

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
（分担）研究報告書

経済情勢等が労働災害発生動向に及ぼす影響等に関する研究：
多変量時系列解析による数理モデルの開発と検証（数理モデル班報告）

研究分担者 榎原 毅 名古屋市立大学大学院医学研究科
研究分担者 池上 徹 （公財）大原記念労働科学研究所
研究協力者 庄司直人 朝日大学保健医療学部

研究要旨

マクロ経済学・金融工学等で応用されている多変量時系列解析手法(Kariya, 1993)を用いて、経済情勢が業種別労働災害の発生に及ぼす影響を明らかにすることが最終目的である。平成 30 年度は、経済情勢班・労働経済班・労災分析班・気象天災班で整理をしている各指標(変数)について、適用する数理モデルとの整合性検証および数理モデルで求められる予測可能性の範囲と限界を整理した。加えて、適合度の高い労災予測数理モデルが死傷労働災害件数とどの程度合致するか可視化し、現在の労災データと予測数理モデルから今後の労災予測の可能性と限界を示した。

A. 研究目的

労働災害(労災)は長期的には減少しているが、小売・飲食業や保健衛生業などの第三次産業では増加傾向にある。第 12 次労働災害防止計画と、それに続く第 13 次労働災害防止計画においても、重点業種別の対策が提唱されているが、労働を取り巻く諸環境の要因(経済情勢、産業構造の変化、就業形態、自然・気象条件、産業技術革新等)が及ぼす影響について科学的根拠に基づく解析はほとんど行われておらず、行政政策評価に資する知見が切望されている。

そこで、本研究ではマクロ経済学・金融工学等で応用されている多変量時系列解析手法(Kariya, 1993)を用いて、経済情勢が業種別労働災害の発生に及ぼす影響を明らかにすることが最終目的である。数理モデル班では主に時系列モデルに投入する主要アウトカム・要因の定義の設定と生成、解

析プロトコル手順の確立と数理モデルの構築、そしてモデル適合度評価の実施を担う。平成 29 年度では経済情勢班・労働経済班・労災分析班・気象天災班で整理をしている各指標(変数)について、適用する推理モデルとの整合性検証および数理モデルで求められる予測可能性の範囲と限界を整理した。

B. 方法

平成 28 年度から 29 年度は、経済情勢班・労働経済班・労災分析班・気象天災班が整理した各種指標について、採用する数理モデルの検証を行った。各指標の自己回帰性の有無、ホワイトノイズ解析、交差相関、自己相関分析によるモデル投入変数の検討、時系列特性(定常・非定常時系列、トレンド・ランダムウォーク性の解析)の観点から、採用する数理モデルの検証を進めた。また平成 28

表 1 解析に用いた統計モデルの概要

	状態空間モデルによる解析	従来型時系列解析
使用統計ソフト	Stata ver.14	Python Ver.3.6.3, Pythonライブラリstatsmodels
分析モデル	多変量時系列解析 状態空間モデル(State-space model)	VARモデル: AR (Autoregressive:自己回帰) モデル
構文	共分散	-
状態誤差の構造	対角行列	-
観測誤差の構造	対角行列	-
時系列	1975-2012年 1975-1992年 1993-2012年	1973年から2012年までのデータを基に1990年から2020年までを予測
従属変数	死傷災害件数(人)	死傷災害件数(人)
独立変数	外食産業市場規模推計、国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数	外食産業市場規模推計、国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数
誤差項、定数項	利用しない	あり
対数尤度比の計算法	定常カルマンフィルタと拡散De Jongカルマンフィルタ	-

年度の研究にて完全データの変数(当該期間に欠損がない変数)は27%に過ぎないことが明らかとなったため、時系列データの欠損値補完に状態空間時系列解析手法の採用が可能かどうかを検証するためにトライアル解析を行った。

平成30年度は、前年度までに行ったトライアル解析の結果から状態空間モデルを用いた解析を進めた。まず、各班がリストアップした指標をもとに、各指標を独立変数、労働災害死傷件数を従属変数とし、労働災害死傷件数の予測に貢献する可能性の高い指標の絞り込みを行った。

