原子力発電所における身体保護システムの有効性の評価

ZOUボーエン　　メール: zoubowen@scut.edu.cn

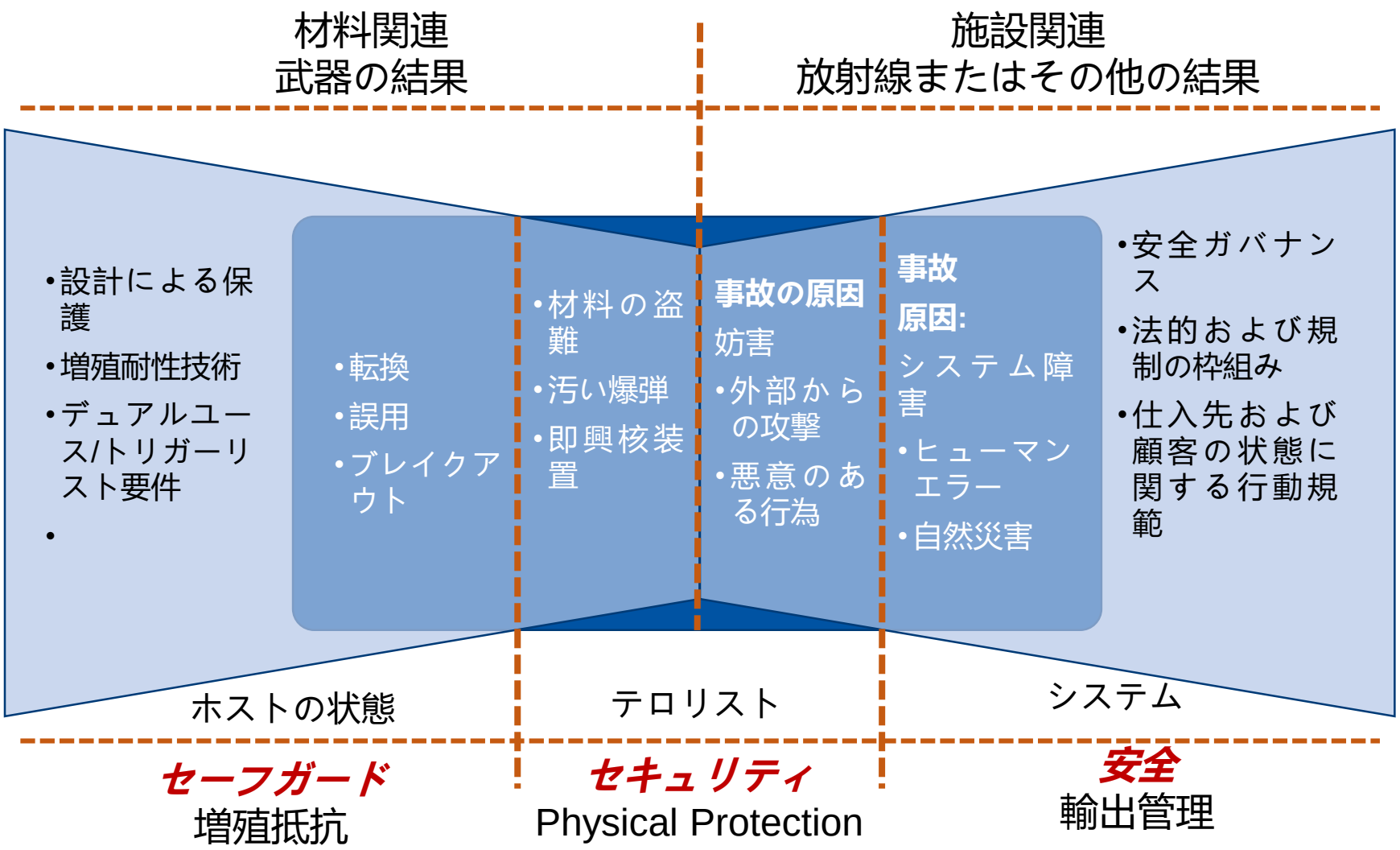
内　　容

PART ONE

導入

01 Introduction

