」の点から見ると以下の相関性や関連性がみられた。

- ・多変量解析結果からも設備の経年化に伴って点検回数や修理回数が増加していることが明らかとなった。言い換えると古い設備の維持管理のために点検回数や修理回数を増やしていると推定した。
- ・設備の保全方式と設備経年化の関係についてみると経年化設備では故障時期を事前に予測する「予知保全」や設備の寿命を予測する「寿命予測」との相関性が高く「設備の老朽化」対策が行われていると推定した。
- ・経年化設備では、「動力機構」について「腐食、割れ」の点検との相関性が高く、「設備の老朽化」によるとみられる点検項目と関連性があると推定した。

「保護方策不備」の点から見ると以下の相関性や関連性がみられた。

- ・設備の点検箇所や点検項目の多変量解析結果から、経年化設備では、点検の対象として、安全設備や安全設備の機能などの安全対策設備との相関性が高いことが明らかとなった。
- ・一方、20年未満の設備においても安全設備の点検との相関性が高かった。安全対策の設備内容から見ると、新しい設備においては、停止の原則に基づく最新の安全対策が施された設備との相関性が高く、古い設備では隔離の原則に基づく古い基準の安全対策設備との相関性が高いことから点検対象設備が異なっていると推定した。
- ・経年化設備では、後付けで安全対策をしている場合でも対策が不十分なために労働災害が発生している場合が多くみられ、「ガードがない」、「ガードがあるが指や手が入る隙間がある」、「ガードがあるが取り外しが可能」など古い安全基準で後付けされた設備の不備によって労働災害が発生している場合が多いことが明らかとなった。
- ・経年化機械設備では、「指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある」との相関性も高く、最新レベルの安全対策については「不十分であるが問題ない」、「不十分であるが最新のレベルに適合させるのが困難である」などとの相関性も高いことが明らかとなり「保護方策不備」の状態で運転している機械設備が多いと推定した。
- ・また、安全対策ができない理由として古い設備では、安全対策を検討する人材が不足していることや予算が潤沢になく設備の更新ができないままに使い続けているなどの状況があると推定した。

以上をまとめると厚生労働省「報告書」で経年化機械設備について挙げられていた「設備の老朽化」と「保護方策不備」の二つの安全対策不適合の問題点が多変量解析した結果から示された。また、経年化設備について解析した結果、古い設備では、新しい設備に比較して、保護方策による安全対策ができない理由も示された。図 8 及び図 41 に示した「経年化・老朽化機械設備と労働災害リスク」のように「既存不適合」の経年化機械設備は「保護方策不備」の機械設備であり、「設備の老朽化」により、点検や修理などの危険点近接作業の頻度や時間が増加することにより、労働災害リスクがさらに増加していると考えられる。

3. 3. リスクセジメント実施や安全対策実施の動機付けに関する管理面からの解析

3.3.1. はじめに

本節では、検討課題2のうちの管理面から「リスクセジメント実施や安全対策実施の動機付け」に関して検討した結果を示した。経年化機械設備では、リスクセジメントなどの管理的手法が十分に実施されていない可能性があることから、リスクセジメント及び安全対策を実施した背景要因や動機付けに着目して解析を行った。リスクセジメントを実施することにより職場の潜在的な危険性や有害性を見つけ出し、事前に的確な対策を講ずることは、従来の発生した労働災害の原因調査に基づく労働災害防止対策とは異なり望ましい。リスクセジメントの実施内容を定めた指針もある。

製造業における動力機械等による労働災害防止については、多くの安全対策が行われている。中央労働災害防止協会ホームページの「OSHMS（労働安全衛生マネジメントシステム）、リスクセジメント、機械安全」のリスクセジメントの必要性について見ると、「従来の労働災害防止対策は、発生した労働災害の原因を調査し、類似災害の再発防止対策を確立し、各職場に徹底していくという手法が基本でした。～中略～これからの安全衛生対策は、自主的に職場の潜在的な危険性や有害性を見つけ出し、事前に的確な対策を講ずることが不可欠であり、これに応えたのが職場のリスクセジメントです。」との記載がある¹¹⁾。また、「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」では、リスクセジメントの実施内容や実施について定めている¹³⁾。

リスクセジメントの解説や実施した場合の効果については「1. 3. 既往の研究」で引用したように多くの報告例がある。しかしながら、事業者がリスクセジメントを実施するに至った動機付けや最新の安全対策を実施した背景要因について解析をした例は見当たらない。また、機械等による労働災害防止に関しては、個々の労働災害について解析した研究が多く、労働災害に関する多くのデータを用いて、解析をした例も少ない。リスクセジメントを実施することにより、潜在的な危険性や有害性を見つけ出し、事前に的確な対策を講ずることが望ましいが、実態として、発生した労働災害が動機付けとなってリスクセジメントや最新の安全対策を実施している可能性もある。

本節では、経年化機械設備においてリスクセジメントなどの管理的手法が十分に実施されていない可能性があることから、厚生労働省「報告書」のクロス集計データを用いて、多変量解析を実施した。解析項目としては、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況とリスクセジメントの実施状況や見直しのタイミング、OSHMSの導入状況、安全対策の実施状況などに着目して、管理的手法の実施状況について妥当性の検討を行った。また、背景や動機付けについて考察した。

労働災害の状況（死亡災害、休業災害、無災害に分類）とリスクセジメント実施状況や安全対策実施状況などの各設問肢を以下に示した。

- ・事業場毎の労働災害（死亡災害、休業災害、無災害）の状況
- ・労働災害の状況と指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況の解析
- ・労働災害の状況とリスクアセスメントの実施見直しのタイミングの解析
- ・労働災害の状況と労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況の解析
- ・労働災害の状況と設備の安全対策の最新レベル化の解析
- ・労働災害の状況と最新の安全指針のレベルに合わせるのが困難な理由の解析
- ・まとめ（多変量解析結果）

3.3.2. 解析方法

解析に用いたデータ、解析方法、解析結果のとりまとめ方法については、以下のとおりとした。

3.3.2.1. 解析に用いたデータ

前述した厚生労働省「報告書」の中で実施された「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に関するアンケート解析結果の公表データのうち、主として厚生労働省「報告書」（2020（令和2）年度）に公表されているクロス集計データを用いて多変量解析を行った。

3.3.2.2. 解析の方法

「報告書」アンケートでは、約500の事業場から過去10年間に起きた休業4日以上労働災害の状況に関する回答を得ているが、各事業場の回答結果を基に「死亡災害」、「休業災害」、「災害内容不明」、「無災害」の4種類の分類のうち「災害内容不明」を除いた上で、リスクアセスメントの実施状況や見直しのタイミング、OSHMSの導入状況、安全対策の実施状況などの項目に着目して、多変量解析を行った。多変量解析には、前節の「3.2.2.2. 解析の方法」で示した方法と同様に「統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver. 7.8」を用いて同様な手法で解析した。クロス集計データを基にコレスポネンス分析を行って、寄与率、累積寄与率などが十分に高い値をとっていることを確認した上で散布図を作成した。コレスポネンス分析では、縦軸、横軸の定義は特にしない点、距離が近いほど項目間の相関性が高い点から項目間の距離に着目した。また、クラスター分析を併用して相関性の確認を行った。

3.3.2.3. 解析結果の取りまとめ方法

データの取りまとめにあたっては、前述した過去に発生した事業場毎の「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況（死亡災害、休業災害、無災害に分類）と各設問肢の項目との相関性に着目して、多変量解析を実施した結果をそれぞれ表、散布図として示した。

また、多変量解析結果をまとめた表を作成した。

3.3.3. 解析結果

3.3.3.1. 労働災害の状況

「報告書」アンケートの「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況に関する解析結果は、事業場毎に「死亡災害」、「休業災害」、「災害内容不明」、「無災害」の4種類（表 30）に分類されている。

表 30 労働災害の状況別件数

災害状況	死亡災害	休業災害	災害内容不明	無災害
件数	21	133	9	307

出典：厚生労働省「報告書」（令和2年度179頁）

労働災害の発生状況については、「無災害」、「休業災害」、「死亡災害」、「災害内容不明」の事業場の順番であった。なお、以降の多変量解析では、「災害内容不明」を除いた上で、解析結果を示した。また、該当する回答の無かったデータについては省略した。

以下に、「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況（死亡災害、休業災害、無災害に分類）と各設問肢の項目との相関性に着目してコレスポンデンス分析を行った結果を示した。

3.3.3.2. 労働災害の状況と指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況の解析

厚生労働省の「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」や「機械の包括的な安全基準に関する指針」に基づいた動力機械のリスクアセスメントの実施状況について、「報告書」クロス集計データ（表 31）及びコレスポンデンス分析結果の散布図（図 53）を示した。表 31 より、ほとんどの事業場でリスクアセスメントが行われており、「①指針に基づいたリスクアセスメントを行っている」の件数が一番多かった。図 53 より、「休業災害」と「①指針に基づいたリスクアセスメントを行っている」が近い距離にあり、また、「無災害」と「②リスクアセスメントを行っているが、厚生労働省の指針通りの方法ではない」及び「①指針に基づいたリスクアセスメントを行っている」が近い距離にあり、それぞれ、相関性が高いことが明らかとなった。「死亡災害」との相関性の高い項目は無いことが明らかとなった。

表 31 労働災害の状況と指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況

設問肢\災害状況	死亡災害	休業災害	災害内容不明	無災害
①指針*)に基づいたリスクアセスメントを行っている	18	76	4	153
②リスクアセスメントを行っているが、厚生労働省の指針通りの方法ではない	2	46	4	107
③リスクアセスメントのやり方がわからない	0	0	0	3
④リスクアセスメントが必要なことを知らなかった	0	1	0	4

指針*)：「機械の包括的な安全基準に関する指針」

別表第 2（本質安全設計方策）

別表第 3（安全防護の方法）

別表第 4（付加保護方策の方法）など

出典：厚生労働省「報告書」（令和 2 年度 181 頁）

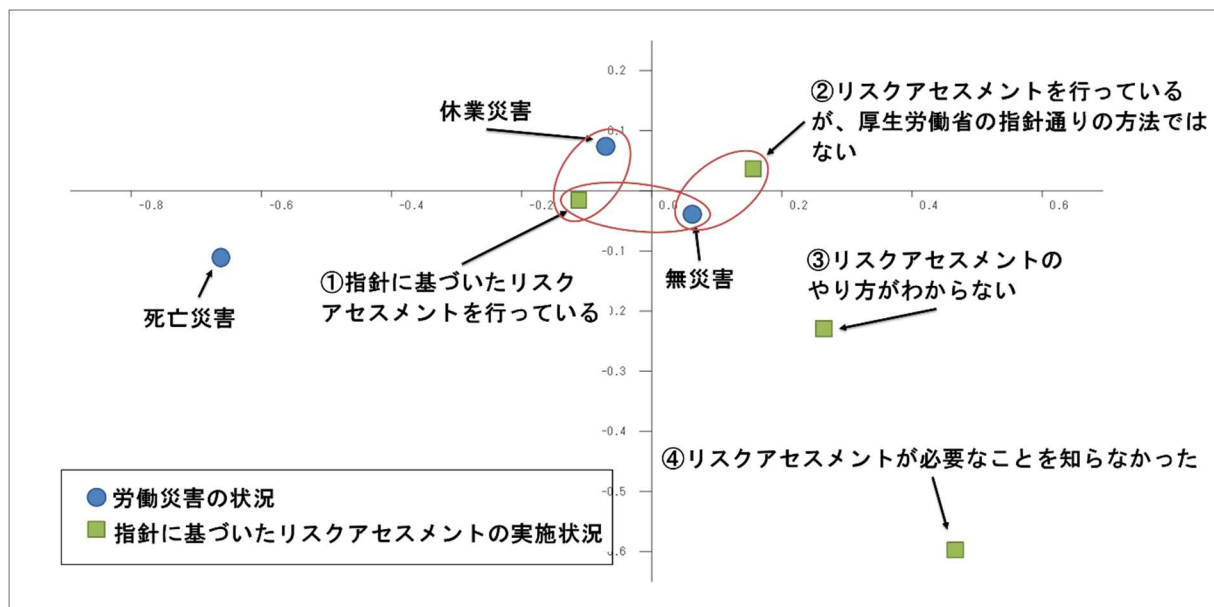


図 53 労働災害の状況と指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況のコレスポンデンス分析

3.3.3.3. 労働災害の状況とリスクアセスメントの実施見直しのタイミングの解析

リスクアセスメントの実施見直しのタイミングについて、「報告書」クロス集計データ（表 32）及びコレスポネンス分析結果の散布図（図 54）を示した。表 32 から、見直しのタイミングとして、それぞれの項目が選択されていることが明らかとなった。図 54 から、「④労働災害の発生」は、「死亡災害」、「休業災害」のいずれからも離れており、相関性が見られなかった。一方で、「無災害」に近い距離に「①設備の新設、又は変更」、「②材料の変更」、「③作業方法、又は作業手順の変更」、「⑧新たな安全衛生に係る知見の集積等」などが集まっていることが明らかとなった。

表 32 労働災害の状況とリスクアセスメントの実施見直しのタイミング

設問肢\災害状況	死亡災害	休業災害	災害内容不明	無災害
①設備の新設、又は変更	18	120	8	253
②材料の変更	5	58	5	128
③作業方法、又は作業手順の変更	15	102	8	219
④労働災害の発生	17	104	7	206
⑤前回の調査等から一定の期間が経過	6	34	5	71
⑥機械設備等の経年劣化	4	30	1	37
⑦労働者の入れ替わり等に伴う労働者の安全衛生に係る知識経験の変化	3	31	4	59
⑧新たな安全衛生に係る知見の集積等	5	40	3	90
⑨その他	2	18	0	21