続いて、絞り込んだ指標を複数用いた多変量からなる労災予測数理モデルを探索的に構築し適合度の検証を行った。多変量時系列解析の状態空間モデルは、時系列を年単位、状態・観測誤差を対角行列、対数尤度の計算法を定常カルマンフィルタ

と拡散 De Jong カルマンフィルタに設定された。労災予測数理モデルの検証は、1973年～1992年、1993年～2012年、1973年～2012年の3つの時期を設定し、経済情勢班・労働経済班・労災分析班・気象天災班が各指標の生成を行った224指標(年単位)+45指標(月単位)を予測変数、46労災関連指標をアウトカム変数として解析を行った。解析に際しては、状態空間モデルによる解析および従来型時系列解析の2パターンを採用した(表1)。

なお本研究では、国が提供・公開している各種データ資源、統計法等、法令の規定に基づく調査データ(連結不可能匿名化後の統計データ)などオープンデータを主に扱うため、文部科学省・厚生労働省「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針(平成26年12月22日)」は適用外である

表2 状態空間モデルを用いた解析結果

	状態空間モデル (State-space model)	同時方程式の 3段階推定法 (Three-stage least-squares regression)	マルコフ スイッチング回帰 (Markov-switching dynamic regression)
計量経済予測モデル			
Factor1:外食産業市場		独立変数	
Factor 2:国内定期航空 便	独立変数	(三段階最小二乗法)	非スイッチング変数
	Likelihood=-434.33	R ² =.92	Likelihood=-419.66
	Factor 1 Coef.= -.21	Coef.1= -.21	AIC=22.46
	(95%CI=-.44 .01)	(95%CI=-.44 .01)	Coef.1= -.24
1975-2012	Factor 2 Coef.=-2.92	Coef.2=-2.92	(95%CI=-.37 -.11)
	(95%CI=-3.47 -2.38)	(95%CI=-3.47 -2.38)	Coef.2=-3.21
			(95%CI=-3.56 -2.85)
	Likelihood=-197.44	R ² =.93	Likelihood=-192.45
	Coef.1=-1.38	Coef.1=-1.38	AIC=22.16
	(95%CI-1.83 -.93)	(95%CI-1.83 -.93)	Coef.1=-.87
1975-1992	Coef.2=2.25	Coef.2=2.25	(95%CI-1.26 -.48)
	(95%CI=.20 4.30)	(95%CI=.20 4.30)	Coef.2=.51
			(95%CI=-1.15 2.17)
	Likelihood=-206.34	R ² =.89	Likelihood=-198.49
	Coef.1=.87	Coef.1=.87	AIC=20.55
	(95%CI=.70 1.05)	(95%CI=.70 1.05)	Coef.1=.87
1993-2012	Coef.2=-.87	Coef.2=-.87	(95%CI=.79 .95)
	(95%CI=-1.32 -.43)	(95%CI=-1.32 -.43)	Coef.2=-1.14
			(95%CI=-1.34 -.93)

状態空間モデル：予測モデルの妥当性（Likelihood 尤度関数の値が大きいほどあてはまりがよい）

Coef：決定係数の値（多変量モデルでの）で信頼区間が0をまたがないものが変数として寄与。

* 様々な変数の組みあわせを総当たりに調べてみると、外食産業市場+国内定期航空便の2変数を使って予測するモデルがもっとも当てはまりが良い結果となった。

* R²は観測されているデータの当てはまりで予測は含まない（過去のデータ・観測可能なデータでの当てはまり）。

* 状態空間・マルコフ回帰：観測不能なものも含めた当てはまりで、AICは小さい方がよい。

状態空間モデルとマルコフスイッチング回帰は観測不可能な値を予測

マルコフスイッチング回帰は情報量基準を示す

3段階推定法は観測した値から回帰直線を示す

（個々の研究対象者からデータを収集することは行わない）

C. 研究結果

最終的に分析に用いたのは経済指標、天候指標、消費・医療・教育に関する指標に加え、ジェンダーギャップ指数など社会成熟指標であった。

欠損値データの補完について、状態空間時系列

解析によりモデル推定が行えるかどうかを検証した。状態空間モデルは潜在変数(未観測変数)も扱えること、観測時系列データのシステムノイズと観測ノイズをそれぞれ分離できることから、経済情勢が業種別労働災害の発生に及ぼす影響をモデル化する際の利用可能性が示唆された。しかしながら、投入する変数自体に内在する各種バイアスや指標定義の変遷など、事前調整する要因が多いことが明らかになり、状態空間モデルによる単変量解析の結果を参照しながら慎重に数理モデルに使用する変数が絞り込まれた。

