

新技術の普及にともなう損害保険の考察

～自動車の自動運転技術を例として～

藤 井 陽一朗[†]

概 要

本研究では、AI (artificial intelligence) などの新技術を使った自動運転技術の導入が、自動車保険に与える影響を考察する。具体的には、自動運転技術が普及する過程で生じうるモラルハザードを考察する。結果として、事故発生時に自動運転で走行していたのかドライバーがみずから操作していたのが立証不可能な場合には、製造物責任法 (PL 法) によって事故発生時の過失を自動車メーカー側に押し付け、自身の責任を逃れようとする事後のモラルハザードが発生する可能性があることを明らかにする。さらに、事後のモラルハザードは、手動運転時の注意を散漫にさせるといった事前のモラルハザードをも誘発する可能性があることを明らかにする。自動運転技術の普及による事前と事後のモラルハザードを軽減するための IoT (Internet of Things) を用いた施策についても提案をおこなう。

キーワード：自動運転技術、非対称情報、事後のモラルハザード、製造物責任法 (PL 法)、損害保険、非協力ゲーム

JEL Classification : G22, G32, K12

1. はじめに

我が国における自動車の生産は、国内のみならず海外においても質量ともに高い水準を維持している。日本自動車販売協会連合会の発表によると、2018年の軽自動車を合わせた新車の登録台数は約520万台と大きな市場規模であることが分かる。しかし、自動車の幅広い普及にともなって、自動車に関連する事故も数多く発生しており、2018年度には人口

[†] 大阪産業大学 経済学部 准教授

草稿提出日 6月28日

最終原稿提出日 7月25日

fujii@eco.osaka-sandai.ac.jp

本研究は、科学技術研究費 (研究課題番号 17877403) ならびに大阪産業大学 学内研究組織の助成を受けている。

10万人当たりの交通事故による負傷者は30人と、われわれの日常生活におけるもっとも身近なリスクの1つと考えられる。

このリスクに対して、自賠責保険と任意の自動車保険により、加入者のみならず同乗者や事故の相手方の損害に対しても対応することができ、2018年6月現在で日本国内では24社が自動車保険を販売している。実際に事故が起きた場合には、過去の判例にしたがって事故の当事者間の過失割合を決定する。これにより当事者間での損失額の分配がおこなわれていると解釈することが可能である。事故の発生原因として、事故の当事者間に起因するものとは別に、自動車の欠陥に起因するものも考えられる。消費者保護の観点から、製造者に過失があった場合に、その責任を問うことができる製造物責任法（PL法）が1995年より施行されている。自動車においても、リコールにより自動車の改善措置がとられている。

近年、AIなどの技術を応用した自動運転技術の開発に注目が集まっている。自動運転技術についてアメリカ運輸省は、現行の人間が運転操作を担うレベル0から完全に自動車に運転を任せることが出来るレベル4の5段階に技術の発展を定めている。日本のみならず世界の自動車メーカーは、これらの技術開発にしのぎを削っている。自動運転の技術が発展・普及することにより、交通事故件数は減少することが期待されているが、さまざまな不測の事態が起きることが想定されるため、交通事故件数はゼロにならないものと考えられる。

一方で、Holmstrom (1979, 1982) が示したように、財の売り手と買い手の間に情報の偏在がある場合には、モラルハザードが起きる可能性がある。これまでも市場分析において情報の役割が重要になっているが、モラルハザードは、不確実性解消前の事前のモラルハザードと、解消後に発生する事後のモラルハザードに分類される。自動車保険の文脈における事前のモラルハザードは、自動車保険の加入者にとって、事故が起きたとしても損害が保険によってカバーされるために、保険がないときよりも注意が散漫になるというものである。また、事後のモラルハザードは、交通事故が起きた場合に、事故の責任分担を下げるために自分に過失がないことを主張したり、事故の損失額を大きく申告しようとする行動である。モラルハザードという言葉から、人々から道徳心が欠如してしまうことをあらわす印象があるが、経済学ではルールの中で個人が合理的な行動をとろうとするあらわれであるとみなされている。よって、多くのモラルハザードが起きないようなルール作りが課題であると言える。

