



Innovation for Wellbeing

SOMPOリスクアマネジメント

京都大学再生可能エネルギー経済学講座

風力発電におけるリスクマネジメントと保険について

平成29年1月17日

SOMPOリスクアマネジメント株式会社

足立 慎一

目次

1. 風力発電を取り巻くリスク
2. リスクマネジメントの必要性
3. 風車保険の実態と課題
4. 保険評価の方向性
5. 故障・事故リスクの財務影響評価

風力発電を取り巻くリスク(広義)



考慮すべき風力発電のリスク ①

1. 開発計画、設計段階のリスク(及び留意点)

リスク分類	陸上・洋上共通
ファイナンス	資金調達、物価・金利変動、保険手配
立地選定	風況、気象・ 海象 、工事難度、乱流、自然災害(台風、落雷、雪 等)
政策・法令	政策、法令、制度等の新設・変更
事業性	調査費、工事費、O&M費、環境アセスコスト、保険料、事業採算 等
許認可	許認可(電事法、公園法、 農地法 、 港湾法 、国土利用計画法、電波法、景観条例、 森林法 、 海岸法 等)、法手続の遅延
設計	風車クラス、落雷保護、風車配置(ウエイク影響)、 基礎形式の選定 、 ケーブル容量検討(離岸距離) 、 送電関係の選択(直流・交流)
環境影響	環境アセス(騒音、低周波音、バードストライク、動植物、 海洋生物 、生態系、電磁波、景観、 流況 、 シャドウフリッカー 等)
社会	地域(住民)理解、 漁協との調整 、協議会の設置
系統連系	系統連係協議、接続拒否、容量縮小、連系点距離
認証	型式認証、プロジェクト認証(サイト適合性評価)

赤字:洋上固有、青字:陸上固有

考慮すべき風力発電のリスク ②

2. 建設工事段階のリスク(及び留意点)

リスク分類	地上・洋上共通	
許認可	建築基準法、道路法、電波法、航空法、消防法、騒音規制法 等	
事故	財物 損壊	資機材輸送時の破損、盗難
		資機材落下・倒壊等の人的ミスによる設備破損
		ケーブル敷設工事の施工ミス、敷設ルート選定の問題(地盤)
		試運転期間中の火災、故障・事故
		自然災害による工事目的物の損傷
	賠償	資材運搬時の交通事故、施工時の人的ミスに起因する賠償責任
		施工時の環境影響(騒音、大気質・水質・海洋汚染等)
労災	施工時の労災事故	
	建設機械・工事設備の損傷	
性能	施工瑕疵による引渡し後の事故、性能不発揮	
工事遅延	天候・波浪による工事遅延、事故、自然災害等による工期延長	
施工管理	Marine Warranty Survey	

赤字:洋上固有、青字:陸上固有

考慮すべき風力発電のリスク ③

3. 運転段階のリスク(及び留意点)

リスク分類	地上・洋上共通
故障・事故	火災事故(機器からの短絡による出火 等)
	電氣的・機械的な事故・故障(オペレーションによるものを含む)
	ケーブル損傷(アンカーによる損傷、経年浸食)
	設計欠陥や構造上の瑕疵に起因する損傷、経年劣化による部品損傷
	O&Mにおける人的ミス(判断誤りを含む)
	自然災害(風災、雹災、水災、雪災、雷害、地震・津波)による損傷
休業損失	事故・故障による停止、行政からの停止命令期間中の売電損失
賠償責任	施設管理に起因する賠償責任(人的・物的)
労災	点検中の労災事故
発電量低迷	発電量低迷(風況調査の評価過誤)
環境影響	生態系への影響、バードストライク、景観 等
社会	騒音、低周波音、電磁波、シャドーフリッカー 等の地域住民への影響
法制	電気事業法(保安規定)、FIT見直し、出力制御
危機管理	緊急時の対応(マニュアル整備、訓練)

赤字:洋上固有、青字:陸上固有

考慮すべき風力発電のリスク ④

4. 維持管理・撤去時のリスク(及び留意点)

リスク分類	地上・洋上共通
劣化	劣化(錆、腐食)、部品の疲労破壊(乱流による疲労を含む)
メンテナンス不良	メンテナンス不良による設備故障
部品調達	スペアパーツのストック(又は調達ルート)の確保)
船舶手配	故障・事故時の作業船手配、O&M用アクセス船の手配
気象・海象	気象・海象の悪条件によるO&M困難、洗掘
立替・撤去	撤去時のコスト確保(資本費の5~10%)、リプレイス・リパワリング検討

赤字:洋上固有、青字:陸上固有



写真提供:北拓



NEDO: http://www.nedo.go.jp/fuusha/report_kitakyushu.html

目次

1. 風力発電を取り巻くリスク
- 2. リスクマネジメントの必要性**
3. 風車保険の実態と課題
4. 保険評価の方向性
5. 故障・事故リスクの財務影響評価

風力発電拡大のための課題

I. 再エネ導入促進

- ① 事業可能性の確認
 - － ゾーニング(ポテンシャル)、事業性(収支)の確保
 - － 技術革新(低風速域でのポテンシャル拡大)
 - － 事業コスト(FIT)低減、人材育成
- ② 導入環境の拡大
 - － 規制緩和(法制度)
 - － 系統連系の確保・拡大
- ③ 地域理解(住民・産業)
 - － 社会受容、自治体による後押し
- ④ 地域経済への貢献
 - － 雇用の促進、地元産業(農林漁業含む)への効果
- ⑤ 環境負荷の抑制
 - － 環境アセス(バードストライク、騒音、等)

II. 再エネ発電の健全性維持(リスク回避)

- ① 適正なリスクマネジメントの実施
 - － リスクの洗い出し、立地に応じたリスク量の測定、適切なリスク対策の立案
- ② 事故・自然災害による発電設備の損傷リスク対策
 - － 立地の適切な選定(ハザード的に「建ててはいけない場所」がある)
 - － 保険、予防保全対策の効果と合理性
- ③ 稼働率・設備利用率の向上
 - － O&Mレベル、スマートメンテナンス、メーカー保証

風力発電の健全性を維持することの重要性

- 従来、風力に限らず、再エネ普及の議論は「導入促進」に軸足が置かれていた。
- FIT導入から4年を経て、「健全性の維持」の議論も高まりつつある。
 - 『新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキング』（近年、重大事故が多発）稼働率、設備利用率の低迷（発電事業所ごとに大きな差）
 - 『風力発電設備の定期安全検査制度について』_経済産業省電力安全課（産業構造審議会 保安分科会 電力安全小委員会_平成28年7月13日）
 - 『再生可能エネルギー事業の不適切案件の情報提供フォーム』(資源エネルギー庁)
- 風力(=再エネ電源)の健全性が維持されない
 - 発電事業者の事業性確保の問題にとどまらない。