単変量の状態空間モデルによる解析から、代表的な経済指標である国内総生産、日経平均株価などが労災の予測変数として一定の説明力を持つことが分かった。加えて、法人企業の純資産、人件費、製造業役員数、製造業付加価値、製造業人件費、保険給付支払金額、製造業法人企業数、企業倒産件数、組合数などの主要な経済指標に加え、大阪の降雨量や東京の日照時間などの天候指標、消費支出が労働災害死傷件数を予測する一定の説明力を持つことが示された。

その後、多変量の状態空間モデルによる解析を行い、労働災害死傷件数を予測するために最適な指標の組み合わせを探索的に決定した。探索的解析に用いられた経済指標は、製造業付加価値、製造業人件費、保険給付支払金額、製造業法人企業数、外食産業市場規模推計、全国企業倒産状況件数、組合数、日経平均株価 225 種年末終値、国際線旅客数定期便、国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数であった。探索的解析の結果、外食産業市場規模推計、国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数の 2 変数の組み合わせを独立変数、年間労働災害死傷件数を従属変数とした予測モデルが、いずれの期間においても高い適合可能性を示した(表 2)。外食・航空便が増えると労災が減る(負の係数)関係性が認められた。労働時間が減ることによって外食の頻度が増えている可能性もあるが、因果関係は不明である。また、尤度の絶対値が大き