1原子力安全保障とNPOの安全システム

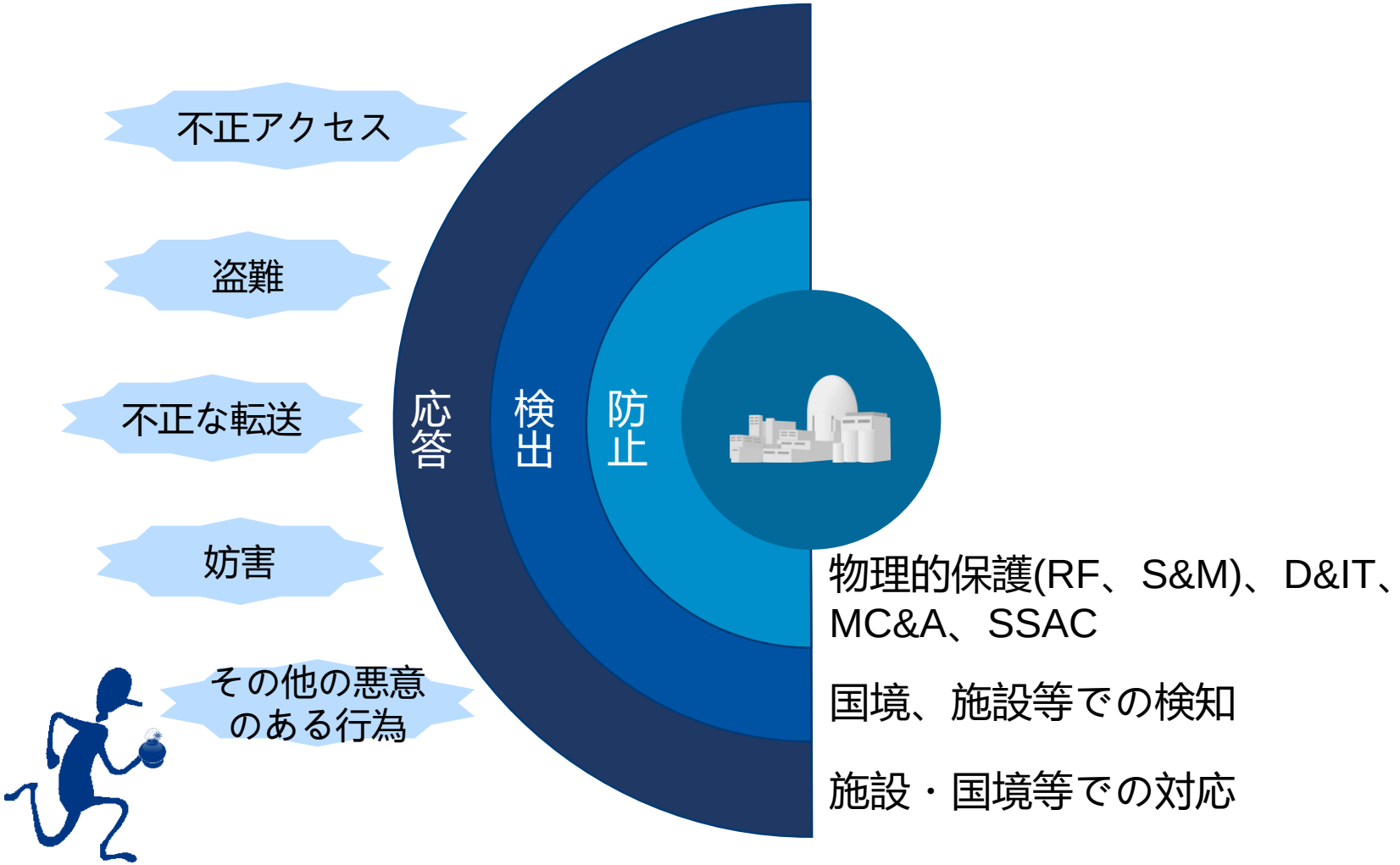


3Sを基盤とする原子力インフラに関する国際イニシアティブが、北海道千歳で開催されたG8サミット2008で初めて提唱されました。

01 はじめに

2物理的保護システム

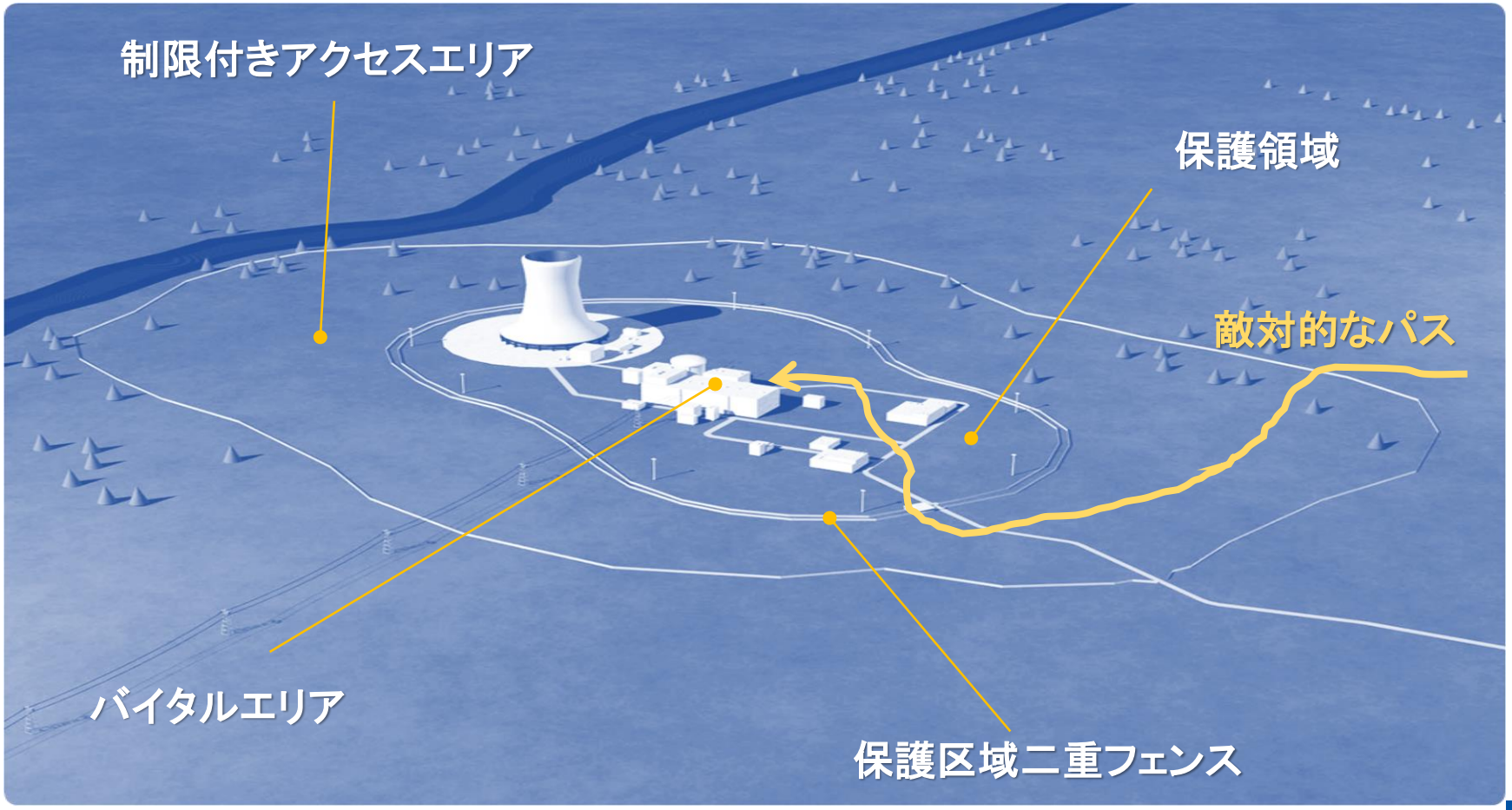
- 物理的保護システム (PPS) は、盗難、妨害行為、またはその他の悪意のある人間の攻撃から資産や施設を保護するための人、手順、および機器を統合します。



01導入

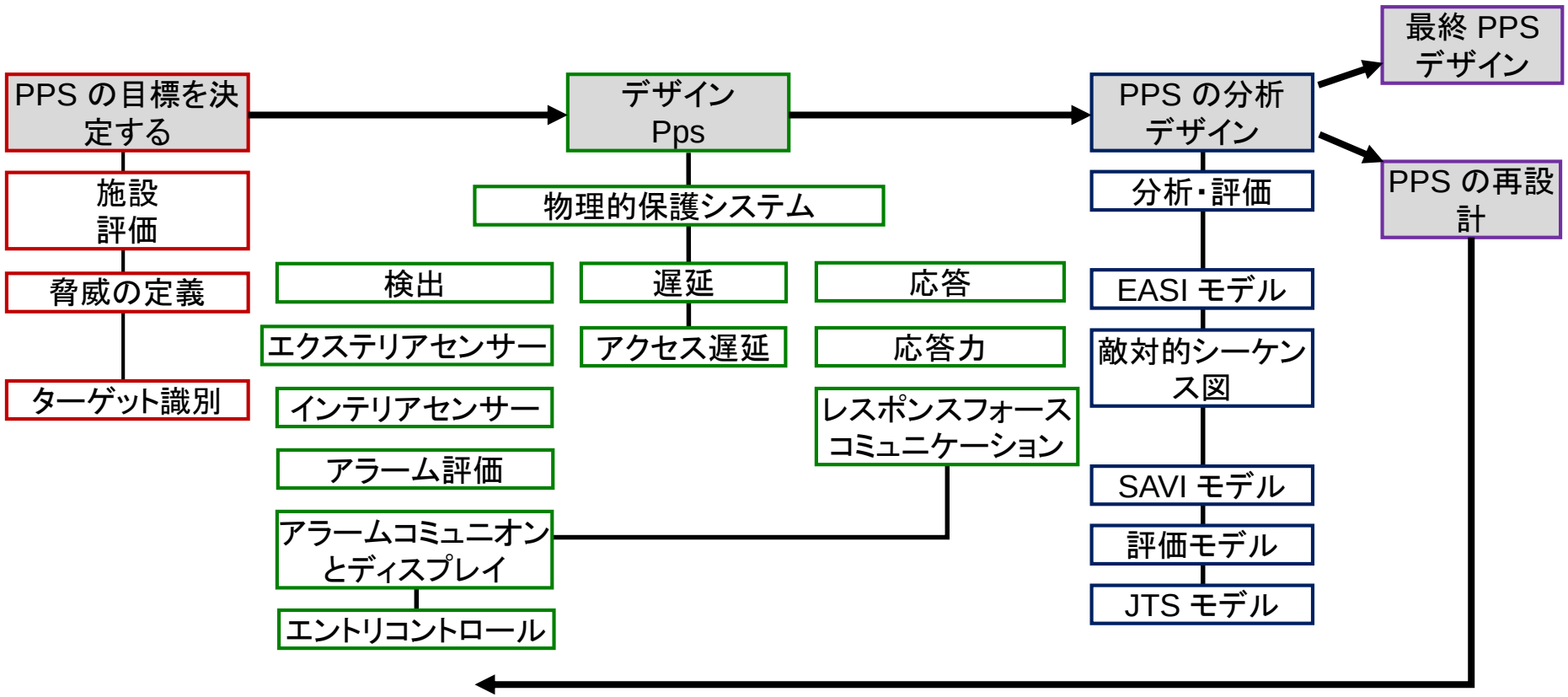
2物理的保護システム

- 物理的保護システム (PPS) は、盗難、妨害行為、またはその他の悪意のある人間の攻撃から資産や施設を保護するための人、手順、および機器を統合します。



01導入

3物理保護システムの設計・評価プロセス



PPSの設計・評価プロセス

このプロセスは、目標を決定し、目標を達成するためのシステムを設計し、最後に、システムが目標と比較してどの程度のパフォーマンスを発揮するかを評価します。

01導入

4物理保護システム ポリシー

1970年代に

□PPS有効性の定性的および定量的評価の分野における最初の研究は、サンディア国立研究所(SNL)で完了しました。

- PPS一次元モデルに基づく「設計・評価プロセス」(DEPO)と呼ばれるPPS設計・評価方法論の開発は、これらの活動の中で最も顕著な成果の一つと考えられている。
- この期間のSNL活動は、「敵対配列中断の推定」(EASI)と呼ばれるPPS有効性評価の頻繁に使用される方法を導入しました。

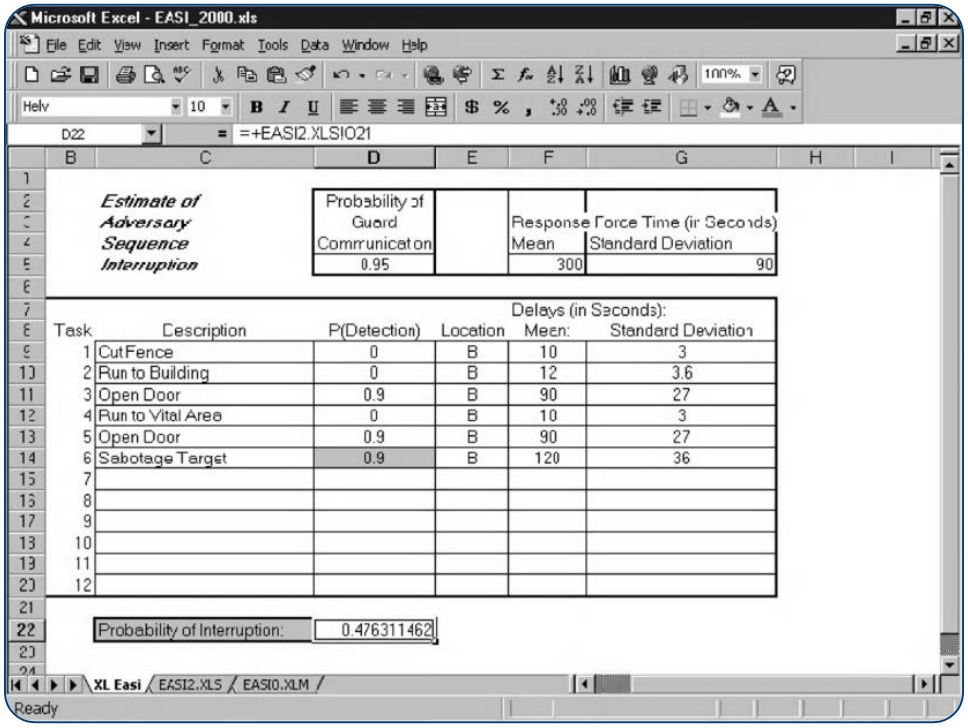
01導入

4物理保護システム ポリシー

1980年代に

□SNLは、「侵入に対する脆弱性の系統的分析」(SAVI)と呼ばれる敵対配列図を用いてPPSの有効性を評価する手法を開発した

□SAVIを使用すると、ユーザーは攻撃の可能なパスをすべて分析して目的を達成し、各パスに沿った重要な検出ポイントの位置を含む最も脆弱なパスを評価できます。



敵対経路に対するEASI分析の結果.

01導入

4物理保護システム ポリシー

1990年代に

□SAVIモジュールは、明らかに「安全装置とセキュリティを評価するための分析システムとソフトウェア」(ASSESS)と呼ばれる最も複雑な方法とソフトウェアツールの一部です。ソフトウェア査定は、ファシリティ、インサイダー、アウトサイダー、中和、共謀インサイダー、マネージャーの6つのモジュールで構成されています。

□DOE が使用する最先端の独自モデルで、インサイダーの脅威を高度な方法論に組み込んでいます。出力は、施設の脅威パスのランク付けです。このモデルはまた、敵と治安部隊の間の力の出会いを分析し、敗北の確率を提供します。このモデルには、システム パフォーマンスを予測する EASI アルゴリズムが組み込みされています。

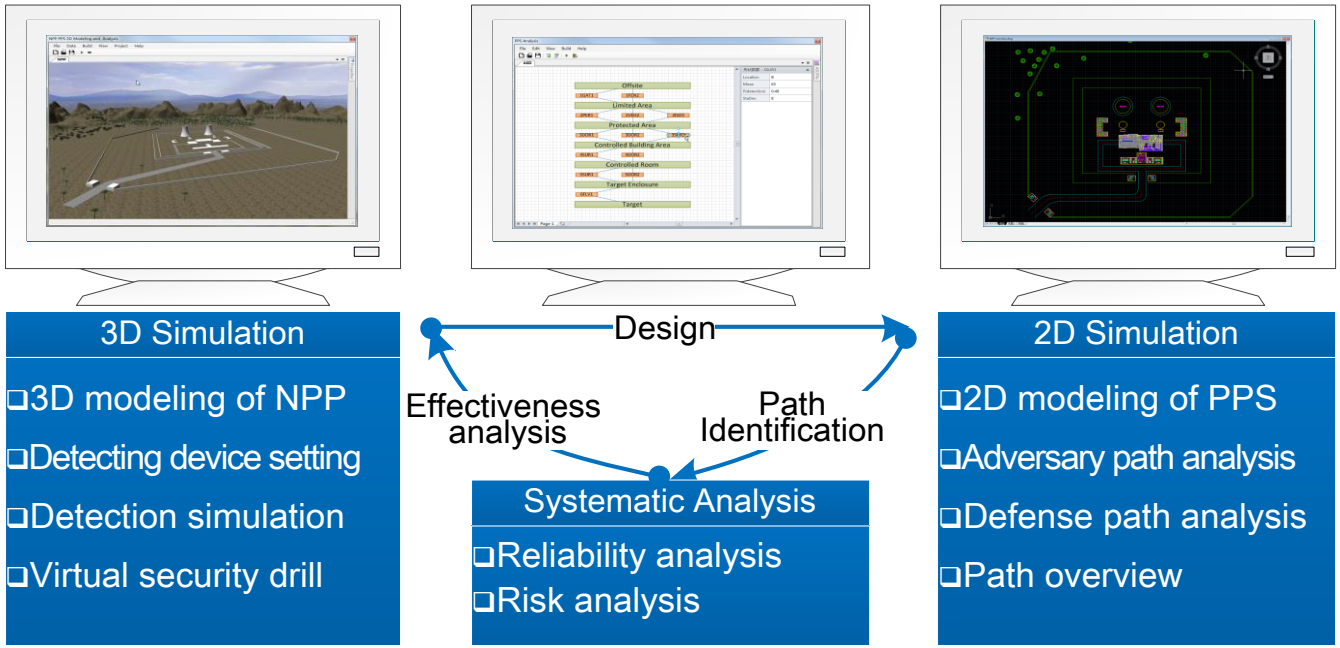
PART TWO

効果
PPSの分析

02 PPSの有効性の分析

1 PPSの分析と設計のための統合プラットフォーム

- システムは、3次元(3D)シミュレーション、2次元(2D)シミュレーション、およびNPPとそのPPSの系統解析のための3つのモジュールをそれぞれ含んでいます。.
- この枠組みの下で、PPS設計、敵対的経路識別およびPPSの有効性評価のプロセスは、設計および連続のための便利な視覚化環境を提供するインタラクティブで閉じたサイクルとして編成されるPPSの改善。



インタラクティブおよびクローズドサイクルフレームワーク

02 PPSの有効性の分析

2 3D シミュレーションモジュール

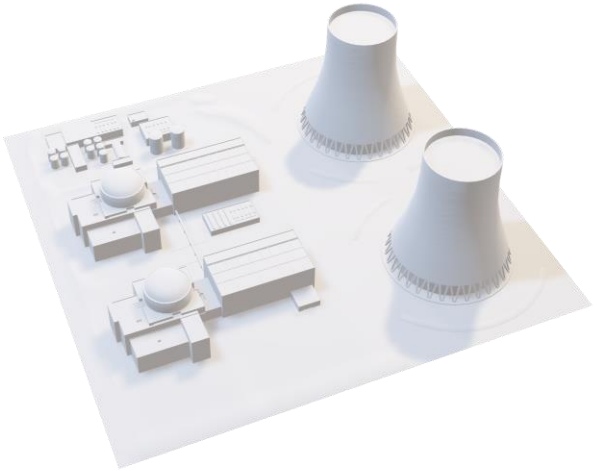
- 3D シミュレーション モジュールを使用すると、設計者は次の手順で NPP の 3D シーン モデルを確立できます。

①3D シーンを建物、核施設、敵対者、応答力、その他のエンティティに分割します。

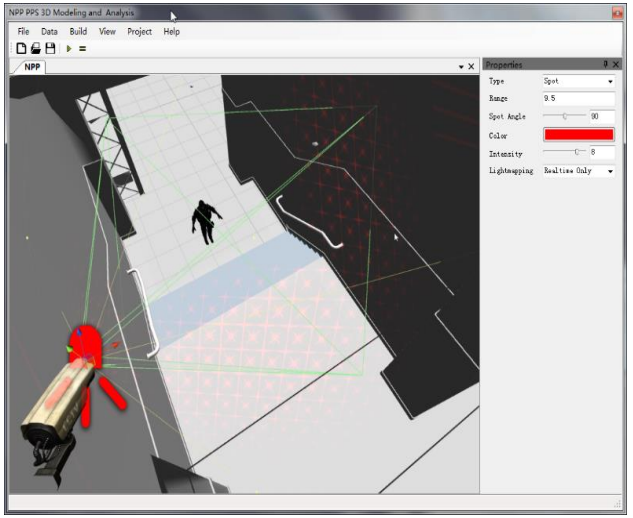
②さまざまなエンティティのジオメトリ、空間的な位置、およびエンティティ間の接続を決定します。