健全性が維持されないと、想定電力が賄えず代替電源(火力)が稼働する。

再エネ導入の最大の意義である「CO₂削減」効果は十分な発揮とならない。

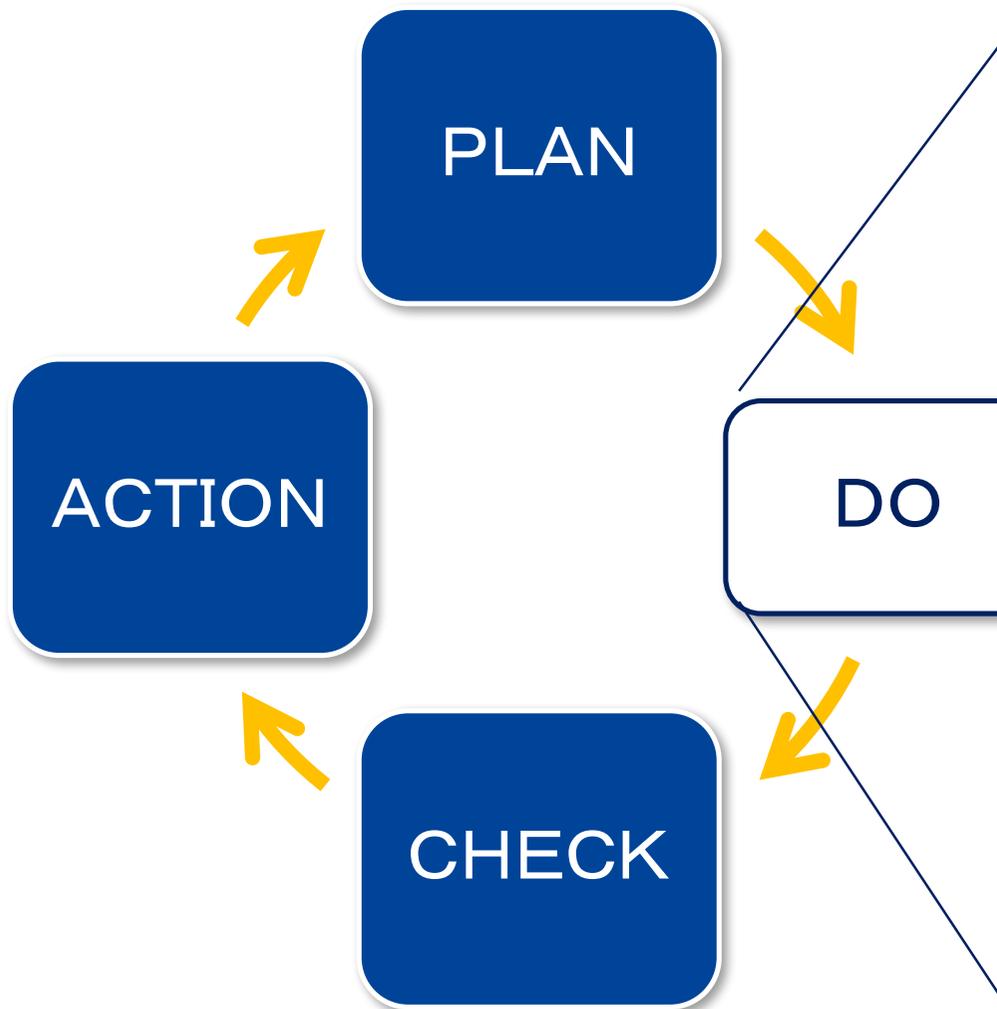
保険は事故損傷を金銭的に給付できても、「CO₂削減」効果は給付できない。

発電設備の事故は公衆安全を脅かす可能性。風力への理解が低下する懸念。

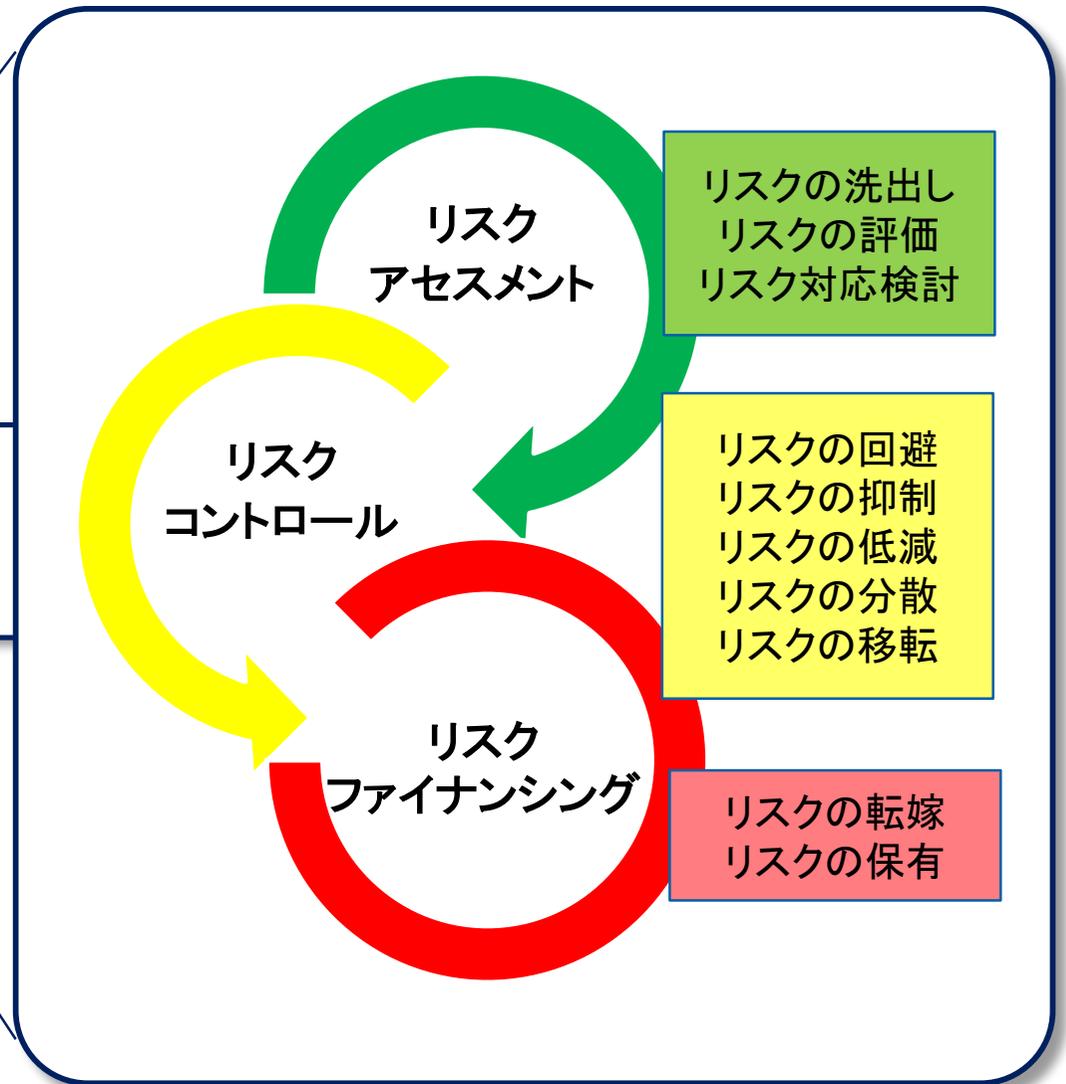
風力発電導入意義である産業育成、雇用創出、地域活性化等、派生的影響がでる。

リスクマネジメントとは

リスク管理のPDCA



リスク処理の手法



環境面から見た再生可能エネルギーのリスクマネジメント

リスクマネジメントの流れ

再生可能エネルギー事業の環境負荷(リスク)の顕在化



1. 事業コンセプト(CO2削減)の非実現または期待効果の縮小

- 再エネ導入目標値の未達(主として政策面)
- 突発的な事故の発生により供給や系統の安定のために火力発電の稼働が増加

2. 発電事業に付随して新たな環境負荷(リスク)が出現

- CO2削減という導入効果に反して、別の環境側面に重大な影響を与える可能性

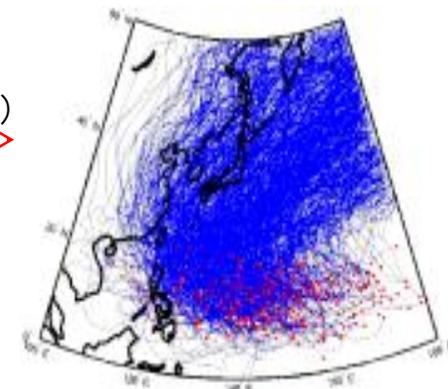
左記の1、2について、リスクマネジメントを検討する

- ① 事業阻害要因(リスク)の洗い出し、事業影響による環境負荷(リスク)の洗い出し
- ② **リスク(量)の評価**
- ③ リスク軽減の検討(発生可能性の低減、損害規模の軽減)
- ④ リスク転嫁の検討(損害保険、等)

リスクマネジメント(対策)の実践

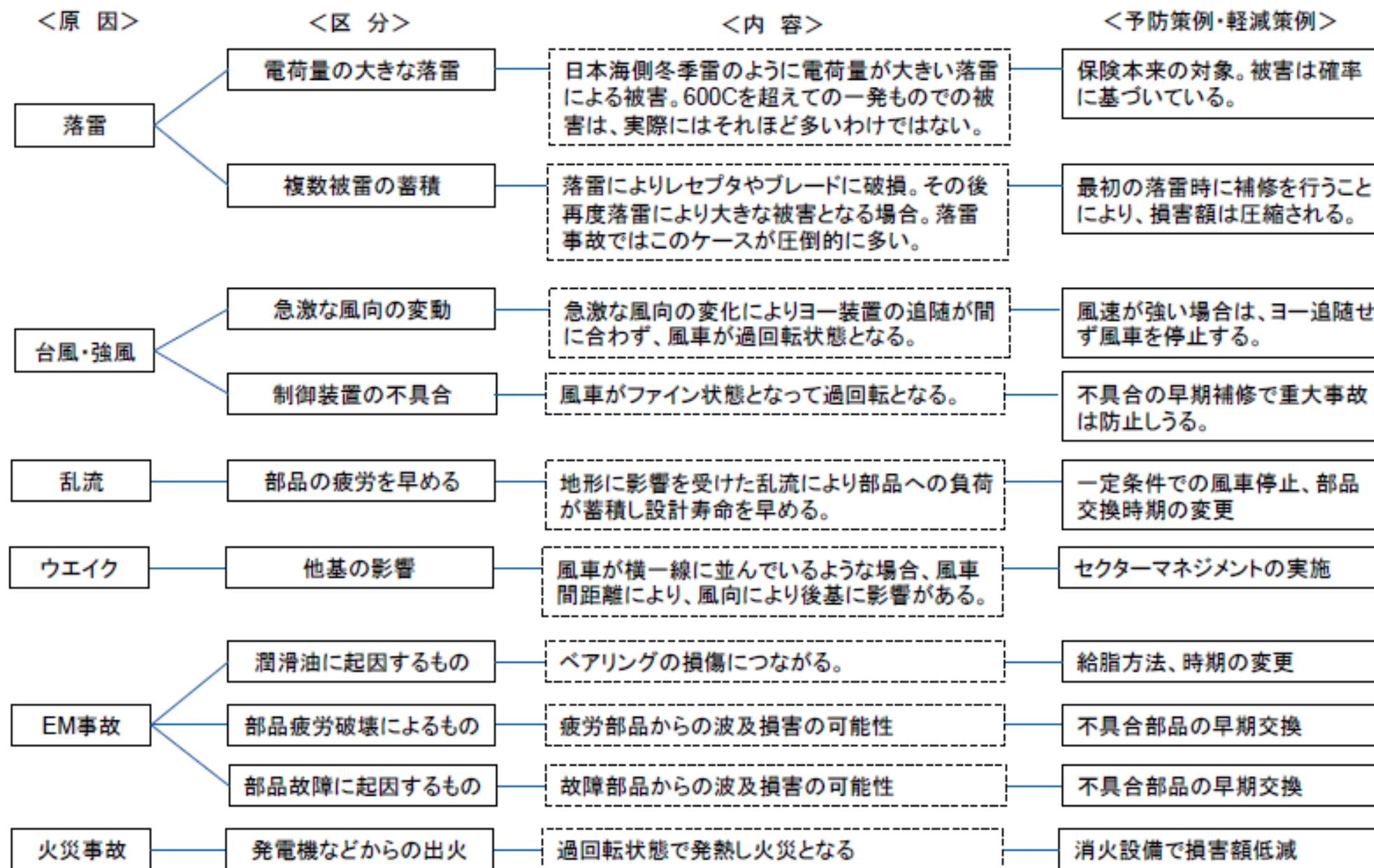


(例)



台風シミュレーション
(モンテカルロ法)

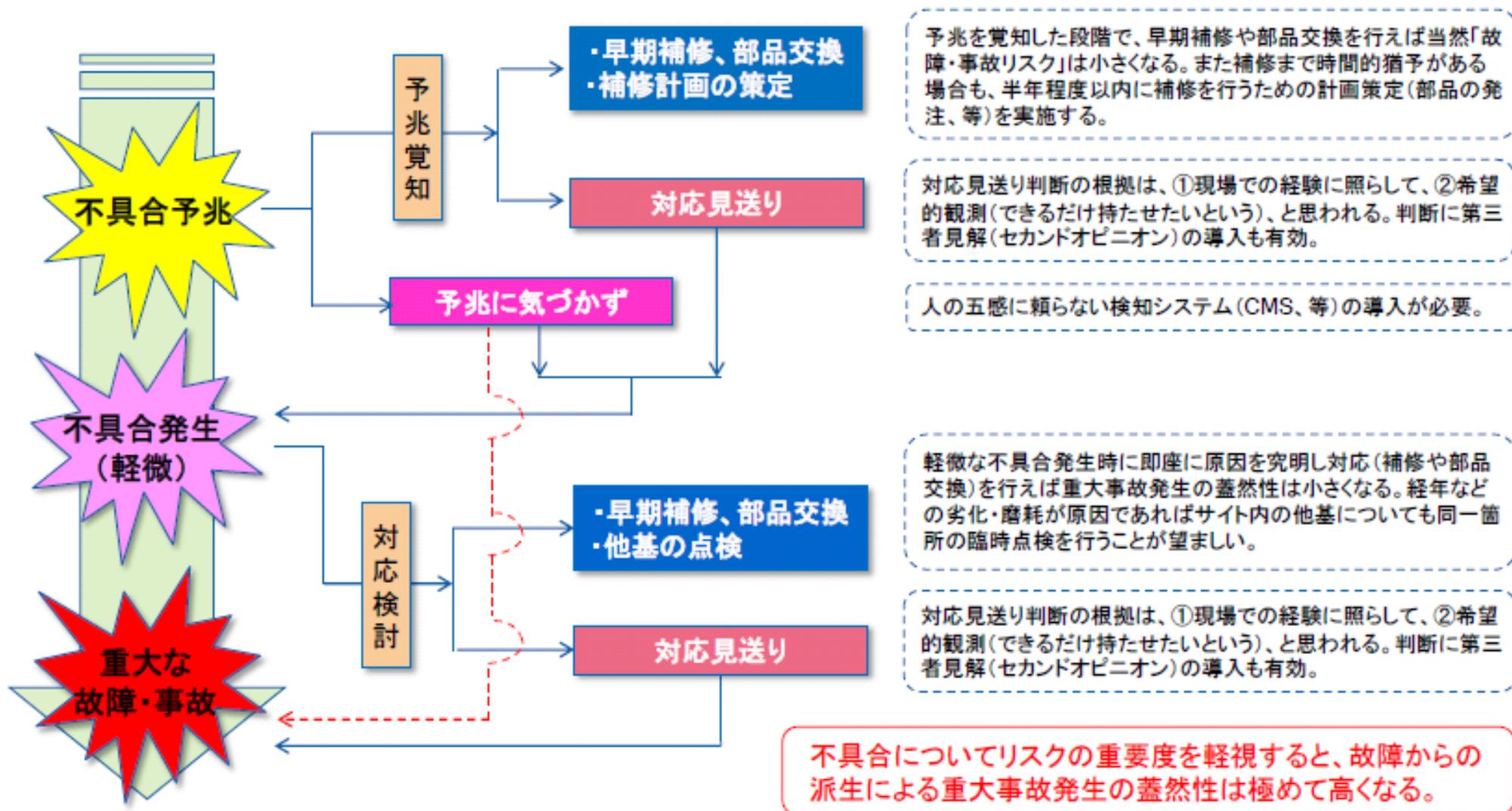
風車の故障事故原因と損害軽減の可能性



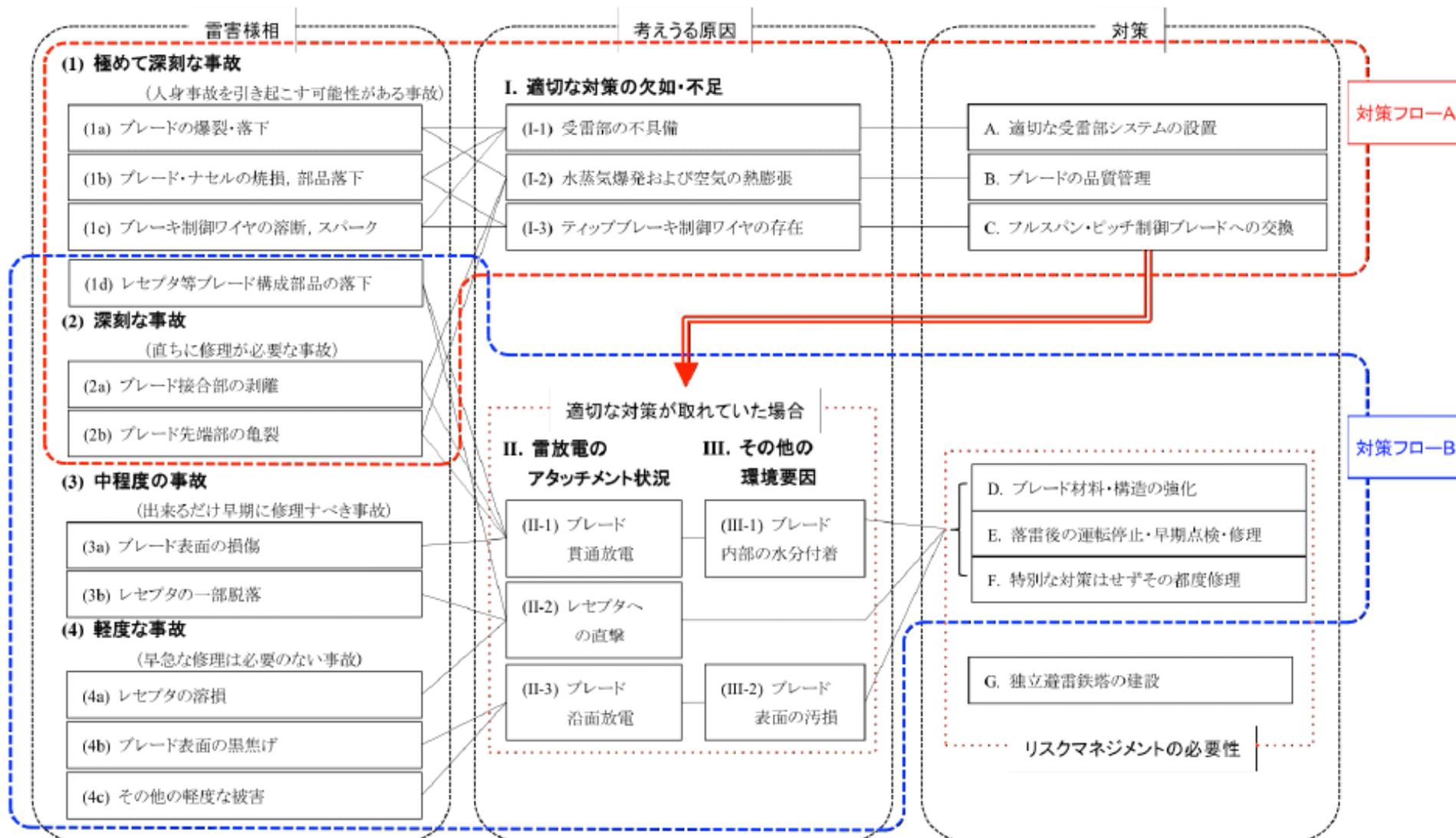
不具合予兆から重大な事故故障までのプロセス

突発的な外来の原因による事故を除き、重大な故障・事故に至るまでには、軽微な不具合やその予兆があるのが一般的。

① 予兆、不具合の早期覚知、② 適切な対応判断、③ 故障・事故の影響(ダウンタイム)の最小化、が重要。



【参考】風車ブレードの雷事故の対策フロー



出典:「リスクマネジメントから考える風力発電設備の雷対策」/安田陽(関西大学)

電気学会:雷性状を考慮した風力発電設備耐雷技術調査専門委員会「雷性状を考慮した風力発電設備の耐雷技術」(電気学会技術報告、第1335号)

目次

1. 風力発電を取り巻くリスク
2. リスクマネジメントの必要性
- 3. 風車保険の実態と課題**
4. 保険評価の方向性
5. 故障・事故リスクの財務影響評価

風力発電向けの主な損害保険の種類

Standard Package

発電設備の使用・所有・管理、または発電業務に起因して負担する第三者賠償責任

施設賠償責任保険

風力発電設備に生じた次の原因による損傷

- ① 火災、落雷、破裂・爆発、風災・雹災・雪災、水災
- ② 電氣的・機械的事故、その他不測かつ突発的事故

利益保険

財物保険の対象事故により休業となった場合の喪失利益、収益減少防止費用

財物保険
(発電設備)

Option

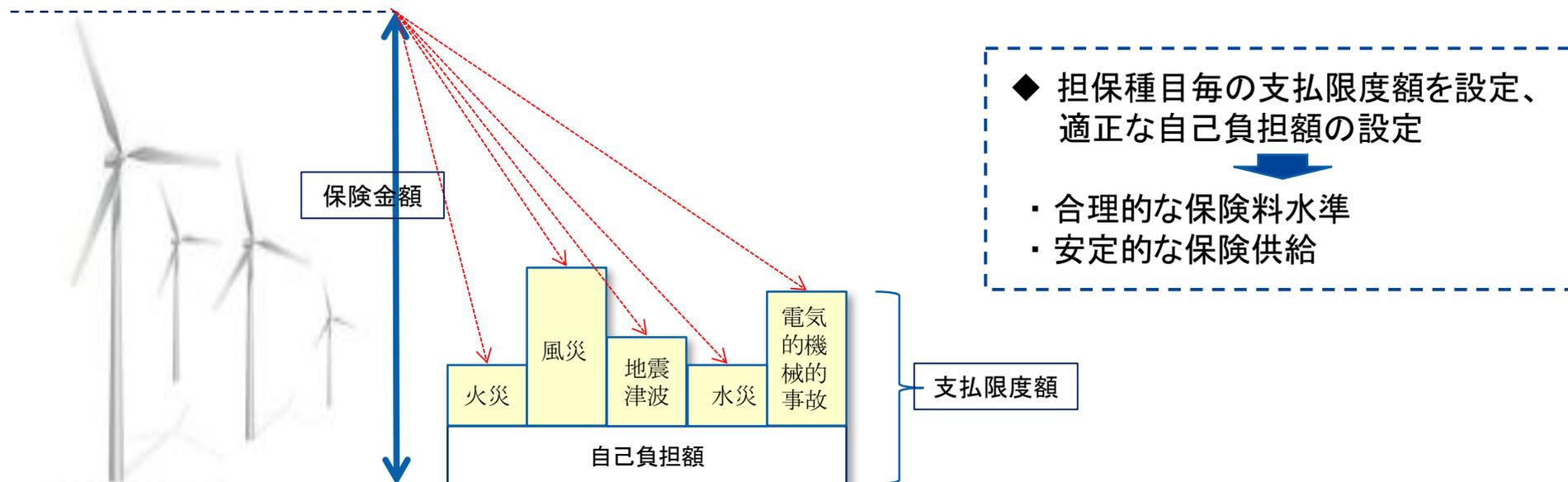
地震保険

地震、津波、噴火による発電設備の損傷

適切・合理的な保険手配

リスクマネジメントにより、リスク量の適正評価を実施すれば、保険の適切・合理的な設計が可能となる。

- 大規模なウインドファームにおいては、一度の事故原因により発電所全体が損傷する可能性は小さい。したがって保険契約に「**一事故支払限度額**」を設定することが合理的である。同一事業者が異なる立地に複数発電所を有する場合も、1証券化することに合理性がある(レンダ一理解が必要)。
- 「**一事故支払限度額**」は事故原因毎に設定することが可能であり、設定には事故原因毎の(保険担保毎の)「**予想最大損害額(PML)**」を算出する必要がある。
- 「**予想最大損害額(PML)**」は立地ごとの自然災害ハザードにより異なり、モデルを使用した定量的評価が重要である。(最悪シナリオでのリスク想定は保険を着膨れで設計することになる。)

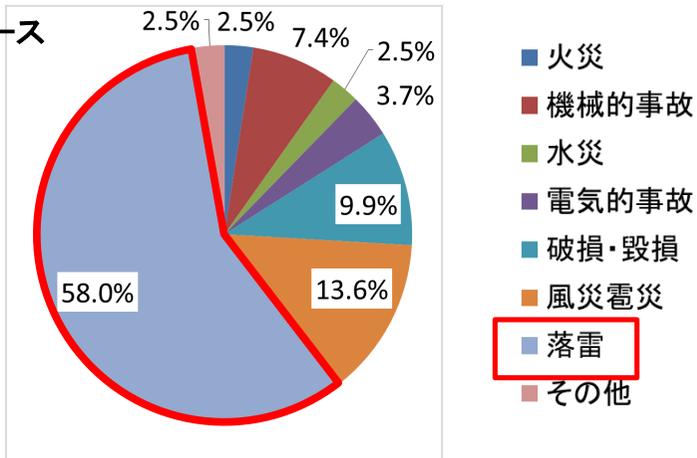


風車保険の保険金支払事由(事故原因)

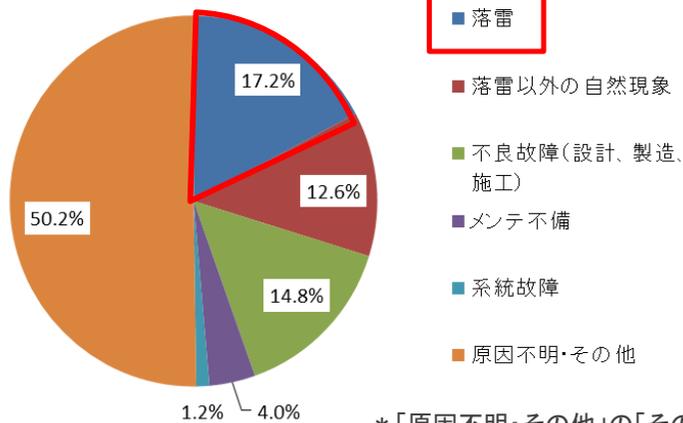
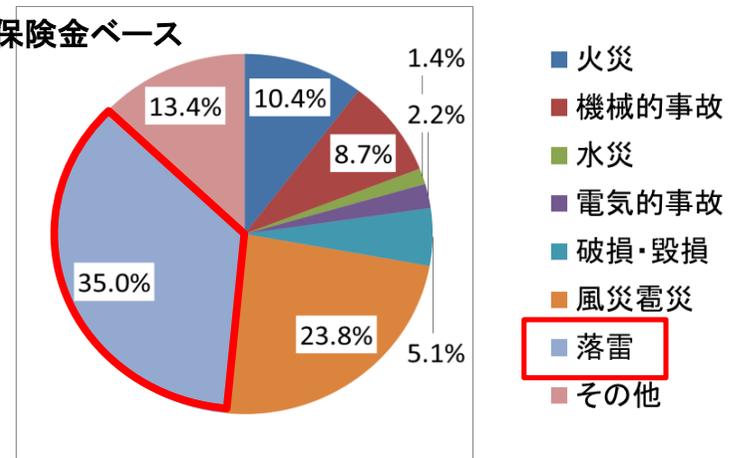
保険事故の原因別割合

(平成22-26年度)

件数ベース



損害保険金ベース



*「原因不明・その他」の「その他」はおもに「経年劣化」と報告されたものである。

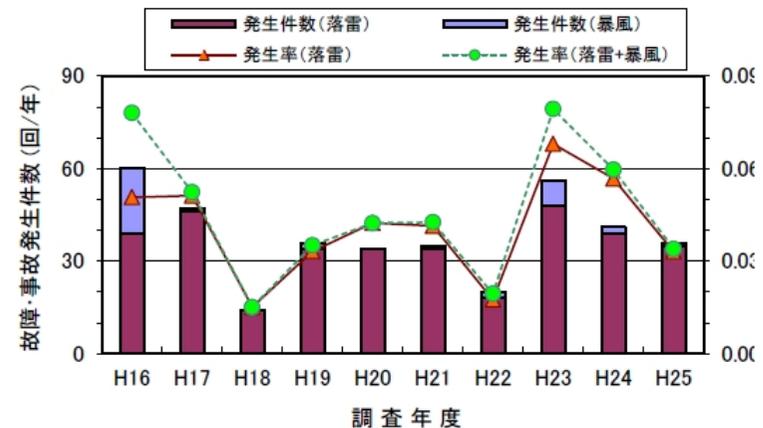


図 1.3-2 落雷・暴風による故障・事故発生件数の推移

出典:「NEDO風力発電事故・故障調査結果」(平成16~25年度)より

風車保険の収支について

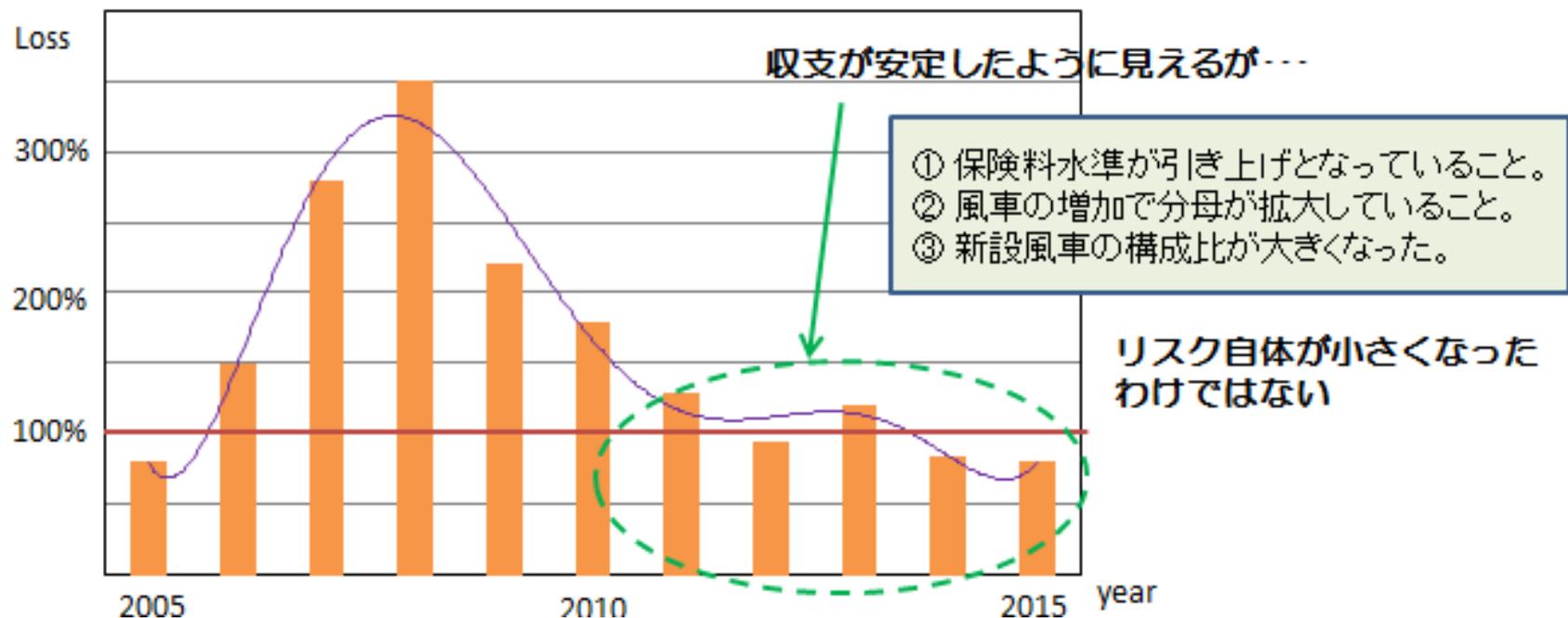
1. 損害保険会社における収支の考え方

$$\text{損害率 (\%)} = \frac{\text{支払保険金}}{\text{収入保険料}}$$

実際には、社費(保険募集・引受に関わる費用、保険事故の調査に関わる費用、等)および仲介手数料(代理店、ブローカー)があり、保険種目により異なるが、概ね60%が損益分岐点となる。

2. 風車保険の損害率推移

※ 損害率推移は傾向を表していますが、正確な数値を表示しているわけではありません。



【参考】風車のEM事故にみる潜在リスク量

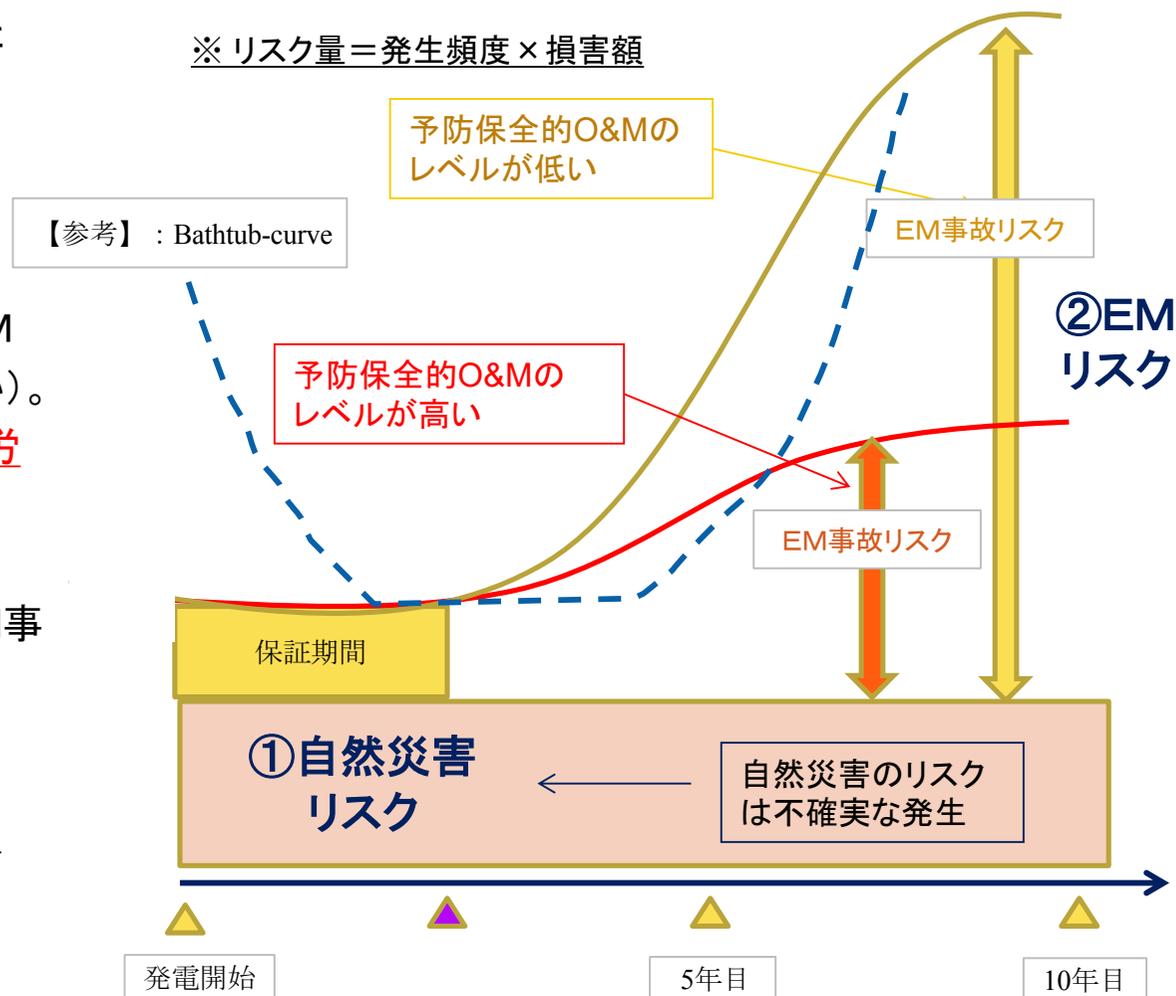
①自然災害リスク

- ◇ ロケーションごとにリスク量は異なるものの、発生自体は**不確実**であり、確率論に基づいたリスク量が一定潜在する

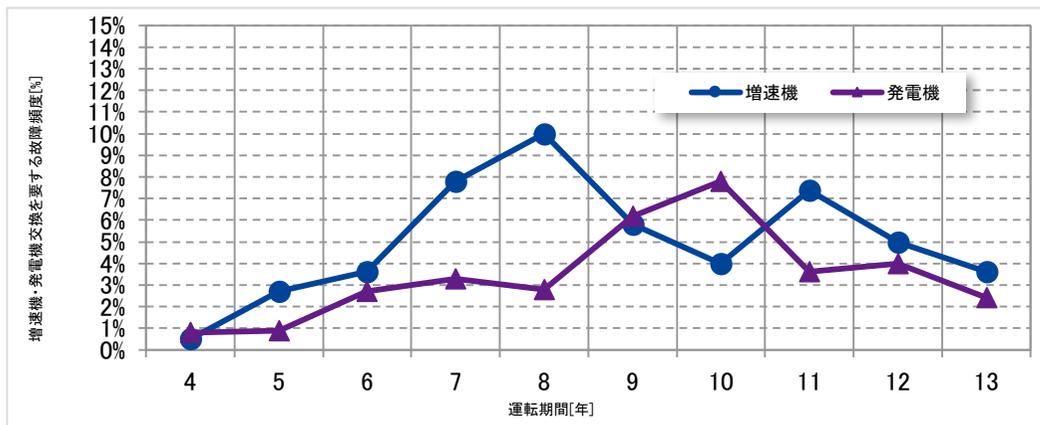
②EM（電氣的・機械的）事故リスク

- ◇ メーカー保証期間の間は、保険におけるEM事故リスクはほとんどない（保険請求されない）。
⇒ 一定期間（5～7年）経過後には部品疲労の影響で急激にリスク量は大きくなる。
- ◇ 予防保全的O&Mを適正に実施すれば、EM事故リスク量の急激な増大を回避できる。
- ◇ 一般的に、『乱流』の疲労蓄積による損傷は、部品の耐久性低下に端を発している場合が多く、EM事故リスクが影響している。

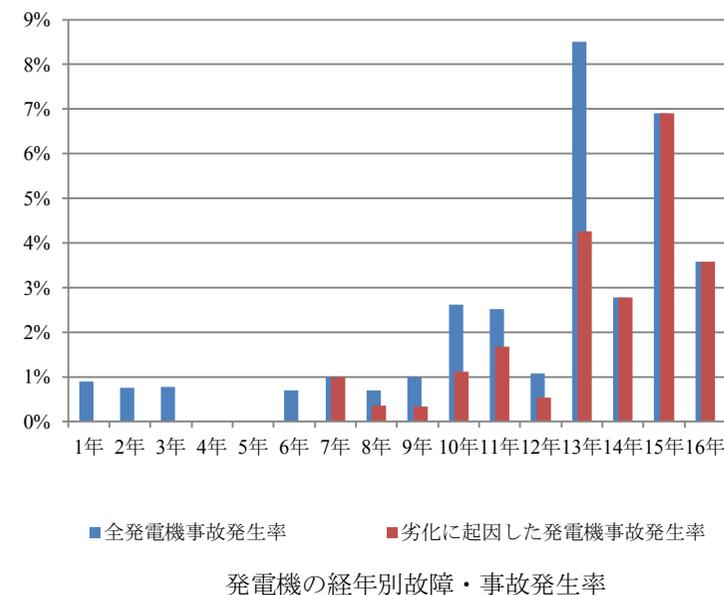
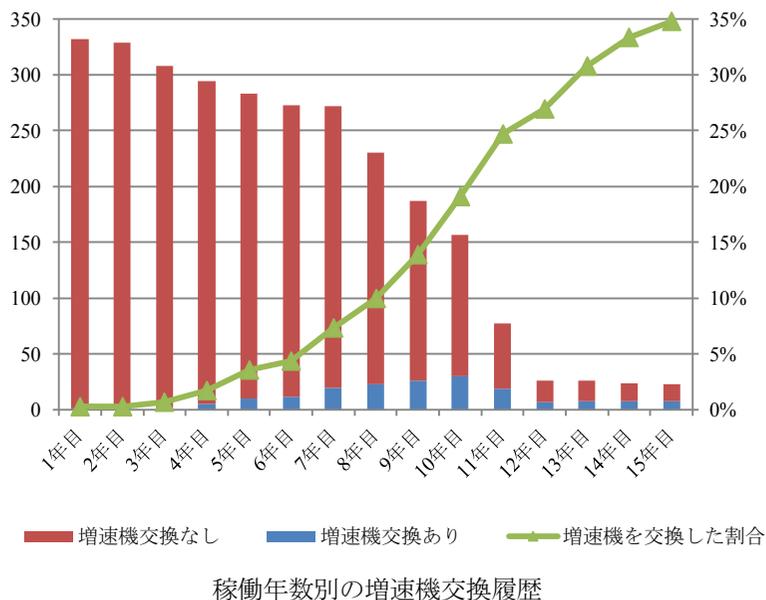
一定規模以上の保険事故発生からみたリスク量



【参考】増速機と発電機の故障・事故と経年との相関



Lantz, E. (2013), Operations Expenditures: Historical Trends and Continuing Challenges, presented at AWEA Wind Power Conference, May 5-8, Chicago, IL. NREL/PR-6A20-58606.



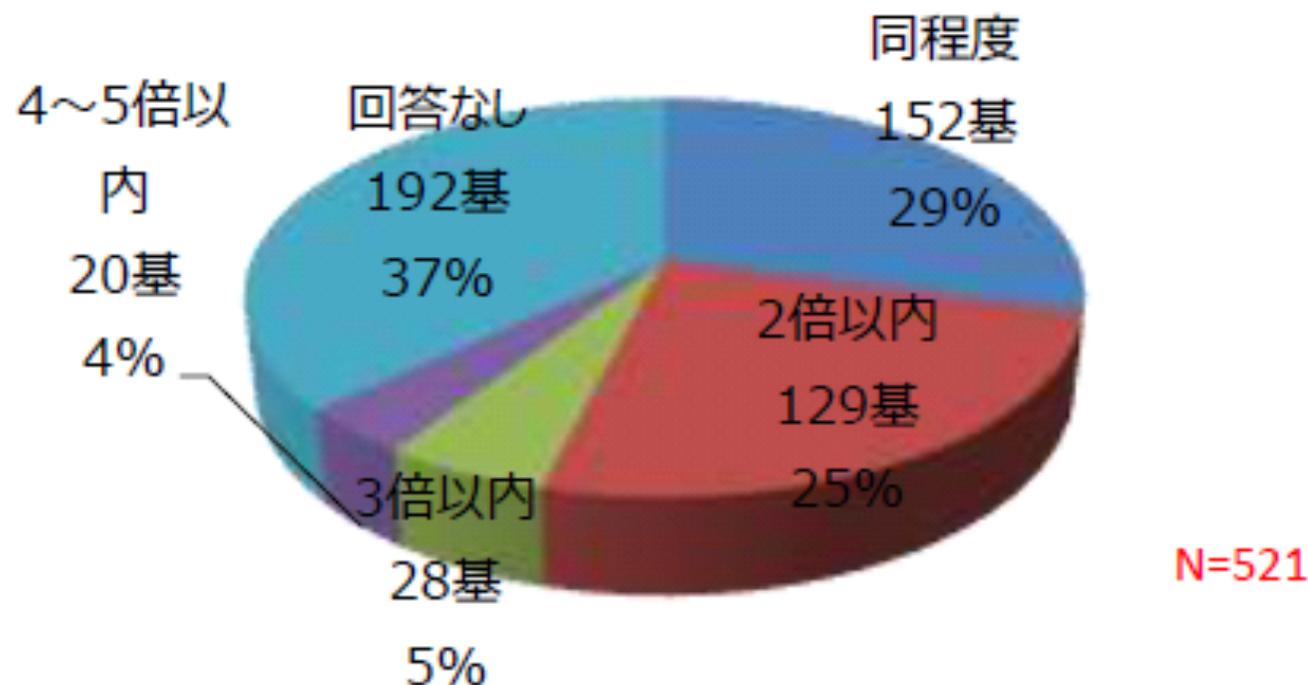
※調査基数521基に対し、過去5年間の増速機と発電機の故障・事故について経年との相関を確認した。
 出典：NEDO『スマートメンテナンス技術研究開発・リスク解析／国内風力運用実態調査(平成26年度中間報告)』

風車保険の加入実態

多くの風車において、稼働当初時と比較して保険料が変動している。

アンケートにおいて自由回答方式で変動頻度を確認したところ、記載のあった半数以上で「毎年または2年程度で保険料が上昇した」との回答があった。

自己負担額も稼働当初は500万円未満が圧倒的であったが、現在は3分の2で1,000万円以上となっている。



出典：NEDOスマートメンテナンス技術研究開発・リスク解析
『国内風力運用実態調査(平成26年度中間報告)』

風車保険における課題・問題点

1. 共通事項

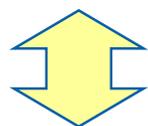
- 一部メーカーによる修理見積りが、保険事故の場合、かなり割高である。
 - 出精値引きが入っていないのは当然。メーカーによっては、同様事故の他メーカー見積りに比し部品代、レッカー代、労務費が2倍以上のケースがある(**保険事故が儲かるビジネス化**)。
- 事故原因が技術的に十分解明されていないケースがある。
 - 復旧後に、再発防止策が講じられない(**対策を保険頼みとしている**)。
- 予防保全の意識に事業者間に大きな差がある。
 - 不具合事象が出ても、「**どうせ保険に入っているから、壊れるまで使おう**」という意識。
- 経年による機器損傷、乱流などによる疲労蓄積での機器損傷を、保険請求する。
 - 不測性、突発性がないため、本来は保険の補償外。

2. 落雷事故特有

- ブレードの部分損傷(修理可能)であっても新品交換要求される(保険金が数十倍となる)。
 - 事業者特性なのか、メーカーの問題なのか
- ブレード1枚損傷であっても、3枚セット販売しか対応しないメーカーがある(**海外メーカーによく見られる**)。
 - バランスを理由にしているが、ダイナミックバランスで対応可能なケースが多い。
- 冬期間の落雷事故は、春まで復旧ができないため利益保険(休業損失保険)金額が高額化する。
 - 冬季でもブレードを降ろして、現地で早期修理する事業者もいる。
- 同一のウインドファームで毎年のように落雷事故がある。
 - 同じような立地でも落雷損傷が多い発電所とそうでないところがある(どこに差があるのか?)。

【参考】落雷事故の立地との関係

NEDO事業「風力発電設備への落雷対策に関する調査」での電荷量分布において、冬季雷の電荷量と頻度に相関を認めることができる(発生頻度と損失の積で雷リスク量を測る)。

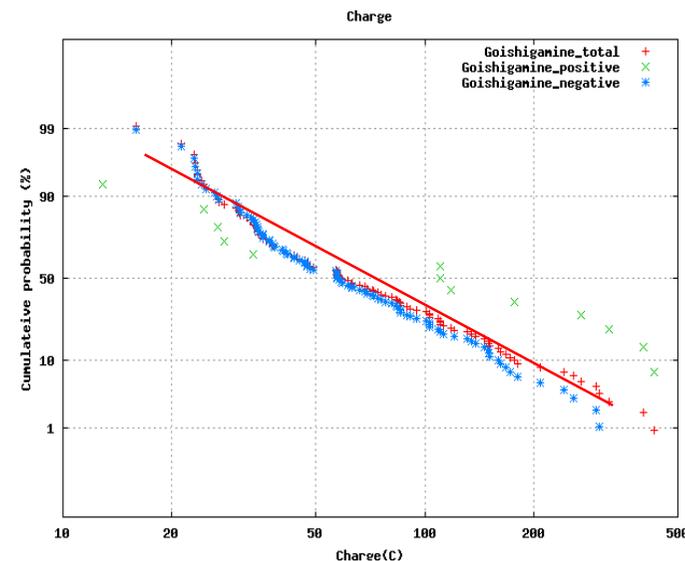


保険事故では、発生場所、発生時期、損害額がランダムとなっている。(確率論的な規則性を認めることができない。)

原因は...

- ① 雷保護によって落雷があっても損傷を受けない風車がある。
一方で...
- ② 雷保護レベル、耐雷対策と立地に一定性がない。
- ③ 落雷の蓄積(それによる雷保護レベルのダウン)で損害額が大きくなる場合がある。

確率的でなく、個別特性が保険ロスに大きく影響している。



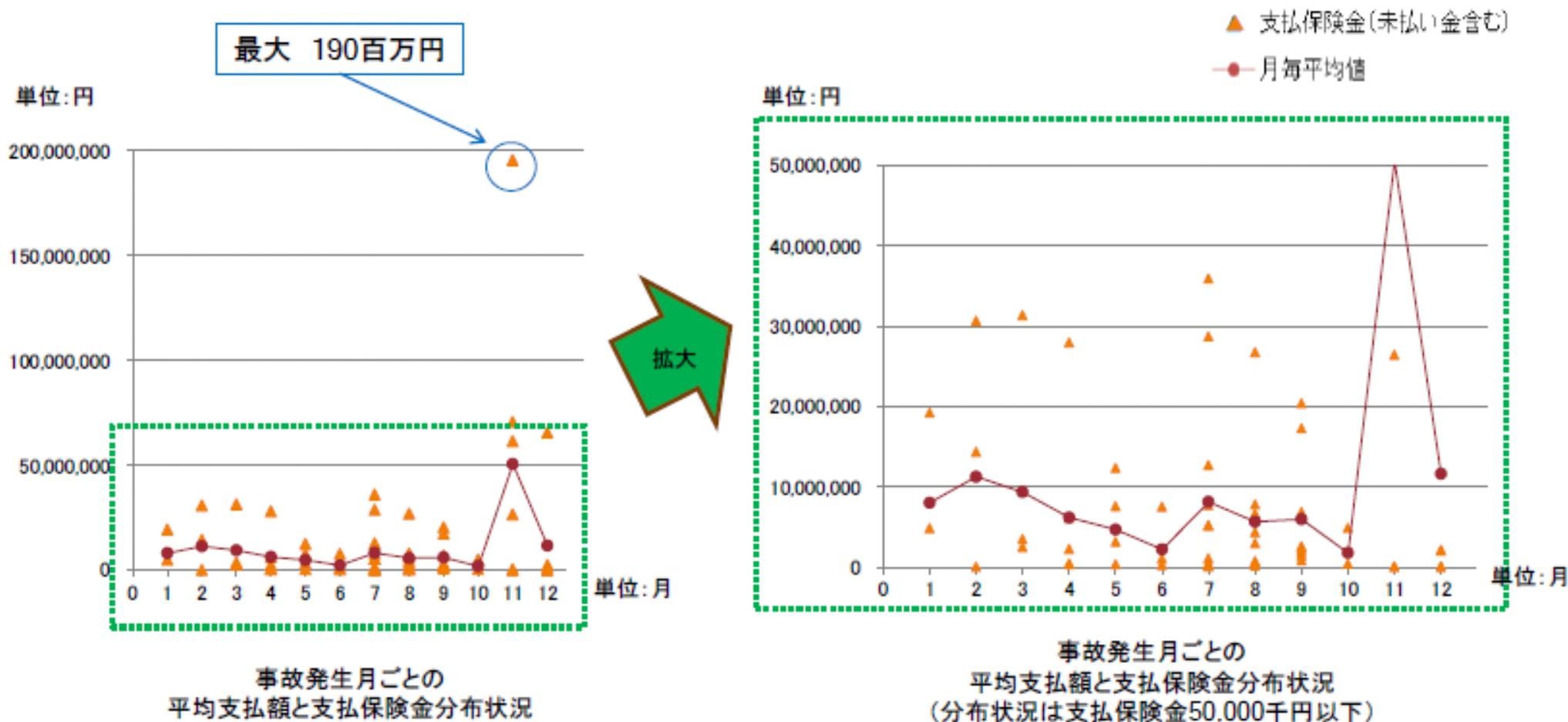
基石ヶ峰風力発電所で観測された雷の電荷量累積頻度分布
／ 『日本型風力発電ガイドライン(落雷対策編)』



出典：NEDO日本型風力発電ガイドライン(落雷対策編)

【参考】保険データに基づく落雷による月別支払保険金

下図に、2010年～2014年までの落雷事故(60件)における、1事故あたりの支払保険金および月別の平均保険金をあらわす。支払保険金額は11月～3月が高くなっている。



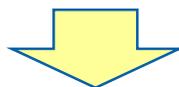
出典：平成28年電気学会全国大会／部門企画シンポジウム
「保険統計データからみた風力発電の落雷事故」（足立慎一）

風車保険の収支悪化の結果として

収支悪化による保険会社の対抗手段

- (1) 風車保険引受からの撤退、あるいは事故有契約の謝絶
- (2) 事故有の契約に、極端な**リザルトレーティング**※の実施、保険条件の変更(免責金額の増額、縮小 てん補の導入、EM事故の不担保、等)を保険引受条件とする。

上記(1)(2)の導入は、当該風力発電事業の事業計画に大きな影響を与えるだけでなく、風力発電全体の保険料水準に引き上げ圧力となる(今後の新設にも影響)。



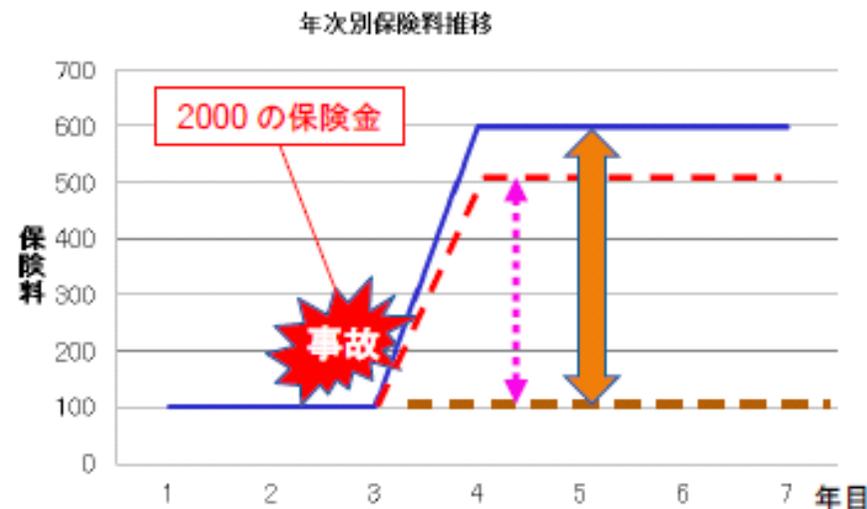
風車保険料はコストアップし続けるのか？ 「4. 保険評価の方向性」

※リザルトレーティングとは

保険事故が発生した場合に損害率により、継続契約の保険料(割増引き)を変更する仕組みをいう。

通常は、全体の保険収支の中で他契約者との公平を期する保険料率テーブルで運用するが、風車保険においては予定損害額を超える支払保険金分を、当該契約者から5年程度で回収する割増保険料を設定する。高額損害事故の保険金支払いがあった場合には、それまでの保険料の2~10倍の金額を提示されるケースもある。

新規引受時に低い保険料水準であるほど、リスクの見誤り分の修正とリザルトレーティングにより、継続保険料が大きくなる可能性が高くなる。



目次

1. 風力発電を取り巻くリスク
2. リスクマネジメントの必要性
3. 風車保険の実態と課題
- 4. 保険評価の方向性**
5. 故障・事故リスクの財務影響評価

保険におけるリスク評価の方向性

従来の風車保険リスク評価のポイントは

① 風車立地による自然災害ハザード評価

- ・ 日本海側は、落雷リスクが高い
- ・ 山岳地帯は、乱流リスクが高い
- ・ 九州・四国地方は台風リスクが高い

② 風車スペック

- ・ 風車クラスが上位、落雷保護レベルが上位の場合は、それぞれリスク低減要因として評価

③ 過去の事故履歴(稼働中風車の場合)

- ・ 保険会社を変更しても、事故履歴は(継続保険会社の)料率算出に影響する。

実際は…

実際に発生した個々の保険事故についての発生傾向や損害額傾向と、上記のリスクポイントは一致していない。さらには、「一つの災難を皆で助ける」という保険の相互扶助的意義が、風車保険では成立していない。(「3. 風車保険の実態と課題」に記載のとおり)

これからは…

保険リスクを低減する項目を大きく評価すべき (事業者における **Good Point** を評価する。)

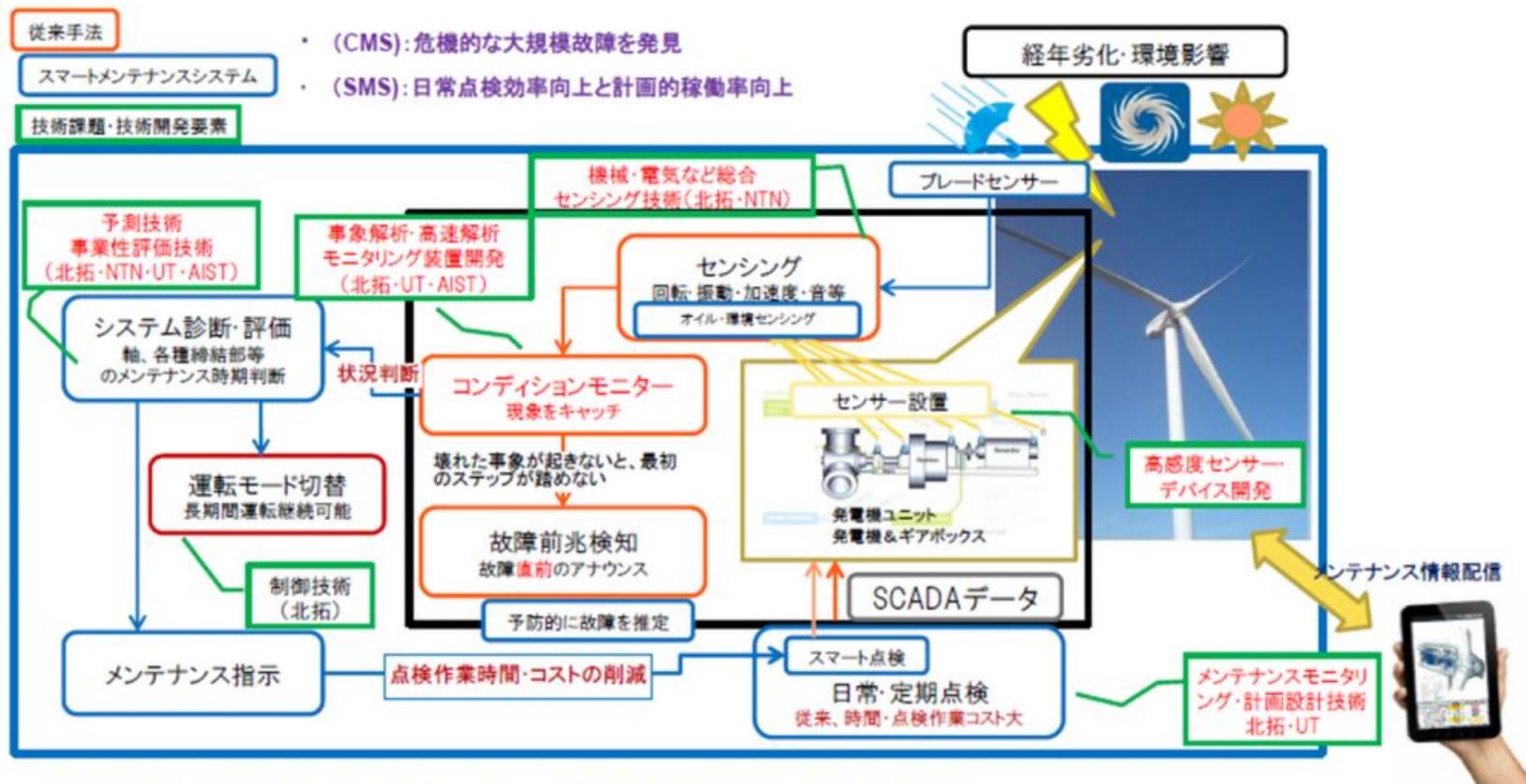
- 予防保全取組など、**Good Point** が多い事業者にとっては、インセンティブ(保険料割引)だが、そうでない事業者には、保険料負担は大きくなる。(事業者によって保険料格差が大きくなる)。
- 保険リスク評価が、事業者の健全性を担保することになる。

保険で評価する可能性のあるリスクポイントとは

1. 予防保全に資する設備や技術

① スマートメンテナンス技術

スマートメンテナンスは、単に不具合覚知をおこなうだけでなく、予防保全の実効性を確保することで、**点検効率の向上と稼働率の向上を目指す**ものである。**損害程度の軽減とダウンタイムの圧縮効果**が期待できる。



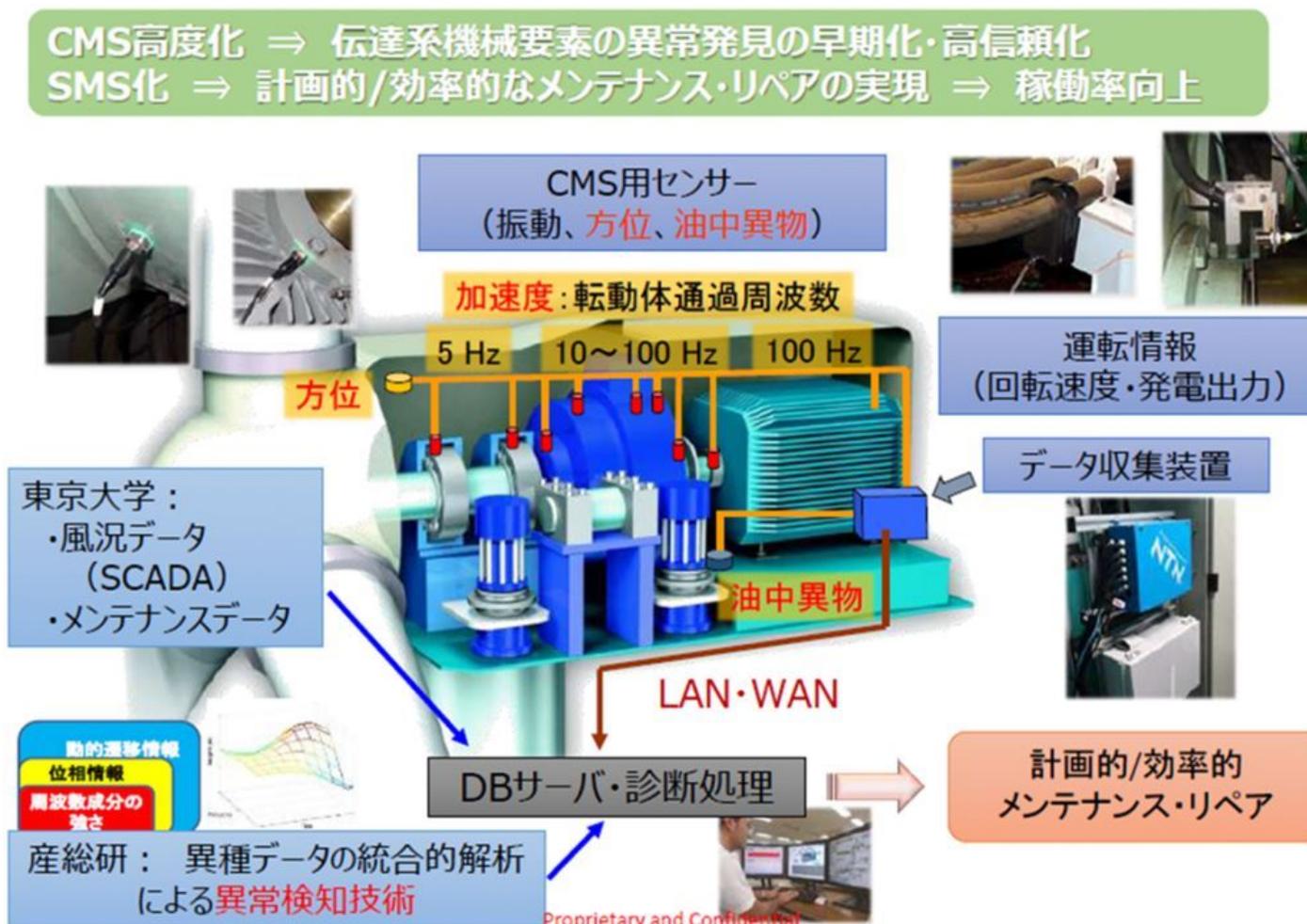
これまでデータは独立していて、メンテナンス技師が頭の中で構造化してきた
メンテナンスデータは現状では、アナログデータでしかない

NEDOスマートメンテナンス事業(東京大学先端科学技術研究センター)より

保険で評価する可能性のあるリスクポイントとは

② CMS(Condition Monitoring System)

風車のドライブトレイン各設備にセンサー(振動等)を設置し、人が認識できない時期に不具合予兆を覚知することで、**初期段階の修復の実施や部品手配の効率化**を実現する。



5

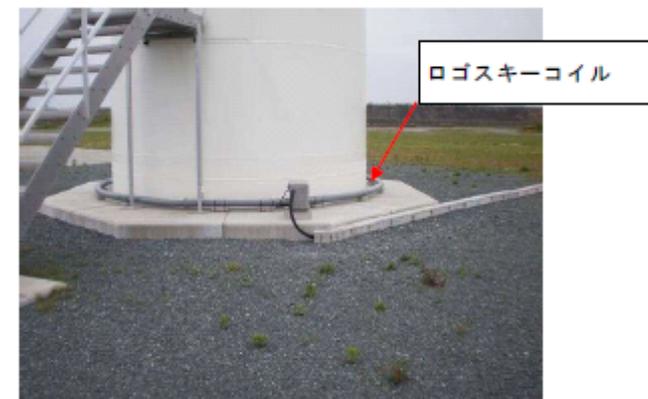
NEDOスマートメンテナンス事業(東京大学先端科学技術研究センター)より

保険で評価する可能性のあるリスクポイントとは

③ 落雷検知システム(ロゴスキーコイルなど)

風車に落雷があった場合に自動停止し、その大きさを計測することは、公衆安全への配慮とともに即時に補修することで蓄積損傷による被害を防止することになる。将来的に、落雷検知システムの設置は立地によっては必須の設備となることが十分考えられる。

写真出典：NEDO／風力等自然エネルギー技術研究開発／
次世代風力発電技術開発／自然環境対応技術等
(落雷保護対策)平成25年2月



④ 落雷被害を防止・低減する新技術等

保険において件数・金額とも大きな要因である落雷について、被害の頻度や規模を圧縮できる新技術の開発 (NEDO実証等)は、保険会社からも注目されている。今後の保険体系を大きく左右しうる。また、現在、国において進められている**電気保安の高度化に資する技術検証**も、安全性を高めることが期待されている。

2. 予防保全に資するO&Mのレベル

① 事業者または事業者が委託するサービス会社のO&Mスキル

O&M技術者のスキルは、「**故障事故の発生を防止する点検技術**」と「**不具合時に適切な対応判断ができる技術** (P13:「不具合予兆から重大な事故故障までのプロセス」参照)が必要となる。言い換えれば、「**風車を健全に動かすことができる技術**」と「**その健全性を維持する技術**」でもある。

今後、技術者の人材育成制度のなかで、何らかの資格(スキル)制度が標準化されれば(自治体、大学、関連団体、メーカー・メンテナンス会社取り組み中)、保険におけるO&M評価のポイントとなりうる。

保険で評価する可能性のあるリスクポイントとは

② 稼働率保証

近年、メーカーやサービス会社が保守契約のなかで長期の稼働率保証を謳っているが、稼働率保証がなされている発電事業は、予防保全的なO&Mが実践されるはずなので、発電設備の損失拡大の防止やダウンタイムの低減に大きな役割を果たす。→ 保険インセンティブに重要なGood Pointとなる。

稼働率の定義(JIS C 1400-00:2005)

$$\text{稼働率} [\%] = \frac{24 [\text{時間}] \times 365 [\text{日}] - \text{故障又は保守による停止時間} [\text{時間}]}{24 [\text{時間}] \times 365 [\text{日}]}$$

実際のメーカー、サービス会社の稼働率保証の定義では

- 1) 分母・分子から「故障などでSCADAが実測できない時間」を控除
- 2) 分母・分子から「電力系統異常・停電時間」、「事業者理由による風車停止」を控除
- 3) 分子から、「義務免除時間(自然災害などの不可抗力)」を控除

※ 「義務免除時間」「不可抗力」の定義は、保守契約内容により異なる。

③ O&M内容(保守契約内容)

事業者またはメーカー・サービス会社が実施するO&M内容、特に不具合発生時の対応(遠隔監視から不具合発生時の停止・復旧・修復の判断、体制、など)も重要な評価ポイントとなる。

O&Mスキルの評価とは別に、O&Mマネジメント評価も重要となる。

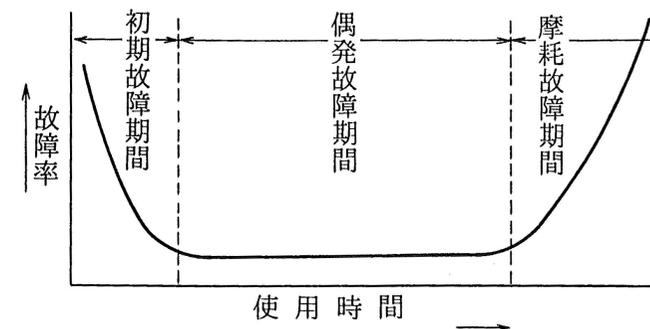
保険で評価する可能性のあるリスクポイントとは

3. リスクレベルを優良化する第三者評価基準等

風力発電所の健全性を担保する第三者評価等も、保険リスク評価レベルを優良化することに有効である。保険評価のインセンティブを与える可能性がある第三者評価基準として、以下を例示する。

① 型式認証、プロジェクト認証

- ・メーカーによる型式認証(部品認証を含む)は設計欠陥を排除するばかりでなく、Bath Tab Curve における初期故障率を低減させる。
- ・プロジェクト認証は立地(サイト)の適合性を評価、確認することに有効である。



② 安全管理審査制度の評価結果

- ・2017年より導入される風力発電の安全管理審査制度において、国は事業者の保安力に応じ検査時期の延ばまたは短縮するインセンティブを検討している。

4. 保険金の低減化に資する事業者取組の評価

① 優良指定修理業者制度

- ・保険による風車の損傷修復は、部品代や修理工賃に、メーカーやサービス会社間で大きなコスト差が生じている。
- ・保険会社と修理単価を協定済みの**優良修理業者(ワランティ付)**での修理を原則とすることに合意している場合に、一定の保険料インセンティブを付与する(自動車保険では既に一般的)。



写真提供:北拓

保険で評価する可能性のあるリスクポイントとは

② 主要コンポーネントのストック

- ・利益保険は、復旧までの停止中風車の売電利益を補償するものである。主要なコンポーネントがストックされていれば、事故があってもすぐに復旧することができ、部品調達のダウンタイムが圧縮できる。
- ・機種が古いものは、メーカーで再製作することもあり、その期間や輸送期間も大きくダウンタイムに影響する。
(海外製メーカーは特に)

5. その他のリスク評価ポイント

① リスク点検サービス

- ・自主点検として実施される定期診断とは別に、発電実績から疲労蓋然性が高いと推察される風車基を中心に **重大事故につながる可能性のあるリスクを集中点検**する(3年に1回の実施)。
- ・定期診断に対して、精密検査のイメージ。点検結果および指摘事項がある場合は、改善結果を保険会社に提出することで、良好リスクと判断されれば保険評価に大きく影響する。

＜参照＞ → P37:「**運転中の風力発電設備のリスク点検サービス**」

② 事故発生後の十分な原因究明と適切な再発防止策の立案

- ・保険上の有無責任判断だけの原因調査にとどまらず、事故メカニズムからの真の原因調査は再発防止の観点からも有効である。メーカーだけでなく、学識者による事故調査委員会の自主的設置も重要。
- ・また、同一発電所サイトにおいて、他基での同様事故防止のための臨時点検実施も、今後のリスク低減として評価することができる。リザルトレーティングの低減要素となりうる。
- ・「**事故再発防止費用特約**」(損害保険ジャパン日本興亜)の有効活用(→ P38)。

【参考】運転中の風力発電設備に対するリスク点検診断

運転中の発電所サイト内において、重大事故・故障につながる蓋然性が高い風車を選定し、第三者の立場から点検診断（インスペクション）と事業リスクの診断を行うものです。事業者がおこなう定期診断に対して、重大リスクに対する精密検査の位置づけとなります。（対象は、メーカー保証期間を過ぎた陸上風力発電施設です。）

- ✓ 直近の定期検査結果の確認、発電量・SCADA分析、状態診断（インスペクション）、自然災害リスク・主要部品の損傷リスクに対するグレード評価を実施します（基本サービス）。
- ✓ 点検診断サービスは、概ね3年に一回程度の実施を想定しています。

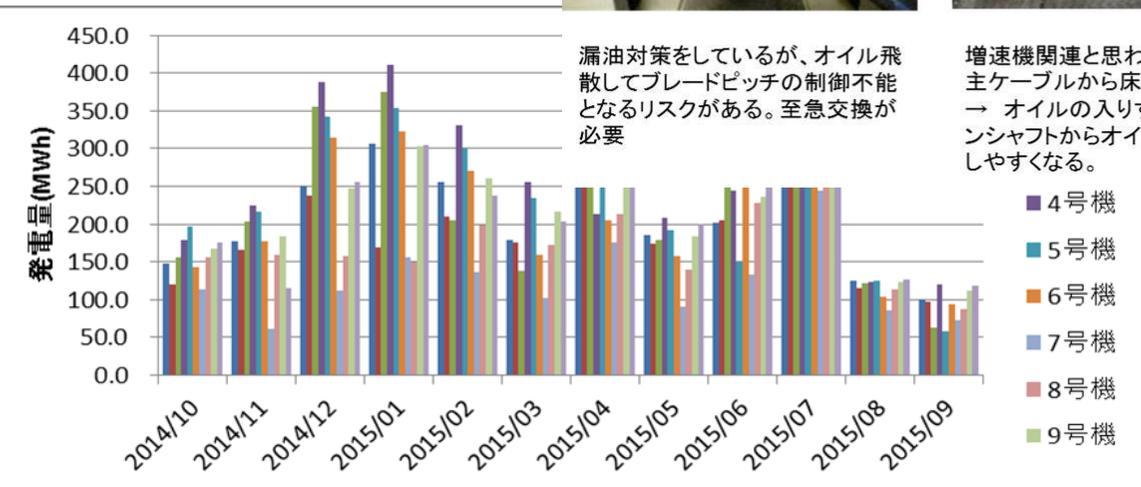
サービスの内容(イメージ)

本サービスは、風況観測会社、風車メンテナンス会社と共同で提供します。

増速機一後部スリップリング

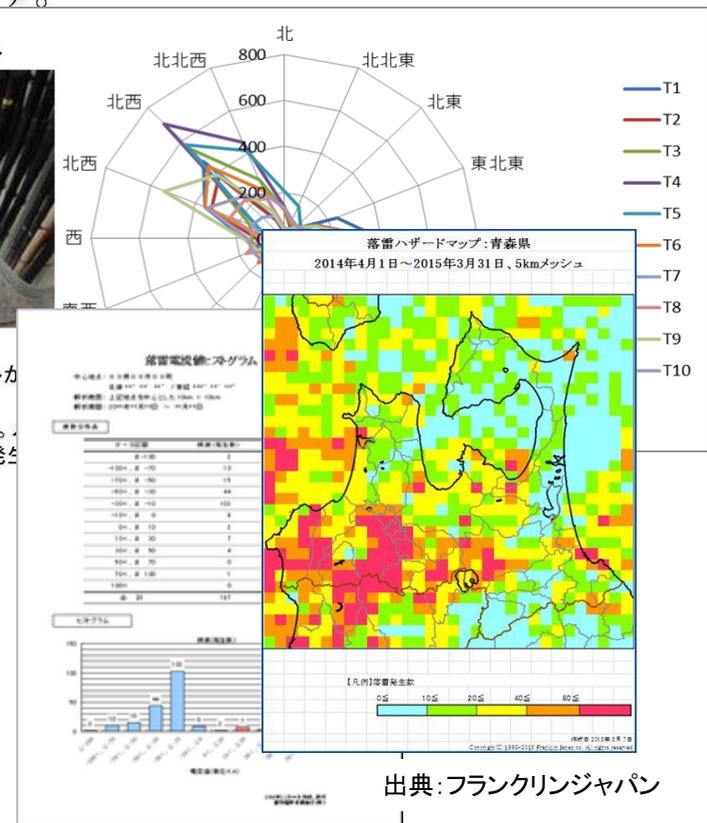


ナセル内床のオイル漏れ



漏油対策をしているが、オイル飛散してブレードピッチの制御不能となるリスクがある。至急交換が必要

増速機関連と思われるオイルが主ケーブルから床に滴下。→ オイルの入りすぎが原因。コンシャフトからオイル漏れが発生しやすくなる。



【参考】事故再発防止費用補償特約

損保ジャパン日本興亜

SOMPO
ホールディングス
保険の先へ、進む。

平成26年9月改定

**風力発電事業者向け
事故再発防止費用補償特約のご案内**

第11回エコプロダクツ大賞 エコサービス部門
環境大臣賞受賞!

eco products awards
2014
※エコプロダクツ大賞の受賞は賞状をご参照ください。

風力発電設備の事故は再発防止が重要です!
設備の事故が多発した場合の影響は、

× 収益減少 **× コスト増**

【行政指導による影響】
※原因調査命令
※発電設備停止命令
⇒停止期間が長期となる場合、
収益の減少が大きくなります。

【保険条件の変動による影響】
※保険料負担増加
※保険補償内容の縮小
※自己負担額増加
⇒コスト増とともに安定的な保険カバー
を維持することが難しくなります。

など、事業計画の下方修正が余儀なくされかねません。

ポイント
事故の再発を抑制していくお手伝いをいたします!
・調査点検費用を保険金としてお支払いします。
・コンサルティング会社をご紹介します。

事故再発防止費用補償特約の概要

【事故再発防止】
事故発生原因の多くはメンテナンス不良に起因しています。
本特約は詳細調査および再発防止点検のコンサルティング費用を補償します。

【お支払いする保険金】
次の①および②のコンサルティングに係る費用をお支払いします。
①再発防止詳細調査費用
なぜその事故が発生してしまったのか、について詳細に調査する費用をお支払いします。
その調査により事故の原因を把握することで再発防止手段を講じることが出来ます。
②他の設備に対する再発防止点検費用
事故が発生していない設備においても、発生事故と同様の原因が潜在している可能性があります。
本特約でその点検費用をお支払いします。
(点検対象は事故が発生した保険の対象と同一敷地内に所在するものにかぎりです。)
※損保ジャパン日本興亜の承認を得て支出した費用にかぎりです。
【お支払いする保険金の限度】
1事故につき100万円を限度とし、保険期間を通じて300万円を限度にお支払いします。

風力発電設備の主な事故例

事故内容	損害額 (千円)	詳細
破損事故	65,000	風車の主軸軸受けのベアリングが破損し、稼働停止となったもの。事業収益の減少も発生し、損害額が膨れ上がったもの。
機械的事故	65,000	異常電流により発電が停止し、発電機が損傷したものの。
破損事故	50,000	風車通常稼働中に歯車損傷によりローター回転がロックしたものの。メーカーの工場で分解したところ、歯車が風力の負荷変動による衝撃で損傷し、その破片がハウジング内に落下し、歯車に噛み込んで損傷させたもの。
落雷	18,800	アレスタ、避雷器、ヨー・モーター4台、侵入監視システム、運転監視用通信装置が損傷したものの。

保険金支払とコンサルティングのスキーム

①事故発生
②コンサルティング依頼
③コンサルティング
④コンサルティング費用の支払
⑤費用保険金請求
⑥費用保険金支払

発電事業者さま (コンサルティング会社) 主に SOMPOリスク マネジメント 業務提携 (専門業者) 風力発電関連企業

(保険会社) 損保ジャパン日本興亜

※上記スキームのコンサルティング費用の支払
や費用保険金の支払の流れが変更する場合がございますので、ご注意ください。

エコプロダクツ大賞とは、産業界の発展に貢献した優れた製品・サービスに賛同の強い民間団体で構成されるエコプロダクツ大賞選考委員会が主催する表彰制度で、表彰を通じて、エコプロダクツに関する情報消費を促進するとともに、供給者である企業などの取組みを支援してエコプロダクツのさらなる普及を目指しています。また、本賞は財団賞・厚生労働賞・農林水産賞・経済産業賞・国土交通賞・環境賞が授けられます。ホームページ <http://www.ecoproducts.jp>

●このチラシは企業総合保険・普通火災保険(一般・工場)にセットする「事故再発防止費用補償特約」の概要を説明したものです。詳細につきましては、「普通保険約款・特約集」をご用意しておりますので、取扱代理店または損保ジャパン日本興亜までお問い合わせください。

SOMPOホールディングス
損害保険ジャパン日本興亜株式会社
〒160-8338 東京都新宿区西新宿1-26-1 TEL. 03-3349-3111
<公式ウェブサイト> <http://www.sjnk.co.jp/>

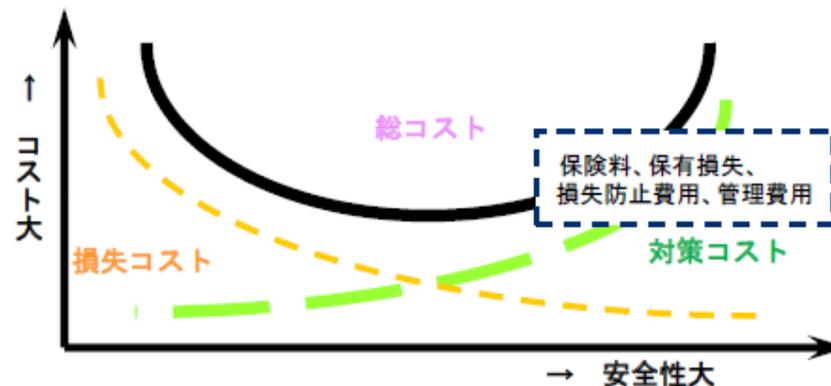
お問い合わせ先

承認番号SJNK15-50552.2016.2.1

定量的リスクマネジメント手法の導入

前頁までの保険評価可能性の各リスクポイントは、その導入がすべて保険インセンティブに繋がるとは限らない。それらの導入により、低減される保険リスク量が明らかにされる必要がある(発電所ごとに)。

リスク量が低減されるとしても、実際の事業においては事業性の観点からリスク対策(リスクコントロール)と効果(保険インセンティブ含む)のバランスを考慮することは当然である。そのため、当該事業ごとに定量的リスクマネジメントが必要となる。



定量的なリスクマネジメントとは、

- ① 定量的なリスクアセスメント(リスクの洗い出しとグレーディング)
- ② リスク量の算定(事業期間を前提とした損失 確率)
- ③ コストパフォーマンスを考慮したリスク対策の検討と実践

保険におけるPML(予想最大損害額)は

定量的リスク量の算出によるPML設定 ⇔ 最悪シナリオでのPML設定

→ FIT前提での20年間事業として考えた場合、475年再現期間や1000年再現期間での保険条件設定は、「着膨れの保険仕様設計」となったり、再保険手配のハードルを上げている。

→ 故障・事故による財務影響評価手法の導入(次章)

再現年	通常ロス	風・波ロス	落雷ロス	BIロス	全体ロス
10000	97,769	118,480	139,670	83,802	312,291
5000	88,053	105,600	125,790	75,474	285,117
1000	67,067	67,180	95,810	57,486	214,536
750	63,994	59,660	91,420	54,852	203,616
500	57,120	50,700	81,600	48,960	186,837
200	45,010	29,380	64,300	38,580	147,609
100	34,937	21,600	49,910	29,946	115,752
50	26,621	14,400	38,030	22,818	87,444
20	16,723	290	23,890	14,334	56,469
10	10,563	0	15,090	9,054	35,553
期待損害額	3,920	640	5,600	3,360	13,104
標準偏差	7,140	4,690	10,200	6,120	23,562

(万円)

目次

1. 風力発電を取り巻くリスク
2. リスクマネジメントの必要性
3. 風車保険の実態と課題
4. 保険評価の方向性
5. 故障・事故リスクの財務影響評価

「故障・事故リスクの財務影響評価」

大型風力発電プロジェクトにおいては、投融資の観点からその事業健全性に精緻な評価が求められる。しかし、従来の財務分析手法においては、**風況の変動に伴う売電収入の変動リスクを考慮するものの、事故リスクについては保険への転嫁をおこなうことを理由に、十分に定量的評価がなされていない。**

- 保険事故における事業者負担（一部保険になっている場合や自己負担額）
- 大事故による保険金支払い後の保険料増大リスク

また、**突発的な大規模故障による長期のダウンタイムも事業性に大きく影響を与える。**



- ◆ 故障・事故による損害や運転停止に伴う利益損失を確率的に取り入れた財務分析モデルにより、保険転嫁後のキャッシュフロー変動をコンピュータシミュレーションすることで、故障・事故リスクが顕在化した場合の**プロジェクト健全性を数値化して評価**する。
 - ✓ キャッシュフローや財務指標の確率的評価
 - ✓ 保険条件や保険料増大リスクを考慮した精微な財務分析
- ◆ 事故リスクのシミュレーションにより、リスク量（損失規模と発生確率）を定量的に考慮しながら、**合理的な保険設計を行うことが可能**となる（保険転嫁するリスクと保有するリスクを判断する）。
 - ✓ 収支計画と保険料コストのバランスを評価

「故障・事故リスクの財務影響評価」の対象リスク

立案・企画

事業計画の策定	
詳細検討	接続可否検討
設備認定申請	系統連系協議

設計・施工

設備認定を受ける 特定契約・接続契約
資金調達
設備発注
着工
完成

運転・管理

電力供給開始
運転管理

終了

廃棄・土地の原状回復

 キャッシュフローに影響を与えるリスク

 故障・事故の財務影響評価の対象リスク

- ◆ 完工リスク
 - 完工遅延
 - コストオーバーラン

- ◆ 発電量リスク
 - 楽観的な発電量予測
 - 想定外の事象による「発電量の減少」
- ◆ 天候・自然災害等による事故・故障リスク
 - 落雷や台風・乱流の発生、事故による設備の損壊
- ◆ 性能リスク
 - 故障による出力の低下
 - 機器等トラブルによる売電量の減少

- ◆ メーカー倒産・事業撤退リスク
 - 倒産によるメンテナンス対応の困難化
- ◆ 操業リスク
 - 運転業務の瑕疵に伴う売電量の低下、停止
 - 事業会社の経営能力不足
- ◆ 制度リスク
 - 出力抑制の実施

出典：環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き(金融機関向け)Ver.1.1」～風力発電事業者編～

「故障・事故リスクの財務影響評価」の手順

モデルの計算フロー

リスク評価モジュール

故障・事故シナリオ(数千～数万パターン)の生成



財務分析モジュール

プロジェクトのキャッシュフローに故障・事故の損害額および保険による補償を適用



キャッシュフローの確率評価

キャッシュフローおよび各種財務指標を確率的に評価

● リスク評価モジュール

- 故障・事故を確率的にシミュレートし、損害額を評価
- 評価対象: 自然災害(風災、落雷)
通常故障(機械的電氣的(EM)故障)

● 財務分析モジュール

- プロジェクトのキャッシュフローに故障・事故、およびその保険補償を適用し、より精緻なキャッシュフローを算出

● キャッシュフローの確率評価

- 各種財務指標(IRR、NPV、DSCR等)を累積確率で評価

IRR : Internal Rete of Return

NPV : Net present Value

DSCR : Debt Service Coverage Ratio

リスク評価モジュール

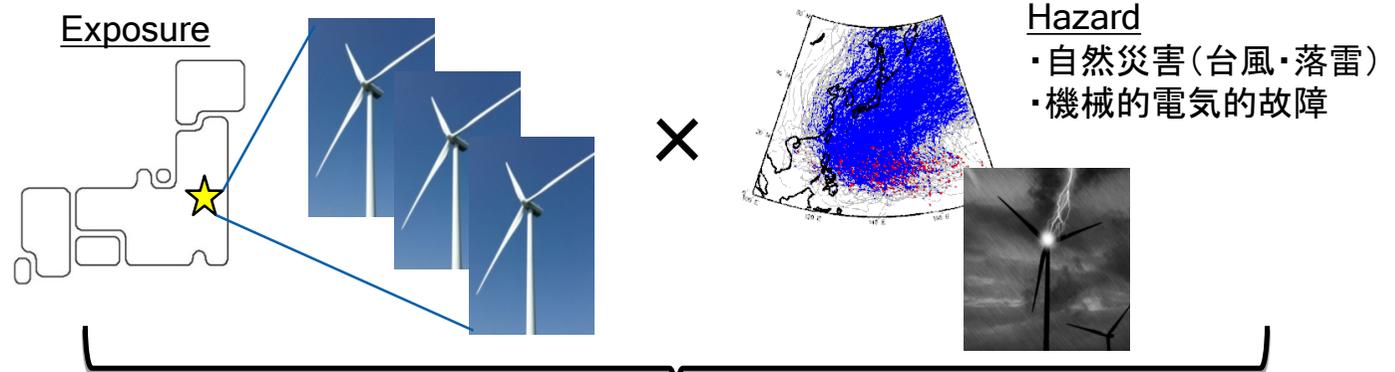
- 風力発電所地点における自然災害ハザードおよび通常故障を確率的にシミュレーションし、その損害額を確率的に評価する。
- 本モデルに基づく故障・事故シナリオを数千～数万生成し、キャッシュフローへの入力データとして使用する。

Exposure Data
 位置情報
 保険金額
 風車の設計風速、種類
 立地条件

Hazard
 台風、落雷、波
 通常の電氣的・機械的故障

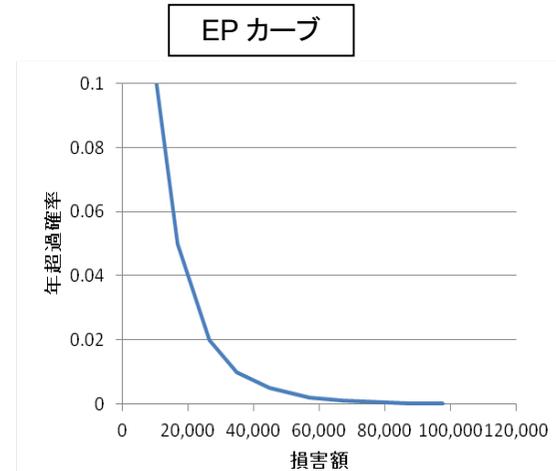
Vulnerability
 ブレード、ナセル、タワー、基礎
 その他の機械的・電氣的装置
 運転停止に伴う損失

Loss
 期待損害額
 超過確率による損害額の評価



再現期間 (年)	EMロス	風災ロス	落雷ロス	BIロス	全体ロス
10000	97,769	118,480	139,670	83,802	312,291
5000	88,053	105,600	125,790	75,474	285,117
1000	67,067	67,180	95,810	57,486	214,536
750	63,994	59,660	91,420	54,852	203,616
500	57,120	50,700	81,600	48,960	186,837
200	45,010	29,380	64,300	38,580	147,609
100	34,937	21,600	49,910	29,946	115,752
50	26,621	14,400	38,030	22,818	87,444
20	16,723	290	23,890	14,334	56,469
10	10,563	0	15,090	9,054	35,553
期待損害額	3,920	640	5,600	3,360	13,104
標準偏差	7,140	4,690	10,200	6,120	23,562

(万円)



※ 数値はすべてイメージです

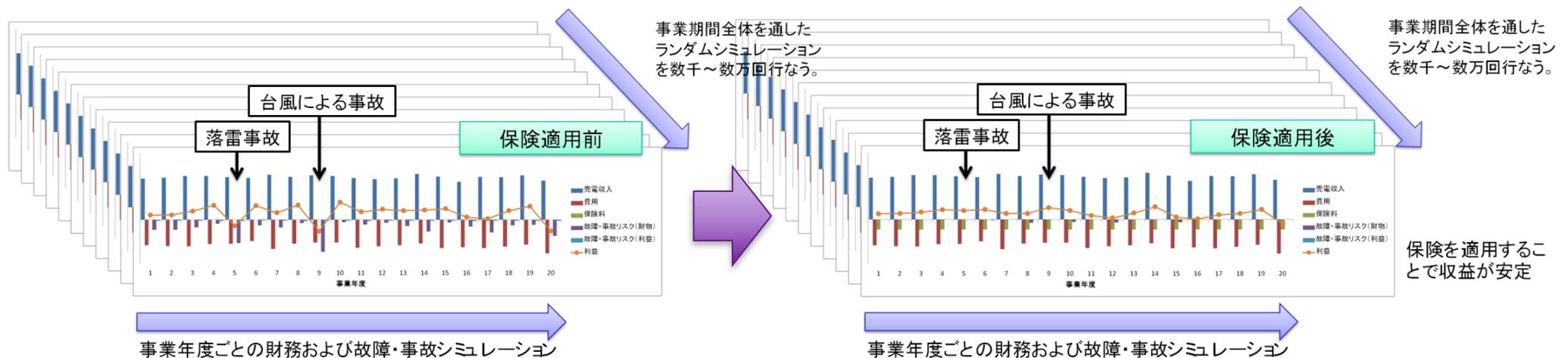
財務分析モジュール

リスク評価モジュールで生成したプロジェクト期間にわたる故障・事故シナリオ(数千～数万シナリオ)を用い、プロジェクトのキャッシュフローに与える故障・事故の評価を評価

- 保険条件(免責や限度額)を考慮した事場合の業者負担部分を考慮
- 故障・事故に伴う保険料の増加分を考慮
- IRR や NPV、DSCR等の各種財務指標をシナリオごとに算出

⇒ キャッシュフローや各種財務指標を確率的に評価することが可能

財務影響分析のイメージ



分析結果：財務影響（キャッシュフロー表）

故障・事故のシナリオに基づく、確率的なキャッシュフローを算出

- プロジェクト期間における故障・事故に伴う総損害額でシナリオの確率を定義

POO：プロジェクト期間の総損害額がOOパーセンタイルを取る時のシナリオ

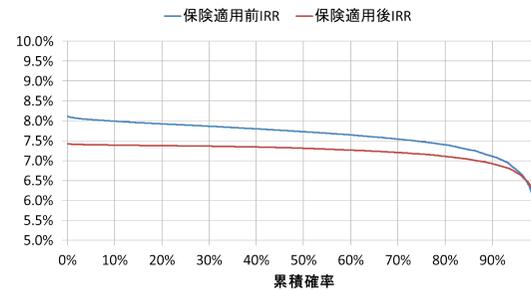
- 通常のキャッシュフロー表に故障・事故に伴う財物損害、事業停止日数、保険金収入の項目を追加

シナリオ	保険条件①					P90	P90					総計
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目		6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	
収入	763,171	645,185	758,636	755,661	763,171	中略	744,463	761,404	763,171	763,171	561,256	14,869,304
保険料	60,000	60,000	92,275	92,275	92,275		60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	1,361,375
経常支出	550,241	541,093	565,930	558,675	552,120		471,329	468,453	465,585	462,811	459,933	10,085,198
経常利益	212,930	104,091	192,706	196,986	211,051		273,134	292,951	297,586	300,360	101,323	4,784,107
財物損害	0	121,388	10,603	1,702	0		62,751	0	0	0	414,540	696,873
保険金収入(PD)	0	115,388	8,603	702	0		60,751	0	0	0	411,540	678,264
保険金収入(BI)	0	79,971	0	1,174	0		6,036	0	0	0	186,477	288,177
税引前利益	212,930	178,062	190,706	197,160	211,051		277,170	292,951	297,586	300,360	284,800	5,053,674
正味法人税等	84,008	13,477	84,453	88,516	93,364		83,249	108,638	110,065	110,919	0	1,755,446
当期純利益	128,922	164,585	106,253	108,644	117,687		193,921	184,313	187,521	189,441	284,800	3,298,228
減価償却費	236,970	236,970	236,970	236,970	236,970		236,970	236,970	236,970	236,970	236,970	4,739,400
融資支援利息	34,396	32,585	30,775	28,965	27,155		7,241	5,431	3,621	1,810	-0	343,958
撤去費用積立	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
消費税還付	379,152	0	0	0	0		0	0	0	0	0	379,152
元利償還前CF	779,440	434,140	373,998	374,579	381,812		438,132	426,714	428,112	428,222	521,770	8,760,738
元利償還後CF	745,044	401,555	343,223	345,614	354,657		430,891	421,283	424,491	426,411	521,770	8,416,780
返済元金	181,030	181,030	181,030	181,030	181,030		181,030	181,030	181,030	181,030	181,030	3,620,608
機種残存簿価	4,739,400	4,502,430	4,265,460	4,028,490	3,791,520		1,184,850	947,880	710,910	473,940	236,970	49,763,700
課税標準額	4,481,697	3,994,317	3,559,939	3,172,799	2,827,760		796,971	710,301	633,057	564,212	502,855	37,090,229
借入残高	3,439,577	3,258,547	3,077,517	2,896,486	2,715,456		724,122	543,091	362,061	181,030	-0	34,395,774
事業停止日数	0	559	21	36	0	89	8	0	0	956	1,866	

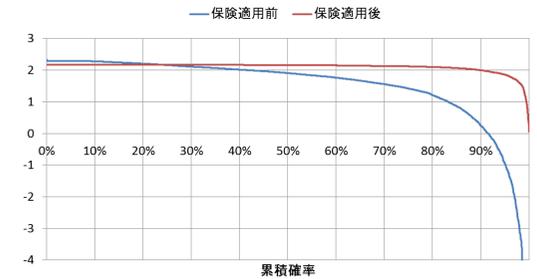
分析結果：財務影響（財務指標）

確率的な財務指標評価

- 各種財務指標を確率的に把握可能であるため、**事業の実施判断、投融資判断を定量的に行なうことができる。**
- キャッシュフローのパラメータ(発電所条件や借入条件、保険条件等)を調整した**感度実験**も可能



IRRの累積確率



最小DSCRの累積確率

例：保険条件の検討（A陸上発風力電所）

- ❑ 条件が異なる2パターンの保険条件と無保険の場合で財務指標を比較
- ❑ IRRは無保険の時が大きくなっている
- ❑ 大きな事故が発生するシナリオ（たとえばP95）においては、最小DSCRがマイナス（フリーキャッシュフローがマイナス）になる（貸し倒れリスク）
- ❑ 保険ありの場合には、いずれのパターンでも最小DSCRは1.3程度と問題ない
- ❑ IRRは限度額を設定した条件②の方が設定しない①より高く、債務返済上の問題もない保険条件②がよりよい保険条件といえる。



P50およびP95における評価指標			
		P50	P95
IRR(%)	無保険	7.18	6.11
	保険条件①	5.82	5.07
	保険条件②	6.25	5.52
DSCR(平均)	無保険	2.44	2.28
	保険条件①	2.23	2.09
	保険条件②	2.30	2.16
DSCR(最小値)	無保険	1.88	-2.36
	保険条件①	1.89	1.29
	保険条件②	1.98	1.31
DSCR(最大値)	無保険	3.90	3.88
	保険条件①	3.62	3.60
	保険条件②	3.71	3.69



Innovation for Wellbeing

SOMPOリスクアマネジメント

ご清聴 ありがとうございます