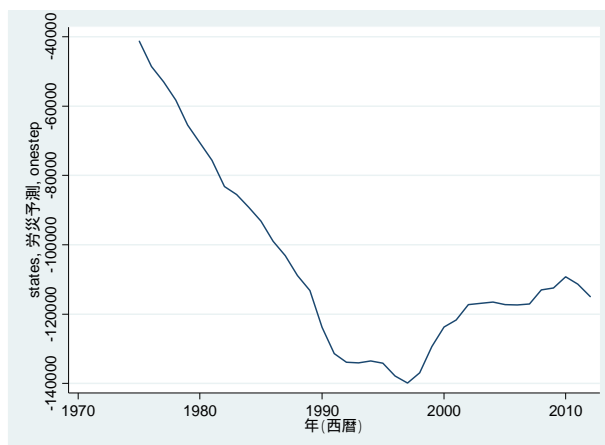


図 1 状態空間モデルによる死傷災害増分予測

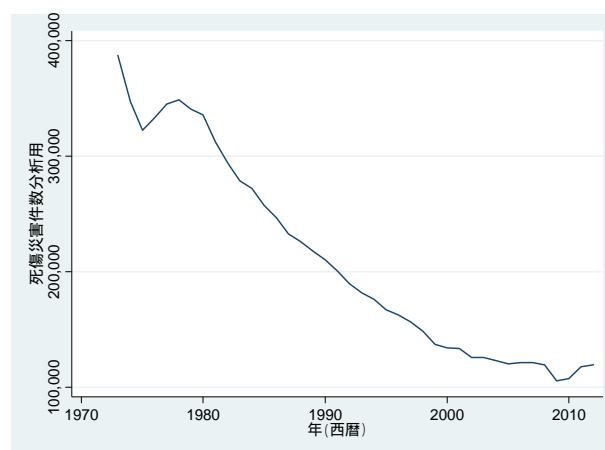
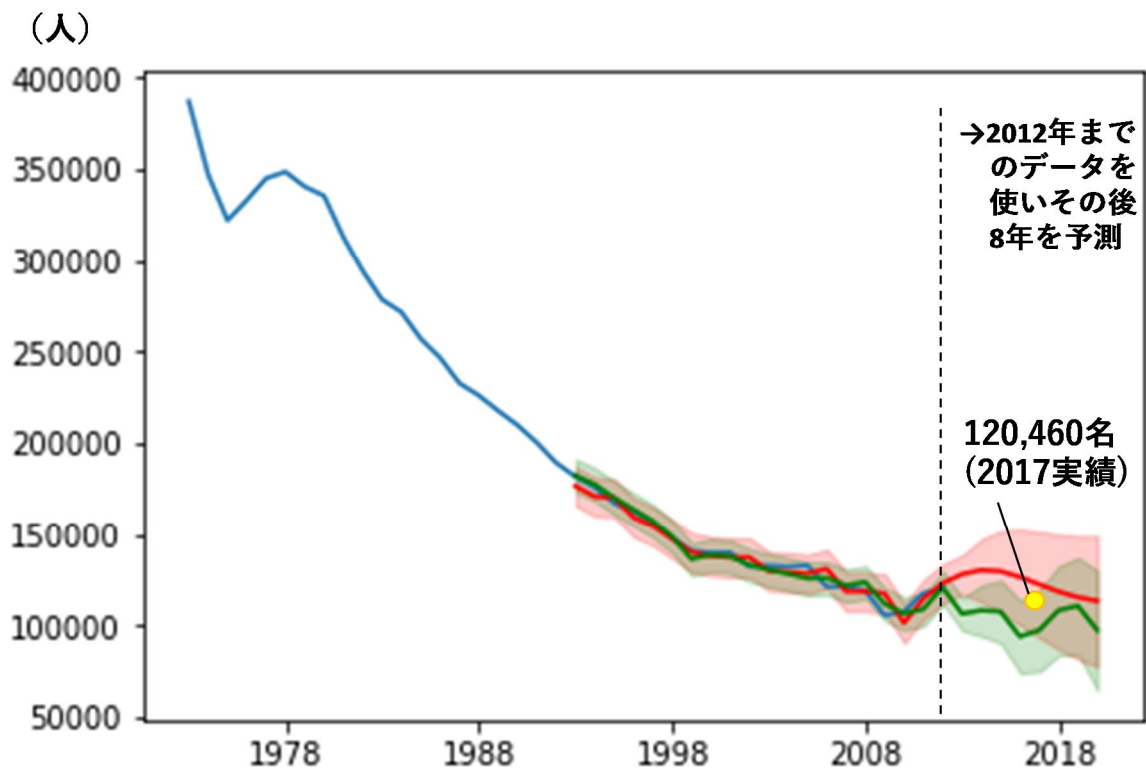


図 2 死傷災害件数

い 40 年データを使う方が予測の当てはまりが良いが、基準年が変更になる指標もあることから、どの区間を用いるべきかは慎重な検討が必要である。いずれの発展系のモデルにおいても、解析対象年の区別の違いによらずほぼ同じ決定係数が示されていることから、モデルの安定性はあると考えられる。

D. 考 察

平成 29 年度に取り組んできた内容については、第 6 回会合を公開討論会形式にし、外部有識者からの意見も頂いた。その中で指摘された事項としては、GIGO (Garbage In, Garbage Out) と言われるように、例えどんなに高度な数理モデルで処理をしたとしても、投入するデータの質が悪ければ



■変数 アウトカム：死傷災害件数（人）,共変量：・外食産業市場規模推計, 国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数

■モデル VARモデル：AR (Autoregressive:自己回帰) モデルをARモデルを多変量に拡張したもの。1973年から2012年までのデータを基に1990年から2020年までを予測。 ※参考：2050年までのモデルも掲載

