

大規模施設の 地震リスク評価技術

日本原子力研究開発機構
安全研究センター
構造健全性評価研究グループ
研究主席 西田明美

平成31年1月31日

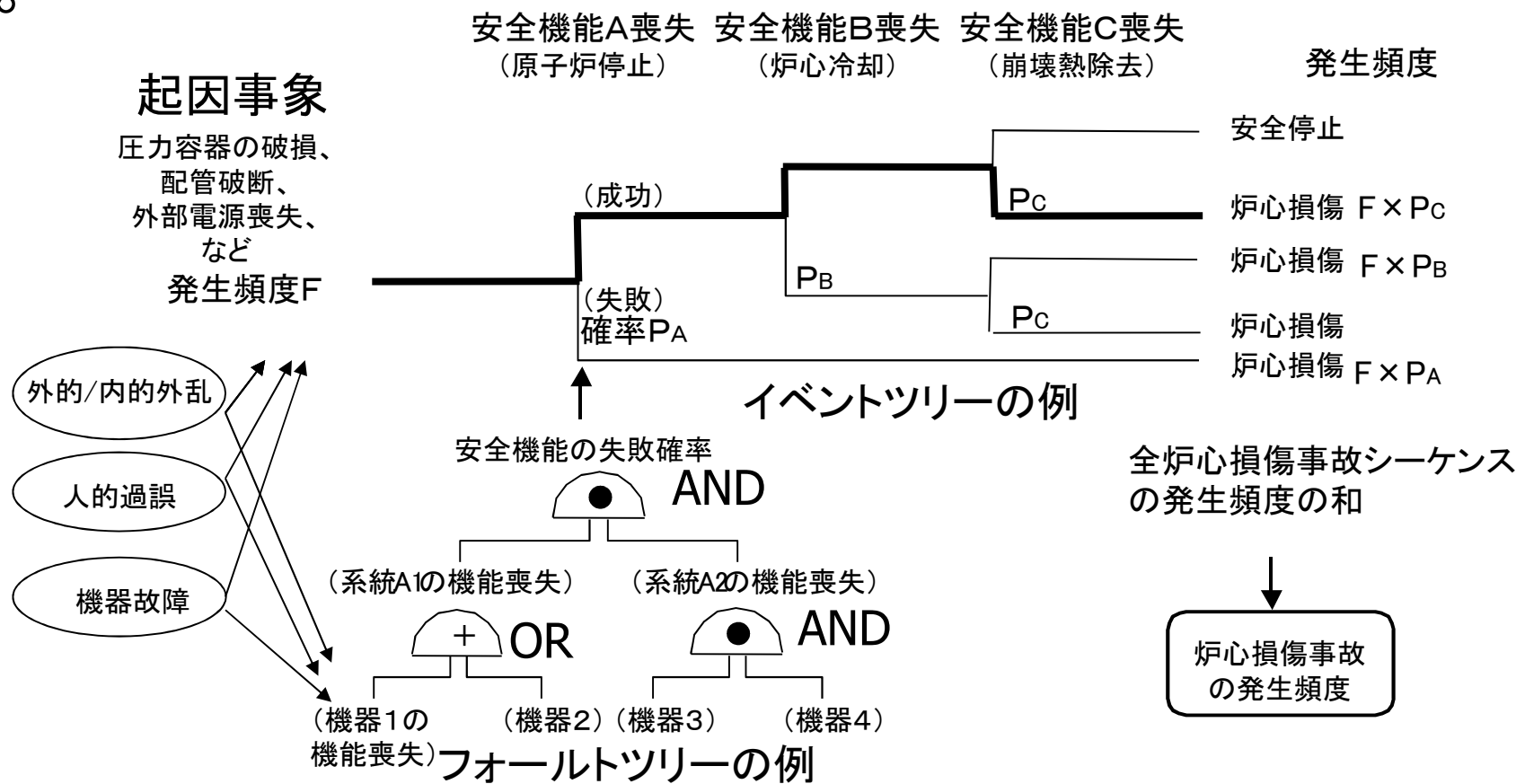
従来技術とその問題点(1)