出典：厚生労働省「報告書」（令和 2 年度 182 頁）

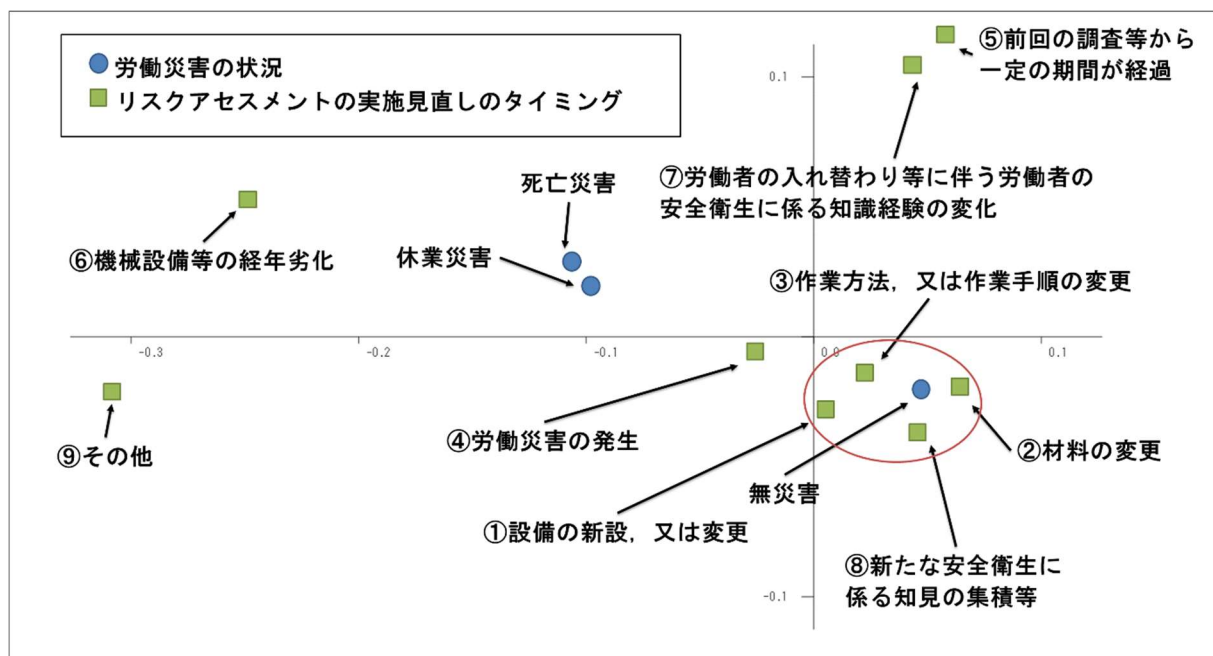


図 54 労働災害の状況とリスクアセスメントの見直しのタイミングのコレスポネンス分析

3.3.3.4. 労働災害の状況と労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況の解析

労働安全衛生マネジメントシステム（OSHMS）の導入状況について、「報告書」のクロス集計データ（表 33）及びコレスポネンズ分析結果の散布図（図 55）を示した。表 33 から、OSHMS の認証の有無に関わらず、労働安全衛生マネジメントを導入している事業場と導入していない事業場にわかれていることが明らかとなった。図 55 から、「休業災害」と「①OSHMS を導入し、認証を受けている」が近い距離にあり、相関性が高いことが明らかとなった。一方、「無災害」と「②OSHMS の認証は受けていないが、OHSAS18001、ISO45001、JISQ45001 等の規程に準じたマネジメントシステムを運用している」及び「④労働安全衛生マネジメントシステムの導入をしていない」が近い距離にあり、それぞれ、相関性が高いことが明らかとなった。「死亡災害」との相関性の高い項目は無いことが明らかとなった。

表 33 労働災害の状況と労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況

設問肢\災害状況	死亡災害	休業災害	災害内容不明	無災害
①OSHMS を導入し、認証を受けている	5	27	1	48
②OSHMS の認証は受けていないが、OHSAS18001、ISO45001、JISQ45001 等の規程に準じたマネジメントシステムを運用している	11	45	2	107
③労働安全衛生マネジメントシステムの導入を計画中である	1	4	1	12
④労働安全衛生マネジメントシステムの導入をしていない	4	54	4	112

出典：厚生労働省「報告書」（令和 2 年度 179 頁）

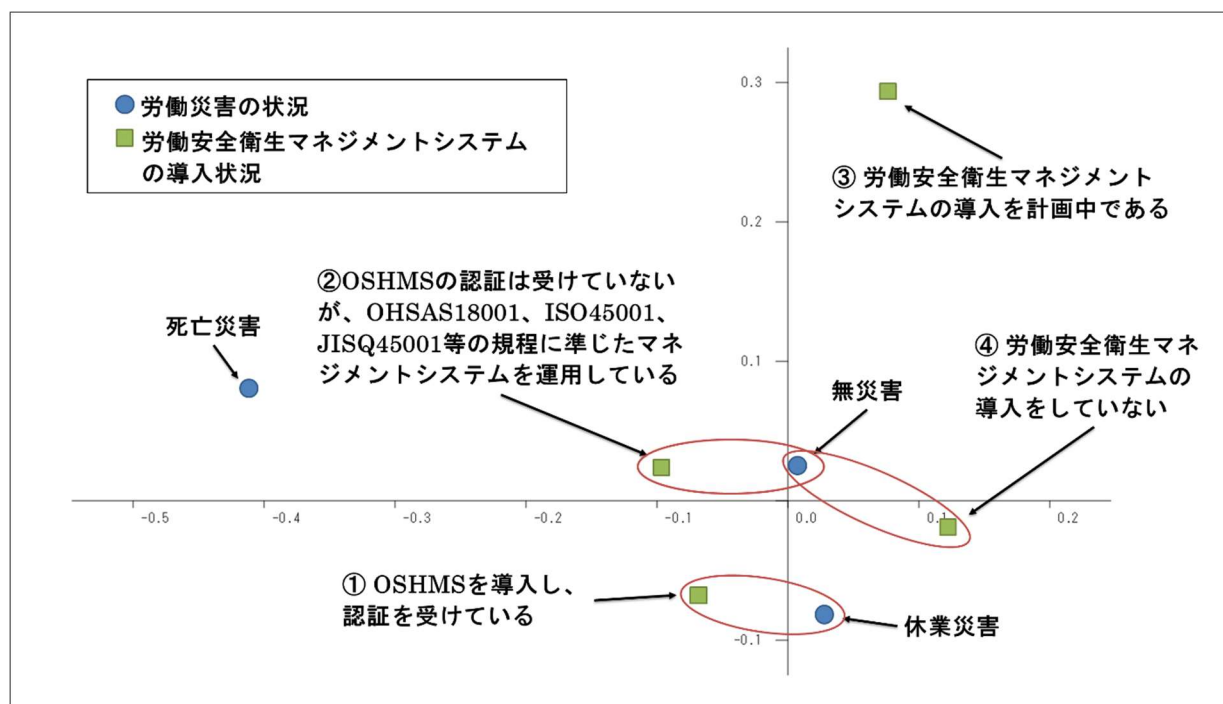


図 55 労働災害の状況と労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況のコレスポネンズ分析

3.3.3.5. 労働災害の状況と設備の安全対策の最新レベル化の解析

設備の安全対策の最新レベル化について、「報告書」のクロス集計データ（表 34）及びコレスポネン分析結果の散布図（図 56）を示した。図 56 から、「死亡災害」と「②安全対策を最新の安全のレベルに適合させた」が近い距離に位置しており、相関性が高いことが明らかとなった。なお、「①現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである」が「死亡災害」と相対的に近い距離にあるが、その理由としては、アンケート回答結果の中に労働災害発生後に設備を更新したことが記載されている例があったためであり、散布図の分布に影響していると推定した。一方、「休業災害」は「③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている」、「④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている」及び「⑤現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である」との距離が近いことが明らかとなった。また、「無災害」は各項目の中間（破線両矢印）に位置しており、各設問肢の影響を受けている位置にあることが明らかとなった。つまり、それぞれの設問肢に該当する事業場が存在しており、安全対策の取組状況が事業場によって大きく異なっているためと推定した。

表 34 労働災害の状況と安全対策の最新レベル化状況

設問肢\災害状況	死亡災害	休業災害	災害内容不明	無災害
①現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである	1	5	0	14
②安全対策を最新の安全のレベルに適合させた	4	13	1	45
③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている	5	42	1	83
④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている	7	46	4	94
⑤現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である	5	21	2	40
⑥その他	0	1	1	2

出典：厚生労働省「報告書」（令和2年度 185 頁）

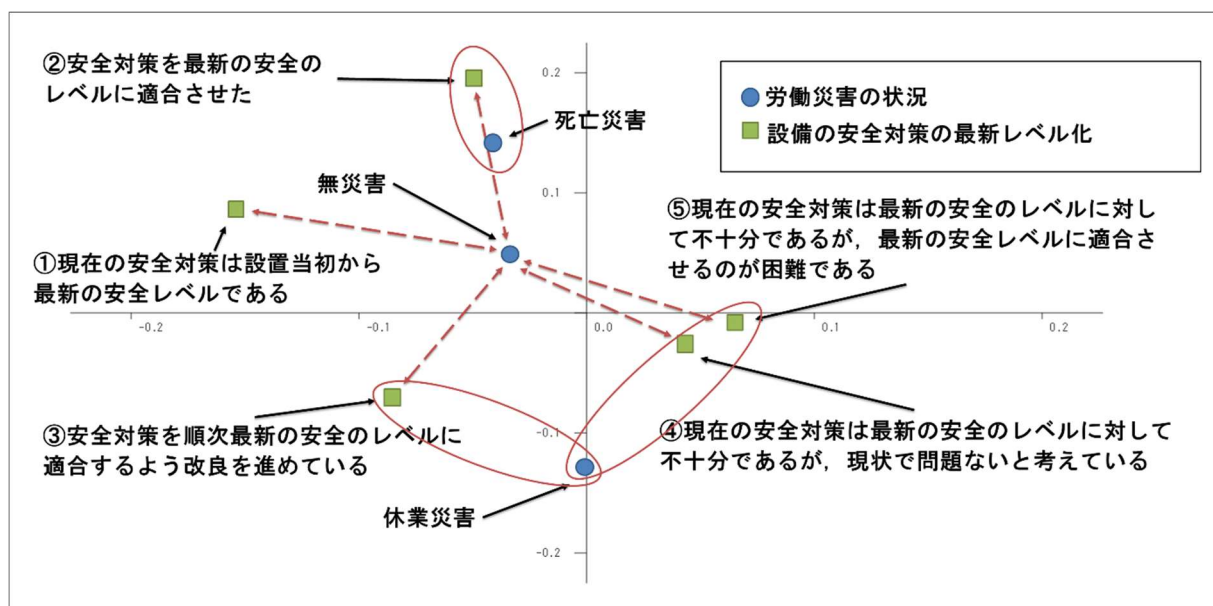


図 56 労働災害の状況と安全対策の最新レベル化のコレスポネン分析

3.3.3.6 労働災害の状況と最新の安全指針のレベルに合わせるのが困難な理由の解析

最新の安全対策設備を設置できない理由について、「報告書」のクロス集計データ（表 35）及びコレスポネンス分析結果の散布図（図 57）を示した。図 57 から、「休業災害」に近い距離に「③安全対策設備を追加設置する予算がない」及び「④安全対策設備投資の優先順位が低い」が位置しており対策費用の問題との相関性が高いことが明らかとなった。一方、「無災害」に近い距離に「①具体的な安全対策を検討する人材がない」及び「②安全対策設備を追加設置するスペースがない」が位置しており、人やスペースの問題と相関性が高いことが明らかとなった。「死亡災害」との相関性の高い項目は無いことが明らかとなった。

表 35 労働災害の状況と最新安全指針レベルに合わせるのが困難な理由

設問肢\災害状況	死亡災害	休業災害	災害内容不明	無災害
①具体的な安全対策を検討する人材がない	2	26	0	51
②安全対策設備を追加設置するスペースがない	10	45	3	86
③安全対策設備を追加設置する予算がない	5	47	2	60
④安全対策設備投資の優先順位が低い	4	31	2	32
⑤その他	2	18	1	51

出典：厚生労働省「報告書」（令和 2 年度 186 頁）

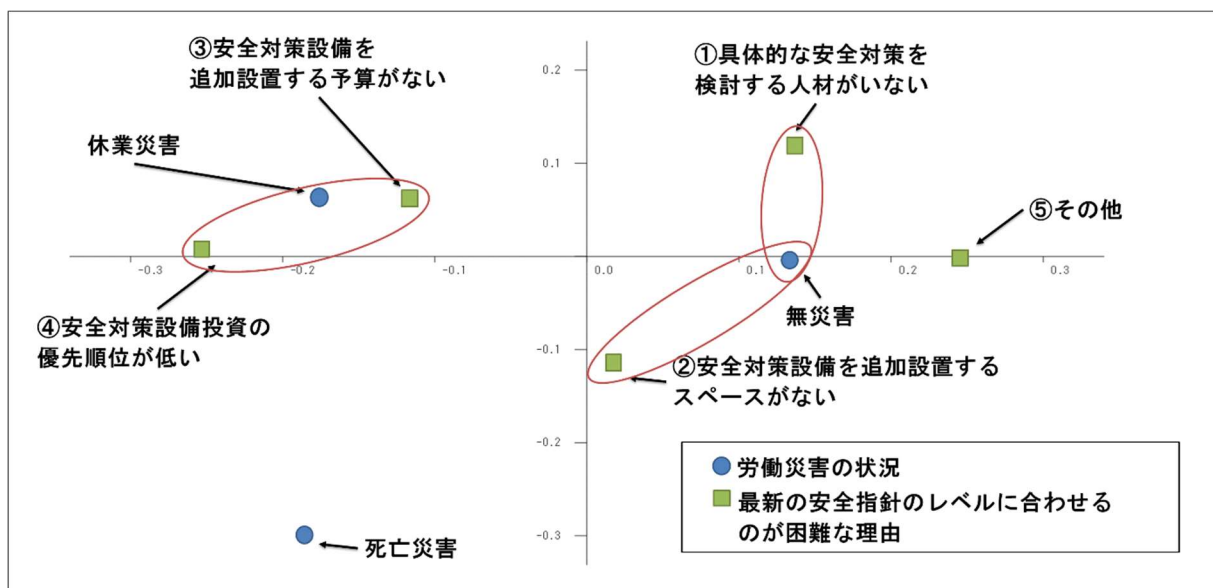


図 57 労働災害の状況と最新安全指針レベルに合わせるのが困難な理由のコレスポネンス分析

3.3.4. 結果と考察

発生した「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況とリスクアセスメントの実施状況や見直しのタイミング、OSHMS の導入状況、安全対策の実施状況などに着目したコレスポネンス分析結果から、相関性が高かった項目を整理して「死亡災害」、「休業災害」、「無災害」について一覧表にして結果を表 36 に示した。