Seog (2010) は、リスク下での保険の契約問題を一般化してモデル化している。先行研究として、Cummins and Tennyson (1996) は事故発生後に保険会社がおこなう監査の頻度がどの程度モラルハザードの軽減につながっているかを定量的に推定している。また、

Holmstrom (1982) はグループ内での責任分担割合の決定と、分担を逃れてただ乗りしようとする行動を明らかにしている。さらに、ただ乗りを抑制するためには、定期的な監視のタイミングが重要になることを指摘している。

本研究では、自動運転技術が発展・普及した段階で交通事故が発生した状況での過失割合の決定を考える。分析の簡単化のために、2台の新技術を搭載した自動車が交通事故を起こした状況を考える。新技術が導入された状況であっても、自動車には新技術の下で自動車が自律的に走行する「自動モード」と機器の故障等に対応するためにドライバーが操作する「手動モード」が共存することとなる。これらの運転モードについて、ドライバーが運転モードを選択できる状況を仮定する。自動車メーカーや保険会社が事故発生時の走行モードを立証できない場合には、たとえドライバーは手動モードで運転中に事故を起こしたとしても、自動モードで事故が起きたと申告することがナッシュ均衡となることを明らかにする。なぜならば、自動モードであればPL法で責任の一部を製造者である自動車メーカーに転嫁することができる可能性があるからである。

このような事態が起きてしまうと、自動車メーカーの開発インセンティブが大きく損なわれてしまうことになる。これを軽減するためにはIoT機器の開発により、事故発生時の走行モードを正しく証明する技術を開発することで、ドライバーに事故発生時の真の走行モードを申告させることが可能になると考えられる。

本研究の構成は次の通りである。第2章では自動車保険の現状をみるために、現行の過失割合決定のプロセスと新技術が自動運転に与える効果を概観する。第3章では、事故発生時の過失割合を決定する走行モード申告ゲームを構築する。ゲームの構造が非協力ゲームとなるので、走行モードをどのように申告するかを分析する。最後に第4章で自動運転技術の普及が今後の自動車保険に与える効果についても考察する。

2. 事故発生時の過失分担について

2.1 自動車保険の役割

交通事故¹⁾ は2018年度だけで47万件以上発生しており、このうち98%が軽傷事故あるいは重傷事故である。また、死亡者が3,694人、重軽傷の負傷者は58万人を超えている。人口10万人当たりの負傷者数では約30人となり、交通事故はわれわれの日常生活において、もっとも身近なリスクの1つと考えられる。

1) 警察庁（平成29年度交通事故発生状況）より抜粋。

身近なリスクである交通事故に対して、市場には損害保険の1つである自動車保険が供給されている。自動車保険は、加入が義務付けられている自賠責保険（自動車損害賠償責任保険）と加入が任意の自動車保険により構成されている。これらの保険では、加入者のみならず同乗者と事故の相手側への補償をまかなうことが可能である。2018年6月現在の日本では、3メガ損保とよばれる東京海上ホールディングス、SOMPOホールディングス、MS&ADホールディングスをはじめとして、合計で24社が自動車保険を供給している。

加入者が交通事故を起こした場合には、発生した交通事故に対する責任割合をあらわす過失割合に応じて、加入した保険から保険金が支払われることになる。つまり、事故により生じた損失額を過失割合に応じて事故の当事者間で分担割合を決定することになる。このような自動車保険の仕組みは、Holmstrom（1979）をはじめとする多くの研究により、「事前のモラルハザード」と「事後のモラルハザード」を引き起こす可能性があることが指摘されてきた。事前のモラルハザードは、万が一事故を起こしたとしても保険により損害が補償されるのであれば、安全運転の意識が低くなり、不注意な運転が増えることで、事故発生の確率が高くなる状況である。また、事後のモラルハザードは、実際に事故が発生した場合に、自身の過失を過少に申告して過失割合を下げようとする行動を指している。

事前と事後のモラルハザードを軽減するために、保険会社は保険等級制度と車両保険の免責制度を導入している。保険等級制度とは、契約の前年の保険使用回数に応じて保険料を決定する等級が変化するという制度である。被保険者が事故を起こして保険から補償を受ければ、翌年の保険料が上昇し、無事故であれば保険料が下がることによって、安全運転への注意をうながしている。また、免責制度では、事故が起きて車両の修理をする際に、免責金額までは被保険者が自己負担する制度であり、事故を起こした場合に免責金額までは被保険者が自費で補償をする必要があり、免責制度がない場合よりもモラルハザードが軽減するものとして広く用いられている。

2.2 新技術の開発と自動車運転への応用

近年、我が国においても自動運転技術の開発が取り上げられることが多くなってきている。ここではまず、われわれが直面する自動運転技術の発展プロセスを確認する。アメリカ運輸省によると、自動運転技術は次の5段階に分類され、発展していくと考えられている。

- レベル0 自動運転機能のない一般の自動車
- レベル1 先進運転機能（自動ブレーキなど）を持つ自動車
- レベル2 複数の先進運転機能を連動させて、ドライバーが一定の制御を車に委ねることができる自動車

- レベル3 人間が全く関与せずに自動運転ができるが、いざという時は人間の制御が必要な自動車
- レベル4 人間は目的地を設定するだけで完全に自動運転可能な自動車

この分類にしたがうと、日本で普及が進んでいる自動ブレーキの機能は、レベル1に相当している。また、国内外の自動車メーカーは高次の自動運転技術の開発に着手している。実際に、2010年代からは路上での走行実験にも着手している。しかし、アメリカでは2018年3月にアリゾナ州での走行実験中に死亡事故が発生している。この他にも、同年5月には同じアリゾナ州で走行中の事故が発生している。これは、自動運転中の自動車と人間の運転する自動車の事故であった。

将来的にこれらの技術が普及することにより、事故発生時の責任分担の指針を取り決めておくことが重要となる。なぜならば、新技術が開発・導入されたとしても、旧システムを採用している自動車も多数存在することが考えられるため、事故原因の解明と責任の所在の明確化が困難になる可能性がある。また、技術進歩により高レベルの自動運転技術が導入できたとしても、機器の不良や故障時などに対応するために人間が運転する余地は残ることとなる。これは、自動運転モードと手動運転モードが常に併存することを意味しており、被保険者であるドライバーと保険会社との間に情報の非対称性が発生しやすい状況にある。事故発生後に原因の特定にコストがかかったり、検証が難しい場合には、事後のモラルハザードが起きる可能性が高くなる。事後のモラルハザードが起きる状況の一例として、自動モードでの事故においてドライバーが免責されるとすると、ドライバーが手動モードで運転していたにもかかわらず自動モードで運転していたと虚偽の申告をするインセンティブを与えることとなる。

一方で、製造者の責任を定める法律として、製造物責任法（PL法）が導入されている。これは、製品の使用中に消費者が生命、身体、財産に損害を受けたときに、製造者の責任を問うことができるという法律である。PL法においては、製造者の故意、または過失によらないことにより、消費者保護の観点に立脚していると言える。車についても、自動車メーカーは道路交通法が定める保安基準に適合しない場合に、リコールとして国土交通省に届け出して改善措置をおこなうことができる。国産車と輸入車を合わせて、300件を超えるリコールが届け出されている。

当然のことながら、新技術の導入にあたっては事前のテストが繰り返されているが、販売台数の伸びとともに技術的な問題点が出てくる可能性は十分にあるものと考えられる。

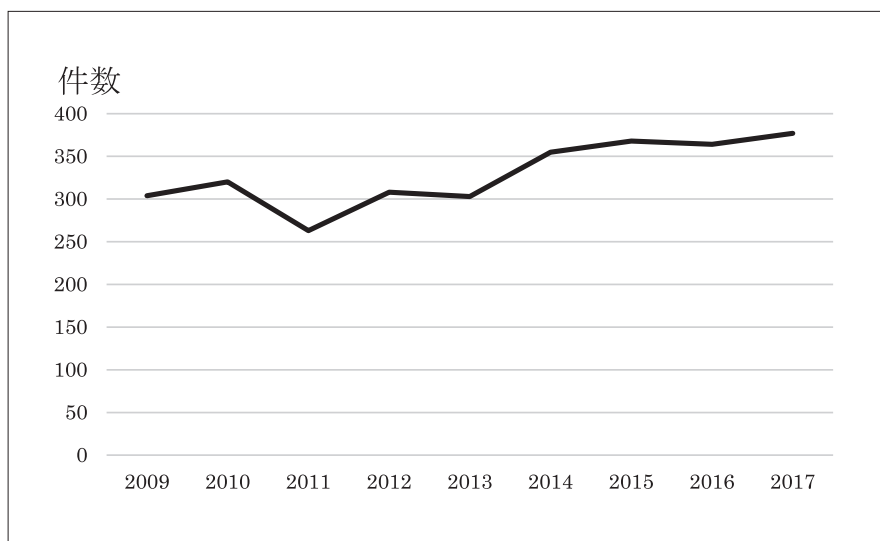


図1：リコールの届け出件数（国産車，輸入車計）

（国土交通省 http://www.mlit.go.jp/jidosha/carinf/rcl/data_sub/data004.html）

上記の議論からも分かるように、自動運転技術の開発と普及により、将来的に交通事故の減少が期待されているが、その件数をゼロにすることは、きわめて困難であると考えられる。

3. 自動運転技術の開発にともなう事後のモラルハザード

ここでは、Holmstrom (1982) を拡張して、AIなどの新技術の普及にともなう事後のモラルハザードについて考える。議論の簡単化のために、以下では2台の自動車が交通事故を起こした場合を考え、一方のドライバーをA、他方をBとよぶことにする。両ドライバーの車には同水準の自動運転技術が搭載されており、自動運転技術を使って自律的に走行する「自動モード」か、運転にかかるすべての操作をドライバーが運転を担当する「手動モード」が選択できるものとする。各ドライバーは、事故を起こした際に、どちらの走行モードで自動車が走っていたかを私的情報として知っているため、事故が発生した場合には虚偽の申告も可能である。また、保険金の支払いを担う保険会社と自動車を生産した自動車メーカーは、自動モードで発生した事故についての十分なデータを保有していないものとする。これは、保険会社と自動車メーカーがドライバーの走行モードを特定することができないことを示唆している。

このとき、ドライバーAとBの私的情報と申告した走行モードの組み合わせとその過失割合の組み合わせは以下の通りである。

表 1：新技術導入時の真の状態とドライバーの申告した状態での過失割合（2台での事故の場合）

		ドライバー B								
		真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	
ドライバー A	真の走行モード	申告した走行モード	手動	手動	手動	自動	自動	手動	自動	自動
	手動	手動	A11, B11		A12, B12		A13, B13		A14, B14	
	手動	自動	A21, B21		A22, B22		A23, B23		A24, B24	
	自動	手動	A31, B31		A32, B32		A33, B33		A34, B34	
	自動	自動	A41, B41		A42, B42		A43, B43		A44, B44	

たとえば上の表では、ドライバー A と B がどちらも手動モードで走行中に事故を起こし、両ドライバーが手動モードで運転していたことを申告した場合の過失割合が（A11, B11）であらわされている。この場合には、両者の過失割合の合計 $A11 + B11 = 1$ となり、事故の責任を両者で分割したことになる。これは、ドライバー A と B が事故発生時の走行モードについて私的情報を持っているときに、過失割合を決めるにあたって自車の走行モードをどのように申告するかを意思決定する非協力ゲームになっている。

なお、現行の自動車の水準をあらわすレベル0では上記の表において（A11, B11）のみが選択可能である。新技術の導入により、高度な自動運転技術が開発されると、4行4列の過失割合行列に直面することになる。これに加えて、消費者保護の観点から、両ドライバーが自動モードで走行していたと申告した場合（例として（A22, B22））には、PL法によって製造者である自動車メーカーも責任を分担する可能性があるため、 $A22 + B22$ が1とならないことにも注意が必要である。さらに、各ドライバーは自身の過失割合が低ければ低いほど望ましいという選好を持っていると仮定する。

3.1 保険会社と自動車メーカーが真の状態を証明できない場合

はじめに、保険会社と自動車メーカーがドライバーの真の走行モードを証明できない場合を考える。この場合、調停あるいは裁判で過失割合を決める際に、ドライバーの申告した走行モードが真の走行モードとして採用されることになる。PL法により、自動運転モードによる自動車メーカーの事故全体に占める過失割合が40%で認められたとする。これにより、自動運転モードでは運転者の過失割合はゼロとなるものとする。このとき、両ドライバーは次の過失割合行列に直面することになる。以下では、各ドライバーが同じモードで走行していた場合には、過失割合は等しく案分されるものとする。

表2：自動走行モードでの製造者責任が認められた場合の過失割合
(自動車メーカーの責任が40%認められた場合)

		ドライバーB								
		真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	
ドライバーA	真の走行モード	申告した走行モード	手動	手動	手動	自動	自動	手動	自動	自動
	手動	手動	0.5, 0.5		0.6, 0		0.5, 0.5		0.6, 0	
	手動	自動	0, 0.6		0.3, 0.3		0, 0.6		0.3, 0.3	
	自動	手動	0.5, 0.5		0.6, 0		0.5, 0.5		0.6, 0	
	自動	自動	0, 0.6		0.3, 0.3		0, 0.6		0.3, 0.3	

この場合、両ドライバーは真の走行モードにかかわらず自動モードで走行していたと申告することが手動モードで走行していたと申告することの支配戦略となっている。支配戦略の組み合わせがナッシュ均衡であるので、上記の表では影のついたセルがナッシュ均衡をあらわしている。言い換えると、両者が支配戦略である自動モードで事故が起きたことを申告することがナッシュ均衡となる。

保険会社と自動車メーカーがドライバーの真の走行モードを証明できないときには、Picard (2000) が仮定したような、真の状態を正直に申告しようとするドライバーのインセンティブはそがれることとなる。なぜならば、手動モードで走行していた場合に真の状態を申告すると、事故の相手は真の状態が何であれ自動モードを申告してくるので、より多くの過失責任を負わなければならない可能性があるからである。さらに、この状況では事故が起きたとしても自動走行であった旨を申告すれば自身の責任が軽減されてしまうので、手動走行時の注意が散漫になるという事前のモラルハザードも誘発してしまう可能性も生じることになる。

3.2 保険会社と自動車メーカーが真の状態を証明できる場合

次に保険会社と自動車メーカーが一定の確率でドライバーの真の走行モードを証明できる場合を考える。ここでは、Holmstrom (1982) にしたがって、証明ができる確率を p 、証明に失敗する確率を $1-p$ とする。また、確率分布についてはすべての市場参加者について既知であるものとする。証明の可否に対するドライバーの過失割合を次のように設定する。

表3：真の走行モードの証明ができた場合の過失割合
（自動車メーカーの責任が40%認められた場合）

		ドライバーB								
		真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	
ドライバーA	真の走行モード	申告した走行モード	手動	手動	手動	自動	自動	手動	自動	自動
	手動	手動	0.5, 0.5		0.5, 0.5		0.6, 0		0.6, 0	
	手動	自動	0.5, 0.5		0.5, 0.5		0.6, 0		0.6, 0	
	自動	手動	0, 0.6		0, 0.6		0.3, 0.3		0.3, 0.3	
	自動	自動	0, 0.6		0, 0.6		0.3, 0.3		0.3, 0.3	

表4：真の走行モードの証明ができなかった場合の過失割合
（自動車メーカーの責任が40%認められた場合）

		ドライバーB								
		真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	真の走行モード	申告した走行モード	
ドライバーA	真の走行モード	申告した走行モード	手動	手動	手動	自動	自動	手動	自動	自動
	手動	手動	0.5, 0.5		0.6, 0		0.5, 0.5		0.6, 0	
	手動	自動	0, 0.6		0.3, 0.3		0, 0.6		0.3, 0.3	
	自動	手動	0.5, 0.5		0.6, 0		0.5, 0.5		0.6, 0	
	自動	自動	0, 0.6		0.3, 0.3		0, 0.6		0.3, 0.3	

真の走行モードが証明できる場合には、各ドライバーは私的情報を開示することがナッシュ均衡となる。一方で、証明に失敗する場合には、真の状態にかかわらず各ドライバーは自動運転モードで走行していたことを申告することがナッシュ均衡となる。このモデルでは真の状態が証明できるかどうかは確率的に与えられているので、ドライバーがこの確率を知っているときには、確率 p で真の状態を申告し、確率 $1-p$ で自動運転モードを申告する。つまり、ドライバーが合理的な選択をしていると仮定するときには、混合戦略を選択することが最適となる。保険会社あるいは自動車メーカーが証明にかかる費用を C とすると、保険会社と自動車メーカーの期待便益が C を上回ったときにはじめて証明を講じることが分かる。また、虚偽の申請が明らかになったときにペナルティを負担させることで一定の効果を期待することができる。加えてIoTのように、自動車を直接インターネット

トに接続して走行モードを記録させることで、一定の抑止効果が期待できる。

4. まとめと今後の課題

これまで新技術の発展と事故発生時の過失割合を例に挙げながら、新技術の普及による自動車保険への影響を考察した。本研究では、Holmstrom (1982) を拡張して、2台の新技術を導入した自動車が事故を起こした場合に、ドライバーが自車の走行モードを申告することで事故の過失割合を決定するモデルを構築した。あわせて消費者保護の観点に立脚したPL法により、自動車メーカーにも責任が及ぶ可能性も考慮した。

交通事故発生後に、保険会社と自動車メーカーがドライバーの走行モードを証明できない場合には、ドライバーは自身の過失割合を下げようと行動するため、自動モードで事故が発生したと虚偽の申告をすることがナッシュ均衡であることが明らかとなった。先行研究でも示されていたように市場には一定数の実際の走行モードを正直に申告しようとするドライバーが存在するはずである。しかし、走行モードの証明ができない場合には、真の状態を申告しようとすることに対して負のインセンティブを与えてしまうことが示された。

そこで、確率 p で真の走行モードが証明できるとした場合に、ドライバーは真の状態を証明できる確率に応じて申告をする混合確率を選択することがナッシュ均衡になることを明らかにした。つまり、衛星回線を通したIoT機器の開発で証明できる可能性を高めることができるとした場合に、ドライバーは真の走行モードをみずから申告することを誘発することが可能になる。今回得られた結果は、自動運転技術を自動車メーカーがしのぎを削っている中で、他のIoT機器の開発も同時進行させなければ今後の自動運転技術の発展と普及に対して大きな阻害要因となることを示している。保険会社はこれを見越した自動車保険の開発を検討する必要があると言える。

今後の課題として、技術の異なる自動車が事故を起こした場合の過失割合の決定と3台以上の自動車間での事故、自動車と歩行者の事故など実際に起こりうる可能性についても検討が必要である。

参考文献

1. Cummins, J. D. and Tennyson, S. (1996) Moral Hazard in Insurance Claiming: Evidence from Automobile Insurance. *Journal of Risk and Uncertainty*, 12, pp. 29-50.
2. Holmstrom, B. (1982) Moral Hazard in Terms. *Bell Journal Economics*, 13, pp. 324-340.

3. Picard, P. (1996) Auditing Claims in Insurance Market with Fraud: The Credibility Issue. *Journal of Public Economics*, 63, pp. 27-56.
4. Picard, P. (2000) Economic Analysis of Insurance Fraud. In G. Dionne (ed.), *Handbook of Insurance*. Kluwer Academic Publishers.
5. Rothschild, M. and Stiglitz, J. E. (1976) Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information. *Quarterly Journal of Economics*, 90, pp. 629-650.
6. Seog, H. (2010) *The Economics of Risk and Insurance*, Wiley-Blackwell.

The Effect of Automatic Driving Systems on Automobile Insurance

FUJII Yoichiro

Key Words : Automatic driving system, Asymmetric information, ex post moral hazard, Product liability law, Casualty Insurance, Non-cooperative game
JEL Classification : G22, G32, K12

Abstract

This study examines how automatic driving systems, such as automatic control using AI (artificial intelligence), affect automobile insurance. It is natural, however, that a driver may be able to drive his/her car without automatic driving systems where driving problems are anticipated. This implies that cars having automatic driving systems, such as “automatic controlling mode using AI” coexist with “driver controlling mode”. If insurance companies and car manufacturers can not verify which mode was engaged when a car accidents occurred. This leads to ex post moral hazard because drivers have incentive for false statements as if drivers had driven by himself/herself because their rate of responsibility may be reduced by product reliability law. Ex post moral hazard of false statements may also lead to ex ante moral hazard simultaneously. I show a solution to reduce these moral hazard using IoT (Internet of Things) technologies.