原子力分野では、福島事故の反省の下、重大事故に対処する様々な対策を講じるとともに、継続的に見直し改善する活動が進められている。

確率論的リスク評価(PRA)は、リスクに対処するためのツールとして重視されており、その中で**地震PRAは最重要の要素の一つ**となっている。

従来技術とその問題点(2)

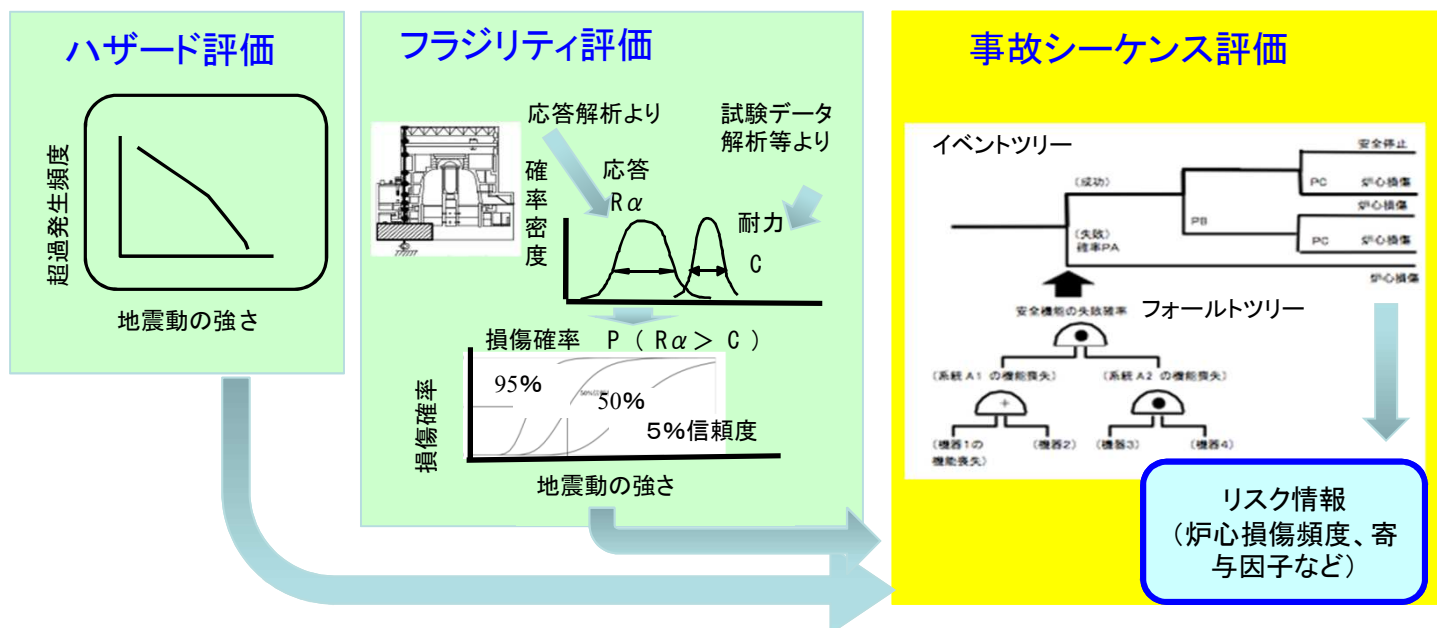
原子力発電所において「止める」「冷やす」などの安全機能を果たす設備は、**多重性、多様性**を持たせるために**大規模かつ複雑なシステム**となる。事故シナリオが複雑になるため、PRAではイベントツリー(ET)とフォールトツリー(FT)を用いて整理している。



従来技術とその問題点(3)

地震PRAでは、地震により**多数の機器が同時損傷**しうることを踏まえて、**事故シナリオの発生確率を適切に評価**することが必要である。

しかし、従来の手法では、多数の機器の同時損傷確率の評価は必ずしも十分ではなく、事故シナリオの発生確率に係る詳細な検討を行うことができなかった。



新技術の特徴・従来技術との比較(1)

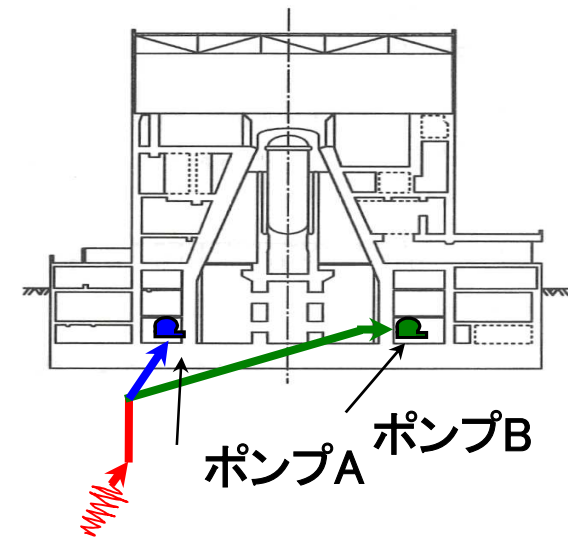
従来技術では、損傷事象間の相関性の影響を単純化せざるを得なかった。

- 同一設計の機器は、完全相関（一個損傷すれば全て損傷と仮定）
- 和事象間は 完全独立（相関を無視）

（保守的だが過大評価の恐れあり。）

このため、事故シーケンスの発生頻度や重要度の定量的分析での課題となっていた。

損傷の相関性の例



ポンプAとBが同一設計で同じ床上にあれば、その応答のバラツキは強い相関性を持つ。耐力も同様。従って、2つのポンプの損傷は独立ではなく、一方が損傷するときには他方も損傷する可能性が高い。

新技術の特徴・従来技術との比較(2)

- 従来技術では、機器の同時損傷の組み合わせ(ミニマルカットセット)に分解した上で、その発生確率を個別に多重積分で求めていた。この方法では、計算時間の制約のため、相関性の情報を十分に組み入れることができなかった。
- 新技術(計算コードSECOM2-DQFM)では、事故シナリオ(事故シーケンス)を論理式のまま扱い、機器損傷の条件となる応答と耐力を確率変数としてモンテカルロ法を適用し、事故シーケンスの発生確率を実用的な計算時間で評価可能。
- この結果、事故シナリオの発生確率や設備の重要度の計算が、より正確に行えるようになった。

想定される用途(1)

化学プラントなどの大規模施設の地震リスク評価

- 定量的な地震リスク評価は、一般に次のような情報を提供し、地震対策を合理的に行う有力なツールとなる。
 - どのような事故(事故シーケンス)がどれほどの確率(発生頻度)で起こりうるか？ 不確かさはどれほどか？
 - 想定する地震動規模を拡大する(発生頻度の低い地震まで想定する)と、被害規模はどのように拡大するのか？(但し、事故シーケンス毎の被害規模推定が必要)
 - どのような対策(耐震補強、安全設備の追加など)が、リスク低減に有効なのか？
- **本技術のメリット**: 事故シーケンスが多数の場合、従来法では、合計(和事象)の頻度を大幅に過大評価する可能性がある。本技術ではそれを回避しつつ、個別及び和事象の頻度評価や重要度評価が可能。

想定される用途(2)

具体的には、次のような応用が考えられる。

- 1) 被害規模と年間発生確率(頻度)の積(期待値)が比較的大きくなるシナリオを抽出し、そのシナリオを防ぐために、安全設備の追加や耐震補強によってシナリオの発生を予防する
- 2) 複数箇所で重要な被害が同時に発生する可能性を評価し、そのような事態に対して、復旧活動などの対応が間に合うかどうかを検討し、対応計画の改善を図る。

想定される用途(3)

原子力発電所の地震リスク評価

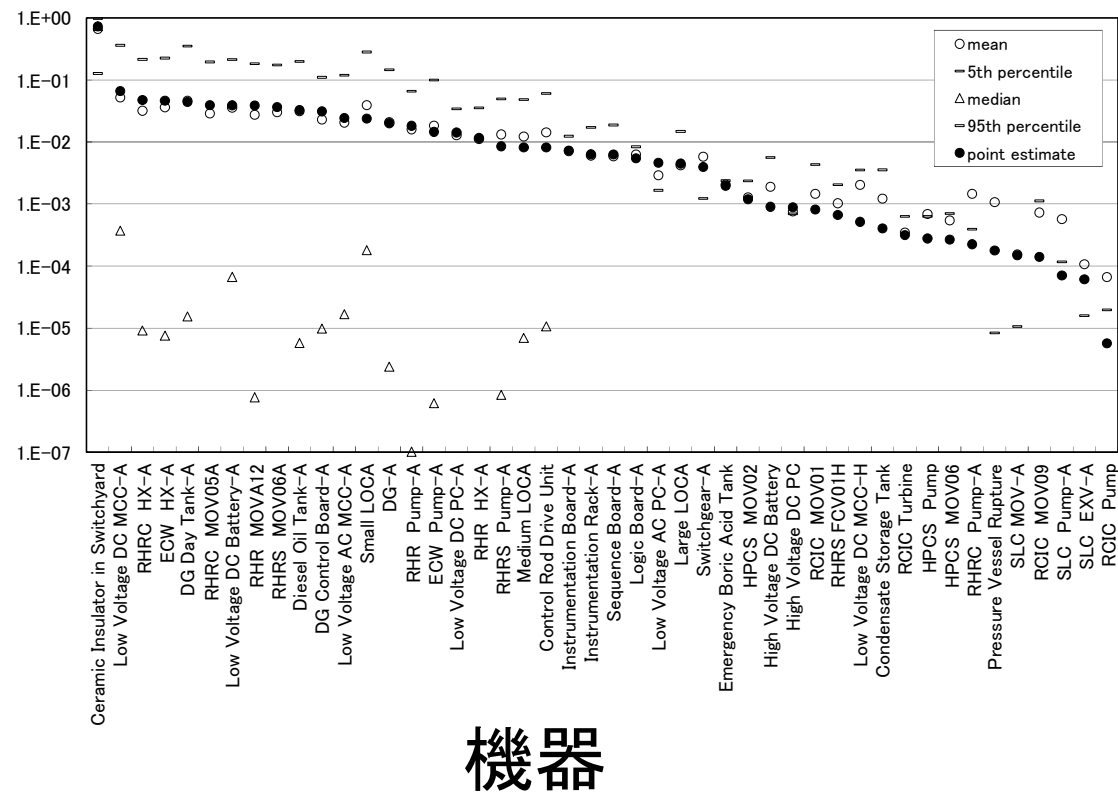
- 1) 相関性の影響をより適切に考慮することにより、次の解析を通して、**保全計画などに寄与**
 - 機器や**設備のリスク重要度の評価**
 - 保守作業による**設備待機除外によるリスク影響の評価**
- 2) 多重の配管破断など、**複数起因事象から発生する事故シナリオ**のリスク寄与度及び(必要に応じた)アクシデントマネジメントの検討を通じて、**継続的安全性向上に寄与**

想定される用途(4)

参考までに原子力分野で用いられているリスク重要度の試算例を示す。

この指標は、各機器の耐震性を高めたときの炉心損傷頻度の低減割合を示しており、どの機器を耐震補強すれば効果が大きいかが分かる。この計算結果から、不確実さの幅は大きいですが、平均値に注目すれば、重要度をいくつかのレベルに区分できることが期待される。

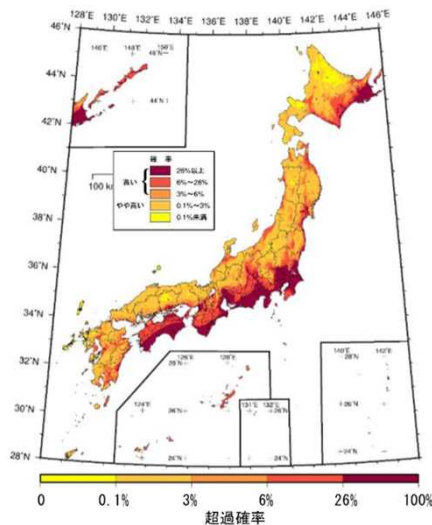
Fussel-Vesely 指標



実用化に向けた課題(1)

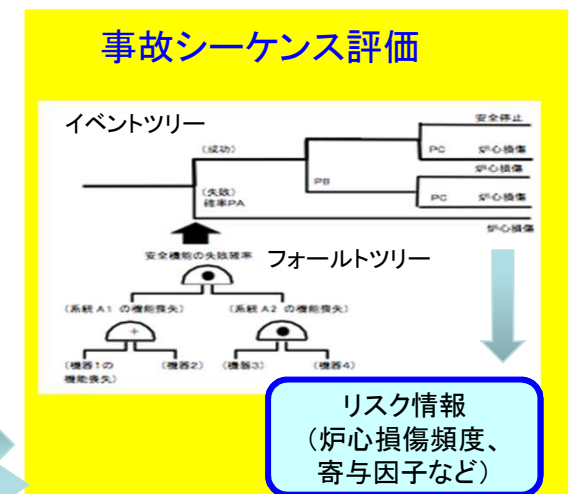
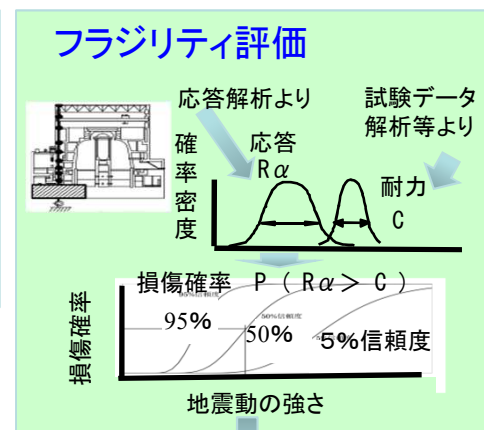
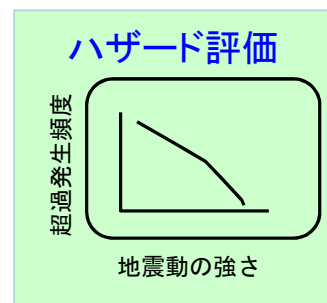
地震PRAがあまり実施されていない分野では、ハザードやフラジリティのデータ整備が課題となる。その際には、次のような、原子力分野よりも簡略化したアプローチの共同研究等が可能と考えられる。

- **地震ハザード評価:** 国(地震研究推進本部)の評価(下図)を援用
- **事故シーケンス評価:** 化学工場などでHAZOP手法などによる分析結果があれば、それを基にイベントツリーを構築し、事故シーケンスの被害規模(額又は大中小などの区分)を推定する。
- **フラジリティ評価:** 系統別に失敗原因となる可能性の高い機器を選定し、その耐震設計情報からフラジリティを推定する。