■環境 Python Ver.3.6.3, Pythonライブラリstatsmodelsを使用

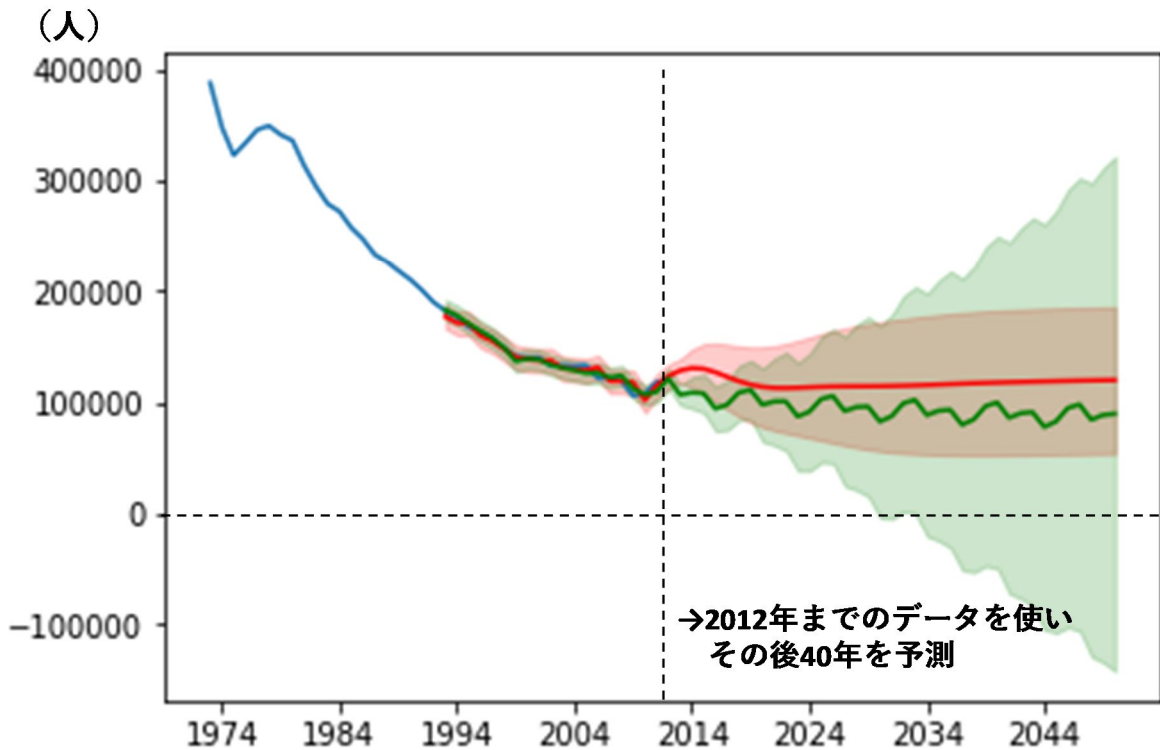
図3 VARモデル：AR (Autoregressive:自己回帰) モデルによる予測 (2020年までの短期予測)

アウトプットのモデル推定も無意味になるため、モデル推定で示す事ができる予測可能性の範囲と限界を明示することの重要性が指摘された。平成29年度では各指標のデータ生成と平行しながらプロフィール特性の整理を各研究班で進めているが、予測モデルに投入する変数の組み合わせによって一般化可能性の範囲が異なるため、研究班全体のコンセンサスとして各指標のプロファイルの整備が重要であるとの認識で一致した。

また、経済情勢が業種別労働災害の発生に及ぼす影響の大きさについて、数理モデルを用いて経済情勢要因のウエイトの関与を推定することが本研究の主要目標である。これは、あくまで観測デー

タの現象論をベースに時系列データの関連性から経済情勢の関与を推定するに過ぎないが、外部専門家からの期待としては因果論ベース、すなわち、どの要因の関与が労災発生を軽減させることが出来るのかといった対策志向の視点で受け止められる傾向があることも特筆すべき点であった。来年度以降、数理モデルによる推定結果などの知見を社会に発信する際には、予測可能性の範囲と限界を明示することに加え、サイエンス・コミュニケーションの観点からも結果の解釈や応用性について正しい理解を得られるよう、細心の配慮が必要であると考えられた。

これらを受け平成30年度は数理モデルの構築



■変数 アウトカム：死傷災害件数（人）,共変量：・外食産業市場規模推計, 国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数

■モデル VARモデル：AR (Autoregressive:自己回帰) モデルをARモデルを多変量に拡張したもの。1973年から2012年までのデータを基に1990年から2020年までを予測。 ※参考：2050年までのモデルも掲載

■環境 Python Ver.3.6.3, Pythonライブラリstatsmodelsを使用

図4 VARモデル：AR (Autoregressive:自己回帰) モデルによる予測 (2050年までの長期予測)

に取り組んだ。まず、予測可能性の限界として、従属変数となる労働災害の発生状況を示す関連データについて、雇用形態などに起因するバイアスが生じ労働災害の実態が反映されていない可能性があることが他班の研究から示唆された。確かに、従属変数にバイアスの影響を多分に受けることは、数理モデルの構築に大きな影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、本研究で導出した外食産業市場規模推計と国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数によるモデルを用いて各年のデータから1年後の労働災害死傷件数を予測した1ステップ予測の結果は、労働災害の実態に接近する可能性を示した。予測モデルでは1990年代後半を境に、労