表 36 コレスポネンス分析により相関性の高かった項目

質問項目\災害状況	死亡災害	休業災害	無災害
指針に基づいたリスクアセスメントの実施状況	—	①指針に基づいたリスクアセスメントを行っている	①指針に基づいたリスクアセスメントを行っている、②リスクアセスメントを行っているが、厚生労働省の指針通りの方法ではない
リスクアセスメントの実施見直しのタイミング	—	—	①設備の新設、又は変更、②材料の変更、③作業方法、又は作業手順の変更、④作業方法、又は作業手順の変更、⑤新たな安全衛生に係る知見の集積等
労働安全衛生マネジメントシステムの導入状況	—	①OSHMS を導入し、認証を受けている	②OSHMS の認証は受けていないが、OHSAS18001、ISO45001、JISQ45001 等の規程に準じたマネジメントシステムを運用している、④労働安全衛生マネジメントシステムの導入をしていない
設備の安全対策の最新レベル化	②安全対策を最新の安全のレベルに適合させた（①現在の安全対策は設置当初から最新の安全レベルである）	③安全対策を順次最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている ④現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、現状で問題ないと考えている、⑤現在の安全対策は最新の安全のレベルに対して不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である	①②③④⑤のいずれにも該当
最新の安全指針のレベルに合わせるのが困難な理由	—	③安全対策設備を追加設置する予算がない、④安全対策設備投資の優先順位が低い	①具体的な安全対策を検討する人材がない、②安全対策設備を追加設置するスペースがない

表 36 から、以下のことが明らかとなった。

- ・「死亡災害」については、5つの質問項目の中で4つの質問項目と相関性が低かったが、設備の安全対策の最新レベル化についてのみ、「最新の安全のレベルに適合させた」との相関性が

高く、最新の安全対策実施の動機付けとの関連性があると推定した。なお「安全対策は設置当初から最新の安全レベルである」との相関性については、労働災害発生後に設備を更新した「報告書」のアンケート回答例もあり、散布図の分布に影響していると推定した。

- ・「休業災害」では、「指針に基づいたリスクアセスメントを行っている」や「OSHMSを導入し、認証を受けている」との相関性が高かった。また、設備の安全対策の最新レベル化については、「最新の安全のレベルに適合するよう改良を進めている」、「不十分であるが、現状で問題ないと考えている」及び「不十分であるが、最新の安全レベルに適合させるのが困難である」と相関性が高く、最新の安全対策設備を設置できない理由としては、「追加設置する予算がない」及び「投資の優先順位が低い」との相関性が高かった。
- ・「無災害」では、「リスクアセスメントを行っているが、厚生労働省の指針通りの方法ではない」及び「指針に基づいたリスクアセスメントを行っている」、また、「OSHMSの認証は受けていないが、他のマネジメントシステムを運用している」及び「労働安全衛生マネジメントシステムの導入をしていない」との相関性が高かった。設備の安全対策の最新レベル化については、「無災害」は、各項目の中間に位置しており、事業場により最新レベル化の取組状況が大きく異なっている状況を示していると推定した。最新の安全対策設備を設置できない理由では、「検討する人材がない」や「追加設置するスペースがない」と相関性が高かった。
- ・リスクアセスメント実施見直しのタイミングでは「無災害」に幾つかの項目が集中しているが、「死亡災害」、「休業災害」と相関性が高い項目はなかった。

以上の結果から、「死亡災害」、「休業災害」、「無災害」のいずれの事業場でも、指針通りであるかないかは別として、リスクアセスメントが実施されていること、OSHMSの認証や準じた労働安全衛生マネジメントシステムを実施している事業場があると推定した。一方で、労働安全衛生マネジメントシステムを実施していない事業場も多くあると推定した。

コレスポンデンス分析結果の相関性から推定した結果を以下にまとめた。

- ・リスクアセスメントや労働安全衛生マネジメントシステムを実施することで、危険点に適切な安全対策を行い労働災害を未然に防止して「無災害」となっている事業場があると推定した。
- ・一方で、「無災害」ではあるが労働安全衛生マネジメントシステムなどを導入していない事業場も多くあり、事業場により安全対策の取組状況に大きな差があると推定した。
- ・「無災害」の后者の事業場では、十分なリスクアセスメントや安全対策を実施していない可能性があり、設備の安全対策の最新レベル化が十分でない可能性がある。
- ・「死亡災害」を動機付けとして、徹底した安全対策を実施した事業場があると推定した。
- ・「休業災害」を経験したが、十分な安全対策を実施しない状況で経年化機械設備を使用している事業場も存在していると推定した。

「死亡災害」の例は、古い安全基準の機械設備で発生した労働災害であり、その労働災害後の安全対策は、冒頭に述べた従来の労働災害防止対策で「発生した労働災害の原因を調査し、類似

災害の再発防止対策を確立し、各職場に徹底していくという手法」である。多変量解析を用いた解析結果から、経年化機械設備においては、従来の基本手法である発生した労働災害をきっかけとして、新しい安全基準に更新するなどの徹底した労働災害防止対策を実施した事業場が多く存在すると推定した。

「1. 3. 既往の研究」では、リスクアセスメントの研究例、解説例、実施した場合の効果について引用した。解析結果からは機械設備の安全対策の最新レベル化が不十分であり「保護方策不備」の経年化機械設備を使用しているが、十分なリスクアセスメントや安全対策を実施していない状況であっても労働災害を起こしていない事業者も多く存在していると推定した。リスクアセスメントの実施や OSHMS（労働安全衛生マネジメントシステム）の導入により、多くの労働災害は減少しているが、経年化機械設備については、十分なリスクアセスメントの実施や OSHMS（労働安全衛生マネジメントシステム）の導入、これらに基づく安全対策が行われていない事業場が多く存在している可能性がある。

3. 4. 経験年数の短い中高年齢作業者に求められる教育訓練に関する作業員面からの解析

3. 4. 1. はじめに

第1章で示したように製造業に従事する従業員数と年齢構成は変化している。また、製造現場の「現場力」を担ってきたベテランの退職による技術伝承の問題も提起されている。

製造業の従業員に関する年次推移状況からみると、従業員数の減少、従業員の年齢構成や分布の変化などを労働災害の防止の面で考慮すべきである。労働災害における従業員のヒューマンファクターの面で、従業員の年齢構成などの変化に応じた安全対策の必要性が考えられる。

厚生労働省「報告書」によれば、労働災害件数の多い経験年数の短い労働災害死傷者の中には、若年齢層だけでなく中高年齢層が多く含まれていることが示されている。本節では、検討課題2のうち作業員面の「労働災害の多い経験年数の短い従業員の年齢層による災害要因の違い」の点から、経年化機械設備に起因する経験年数の短い従業員の「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に着目して、経験年数の短い中高年齢従業員と若年齢従業員の労働災害要因の違いについて、また、求められる教育や訓練の違いについて解析する目的で多変量解析を行った。

作業員面からの解析として、主として経験年数の短い従業員の年齢構成（若年齢層から中高年齢層）と年齢別の災害要因の相違点に着目してコレスポネンス分析を実施した。また、「報告書」データを引用した。

- ・ 「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況
- ・ 経験年数の短い従業員の労働災害件数
- ・ 経験年数の短い死傷者の年齢分布
- ・ 経験年数の短い死傷者の労働災害要因
- ・ 経験年数5年未満と5年以上の死傷者の年齢分布と労働災害要因の解析

3. 4. 2. 解析方法

解析に用いたデータ、解析方法、解析結果のとりまとめ方法については、以下のとおりとした。

3. 4. 2. 1. 解析に用いたデータ

厚生労働省「報告書」（2017（平成29）年度から2020（令和2）年度）に記載された「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に関するアンケート回答結果306件のデータ及び厚生労働省が「職場のあんぜんサイト」で公表している「死傷DB」（2006（平成18）年～2017（平成29）年）12年分及び「死亡DB」（2006（平成18）年～2017（平成29）年）12年分のデータを用いた。

3. 4. 2. 2. 解析の方法

「報告書」のアンケート回答結果、「死傷DB」及び「死亡DB」のデータを項目毎に集計して、解析した結果をそれぞれ表及びグラフとして示した。また、労働災害死傷者の年齢層と労働災害要因の多変量解析については、前々節の「3. 2. 2. 解析の方法」で示した方法と同様に「統計・

社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver. 7.8」を用いて同様な手法で解析した。クロス集計データを基にコレスポネンス分析を用いて、寄与率、累積寄与率などが十分に高い値をとっていることを確認した上で散布図を作成した。コレスポネンス分析では、縦軸、横軸の定義は特にしない点、距離が近いほど項目間の相関性が高い点から項目間の距離に着目した。また、クラスター分析を併用して相関性の確認を行った。

また、ロール機のコレスポネンス分析結果について、ヒューマンエラーの解析に用いられる m-SHEL モデルを用いて考察した。

3.4.2.3. 解析結果の取りまとめ方法

前述の「報告書」のデータを用いた。解析結果の取りまとめに関しては、上記項目に着目して結果を図表として示した。

3.4.3. 解析結果

3.4.3.1. 「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の状況

製造業における動力機械による休業4日以上「はさまれ、巻き込まれ」労働災害、死亡災害について、「死傷DB」12年分及び「死亡DB」12年分から、起因物（中分類）の中で災害件数が多いものについてデータを集計して表37に示した。（図3及び図4参照。）

表 37 「はさまれ、巻き込まれ」死傷災害、死亡災害件数

起因物	死傷災害件数 (割合)	死亡災害件数 (割合)
一般動力機械	9,305 (36.7%)	277 (21.1%)
金属加工用機械	5,256 (20.7%)	92 (7.0%)
動力運搬機	3,227 (12.7%)	220 (16.8%)
製造業全体	25,342 (100.0%)	1,312 (100.0%)

表37から、製造業における労働災害（死傷）の起因物の中の動力機械と事故の型の内訳について公表されている災害件数について見ると一般動力機械（9,305件）、金属加工用機械（5,256件）、動力運搬機（3,227件）による災害が上位を占めている。より重篤な「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害について見ると、一般動力機械（277件）、動力運搬機（220件）による災害が上位を占めている。

死傷災害、より重篤な死亡災害についての解析結果から、本節では、動力機械のうちでも、一般動力機械及び動力運搬機による「はさまれ、巻き込まれ」労働災害に着目した。また、前述したように一般動力機械の代表的な機械設備としてロール機による労働災害、動力運搬機の代表的な機械設備としてコンベアによる労働災害を対象とした。

3.4.3.2. 経験年数の短い作業員の労働災害件数

厚生労働省「報告書」2018（平成30）年度では、アンケート回答結果から、動力機械による休業4日以上の「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の発生状況に基づき作業員の経験年数と労働災害件数について解析して経験年数の短い作業員の労働災害が多いことを示している。

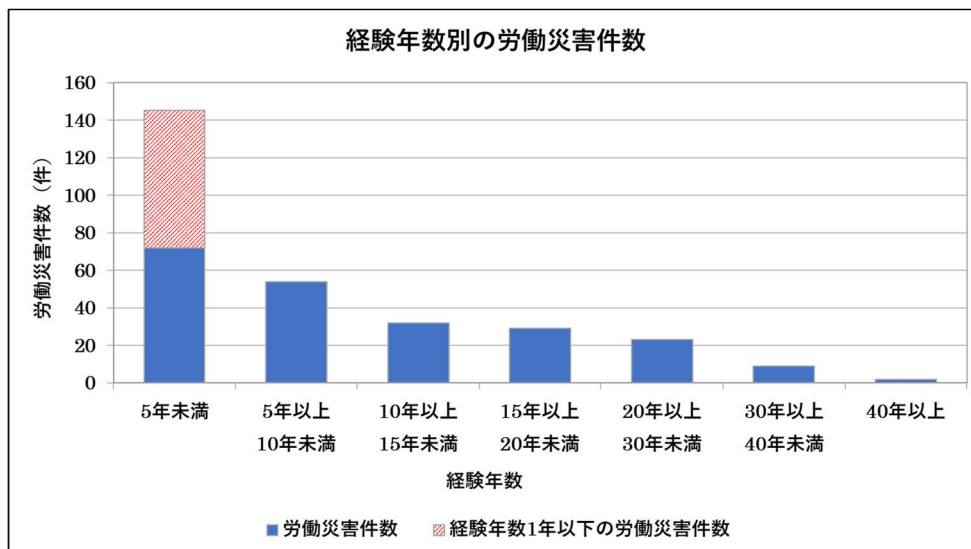


図 58 経験年数別の労働災害発生件数

出典：厚生労働省「報告書」（平成30年度57頁）

アンケート回答結果の労働災害306件のうち、労働災害死傷者の経験年数の記載のあるデータ294件について、経験年数を横軸にして、経験年数別の労働災害発生件数を図58に示した。図58から、全労働災害件数294件のうち、経験年数5年未満の作業員の災害件数が145件と約5割を占めていることを示している。特に1年以下の作業員の災害件数が73件（全件数の約25%）と多いこと、また、経験年数が多くなるに従って、災害件数が減少していく傾向が見られた。解析結果から経験年数が5年未満、特に1年以下の経験年数の短い作業員の労働災害が多いことが示されている。

3.4.3.3. 経験年数の短い死傷者の年齢分布

厚生労働省「報告書」2018（平成30）年度では労働災害死傷者の経験年数と年齢分布について解析を行い、経験年数が短い死傷者の中に中高年齢層が含まれていることを示している。なお、アンケート結果の合計306件の災害件数のうち、一般動力機械であるロール機によるもの120件、動力運搬機であるコンベアによるもの81件、その他動力機械によるもの105件の回答があったことを示している。また、厚生労働省「報告書」2020（令和2）年度のデータを基に、経験年数5年未満と5年以上の死傷者の年齢分布について集計した解析結果をロール機（図59）及びコンベア（図60）として示した。

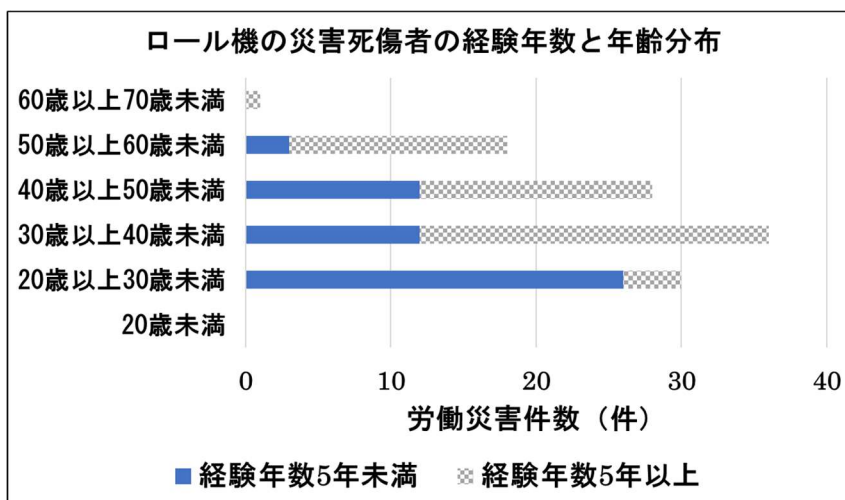


図 59 ロール機の労働災害死傷者の経験年数と年齢分布

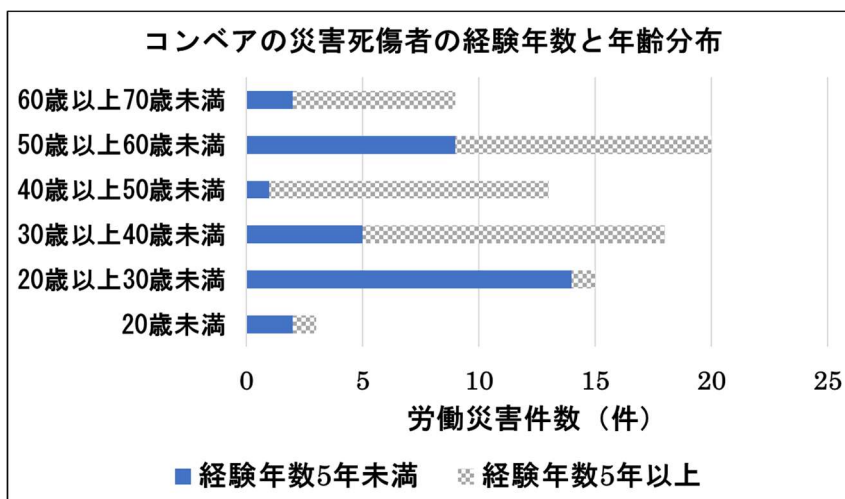


図 60 コンベアの労働災害死傷者の経験年数と年齢分布

その結果、ロール機、コンベアいずれも20歳以上30歳未満の年齢層を除き、図59のロール機については、30歳以上40歳未満と40歳以上50歳未満の年齢層に経験年数5年未満の死傷者が多く含まれていることが明らかとなった。

図60のコンベアの場合には、50歳以上60歳未満の年齢層の中の半数近くが経験年数の5年未満の死傷者であることが明らかとなった。

3.4.3.4. 経験年数の短い死傷者の労働災害要因

厚生労働省「報告書」2018（平成30）年度のデータを基にロール機（図61）について、経験年数5年未満の死傷者の災害要因（①省略行為、②確認不足、③業務の遅れ回避、④指導不足、⑤手順書不備、⑥応急対応、⑦その他）の件数を集計してそれぞれグラフとして示した。図61のロール機の災害要因の解析結果から、経験年数5年未満の死傷者では「②確認不足」、「①省略行為」、「④指導不足」の順で労働災害要因となっていることが明らかとなった。また、「④指導不足」については、経験年数1年以下の割合が多いことが明らかとなった。

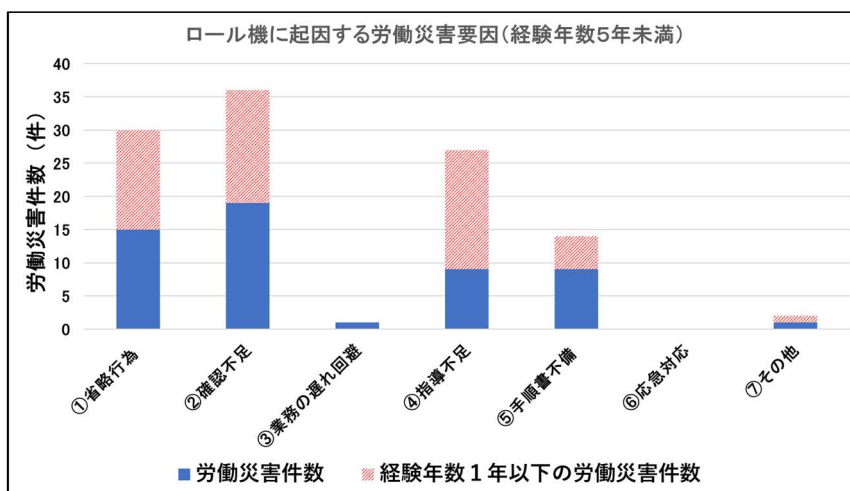


図 61 ロール機に起因する労働災害の要因別件数

出典：厚生労働省「報告書」（令和2年度196頁）

なお、「報告書」に記載された労働災害要因は、表38のとおりである。

表 38 「報告書」に記載された労働災害の要因

項目	①～⑦の内容
①省略行為	省略行為、ルール無視、マニュアルの不履行、インターロック無効化、不適切な保護具使用、不適切な作業方法
②確認不足	勘違い、思い込み、無意識、多忙、連絡不足、危険予知不足、事前チェック不足、認識不足、確認不足、経験不足、咄嗟の反応
③業務の遅れ回避	業務の遅れ回避、停止回避、品質・生産優先
④指導不足	指導不足、安全教育不足、管理不十分、作業指示不十分、実態把握不足（無し）、リスク摘出不足、リスク見落とし
⑤手順書不備	手順書不備、作業マニュアル不備、基準書不備、作業標準不備、文書化不備、異常時のマニュアル不備
⑥応急対応	応急対応不備、メンテナンス不足
⑦その他	上記に含まれない災害

出典：厚生労働省「報告書」（平成30年度52頁）

コンベアの解析結果はここでは示していないが、「①省略行為」、「②確認不足」、「④指導不足」の順に労働災害の要因となっていることを示していた。

また、労働災害の要因として、ロール機、コンベアともに経験年数1年以下で、「④指導不足」が多いが、5年未満ではロール機、コンベアで件数順に若干の違いがあるが、「②確認不足」、「①省略行為」、「④指導不足」の順となっていた。

3.4.3.5. 経験年数5年未満と5年以上の死傷者の年齢分布と労働災害要因の解析

経験年数が5年未満の死傷者の年齢層と災害要因の関連性について解析する目的で、ロール機に起因する労働災害の要因と年齢層について「報告書」のクロス集計データ（表 39）及びコレスポネン分析結果の散布図を図 62 に示した。また、比較のために経験年数が5年以上の作業者のロール機に起因する労働災害の要因と年齢層について「報告書」のクロス集計データ（表 40）及びコレスポネン分析結果の散布図を図 63 に示した。図 62 から、経験年数5年未満の死傷者の中でも年齢層によって災害要因との相関性に違いがあることが明らかとなった。20歳以上30歳未満の層では「②確認不足」、「④指導不足」、「①省略行為」との距離が近く相関性が高かった。30歳以上40歳未満の年齢層及び40歳以上50歳未満の年齢層が互いに近い距離にあり、「①省略行為」、「⑤手順書不備」との距離が近く相関性が高いことが明らかとなった。災害件数が少ない50歳以上60歳未満の年齢層は離れた位置にあった。また、「③業務の遅れ回避」も離れた位置にあった。

20歳以上30歳未満の若年齢層作業者では「②確認不足」、「④指導不足」、「①省略行為」との相関性が高いが、30歳以上40歳未満の年齢層及び40歳以上50歳未満の中高齢層作業者では、「①省略行為」、「④手順書不備」との相関性が高いことが明らかとなった。つまり、年齢層により災害要因が異なっていると推定した。

表 39 ロール機に起因する労働災害要因と年齢層（経験年数5年未満）

年齢層\災害要因	①省略行為	②確認不足	③業務の遅れ回避	④指導不足	⑤手順書不備	⑥応急対応	⑦その他
20歳未満	0	0	1	0	0	0	0
20歳以上30歳未満	16	19	3	12	5	0	0
30歳以上40歳未満	7	6	0	6	4	0	1
40歳以上50歳未満	6	9	0	6	5	0	1
50歳以上60歳未満	1	3	0	4	0	0	0
60歳以上70歳未満	0	0	0	0	0	0	0

出典：厚生労働省「報告書」（令和2年度196頁）

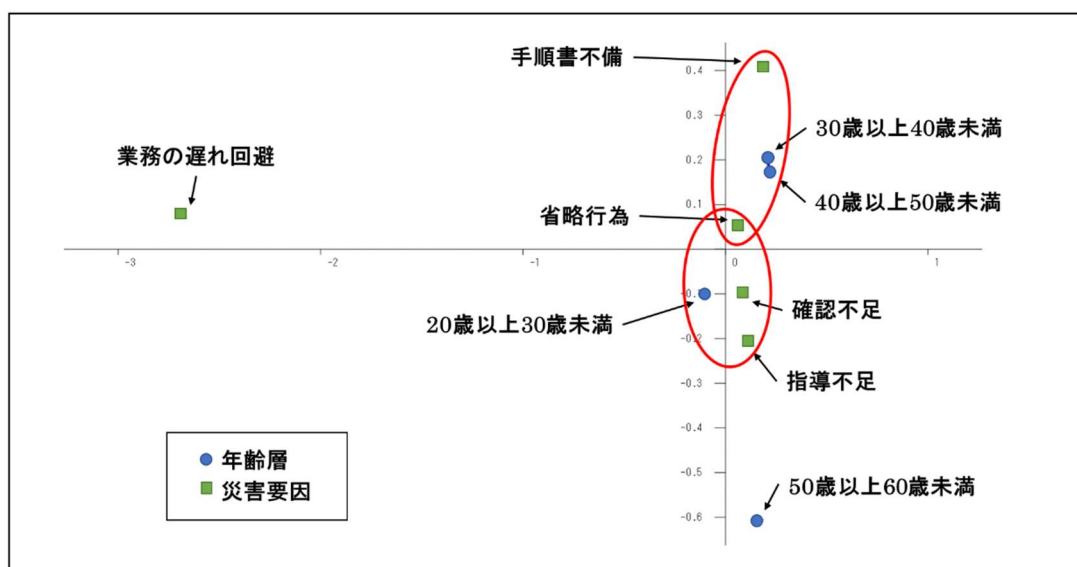


図 62 ロール機に起因する労働災害要因と年齢層（経験年数5年未満）のコレスポネン分析

表 40 ロール機に起因する労働災害要因と年齢層（経験年数5年以上）

年齢層\災害要因	①省略行為	②確認不足	③業務の遅れ回避	④指導不足	⑤手順書不備	⑥応急対応	⑦その他
20歳未満	0	0	0	0	0	0	0
20歳以上30歳未満	3	3	0	1	0	0	0
30歳以上40歳未満	15	12	1	8	9	0	1
40歳以上50歳未満	12	7	0	8	5	0	0
50歳以上60歳未満	9	11	1	7	4	0	0
60歳以上70歳未満	0	0	0	0	0	0	0

出典：厚生労働省「報告書」（令和2年度196頁）

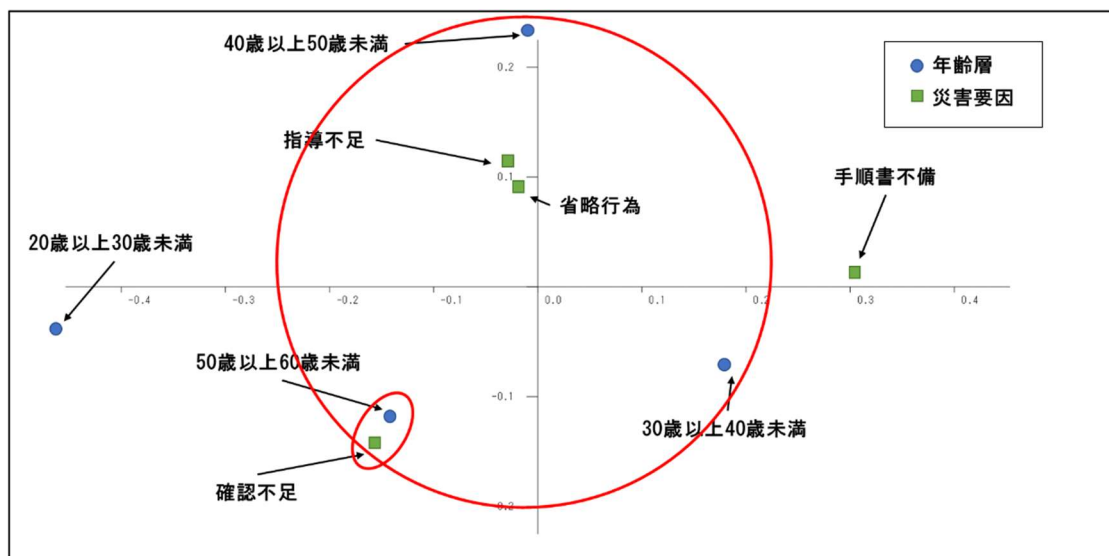


図 63 ロール機に起因する労働災害要因と年齢層（経験年数5年以上）の相関分析

図 63 からは、図 59 において労働災害件数の多かった 30 歳以上 40 歳未満の年齢層、40 歳以上 50 歳未満の年齢層、50 歳以上 60 歳未満の年齢層の間に「④指導不足」及び「①省略行為」が位置する結果となった。経験年数 5 年以上の死傷者においては、年齢層による差が少なく、災害要因が「④指導不足」及び「①省略行為」に集中していることを示していると推定した。一方で、年齢の高い 50 歳以上 60 歳未満の年齢層の近くに「②確認不足」が位置していることも明らかとなった。また、災害件数の少ない 20 歳以上 30 歳未満の年齢層は離れた位置にあった。

以上示したように、経験年数 5 年未満の作業者の相関分析の結果から、年齢層による災害要因の違いが明らかとなった。若年齢層は「②確認不足」及び「④指導不足」と中高年齢層は「⑤手順書不備」と相関性が高く、労働災害の要因に差がみられた。「①省略行為」は共通していた。経験年数が短い中高年齢層の作業者は配置転換や中途入社などによって職場に配属されていると推定されることから、会社での勤務年数だけでなく、その職場での経験年数が労働災害の発生に関係していると考えられる。

一方で、経験年数 5 年以上の作業者では、30 歳以上 40 歳未満の年齢層、40 歳以上 50 歳未満の年齢層、50 歳以上 60 歳未満の年齢層の間に差が見られず「④指導不足」及び「①省略行為」が共通していることが明らかとなった。また、年齢の高い 50 歳以上 60 歳未満の年齢層と「②確認不足」の相関性が高かった。

3.4.3.6. m-SHEL モデルを用いた考察

ヒューマンエラーの解析に用いられる m-SHEL モデル (表 41、図 64) ^{133,134)} を用いてロール機のコレスポネンス分析結果について考察した。

表 41 m-SHEL モデルの構成要素

略号	意味	説明
S	Software	手順書やマニュアル等
H	Hardware	機械・器具、装置、マンマシン・インタフェース等
E	Environment	温度、騒音、空間等物理的作業環境、雰囲気等社会的環境
L	Liveware	中央；作業者、オペレータ当事者 下段；チームメイトなどまわりの人
m	Management	マネジメント、組織、管理、体制

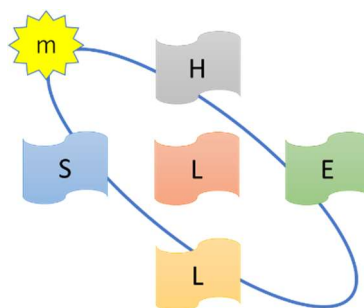


図 64 m-SHEL モデルの図

「省略行為」や「確認不足」は、表中の「L」に分類される。20 歳以上から 50 歳未満の幅広い年齢層に相関性のある「省略行為」は作業者本人の故意によるもので表中の「L」中央に該当するが、20 歳以上 30 歳未満の層に相関性の高い「確認不足」は作業者の無知や認知ミス、判断ミスなど表中の「L」中央の他に「L」下段の周囲の人を含む職場からの影響もある要因であると考えられる。

30 歳以上から 50 歳未満の年齢層に相関性の高い「手順書不備」は「S」、20 歳以上 30 歳未満の層に相関性のある「指導不足」は「m」に分類されることから、作業者への教育方法や指導方法の見直しの観点のみならず、職場の管理体制も含めた見直しが必要であると考えられる。

このように、ロール機に起因する災害要因は、経験年数の短い作業者の年齢層により異なり、必要な教育、指導、管理も異なると推定した。なお、ここでは「H」、「E」は考慮しなかった。

コンベアについては、コレスポネンス分析結果を示していないが、図 60 から、20 歳以上 30 歳未満の年齢層の他に、50 歳以上 60 歳未満の年齢層の労働災害の割合が大きくなっている。同様な解析結果から、20 歳以上 30 歳未満の年齢層で「指導不足」、中高年齢層で「省略行為」、「確認不足」などについて年齢層に応じた教育や指導が求められると推定した。

3.4.4. 結果と考察

厚生労働省「報告書」2018（平成30）年度では、製造業における経年化動力機械に起因する「はさまれ、巻き込まれ」労働災害について、経験年数が短い作業員（5年未満）で労働災害が発生していること、経験年数の短い労働災害死傷者の中には、若年齢層だけでなく中高年齢層が多く含まれていることを示している。本節ではこれらのデータを基に更なる解析を行った。一般動力機械であるロール機と動力運搬機であるコンベアについて、労働災害死傷者の経験年数と年齢に着目して、その災害要因の多変量解析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ロール機による経験年数5年未満の死傷者の災害要因では「確認不足」、「省略行為」、「指導不足」と相関性が高いことが明らかとなった。
- ・ロール機による経験年数5年未満の死傷者の年齢層と災害要因に関するコレスポンデンス分析結果によると、年齢層によって災害要因に違いがあり、20歳以上30歳未満の年齢層では「確認不足」や「指導不足」との相関性が高く、30歳以上40歳未満の年齢層及び40歳以上50歳未満の年齢層では、「手順書不備」との相関性が高かった。「省略行為」は年齢層に関係なく幅広く相関性があった。
- ・ロール機による経験年数5年以上の死傷者の災害要因のコレスポンデンス分析では、年齢層によらず「指導不足」、「省略行為」にはほぼ等距離で位置していた。一方で、年齢層の高い50歳以上60歳未満の年齢層の近くに「確認不足」が位置していることが明らかとなった。
- ・コンベアについては一部のデータのみを示したが経験年数5年未満の死傷者の災害要因でも「省略行為」、「確認不足」、「指導不足」が多く、20歳以上30歳未満の年齢層で「指導不足」、中高年齢層で「省略行為」、「確認不足」などと相関性が高かった。
- ・ロール機についてm-SHELモデルを用いて考察した結果、経験年数の短い作業員のうち若年齢層については、作業員本人の故意による「省略行為」、作業員の無知や認知ミス、判断ミスなどによる「確認不足」などを考慮した教育方法や指導方法が求められる。また、「指導不足」については職場の管理体制の見直しも考慮する必要がある。
- ・一方で、経験年数の短い作業員のうち中高年齢層については、作業員本人の故意による「省略行為」及び作業方法や操作方法を記載した手順書やマニュアルなどに不備のある「手順書不備」との相関性が高く、これらを考慮した教育方法や指導方法が求められる。
- ・なお、ロール機とコンベアについての年齢層による災害要因や災害件数の違いの理由は明確ではないが、ロール機が一般動力機械であり生産に用いられていることに対して、コンベアが動力運搬機であり運搬に用いられていることから、機械設備としての役割が異なっていること、操作に要求される熟練度の違い、操作の煩雑さなどにより作業にあたる作業員の年齢層に違いがあると推定した。図59のロール機では、30歳以上40歳未満の年齢層及び40歳以上50歳未満の年齢層に経験年数が短い中高年齢層死傷者が分布しているが、図60のコンベアでは、50歳以上60歳未満の年齢層に経験年数が短い中高年齢層死傷者が分布している。機械設備の役割として生産に用いられるロール機の方が製品の品質などへの影響も大きい作業であり運転操作が煩雑であると推定されることから、従事している作業員の年齢層が異なっていることも反映した結果であると推定した。

- ・経験年数の短い労働災害死傷者の中に、若年齢層だけでなく中高年齢層が多く含まれている背景として、製造業における雇用者数、入職者数、退職者数などの変化、人員の中途採用、配置転換など雇用情勢に関する大きな変化があり、中高年齢層の配置転換や中途採用が行われていることも一因であると推定した。
- ・ベテランの退職による技術伝承の問題も提起されている。「保護方策不備」の経年化機械設備においては、実態として「ベテランの経験知」や「現場力」により運転が行われている可能性がある。ベテランの退職により経験年数の短い作業員との交代時期であるとも考えられる。労働災害が多い経験年数の短い作業員の中で若年齢層だけでなく、中高年齢層にも配慮した教育や訓練を行う必要がある。

以上、経年化機械設備の種類による差はあるが、経験年数の短い作業員と言っても、年齢層により労働災害要因に違いがあり、年齢層に応じた教育や指導を実施する必要があると推定した。

3. 5. 第3章のまとめ

「報告書」に示された経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について、設備面、管理面、作業面から多変量解析を行って妥当性の検討を行った。クロス集計されたデータを用いてコレスポンデンス分析を行うことにより項目間の相関性より解析ができることが明らかとなった。以下に解析結果を示した。

3.5.1. 経年化機械設備の設備面からみた安全対策不適合の解析

経年化機械設備の「設備の老朽化」及び「保護方策不備」の安全対策不適合について以下の点が明らかとなった。

- ・経年化機械設備の「設備の老朽化」の点からは、点検回数、修理回数などが増加している。逆に点検回数や修理回数を増やすことにより機械設備の寿命を延命して使っていると推定された。
- ・経年化機械設備の保全方法についてみると、「寿命予測」や「予知保全」と相関性が高く「設備の老朽化」によるとみられる設備対策が行われていると推定した。
- ・経年化機械設備の一部では、「動力機構」について「腐食、割れ」の点検との相関性が高く、「設備の老朽化」によるとみられる設備対策が行われていると推定した。
- ・古い設備でも新しい設備でも点検箇所、点検項目では、「安全設備」や「安全設備の機能」との相関性が高いが、安全対策の内容を解析すると新しい設備では「自動停止装置」や「センサー」などの最新の安全対策設備の点検であるが、古い経年化設備では「ガード」や「カバー」などの設備が点検対象となっており、点検対象や安全対策のレベルに違いがあると推定した。
- ・経年化設備で安全対策ができない理由としては、「予算がない」、「検討する人材がない」などとの相関性が高かった。
- ・経年化機械設備の「保護方策」に着目すると「ガードがない」、「ガードがあるが指や手が入る隙間がある」、「ガードがあるが取り外しが可能」など古い安全基準で後付けされた設備の不備によって労働災害が発生している場合が多いことが明らかとなった。
- ・経年化設備では、「指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある」との相関性も高く、最新レベルの安全対策については「不十分であるが問題ない」、「不十分であるが最新のレベルに適合させるのが困難である」などとの相関性も高いことが明らかとなり「保護方策不備」の状態で運転している機械設備が多いと推定した。
- ・経年化機械設備について、労働災害防止の安全対策に関して多変量解析を行った結果「設備の老朽化」と「保護方策不備」の二つの安全対策不適合の問題点の妥当性が確認された。
- ・図 8 及び図 41 に示した「経年化・老朽化機械設備と労働災害リスク」のように「既存不適合」の経年化機械設備は「保護方策不備」の機械設備であり、「設備の老朽化」により、点検や修理などの危険点近接作業の頻度や時間が増加することにより、労働災害リスクがさらに増加していると考えられる。

3.5.2. リスクアセスメント実施や安全対策実施の動機付けに関する管理面からの解析

リスクアセスメント実施や安全対策実施の背景や動機付けについて、管理面から多変量解析を実施して解析を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

- ・リスクアセスメントや労働安全衛生マネジメントシステムを実施することで、危険点に適切な安全対策を行い労働災害を未然に防止して「無災害」となっている事業場があると推定した。
- ・一方で、「無災害」ではあるが労働安全衛生マネジメントシステムなどを導入していない事業場も多くあり、事業場により安全対策の取組状況に大きな差があると推定した。
- ・「無災害」の后者の事業場では、十分なリスクアセスメントや安全対策を実施していない可能性があり、設備の安全対策の最新レベル化が十分でない可能性がある」と推定した。
- ・「死亡災害」を動機付けとして、徹底した安全対策を実施した事業場があると推定した。
- ・「休業災害」を経験したが、十分な安全対策を実施しない状況で経年化機械設備を使用している事業場も存在していると推定した。
- ・リスクアセスメントを実施することで適切な安全対策を行い労働災害を未然防止することが望ましいが、実態としては重篤な死亡災害などを経験したことが、設備の更新や徹底的な安全対策の実施の動機付けになっていると推定した。

3.5.3. 経験年数の短い中高年齢作業者に求められる教育訓練に関する作業員面からの解析

一般動力機械であるロール機と動力運搬機であるコンベアについて、作業員面から労働災害死傷者の経験年数と年齢層と必要とされる教育訓練の違いに着目して、その災害要因の解析を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

- ・経験年数の短い作業員のロール機による労働災害要因について年齢層に着目して解析を行うと若年齢層では「確認不足」や「指導不足」、中高年齢層では「手順書不備」との相関性が高く相違点があった。求められる教育や訓練の違いがあると推定した。
- ・背景として、製造業における雇用者数、入職者数、退職者数などの変化、人員の中途採用、配置転換など雇用情勢の大きな変化があり、中高年齢層の配置転換や中途採用が行われていることも一因であると推定した。
- ・ベテランの退職による技術伝承の問題も提起されている。「保護方策不備」の経年化機械設備においては、実態として「ベテランの経験知」や「現場力」により運転が行われている可能性が考えられる。ベテランの退職により経験年数の短い作業員との交代時期とも考えられる。労働災害が多い経験年数の短い作業員の中でも若年齢層だけでなく、中高年齢者層にも配慮した教育や訓練を行う必要がある。

第4章 総括

4. 1. 本研究の総括

製造業における労働災害の件数はここ数年下げ止まっている。特に、機械等による「はさまれ、巻き込まれ」死傷災害及び死亡災害の件数が多く、また下げ止まっている。

同時に、我が国では多くの産業で機械設備やインフラ等の老朽化に関する問題がある。我が国では、高度経済成長時代に設備投資されて、設備更新や廃棄されることなく現在も生産に使用されている機械設備が多いと推定される。基礎素材型の製造業を対象とした厚生労働省「報告書」の記載によれば、約5万1500箇所調査対象の機械設備の中で約35%の設備が設置後30年以上を経過した設備であったことを示している。

経年化機械設備は、設計製造された当時の古い安全基準で製造された「保護方策」に不備のある「既存不適合」な機械設備である。機械設備では、労働者が運転や操作に係ることから、「保護方策不備」である経年化機械設備は労働災害の発生リスクが高い。また、経年化機械設備では、老朽化により点検回数、修理回数などが増加していることから危険点近接作業の頻度や時間が増加することにより、さらに労働災害リスクが高くなっていると推定される。

本研究では、「既存不適合機械」が多く残存して使用されていることが下げ止まっている「はさまれ、巻き込まれ」労働災害の一因であると推定した。この推定に基づき経年化機械設備の残存台数と労働災害件数に関連性があると仮定して、この関連性について解析する目的で代表的な動力機械を選定して残存台数を推計する手法を検討した。さらに、経年化機械設備の推計残存台数と下げ止まっている労働災害件数の相関性について定量的に解析した。

「既存不適合機械」から「適合機械」に移行する時期を変化点と仮定して、コンベア、圧延機、製紙機械、及びプラスチック加工機械について、変化点を推定するといずれも1994年前後に変化点があることが明らかとなった。この変化点の時期の背景として、欧州機械指令の発効や国内外の施策による保護方策や安全対策の推進により機械メーカーの設計・製造段階において、安全対策設備を備えた機械設備が生産され始めたことなどが考えられる。しかしながら、更なる検討や考察が必要である。一方、推計結果からコンベアの場合では、既存不適合機械の残存割合は、2020年で全台数の36%、2025年で約30%、2030年において約25%で推移すると予測される。今後も残存台数と死亡災害件数の相関があると仮定すると、この減少スピードでは、重篤な「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の顕著な減少は期待できないと推定した。

また、経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について、設備面、管理面、作業面から多変量解析を用いて解析した。厚生労働省「報告書」に記載されたクロス集計データを用いてコレスポネンス分析を行うことにより、示された経年化機械設備の設備面、管理面、作業面からみた特徴や問題点について、それらの妥当性について検討した。

設備面から、厚生労働省「報告書」において経年化機械設備の労働災害リスクとして挙げられた「設備の老朽化」と「保護方策不備」について、経年化機械設備の問題点として妥当性を検討した。「報告書」に記載されたクロス集計データを基に多変量解析を適用して解析を行った。併せて、管理面からの問題点として、リスクアセスメントなどの管理的手法が十分に実施されてい

ない可能性があることから、妥当性を検討する目的で解析を行った。また、作業面からの問題点として、経年化機械設備に起因する経験年数の短い中高年齢層作業員の労働災害が多数発生していることから、経験年数の短い若年齢層作業員に実施されている教育や訓練と経験年数が短い中高年齢層作業員に求められる教育や訓練に相違点がある可能性について妥当性を検討する目的で解析を行った。

多変量解析の結果、経年化機械設備の「設備の老朽化」及び「保護方策不備」の二つの問題点について妥当性のある解析結果が得られた。経年化機械設備では、点検作業や修理作業などが増加していることだけでなく、「予知保全」や「寿命予測」などの保全、「腐食、割れ」の点検など「設備の老朽化」によるとみられる設備対策が行われていることなど「設備の老朽化」によるとみられる解析結果が得られた。また、経年化機械設備では、「指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある」や最新レベルの安全対策については「不十分であるが問題ない」、「不十分であるが最新のレベルに適合させるのが困難である」などとの相関性も高いことが明らかとなり

「保護方策不備」の状態では運転している機械設備が多いと推定した。経年化機械設備では、安全柵やカバーはあるが、安全柵やカバーが部分的である、隙間がある、また、ガードはあるが取り外しが可能であるなど、古い安全基準で後付けされたと考えられる機械設備で労働災害が発生している割合が高いことが明らかとなった。

管理面から、リスクアセスメントなどによる安全対策が不十分であるが幸いに労働災害を経験していない事業場が多く存在していることや重篤な労働災害を経験したことが実質的なリスクアセスメント実施や徹底した安全対策実施のきっかけとなったことなどの推定結果が得られ、妥当性のある解析結果が得られた。

作業面から経年化機械設備に起因する経験年数の短い中高年齢層作業員の労働災害が多数発生しているが、労働災害要因に年齢層による違いがあり、年齢層に応じた教育や訓練が求められるといった点で妥当性のある解析結果が得られた。

4. 2. 結論

老朽化機械設備の安全対策不適合と労働災害の関連について以下に結論を箇条書きで示した。

○既存不適合機械設備残存台数と労働災害件数の相関性に関する定量的解析

- ・ワイブル信頼度関数を用いた経年化機械設備の残存台数推計方法を示した。
- ・その結果、「保護方策不備」の「既存不適合機械」が多く残存していると推定した。
- ・経年化機械設備の推計残存台数と下げ止まっている機械等による「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の件数に相関性があることを示した。
- ・1994年前後から、「保護方策不備」の「既存不適合機械」が「適合機械」に徐々に置き換わっていることを示した。
- ・しかしながら、「保護方策不備」の「既存不適合」な経年化機械設備が多く残存しており、推計残存台数と死亡災害件数の相関性が将来も続くと仮定すると、予測される残存台数の減少スピードでは、重篤な「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害の顕著な減少は期待できないことを示した。

○経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴に関する解析

- ・「報告書」に示された経年化機械設備にみられる特徴や起因する労働災害の特徴について、設備面、管理面、作業面からそれぞれの特徴や問題点について多変量解析による解析を行った。その結果、設備面、管理面、作業面のそれぞれの特徴や問題点について相関性の高さから妥当性のある検討結果が得られた。
- ・設備面から、経年化機械設備の「設備の老朽化」の問題点についてコレスポンデンス分析を行った。経年化機械設備では、点検作業や修理作業などが増加していることだけでなく、「予知保全」や「寿命予測」などの保全、「腐食、割れ」の点検など「設備の老朽化」によるとみられる設備対策が行われていることを解析結果として示した。
- ・経年化機械設備の「保護方策不備」の問題点についてコレスポンデンス分析を行った。経年化機械設備では、「指針に基づいた安全対策が未実施の設備がある」や最新レベルの安全対策については「不十分であるが問題ない」、「不十分であるが最新のレベルに適合させるのが困難である」など「保護方策不備」の状態で運転している機械設備が多いことを示した。
- ・経年化機械設備では、安全柵やカバーはあるが、安全柵やカバーが部分的である、隙間がある、また、ガードはあるが取り外しが可能であるなど、古い安全基準で後付けされたと考えられる設備で労働災害が発生している割合が高いことを示した。
- ・点検回数や修理回数を増やすことで経年化機械設備の寿命を延長して使用していると推定した。これらの機械設備は、予算不足や検討する人材の不足などから安全対策のレベルが不十分な状態で運転されていると推定した。
- ・管理面から、経年化機械設備ではリスクアセスメントなどの管理的手法が十分に実施されていない可能性があることから解析を行った結果、リスクアセスメントなどによる安全対策が不十分であるが幸いに労働災害を経験していない事業場が多く存在していることや重篤な労働災害を経験したことが実質的なリスクアセスメント実施や徹底した安全対策実施のきっかけとなったことなどの解析結果を示した。
- ・作業面から経年化機械設備に起因する経験年数の短い中高年齢層作業員の労働災害が多数発生しているが、年齢層により労働災害の要因に違いがあり年齢層に応じた教育や訓練が求められる可能性について多変量解析を行った。その結果、年齢層により労働災害の要因に違いがあり求められる教育や訓練に相違点がある妥当性のある解析結果を示した。ベテランの退職による技術伝承の問題も提起されている。経験年数の短い中高年齢層作業員など、経験年数や年齢層に応じた適切な教育や訓練を実施することが求められる。

4. 3. 今後の展開

本研究では、過去に製造されて現在の国際的な技術水準からみて安全上で不具合があるが、現在まで長期間にわたり使用されている「既存不適合」な経年化機械設備について代表的な機械設備を選定し残存台数を推計して、労働災害が下げ止まっている現状との相関性について定量的に解析を行った。また、経年化機械設備にみられる特徴や問題点を解析する方法として設備面、管理面、作業面からみた特徴や問題点について多変量解析を行って、それぞれの特徴や問題点について妥当性の検討を行った。

以下に今後の展開の可能性について記載した。

○機械設備の安全対策

本研究では、基礎素材型産業の代表的な機械設備を選定して解析を行い、経年化機械設備の残存台数と「はさまれ、巻き込まれ」死亡災害件数の相関性について示した。経年化機械設備の残存台数と死亡災害の因果関係については、更なる検討や解析が必要である。

厚生労働省「第13次労働災害防止計画」では、労働災害を防止するために「最新基準が適用されていない既存の機械等の更新促進」といった施策も示されている¹³⁵⁾。このような施策を推し進める上でも因果関係を把握することが重要である。

○個々の機械設備に対する解析

本研究では、製造業のうち対象を基礎素材型産業に絞って、代表的な機械設備を選定して解析を行った。機械設備は種類も多く、製造業には、基礎素材型、加工組立型、生活関連型があり、コンベアはいずれの製造業にも共通して用いられている。一方で、ロール機は基礎素材型と加工組立型の一部の業種で用いられている。機械設備の安全対策の点からは、個々の機械設備に特化した対策も必要となり、個々の事業場に固有の対策も求められる。機械設備の種類も多く、導入された年代も様々であり、個々のケースに応じた解析が求められる。

○労働災害の解析

労働災害については個々の事例に対する研究例が多いことから、経年化機械設備にみられる特徴や問題点を解析する方法として設備面、管理面、作業員面からみた問題点について多変量解析を行った。

本研究では、対象を製造業の中でも基礎素材型産業に絞って解析を行っている。製造業でも加工組立型や生活関連型などの業種がありそれぞれ労働災害の問題がある。また、建設業、林業などにおいても労働災害の問題がある。このような多変量解析手法を適用することにより、特徴や問題点を把握する一助となる可能性がある。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 労働災害統計,
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anken/toukei.html
- 2) 厚生労働省, 職場のあんぜんサイト「労働災害(死傷)データベース」, <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/>
- 3) 厚生労働省, 職場のあんぜんサイト「死亡災害データベース」, 同上
- 4) 厚生労働省, 平成29年度「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」調査報告書,
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/gyousei/anken/index.html
- 5) 厚生労働省, 平成30年度「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」調査報告書, 同上
- 6) 厚生労働省, 令和元年度「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」調査報告書, 同上
- 7) 厚生労働省, 令和2年度「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」調査報告書, 同上
- 8) HSE (Health and Safety Executive), Cost Benefit Analysis (CBA) checklist,
<https://www.hse.gov.uk/enforce/expert/alarpcheck.htm>
- 9) 神戸市2020年工業統計調査, <https://www.city.kobe.lg.jp/a47946/shise/toke/toukei/kougyou/2020.html>
- 10) 経済産業省, 生産動態統計年報(旧機械統計年報),
https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html
- 11) 財務省, 法人企業統計, <https://www.mof.go.jp/pri/reference/ssc/index.htm>
- 12) 中央労働災害防止協会ホームページ, 「OSHMS(労働安全衛生マネジメントシステム), リスクアセスメント, 機械安全」,
<https://www.jisha.or.jp/oshms/ra/about01.html>
- 13) 厚生労働省, 機械の包括的な安全基準に関する指針, 基発第0731001号 平成19年7月31日
- 14) 厚生労働省, 危険性又は有害性等の調査等に関する指針, 基発0918第3号 平成27年9月18日
- 15) 経済産業省, 2020年度ものづくり白書
- 16) 総務省, 労働力調査, <https://www.stat.go.jp/data/roudou/index.html>
- 17) 厚生労働省, 雇用動向調査, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/9-23-1.html>
- 18) ISO/IEC guide51. safety aspects-Guidelines for their inclusion in standards.
- 19) REGULATION (EU) 2023/1230 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 June 2023 on machinery and repealing Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council and Council Directive 73/361/EEC. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1230>
- 20) 清水尚憲, 梅崎重夫, 危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察—危険点近接作業の災害防止条件の解明と木材加工用機械への適用—, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告 JNIOHS-SRR-No. 36, pp. 37-44, (2008)
- 21) 西沢和夫, 人づくり力・モノづくり力を強化する「西沢式」生産現場リーダー養成講座 第9回 設備管理と労働災害防止の進め方, プレス技術, 54-13, pp. 124-129 (2016)
- 22) 畑幸男, 平尾裕司, 機械設備の手動リセット機能の役割と制御安全 プレス機械の手動リセット機能の安全関連としての位置づけ, 電子情報通信学会技術研究報告, 111-143, pp. 1-4 (2011)
- 23) 日本機械工業連合会, 機械メンテナンス高度化に関する調査研究 機械メンテナンス高度化研究専門部会報告書(Ⅰ) 平成17年度, (2006)
- 24) 宮川高志, 産業安全の推進への課題と方策, Fundam Rev (Web), 6-2, pp. 114-122, (2012)
- 25) 谷口和稔, 梅崎重夫, 向殿政男, 安全分野で使用する情報の特性と災害情報データベースの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, 111-371, pp. 25-28 (2011)

- 26) 梅崎重夫, 清水尚憲, 複数作業者が大規模生産ライン内で行う作業を対象とした災害防止戦略の基礎的考察, 産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR-NO. 33, pp. 81-95, (2005)
- 27) UCHIYAMA, Naoki, MINH, HO, Phat, YAMANAKA, Hirofumi, SANO, Shigenori, DOAN, TRAN, Son, Force control for automatic cashew shelling considering size variance, J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf. , (Web), 8-3, pp. JAMDSM0018-JAMDSM0018 (2014)
- 28) 黒川昇, 槌井諒, 村上順一, 森啓太, 吉川勇氣, 安藤雄信, 長嶺将之, 新林由宇矢, 砂川裕典, 中西誠, 向井瑞希, 池本和夫, 蔵本一峰, 千知岩浩一, にんにく仕上げ機の開発, 四国職業能力開発大学校・高知職業能力開発短期大学校紀要, 26, pp. 72-73 (2015)
- 29) 加藤光夫, 異物対策を徹底する 食品製造における異物混入対策の強化, 食品と科学, 61-6, pp. 61-66 (2019)
- 30) PARIS, Andrew, FORENSIC CASEBOOK The Case of the Conveyor Catastrophe, EC, M, 106-8, pp. 16, 18, 20 (2007)
- 31) RUFF, Todd, M., INNOVATIVE SAFETY INTERVENTIONS, IEEE Ind. Appl. Mag. , 16-3, pp. 45-49 (2010)
- 32) PARADIS Jean, Innovative ways to make it safe, Pulp. Pap. Can., 114-6, pp.14-18 (2013)
- 33) 中央労働災害防止協会, 労働安全衛生マネジメントシステムの ISO 規格化に伴う普及促進に関するアンケート実施結果報告書, 平成 30 年 1 月
- 34) 池田博康, 安全と自動化技術 機械の安全設計の考え方と安全制御原則 機械安全規格に基づくリスクアセスメントとリスク低減, 自動化推進, 45-4, pp. 2-5 (2016)
- 35) 福田隆文, 機械の安全規格の役割 安全確保の側面と流通条件の側面から, 自動化推進, 48/49-4/1, pp. 2-5 (2020)
- 36) 清水尚憲, 災害事例に学ぶ機械安全 第 1 回「機械安全」の考え方, 安全と健康, 71-1, pp. 73-75 (2020)
- 37) 梅崎重夫, 労働者の安全と健康を科学する 1. 機械に関する安全規格と法規制の概要, 冷凍, 93-1093, pp. 726-731 (2018)
- 38) 中村瑞穂, 三橋郁, 千葉正伸, 杉本旭, リスクアセスメントに基づく事故防止構造の検討, 日本機械学会年次大会講演論文集(CD-ROM), 2017, pp. ROMBUNNO. G1700101 (2017)
- 39) 福田隆文, 機械加工における安全(危険)について 日本で望まれる機械安全規格の活用 研削盤安全 J I S とその背景について, 砥粒加工学会誌, 62-7, pp. 351-354 (2018)
- 40) 清水尚憲, 機械安全を考える 4 リスクアセスメント実施時の留意点(その 2), 安全と健康, 69-4, pp. 355-357 (2018)
- 41) 清水尚憲, 機械安全を考える 6 リスクアセスメント実施時の留意点(その 4), 安全と健康, 69-6, pp. 557-559 (2018)
- 42) 清水尚憲, 機械安全を考える 5 リスクアセスメント実施時の留意点(その 3), 安全と健康, 69-5, pp. 462-464 (2018)
- 43) 清水尚憲, 機械安全を考える 9 リスクアセスメント実施時の留意点(その 7), 安全と健康, 69-9, pp. 876-878 (2018)
- 44) 濱島京子, 溶接施工における安全意識向上への取り組み 労働災害防止の考え方をいかに伝えるか 新入社員向けリスクアセスメント説明の勘所, 溶接技術, 68-7, pp. 36-42 (2020)
- 45) 北條理恵子, 清水尚憲, 機械安全を考える 11 リスクアセスメントに活用可能な「行動分析学」人の行動における法則性, 安全と健康, 69-11, pp. 1084-1088 (2018)
- 46) 荻戸翔一, ISO45001 発行! ISO(JIS Q)45001 より一步前進! 日本版マネジメントシステム規格, 安全と健康, 69-5, pp. 441-445 (2018)

- 47) 大淵和代, 化学物質のリスクアセスメントをめぐって3事業場のばく露実態調査-職場における化学物質のリスク評価推進事業から, 産業医学ジャーナル, 43-1, pp. 21-25 (2020)
- 48) 荒木明宏, ラベル・SDSの有効な活用, 月刊化学物質管理, 5-2, pp. 42-67 (2020)
- 49) 渡辺裕晃, 伊藤昭好, 原邦夫, 佐々木毅, 自治体職場における労働安全衛生マネジメントシステム導入・定着による労働災害の抑制, 労働安全衛生研究, 13-1, pp. 65-78 (2020)
- 50) 猪俣雄太, 山口浩和, 有水賢吾, 林業機械を対象とした労働災害発生頻度の推定, 森林利用学会誌, 34-3, pp. ROMBUNNO. 34. 123, (2019)
- 51) 伊藤哲男, 栗山達哉, 富田雄一, 瀧澤貴司, 建設工事の安全管理 重大事故リスクアセスメントガイドラインの策定と運用 受発注者一体となった安全管理の取組み, プレストレストコンクリート(プレストレストコンクリート工学会), 62-2, pp. 56-59 (2020)
- 52) 本山謙治, 建設工事の安全管理 労働災害・事故事例から学ぶ建設業の安全対策, プレストレストコンクリート(プレストレストコンクリート工学会), 62-2, pp. 33-36 (2020)
- 53) 久保田精一, 物流分野の安全・事故対策 物流業における安全対策の基本的な進め方, 流通ネットワーク, 317, pp. 34-39 (2020)
- 54) IMAMURA Fumihiko, et al., Analysis of Complexities in Natech Disaster Risk Reduction and Management: A Case Study of Cilegon, Indonesia, Journal of Disaster Research, 13-7, pp. 1298-1308 (2018)
- 55) Isik Isil Nurdan, Atasoylu Emine, Occupational safety and health in North Cyprus: Evaluation of risk assessment, Safety Science, 94, pp. 17-25 (2017)
- 56) Koizumi Akio, et al., Job safety analysis and hazard identification for work accident prevention in para rubber wood sawmills in southern Thailand, Journal of Occupational Health, 59-6, pp. 542-551 (2017)
- 57) 福田隆文, 芳司俊郎, 中小規模事業所向け簡易リスクアセスメント手法の開発, 安全工学, 58-4, pp. 236-243 (2019)
- 58) 向殿政男, 早木武夫, 製造現場の意図的なルール違反とリスクアセスメント反映手法, 安全工学, 59-1, pp. 2-7 (2020)
- 59) 山田貴久, 労働安全衛生規則第40条第3項における運用性に関する一考察, 土木学会論文集, F6(安全問題), 73-2, pp. I_35-I_42 (2017)
- 60) 山谷光一, 基本と実践 機械設備のリスク低減 9 機械に関する危険情報の通知, 安全と健康, 70-9, pp. 914-916 (2019)
- 61) 山崎琢也, これからの安全衛生対策-第13次労働災害防止計画の目指すもの 総論 第13次労働災害防止計画(13次防)のポイント, 安全と健康, 69-4, pp. 329-333 (2018)
- 62) 向殿政男, 新しい安全の動向と保安用品の役割, セイフティダイジェスト, 66-4, pp. 2-6 (2020)
- 63) 甲斐洋, 労働災害発生事業場におけるリスクアセスメント実施内容の問題点, 労働安全衛生研究, 11-2, pp. 97-107 (2018)
- 64) 高比良聡, 山田貴久, 安全対策, 労働災害防止 リスクアセスメントの実施による労働災害の大幅な低減, 建設機械施工, 70-2, pp. 46-52 (2018)
- 65) 久保田雅裕, 港湾と安全 海上工事の安全環境対策について, 港湾, 96-8, pp. 18-19 (2019)
- 66) 高橋明子, 中村愛, 島崎敢, 石田敏郎, 危険場面における建設作業員の知覚と行動 リスク知覚と対処・伝達行動に影響を及ぼす要因, 応用心理学研究, 38-3, pp. 222-230 (2013)

- 67) 高木元也, 管工事業における安全教育の実態調査 中小建設業者の安全教育上の課題の抽出, 労働安全衛生総合研究所 特別研究報告 JNIOOSH-SRR, 47, pp. 29-38 (2017)
- 68) 木材製造業における労働災害の防止に向けて, 林材安全, 809, pp. 4-13 (2016)
- 69) 藤掛和広, もっと職場コミュニケーションを働く若者たちと出会うとき 製造業における若年労働者の災害について 2 つの事故事例からの背景要因の検討, 労働の科学, 67-2, pp. 84-87 (2012)
- 70) LABRIE Ron, eLearning pays dividends at AB Thunder Bay, Pulp Pap Int, 51-5, pp. 15-17 (2009)
- 71) 堀田源治, 産業安全工学(16) 不安全行動の選択と行動心理分析, 機械の研究, 71-1, pp. 52-59 (2019)
- 72) 池田正介, 段ボール・紙加工産業の安全衛生に向けて事故&災害におけるHuman-Factorの考察 [前編], 月刊カーボン&ボックス Vol. 34 No. 400 pp38-42(2015)
- 73) 牧野良次, 松倉邦夫, 和田祐典, 和田有司, 熊崎美枝子, インセンティブ(誘因)概念によるヒューマンファクターの理解: 事故再発防止に向けて, 安全工学研究発表会講演予稿集, 44, pp. 85-88 (2011)
- 74) 高野研一, 事故防止への体系的取り組み 労働災害から組織事故まで, セイフティエンジニアリング, 145, pp. 1-6 (2007)
- 75) 清水尚憲, 機械安全を考える 1 国際安全規格に基づく機械安全の考え方と Industry4.0 時代の対応, 安全と健康, 69-1, pp. 39-41 (2018)
- 76) 岡部康平, 呂健, 齋藤剛, 芳司俊郎, 池田博康, 昇降・搬送用機械を対象とした基本安全技術の検討, 労働安全衛生総合研究所 特別研究報告 JNIOOSH-SRR, 43, pp. 87-99 (2013)
- 77) 酒井孝正, 視点・論点-AIは計装に適應するのか-第4回 計装技術はAIで伝承されるか, 計装, 63-6, pp. 2-3 (2020)
- 78) 林孝之, スマート工場を実現する工作機械とその使い方 画像認識とAI活用による工具摩耗判定, 機械と工具, 10-5, pp. 29-31 (2020)
- 79) 梅崎重夫, 福田隆文, 齋藤剛, 清水尚憲, 木村哲也, 濱島京子, 芳司俊郎, 池田博康, 岡部康平, 山際謙太, 富田一, 三上喜貴, 平尾裕司, 岡本満喜子, 門脇敏, 阿部雅二郎, 大塚雄市, 日本で望まれる機械安全に関する法規制及び社会制度の考察, 労働安全衛生研究, 8-1, pp. 13-27 (2015)
- 80) 齋藤剛, 濱島京子, 芳司俊郎, 木村哲也, 清水尚憲, 機械のリスクアセスメント結果の妥当性確認に関する欧州実態調査の結果と日本国内での労働安全衛生活動に対する提言, 労働安全衛生研究, 9-2, pp. 79-89 (2016)
- 81) 梅崎重夫, 清水尚憲, 産業機械の労働災害分析, 産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR-N0. 33, pp. 53-67, (2005)
- 82) 宇野研一, 高野研一, 安全文化から見た最近の化学産業事故の原因, 安全工学, 53-2, pp. 115-122 (2014)
- 83) LIAO Chutsen, 松村秀一, ニューヨーク市における高層集合住宅の修繕行為に関する研究 Ansonia を例として, 日本建築学会計画系論文集, 651, pp. 1181-1189 (2010)
- 84) LEE Youngdae, インフラ維持管理の現場が求める本当の技術革新とは インフラ DX 設備管理システム SAMBA の現状 ICT 技術を活用し鉄道設備の故障を予知管理する, 土木学会誌, 105-10 pp. 30-31 (2020)
- 85) 平井康司, 津本治, 内田秀明, 設備管理のリスクアセスメントの取り組み, Roll Stock Mach, 17-10, pp. 40-43 (2009)
- 86) 高津知司, 朝倉義博, 香川晃, 予防保全のための長大橋維持管理用機械設備および作業用機械の開発, 橋梁と基礎, 42-6, pp. 33-36 (2008)
- 87) 金森宗一郎, 田中義光, 山下尚, 土木機械設備保全における無線モニタリング機器の適合性-トンネルと排水機場における試行実験, 土木技術資料, 62-7, pp. 30-33 (2020)
- 88) 松尾久美子, 桜田明彦, 道路機械設備の効率的なメンテナンスに向けて-新たな維持管理手法の提案, 日本道路会議論文集(CD-ROM), 33, pp. ROMBUNNO. 2073 (2019)

- 89) 本田一, 内田勝政, 上田雅彦, 大森高樹, 難しい条件下のインフラ改修・改良工事 防災力向上と新たな魅力創出が図られた三宮地下街, 基礎工, 48-5, pp. 076-079 (2020)
- 90) 前田稜太, 懸谷実, 長安ロダム洪水吐ゲート設備におけるC I Mの活用について, 四国地方整備局管内技術・業務研究発表会論文集, 2020, pp. II. 37-II. 40 (2020)
- 91) 藤野健一, 田中義光, 河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法, 国土交通省国土技術研究会報告, 2009-自由課題, pp. 26-28, 28(1)-28(3) (2009)
- 92) フロキュレタ水中軸受基礎ボルト破断の対応・対策, 工業用水, 641, pp. 37-42 (2017)
- 93) 藤井隆志, 処理場点検業務におけるI C T活用の推進, 下水道研究発表会講演集, 57th, pp. 250-252 (2020)
- 94) 鮎川正雄, 荒田剛司, 永淵泰隆, 吉野浩司, 下水道における新技術開発の動向 I C Tを活用する劣化診断および設備点検技術 振動センサーとクラウドサーバ集約による劣化診断・設備点検技術, 環境浄化技術, 18-6, pp. 59-64 (2019)
- 95) 横田弘, 港湾施設の維持管理に関する現状と技術的課題, 港湾荷役, 53-6, pp. 608-613 (2008)
- 96) 寺嶋均, 廃棄物処理施設の課題 第2回 廃棄物処理施設 運転上の課題と対策について, 日廃振センター情報, 17-2, pp. 13-16 (2017)
- 97) RA0 J S, Power Plants. Real-time, scientific maintenance, Chem Eng World, 37-5, pp. 67-68 (2002)
- 98) 久保木宣喬, 高田祥三, モニタリング機器導入を考慮した進化型設備点検計画策定支援システム, 精密工学会大会学術講演会講演論文集, 2020-春季(CD-ROM), pp. ROMBUNNO. D45 (2020)
- 99) 水上喜久, ディズニーランドのような工場にしたい 152)現場の「いろはかるた」(82)「ゆ」(その2), 食品と科学, 62-4, pp. 15-21 (2020)
- 100) 別所信次, 熱媒ボイラー総合診断のご案内, 化学工学会年会研究発表講演要旨集(CD-ROM), 85, pp. ROMBUNNO. F305 (2020)
- 101) 山中雅己, 実務で使える潤滑管理! 第1回 油量点検と給油, プラントエンジニア, 34-7, pp. 54-57 (2002)
- 102) 田村匡弘, 積算基準類の改定 令和2年度 機械設備積算基準の改定について, 建設マネジメント技術, 503, pp. 24-26 (2020)
- 103) SNIDERMAN Debbie, Determining and solving varnish problems, Tribol Lubr Technol, 71-11, pp. 24-26, 28-30 (2015)
- 104) 吉本松男, リスクに備えて 事故防止のためのトータルメンテナンスサービス, アロマティックス, 67-新年号, pp. 5-13 (2015)
- 105) 竹野俊夫, 機械技術者のための機械保全の基礎のきそ 第1章 機械保全の基礎をもう一度学ぼう, 機械技術, 63-4, pp. 67-74 (2015)
- 106) 井上紀明, 機械の損傷・疲労破壊の原因と対策 故障の原因対策を適切に行い, 故障の再発防止の実践を, プラントエンジニア, 49-12, pp. 1-26 (2017)
- 107) 設備保全 手の届かないボルトの緩み点検, 潤滑経済, 513, pp. 328 (2008)
- 108) Health and Safety Executive(UK), Plant Ageing Study
- 109) Health and Safety Executive(UK), Plant ageing Management of equipment containing hazardous fluids or pressure
- 110) David Mansfield, Terry Atkinson and John Worsley, THE IMPORTANCE OF RECOGNISING AND MANAGING AGEING PLANT, I. , Chem. , E. , SYMPOSIUM SERIES NO. 158 Hazards XXIII, pp. 425-433 (2012)

- 111) 職場のあんぜんサイト, 安全衛生キーワード, バスタブ曲線(故障率曲線), https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo59_1.html
- 112) 山際謙太, チェック!機械設備の疲労・劣化 Part2 金属も疲労する-予測できる疲労, できない疲労, 安全と健康, 70-11, pp. 1063-1067 (2019)
- 113) 山越孝太郎, 赤外線サーモグラフィを活用した検査技術の最前線 2)赤外線サーモグラフィによる計測の事例紹介 赤外線サーモグラフィ装置を利用した非破壊検査と機械の状態監視および診断, 検査技術, 24-9, pp. 69-75 (2019)
- 114) 小見康夫, 栗田紀之, 長寿命化を考慮した建物残存率のシミュレーション 建物の長寿命化トレンドにおける建材のストック/排出量の算出手法に関する研究その1, 日本建築学会計画系論文集, 75-656, pp. 2459-2465 (2010)
- 115) 小見康夫, 野城智也, 佐藤考一, 栗田紀之, 建築用硬質ポリウレタンフォーム断熱材のストック量の推計—既存建物における使用建材の総ストック量及び発生廃材量に関する研究(その1), 日本建築学会環境系論文集, 578, pp. 97-101 (2004)
- 116) 佐川修, 山下勝, 浅子洋一, 竹下宗一, 渡辺純哉, 今西信之, 福田光弘, 佐藤哲夫, マテリアルフロー解析によるアスベスト含有製品の使用実態調査, 建材試験情報, 43-5, pp. 19-24 (2007)
- 117) 巴囃孟克, 敵坤, 福田隆文, 三上喜貴, 製品事故データベースと消費動向調査を利用した製品事故率の経年変化の把握, REAJ 誌, 37-4, pp. 191-200 (2015)
- 118) 山崎崇央, 石田哲也, 生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), 71-4, I_11-I_22 (2015)
- 119) 青木伸雄, 中村美詠子, 疫学と統計学の基礎講座 生存率曲線(2) Kaplan-Meier 法について, 日循協誌, 31-3, pp. 228-230 (1997)
- 120) 西川正子, カプラン・マイヤー法 生存時間解析の基本手法, 共立出版, 83-93, 99-100 (2019)
- 121) Junya WATANABE, Consideration of occupational accidents caused by existing non-conforming aging power machinery, Journal of Japan Society for Safety Engineering, 62-2, pp. 130-138 (2023)
- 122) 渡辺純哉, 経年化機械設備の労働災害防止の安全対策に関する考察—経年化機械設備に起因する「はさまれ, 巻き込まれ」労働災害一, 安全工学, 60-4, pp. 246-254 (2021)
- 123) 渡辺純哉, 経年化機械設備に起因する労働災害に関する考察—保護方策の不備による「はさまれ, 巻き込まれ」労働災害一, 安全工学, 60-4, pp. 255-262 (2021)
- 124) 渡辺純哉, リスクアセスメント及び労働災害防止の安全対策に関する考察—最新の安全対策実施の背景要因一, 安全工学, 60-5, pp. 366-374 (2021)
- 125) 渡辺純哉, 動力機械に起因する労働災害の作業者の経験年数に関する考察—作業者の経験年数と年齢分布の解析一, 安全工学, 61-2, pp. 125-132 (2022)
- 126) 渡辺純哉, 老朽化した生産機械設備における安全対策の現状に関する調査分析, セイフティエンジニアリング, 210, pp. 10-15 (2023)
- 127) 真壁肇, 信頼性工学入門, 日本規格協会, 67-128 (2016)
- 128) 鹿沼陽次, Excel による確率紙の書き方(2), REAJ 誌 82, pp. 328-339 (1997)
- 129) 菅民郎, 多変量解析, オーム社, pp. 1-196 (2017)
- 130) 統計・社会システム分析フリーソフト College Analysis Ver.7.8
- 131) 齋藤朗宏, コレスポンデンス分析の幾何学的意味と導出, The Society for Economic Studies The University of Kitakyushu Working Paper Series No. 2017-4
- 132) 厚生労働省, 令和2年労働災害発生状況の分析等, <https://www.mhlw.go.jp/content/11302000/000790380.pdf>

- 133) 河野龍太郎, 航空管制におけるヒューマンエラーの実相, ヒューマンインタフェース学会誌, 3-4, pp221-228 (2001)
- 134) 清水洋孝, 佐藤吉信, t-m-SHEL モデルとそのケーススタディ, 日本信頼性学会誌 信頼性, 26-7, pp. 711-723 (2004)
- 135) 厚生労働省第13次労働災害防止計画 (2018年度~2022年度) ,
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000197309.html>

用語の定義と説明

製造業の3分類：

製造業を基礎素材型、加工組立型、生活関連型の3つに分類することである。

基礎素材型：鉄鋼業、非鉄金属製造業や石油・石炭製品製造業、化学工業といった、他の産業に再投入される製品を生産する業種。

加工組立型：電気機械工業や輸送機械工業など、素材型業種で生産された半製品を元に加工・組み立てを行って製品を生産する業種。

生活関連型：上記の2つ以外の業種。

ストック性の資産：

一般的には過去からある時点までの蓄積された量のことを意味する。例えば、建物や土地などの資産のことをいうが、製造業における固定資産に該当する機械設備等にもこの表現を適用した。

設備の老朽化：

厚生労働省「報告書」では、「設備の老朽化」について「設備の劣化」と「設備の故障」があるとしている。「設備の劣化」は、ストレスを要因としてアイテムに劣化が生じ、その属性が変化することであり、「設備の故障」は、劣化やその他の要因がアイテムの挙動の変化を引き起こし、ついには故障を発生させること（挙動変化メカニズム）である。本研究では、これら両方の意味で用いた。

設備の経年化：

設備の経年化については、年数を経ているという意味で用いた。

保護方策不備：

厚生労働省「報告書」では、設置時に講じた保護方策が時間の経過により現在の安全基準からみて不十分なものとなった結果であり、隔離の原則や停止の原則に沿った「保護方策」による安全対策のレベルが最新のレベルに比較して不十分なことにより労働災害リスクが想定される場合であるとしている。本研究では、この意味で用いた。

既存不適合機械：

本来は、法令の改訂により基準に合わなくなった建築物等に用いられるが、本研究では「保護方策不備」の経年化機械設備が、製造された当時の安全基準のレベルが現在の国際的な水準に比較して低いものであり「既存不適合」な機械や装置であることから、「既存不適合機械」と定義した。なお、本研究では国際的な基準として、ISO/IEC Guide 51 及び関連する各種ガイドラインに示された各種機械の安全基準、欧州機械指令に示された各種機械の安全基準などを想定した。また、老朽化機械設備の「安全対策不適合」も同様な意味として用いた。

適合機械：

本研究では、「保護方策不備」の経年化機械設備である「既存不適合機械」に対して、最新の安全レベルの「保護方策」を備えた機械設備として定義した。

ワイブル累積分布関数 $F(t)$ ：

対象とする機械等が時刻 t までに故障する確率を示す。本研究ではワイブル関数で近似できるものを対象とした。

信頼度関数 $R(t)$ ：

対象とする機械等が t 時間以上故障しない確率を示しており、ワイブル累積分布関数との関係は、 $F(t) = 1 - R(t)$ である。残存率関数、生存率関数などと呼ばれる場合もある。

累積ハザード関数 $H(t)$ ：

ある時点 t_j を引数とし、対象とする物や人 i が観測開始時点(t_0)からある時点 t_j までに蓄積したリスクの総和を返す関数である。信頼度関数とは、以下の関係がある。

$$R(t) = \exp\{-H(t)\}$$

多変量解析：

変数間の関係を取り扱う手法であり、目的変数のある場合の手法と目的変数のない場合の手法に大別される。目的変数のない場合の手法としては、数量化3類、コレスポンデンス分析、因子分析、主成分分析、クラスター分析、共分散構造分析などがある。

コレスポンデンス分析：

クロス集計表を構成するカテゴリーを2次元で視覚的に把握する解析手法である。クロス集計表からカテゴリー間の χ^2 距離を求めることで、カテゴリー間の関係を把握し、その距離の情報をなるべく維持した形で低次元空間にその情報を縮約、布置する。数量化されたカテゴリーを散布図にプロットし、カテゴリー間の関係を視覚的に把握する分析方法である。

クラスター分析：

大別して、サンプルクラスター分析と変数クラスター分析がある。ここでは変数を分類する方法として用いた。変数間の相関係数から距離を算出し、距離の近い変数同士を集めた分類化する方法で、距離の算出にあたり、最短距離法、最長距離法、群平均法、重心法、メジアン法、ワード法などがある。

厚生労働省「報告書」からの図表の引用の表記方法：

厚生労働省「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」は4年間にわたり実施されていることから、調査報告書から引用した図表については、(年度及び頁)をそれぞれの図表に記載した。

謝辞

本研究は、厚生労働省「老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業」調査報告書を基に更なる解析を行って取りまとめたものである。厚生労働省の調査実施にあたりご指導をいただきました明治大学名誉教授向殿政男先生、東京工業大学特任教授中村昌允先生、東京電機大学教授辻裕一先生始め関係団体、各業界団体の皆様、論文としての公開をご承諾いただいた厚生労働省安全課の関係の皆様には謝意を表します。また、論文の執筆にあたり直接のご指導をいただき本論文の審査をしていただきました横浜国立大学教授三宅淳巳先生、長岡技術科学大学名誉教授福田隆文先生、本論文の審査をしていただきご助言をいただきました横浜国立大学教授中井里史先生、横浜国立大学教授澁谷忠弘先生、横浜国立大学准教授伊里友一朗先生、多変量解析の一手法であるコレスポンデンス分析による解析についてアドバイスをいただきました福山平成大学教授福井正康先生に謝意を表します。