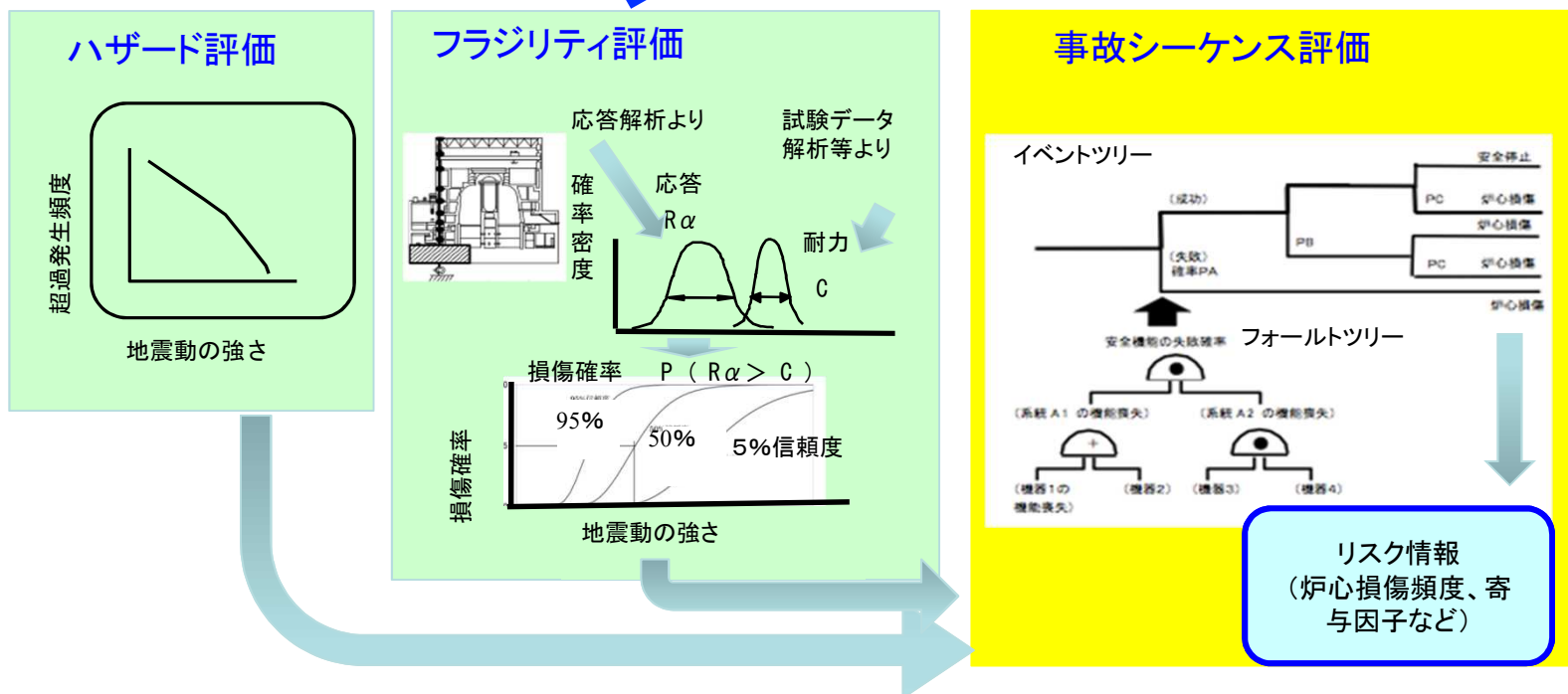
今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率/期間と揺れの強さを固定して確率を示した地図の例

<https://www.jishin.go.jp/>



実用化に向けた課題(2)

原子力分野では、既に地震PRAは普及しており、検査等への活用に向けて**フラジリティ評価などのモデルやデータの高度化が必要となる**。その際には、**確率論的な建屋応答解析による相関係数の算出などを、対象プラントに応じて実施することが課題となる**。



企業への期待

実プラントでの次のような適用研究を通じて、SECOM2-DQFM(又はモンテカルロ法)の実用性を確認頂きたい。

- 機器同時損傷確率の評価のための**相関係数マトリックス等の設定方法の検討**(当機構、東大、東京都市大等における近年の研究^[1]が参考となる)
- SECOM2-DQFMを用いた**事故シーケンス評価の実施と従来手法との比較による検証**
- 重要度指標の算出や待機除外影響評価などの**適用解析**

[1] Itoi,T et al. “Probabilistic Risk Assessment Method Development for High Temperature Gas-Cooled Reactors (3) Development Plan Of Seismic Fragility Analysis Method”, Proceedings of ICAPP 2017, April 24-28, 2017 - Fukui and Kyoto (Japan)

本技術に関する知的財産権

- マニュアルとソースコードをPRODAS^[2]で公開済み
<https://prodas.jaea.go.jp/PRAD1000>
- 次の条件の下で、コードの改変を含む利用が可能
 - 日本原子力研究開発機構及び開発者等の著作権の尊重(成果発表でのコード利用の明示等)
 - コードの改変等の経験情報について、当機構及び社会との共有を期待(可能な範囲でお願いしたい)

[2] 日本原子力研究開発機構で開発・整備されたコンピュータプログラム及びデータベースの情報を検索するシステム

お問い合わせ先

日本原子力研究開発機構
研究連携成果展開部

T E L : 029-284-3420

F A X : 029-284-3679

E-mail : seika.riyou@jaea.go.jp