災の減少から一転し、増加に転じている(図1)。一方で死傷災害件数は1990年度以降、減少のペースを緩め微減を続ける格好である(図2)。本研究における全体会合では、1997年から2002年にかけて規制緩和や法改正による労働者の雇用形態の変化、すなわち正規雇用の減少(約400万人減)、非正規雇用の増加(約368万人増)により“隠れ労災”が増加している可能性が指摘された。

図1、図2が示す予測と実数の乖離はこうした規制緩和や法改正により見えにくくなった実態を可視化する可能性がある。

外食産業市場規模推計, 国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数を独立変数として、従来型のVAR

モデルによる予測結果(図3)で短期予測をした結果では、2017年の実績値：120,460名の死傷災害件数に対し、グラフ内の赤色範囲：VAR多変量予測モデル(95%信頼区間)の方がグラフ内の緑色範囲：自己回帰モデル(95%信頼区間)よりも適切に予測範囲を追従しており、死傷災害件数(人)のデータのみを用いる自己回帰モデルよりもより適切な予測に寄与する可能性が示唆された。また、同モデルを用いて2050年までの長期の推移の予測を試みた結果、現状と同じ要因の作用が続くという前提で考えれば労災件数は横ばい傾向になることが示された。これは、抜本的かつ効果的な労災対策がなければ、これ以上労働災害件数は減少することではなく、既に頭打ちの状態となっていると解釈できる。

今後も続く産業技術革新等により、労働市場や経済環境は漸進的に変化し続けると考えられる。そのため、本研究で示した労働災害死傷件数を予測するうえで有望と考えられる2つの指標も近く他の指標にとってかわられると考えられる。しかし、本研究で採用した状態空間モデルを用いた手法により、その時代や経済環境、労働市場等に適した労働災害の発生を予測するモデルを推定することは可能であろう。

E. 結論

本研究では、経済情勢班・労働経済班・労災分析班・気象天災班で整理をしている各指標について、適用する数理モデルとの整合性検証および数理モデルで求められる予測可能性の範囲と限界を整理しながら、労働災害の発生を予測する数理モデルの構築を目指した。1973年から2012年までの40年間の労働災害死傷件数を説明する数理モデルを探索するなかで、今後の予測に必要な手法の一案を示すことができた。

以下に本研究で得られた成果と限界についてまとめた。

経済情勢が労働災害に与える影響の解明を試みたが、代表的な経済指標および各労働要因と死傷災害件数の推移の間には関連性は見出せなかった。

現段階での到達点

- ・ 外食産業市場規模推計、国内定期航空会社輸送実績定期便旅客数の2変数で死傷者数を予測可能
- ・ ただし因果関係は不明：外的因子による関連性が成立する事で死傷災害件数が過小評価されている可能性の判断などには利用可能
- ・ 今後短中期的に労災統計がどのように推移するかは推測可能(抜本的な労働災害対策を行うなど介入がなければ労災件数は現状維持となり、これ以上減らないことは示唆されている)

現段階での限界

- ・ 「労働要因と経済要因の相互補完性」および「労働要因と経済要因の相対的な寄与度」は未検証
- ・ 労災軽減に資する介入可能な要因の探索
- ・ 各種統計データの質：G10/各種インデックスの補正方法。GDP, 景気動向指数, 消費動向指数などの各種国民経済指数は基準改定(基準年)があること、また為替レートの変化(1ドル360円時代の紙幣価値)などの対処方法。また、データの質に関しては、例えば毎月勤労統計調査は給与および労働時間データがベースになっており、国の基本統計自体が誤っていた場合や労働災害統計自体に含まれる外れ値をどの程度・どのように補正するかは今後の大きな課題の一つである。

今後は本研究で示した手法により導き出す数理モデルが実態を示す精度を評価し、適切な予測可能性と限界を示し社会還元することが必要であろう。

F. 健康危険情報

該当なし

G．研究発表

1. 論文発表

平成 30 年度はなし

2. 学会発表

平成 30 年度はなし

H．知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし