

2014.12.01

災害リスク情報 <第 62 号>

落雷による被害の動向と対策について

1. はじめに

大気の状態が不安定になり、落雷や突風、そして局地的な激しい雨に見舞われる気象現象がここ数年多く観測されている。2014 年 6 月 29 日には、関東から東北にかけての広い範囲で大気が乱れ、東京都心から埼玉県北部にかけて雷を伴う激しい雨となり、冠水と落雷が各地で発生した。この時の落雷によって、東京都、埼玉県、茨城県にかけて一時的に一万世帯以上に及ぶ停電が発生した。東京都営地下鉄三田線では、落雷が影響とみられる保安装置の故障によって、一時全線で運転を見合わせる事態に至っている。2014 年 9 月 4 日から 5 日にかけて、和歌山県では前線の通過に伴い激しい雨と落雷に見舞われ、和歌山電鉄では落雷の影響で踏み切りが故障し、貴志川線は始発から上下各 13 本が運休となり、通勤、通学で利用する約 2 千人以上に影響を与えた。2014 年 8 月 17 日、岐阜県関市で民家が全焼する火災が発生したが、落雷で停電が発生した後に屋外の電気メーター付近から火の手が上がる場所が確認されており、雷が原因の火災とみられている。

落雷に関してニュース等で取り上げられるのは、列車の運行停止や人的な被害が発生した場合が多いが、実際にはそのほかにも多くの被害が発生している。近年、誘導雷あるいは逆電流と呼ばれる現象によって電源配線や通信配線に瞬間的に生じる高電圧の電流（雷サージ）が原因となり、建物、工場、レジャー施設などの電気設備に多くの被害が及んでいる。被害情報をまとめてみると、落雷による被害（雷害）には原因がわかりにくい事例がある反面、被害にあう設備には一定の傾向も認められることがわかってきた。

本稿では、実際の被害データを示し、主として誘導雷などによる雷サージに対する対策について述べる。

2. 雷の種類

雷は、発生のメカニズムによっていくつかの種類に分けることができる。基本的には、上空に発生した厚い雲の中で、氷粒が互いにぶつかり合って帯電し、蓄積された電気エネルギーが地上に放電されることによって雷となる。雷の分類にはいくつかの方法があるが、気象条件の違いにより分類される次の 3 種類が代表的なものである。

1) 熱雷

日中の日差しによって暖められた空気が上昇気流となり、これによって発生した積乱雲の中で氷粒がぶつかり合って帯電し、蓄積された電荷が雷の発生源となる。雲の上層部には正に帯電した電荷が蓄積され、地表側は負に帯電した状態となる。従って、熱雷の殆どは負の極性の雷となる。夏の日差しの強い日に発生しやすく、夏季雷とも呼ばれている。地上に暖かい空気があり上空に冷たい寒気がある状態、すなわち大気が不安定な状態となった時に発生する。

2) 界雷

前線付近の上昇気流によって雲が発生し、その雲の中で帯電による電気エネルギーの蓄積がおこり、雷が発生する現象である。寒冷前線の寒気が移動することによって、居座っていた暖気が上に押し上げられて雲が発生するケースが多いが、温暖前線が寒気にぶつかって発生する場合もある。勢力の強い低気圧の移動などによって前線が発達するとこのような気象条件になりやすい。前線による影響は広範囲に及ぶことが多いため、比較的広域にわたって雷が発生することが特徴である。

3) 冬季雷

冬の間、日本海を暖流である対馬海流が通ると海上の暖かく湿った空気が雲となって発達する。上空にシベリアから強い寒気が吹き込むと、空気層が持ち上げられ、雲の中の氷粒による帯電が起こる。上空に正の電荷を帯びた雲が発生するが、寒気によって陸地に上空の雲が押し出され雷雲となる。これによって発生する雷は冬季雷と呼ばれており、正の極性の雷が多い。夏季雷などと比較して雷のエネルギーが大きいことが特徴である。冬季雷は、発生する地域が青森県から福井県の日本海側の地域に限られている。

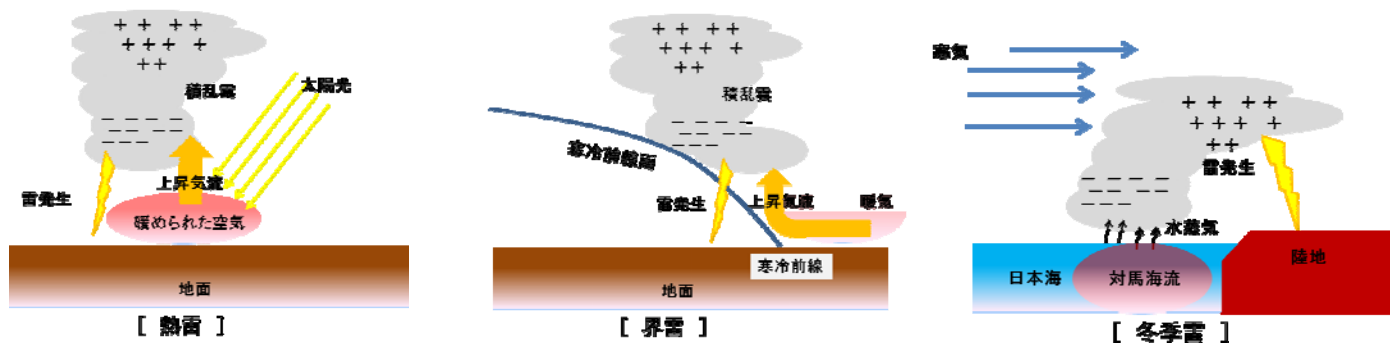


図1 熱雷、界雷、冬季雷の発生メカニズム

これらの雷以外にも、熱雷と界雷の特徴を併せ持つ熱界雷などがある。また、竜巻や山岳地帯の気象変動など、局所的な気象条件によっても雷は発生する。雷が発生するメカニズムにはいくつかのパターンがあるが、雷の特性は発生時のエネルギーや周囲の状況によってさまざまなものとなる。

雷は、発生条件だけでなく、地上から見た電光形状による分類も行われている（図2）。



図2 雷光形状の種類

（出典：電力中央研究所資料）

落雷による影響は、雷自体が持つエネルギーの大きさの違いと落雷を受ける側の状況によって大きく左右される。

落雷のエネルギーの目安としてピーク電流の大きさ（電流波高値）をみる方法がある。上昇気流によって発生する熱雷や界雷では1万～3万アンペア程度、大きなエネルギーを持つ冬季雷では10万～30万アンペア程度といわれている。雷サージの電圧の大きさは、直撃雷の場合で数万～数百万ボルト、誘導雷の場合で数千～数十万ボルトとされている。直撃雷を受けた場合と間接的に発生した誘導雷を受けた場合とでは、そのエネルギーには大きな差があり、その対策も異なってくる。更に、雷のエネルギーには雷サージを受けていた時間が関係することも考慮しなければならない。雷害対策を行う上では、雷を受けた時のエネルギーが最も大きくなる場合を想定することが必要となる。

3. 雷害事例の分析

表1は、国内にいくつかの工場を有するX社において、2011年末から2014年初頭にかけて雷害が発生した複数の工場について、被害を受けた設備別に発生件数をまとめたものである。

表1 X社の設備別雷害発生状況

設備 発生年	自動火災 報知設備	屋外カメラ 設備	生産設備	屋外照明 設備	トラック スケール	受変電 設備	電話設備	ガス検知 設備	放送設備	空調器	その他
2011年						★					
2012年	★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★	★	★★			★
2013年	★★	★★	★★	★	★	★			★	★	★★★
2014年							★★				
発生件数 合計	6	6	5	4	4	4	3	2	1	1	4

（出典：MS&AD グループ損保社資料に基づいて作成）

この表から次のことがいえる。

- ・被害の殆どは直撃雷でなく、誘導雷などによる雷サージが原因となっている。
- ・被害を受ける設備は、自動火災報知設備、屋外カメラ設備、屋外照明設備など、屋内外の広範囲に配線が行われている設備の割合が高い。
- ・全体に占める件数は少ないが、生産設備など、屋内に設置されている設備も被害にあう可能性がある。
- ・同一の工場で同種の設備が繰り返し被害にあっている。

これらのことから、誘導雷の被害を受けやすい設備はある程度推定が可能であり、それらの設備に対する対策を重視しなければならないと考えられる。

雷サージは近傍の落雷によって発生し、導体配線を伝搬して設備に被害を与える。落雷を受けた場所が敷地内の中である場合、敷地内の配線や接地系統などを伝わって建物内に侵入することが考えられ、建物の敷地の外への落雷である場合には、電線や通信ケーブルを伝わって侵入してくることが考えられる。

表 1 の事例では、直撃雷による建物被害などは認められなかったが、これは避雷針などの避雷設備によって防護されていたことが考えられる。落雷による被害を受けるおそれのある建造物は、建築基準法や消防法の基準に従って、避雷針や水平導体などの避雷設備が設置されている。落雷を受けた場合、建造物は避雷設備によって保護されるが、瞬間的に大きな電気エネルギーを受けるため、雷サージが発生し周囲の電気配線などに被害を及ぼす。このため、電気機器や設備を有している建物や施設の雷害対策としては、避雷針などの避雷設備の設置だけでなく雷サージの侵入を軽減する避雷器 (Surge Protective Device: SPD) などの設置が必要になる。

4. 避雷器 (SPD) の防護メカニズム

電気機器に短時間、定格を超える電圧が加わることをサージというが、日常的なノイズなどのサージによって電気機器が損傷することは殆どない。これは、電気機器や電気設備が静電気対策として瞬間的な電圧の上昇であればある程度の電圧の変化に耐えられるように設計されているからである。しかしながら、雷サージの様に瞬間的であっても非常に高い電圧が加わると、電気機器は搭載部品や回路基板などで絶縁破壊 (*) をおこし、損傷にいたる可能性が出てくる。

SPD は、雷サージのような高い電圧を機器の耐電圧のレベル以下にし、設備の損傷を防止する装置である。雷サージのような極めて高い電圧が加わった場合のみに動作し、サージ電圧を一定の電圧 (制限電圧) 以下に制御する。入力電圧が正常になると復帰し、設備は稼働を継続する。図 3 は、何も対策を行わない場合と SPD を電源配線、通信配線に入れて対策を行った場合での、雷サージが加わった状態を示している。SPD を入れた場合でも、設備には制限電圧のサージが入ることになるが、設備が耐えられる電圧の範囲であれば損傷はしないことになる。

* 絶縁破壊：電氣的な絶縁状態が壊れて導電状態となり、電気部品や電気回路の特性や機能が失われる状態

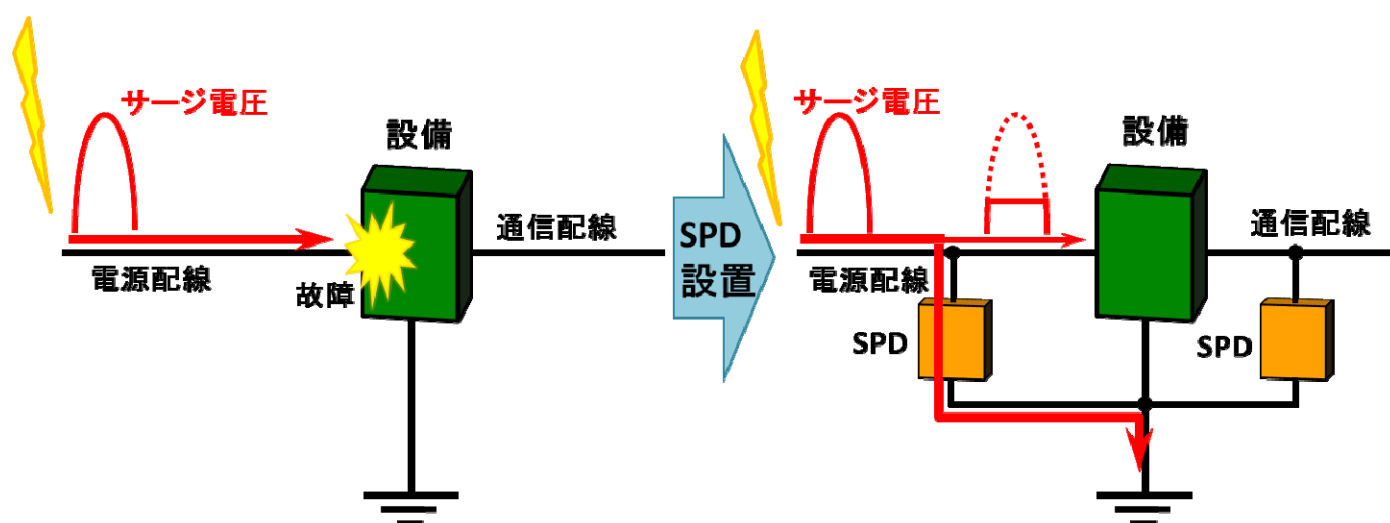


図 3 避雷器 (SPD) による雷サージ保護

5. 避雷器の種類

SPD には、保護する対象や用途によって様々な種類がある。建物の内部に設置された設備を保護するものだけでなく、屋外に設置される設備の保護を対象としたものもある。

ここでは、SPD の構造と用途について分類し紹介する。

(1) SPD の形式による分類

SPD の電气的特性は、一定の電圧の範囲で絶縁特性を示し、それを越えた時に良導電性の特性を示すことが必要となる。代表的な SPD の形式と特徴は表 2 の通りである。それらの長所と短所を考慮し、用途による使い分けが行われている。

表 2 SPD の形式と特徴

形式	ガス入り放電管	ZnOバリスタ	SiCバリスタ	ツェナーダイオード	Siサージ吸収素子
方式	ギャップ式避雷素子	セラミックス構造	セラミックス構造	半導体	半導体
構造	避雷管	セラミックス粒界障壁	セラミックス粒界障壁	シリコンPN接合	シリコンPN接合
構成材料	不活性ガス/電極	酸化亜鉛焼結体	炭化珪素焼結体	SiのPN接合	SiのPNPN接合
長所	漏れ電流小さい 故障モードオープン	高サージ電圧耐量 高信頼性	特性安定 廉価	低制限電圧	低制限電圧 高サージ電圧耐量
短所	続流（電流が継続）	高静電容量 故障モードショート	漏れ電流大	低サージ電圧耐量	続流（電流が継続）

(2) SPD の用途による分類

雷害リスクを効率よく低減するために、設置される場所、カテゴリ分類、保護対象となる設備によって適切な SPD を選択して設置することが必要となる。一般的な建物に設置される SPD の種類と用途を表 3 に示す。

表 3 SPD の種類と用途

種 類	用 途
電源用SPD	分電盤、直撃雷サージからの保護
信号回線用SPD	通信機器、放送設備の保護
電話回線用SPD	電話交換機側の保護
同軸ケーブル用SPD	TVケーブル、無線通信機器の保護
ITVカメラ用SPD	屋外TVカメラの保護
高圧設備用SPD	送配電線設備、受電設備の保護

風力発電設備、太陽光発電設備、レジャー施設など、屋外に設置される設備は一つのシステムの中に電源系、通信系、受電系などを有する場合がある。そのような設備では、ここに示した SPD を組み合わせて設置することを検討すべきである。

6. 効果的な雷害対策

雷害対策を考える上で SPD の役割は大きいですが、電源側あるいは設備側に SPD を設置しても十分な効果が得られない可能性がある。想定した雷サージが、電源配線や通信配線を通して侵入してくる場合には一定の効果も期待できるが、実際には、SPD を設置しているにも関わらず被害にあうケースも発生している。これは、想定を超える電圧の雷サージが侵入したことが理由として考えられる。敷地内に落雷があった場合は、電氣的なエネルギーが大きく変動するため、雷害対策を漏れの無いようにしておくことが必要となる。効果的な SPD の設置を含め、雷害対策を行う上で次のような事項を検討すべきである。

- ①想定される雷サージと保護対象とする設備に適した SPD を設置する。
- ②電源部分の避雷器に加え、設備に近い場所への SPD の設置を検討する。
- ③電源配線や通信配線ばかりでなく、接地系統についても保護を検討する。
- ④SPD で保護しきれない設備については、耐雷トランス（*）などの設置を検討する。
- ⑤テレビのアンテナや空調設備など、外部に導体が出ている部分についてリスクが無いかどうかを検討する。

*耐雷トランス：変圧器の構造と避雷器を利用し、雷サージの電圧を減衰させる効果が高い防雷設備

雷害にあった建物や施設では、同様の被害が繰り返される可能性がある。再発防止のためには、雷サージの侵入経路をよく調査し、上記のような対策を実施することが必要である。

7. 電気機器の耐電圧カテゴリ

電気機器の多くは、電圧の変動、ノイズおよび静電気などに対する耐量を見込んで設計されている。引き込み配線や電力量計など、外部からの電力を受ける側の電気機器は耐量が大きく、電子部品を使用する電子機器などは耐量が小さい。これらは、耐電圧や電圧変動に対する耐性の観点からカテゴリによる分類が行われグループ分けが行われている。（表 4 参照）

表 4 電気機器のカテゴリによる分類

カテゴリ	カテゴリⅣ	カテゴリⅢ	カテゴリⅡ	カテゴリⅠ
機器の分類	受電関連の機器	幹線及び分岐回路の機器	電気器具及び電気使用機器	特別に保護される機器
電気設備の例	引込電線 電力量計 漏電遮断器 など	分電盤 配線用遮断器 建物内配線用電線 コンセント など	照明機器 事務機器 パーソナルコン ピューター 設備 など	電子機器 機器内部

（出典：日本工業規格の記載内容を編集）

また、雷サージなど建物外部から妨害的な電圧が入り込んだ場合の電気機器の保護レベルに関しては、日本工業規格にて耐電圧カテゴリ（インパルスカテゴリ）が定められている。（表5 参照）

表5 設備の公称電圧とカテゴリ別のインパルス耐電圧

設備の公称電圧（V）		必要なインパルス耐電圧（kV）			
三相系統	単相3線系統	カテゴリⅣ	カテゴリⅢ	カテゴリⅡ	カテゴリⅠ
－	120～240	4	2.5	1.5	0.8
230/400 277/480	－	6	4	2.5	1.5
400/690	－	8	6	4	2.5
1000	－	12	8	6	4

（出典：日本工業規格の内容を編集）

SPD を設置する場所と仕様を決めるにあたっては、これらのカテゴリ分類を考慮する必要がある。建物に侵入する雷サージの電圧や電気エネルギーの変動幅と、保護対象となる設備のインパルス耐電圧のレベルを勘案することによって適切な SPD の設置を行うことができる。建物が周囲の送配電線から受電する状態と建物内部の電気機器のカテゴリを検討することが雷サージによるリスクの低減には必要である。図4に建物内の電気施設と耐電圧カテゴリの概要を示す。

対策を行う上では、少なくとも建物の最初の受電を行う配電盤に SPD を設置することが必要となるが、よりリスクの低減を図るためには、建物の外側から多段に SPD を設置することが望ましい。

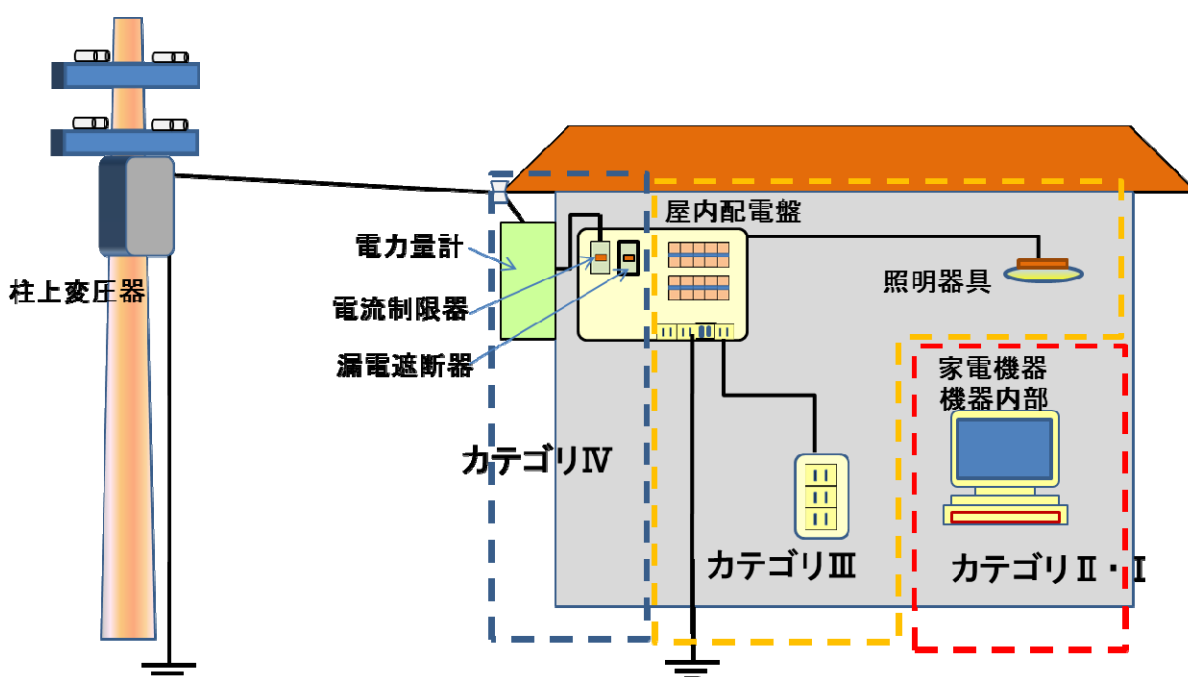


図4 建物内配線、電気設備と耐電圧カテゴリの概要

8. まとめ

雷害は、誘導雷などが主な原因となる雷サージによって被害が発生するケースが多い。また、自動火災報知設備、屋外設置の監視カメラ設備など、屋内外配線に広範囲に接続された設備は繰り返し被害にあう可能性がある。一方、屋内に設置されている生産設備なども電源配線や接地系統からの雷サージの侵入によって被害を受けるケースがあり保護対象としては見逃すことができない。

雷害リスクを低減するためには、電源系統、接地系統、通信系統などの配線状況を調査し、漏れの無いように SPD、耐雷トランスなどを設置することが必要である。

雷サージから受ける影響は、設備特性や設置場所によって異なることから、耐電圧カテゴリを参考にし、厳重に保護が必要な設備については SPD の多段設置の検討も必要となる。

また、SPD、耐雷トランスなどの機器は、構造や用途に応じて種類も多いことから、設置場所や保護対象設備の仕様にあった適切な機器を設置することが重要となる。

落雷による被害は、設備機器の被害のみならず事業継続や防災機能の維持に大きく影響を与える。既に被害にあった設備は無論のこと、雷害リスクにさらされている設備を調査し、事前に対策を行うことが今後ますます重要となろう。

以上

災害リスクマネジメント部 リスクエンジニアリンググループ
上席テクニカルアドバイザー 森山 好文

参考文献

- 1) 経済産業省ホームページ：エネルギー白書
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/index.htm>
- 2) 経済産業省ホームページ：電気設備技術基準他
http://www.meti.go.jp/committee/gizi_8/14.html
- 3) 総務省ホームページ
http://www.soumu.go.jp/menu_sosiki/singi/index.html
- 4) 気象庁ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 5) 電力中央研究所ホームページ
<http://criepi.denken.or.jp/>
- 6) 北陸電力ホームページ
<http://www.rikuden.co.jp/>
- 7) ㈱インターリスク総研ホームページ
<http://www.irric.co.jp/>

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。
また、本誌は、読者の方々に対して企業の災害防止活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

株式会社インターリスク総研は、MS&AD インシュアランスグループに属する、リスクマネジメント専門のコンサルティング会社です。
災害や事故の防止を目的にしたサーベイや各種コンサルティングを実施しています。弊社コンサルティングに関するお問合せは下記の弊社連絡先、または、あいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

㈱インターリスク総研 災害リスクマネジメント部
東京都千代田区神田淡路町2-105 TEL：03-5296-8947／FAX：03-5296-8942

<災害リスクコンサルティングメニュー>

- ① 近年被害が増加している落雷の対策について検討したい。
⇒落雷リスクコンサルティング
アンケートや実地調査により落雷被害を軽減するためのアドバイスを行います。
- ② 事業所の火災・爆発・風水災等のリスクを実施調査し、防災対策を検討したい。
⇒リスクサーベイ（リスク調査・評価）
専門エンジニアによる実地調査を行い、リスク状況と改善提案の報告書を作成します。

不許複製／Copyright 株式会社インターリスク総研 2014