③PPS モデルの階層構造を決定します。

④エンティティについて説明します。建物や装置の材料パラメータ、ならびに敵と応答力の特性は、現実的な効果を達成するために、実際の状況と一致する必要があります。



3D model of NPP

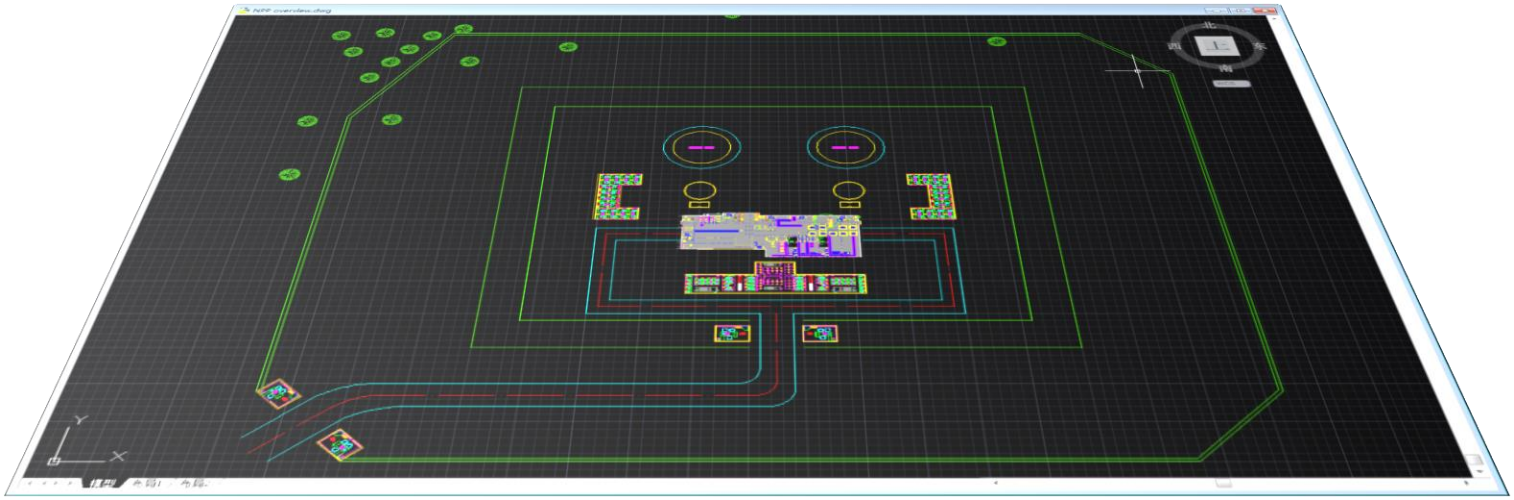


検出デバイスの設定と効果のシミュレーション

02 PPSの有効性の分析

2 2Dシミュレーションモジュール

- 図に示すように、設計者は.NET テクノロジを使用してセカンダリ開発によって、NPP の AutoCAD ベースの 3D モデルから 2D CAD グラフィック設計図面を生成できます。
- 2D CAD設計図面には、デバイスの検出と遅延の基本的な空間情報が含まれているため、可能な敵パスと応答力の最良の防御経路のさらなる分析と表示の基礎を提供します。



PPSの2Dグラフィックデザイン図面の例

02 PPSの有効性の分析

3系統解析

- 2D CAD 設計図面に基づく系統解析方法。系統解析モジュールは、PPSの信頼性分析およびリスク分析のための以下の機能を提供します。

①敵対パス識別: 敵対シーケンス図 (ASD) は、PPS 防御レイヤーと施設レイアウトに基づいて識別できます。ASD は、敵対者の現在の位置から端末ターゲットへのパスを示します。

②信頼性パラメータ設定: 系統解析モジュールを使用すると、アナリストは、検出の確率、防御に侵入する平均時間、一定の距離を移動するなど、防御デバイスの信頼性パラメータを入力できます。

③信頼性分析: 系統解析モジュールは、正常に中断される各敵対パスの確率計算をサポートします。

④リスク分析:この機能は、PPS障害の場合に敵対サボタージュによって被った核物質および核施設のリスクを計算することです。

02 PPSの有効性の分析

4リスク分析

- セキュリティリスク方程式:

$$R = P_A \times (1 - P_E) \times C$$

- どこ: R は望ましくないイベントのリスクです
  P_A は敵対的攻撃の可能性
  P_E は全体的な PPS の有効性です。
  C は望ましくないイベントの結果です。

- 結果('C')または攻撃の可能性('P_A') のいずれかが高くなる場合、リスク('R')を同じに保つためには、全体的なPPSの有効性('P_E') が高くなる必要があります。

02 PPSの有効性の分析

5有効性分析

- PPS パフォーマンスの評価には、次の 3 つのメトリックが一般的に使用されます。

① システムの有効性 (PE)

✓PPS が敵が望ましくないイベントを完了するのを妨げる確率。

$$P_E = P_I \times P_N$$

- ✓ PPSが盗難や妨害に対して有効になるには、応答力は両方とも「AND」を中断して敵を中和する必要があります。
- ✓ i.e. if $P_I = 1$ (ideal and timely) but $P_N = 0$, $P_E = 0$

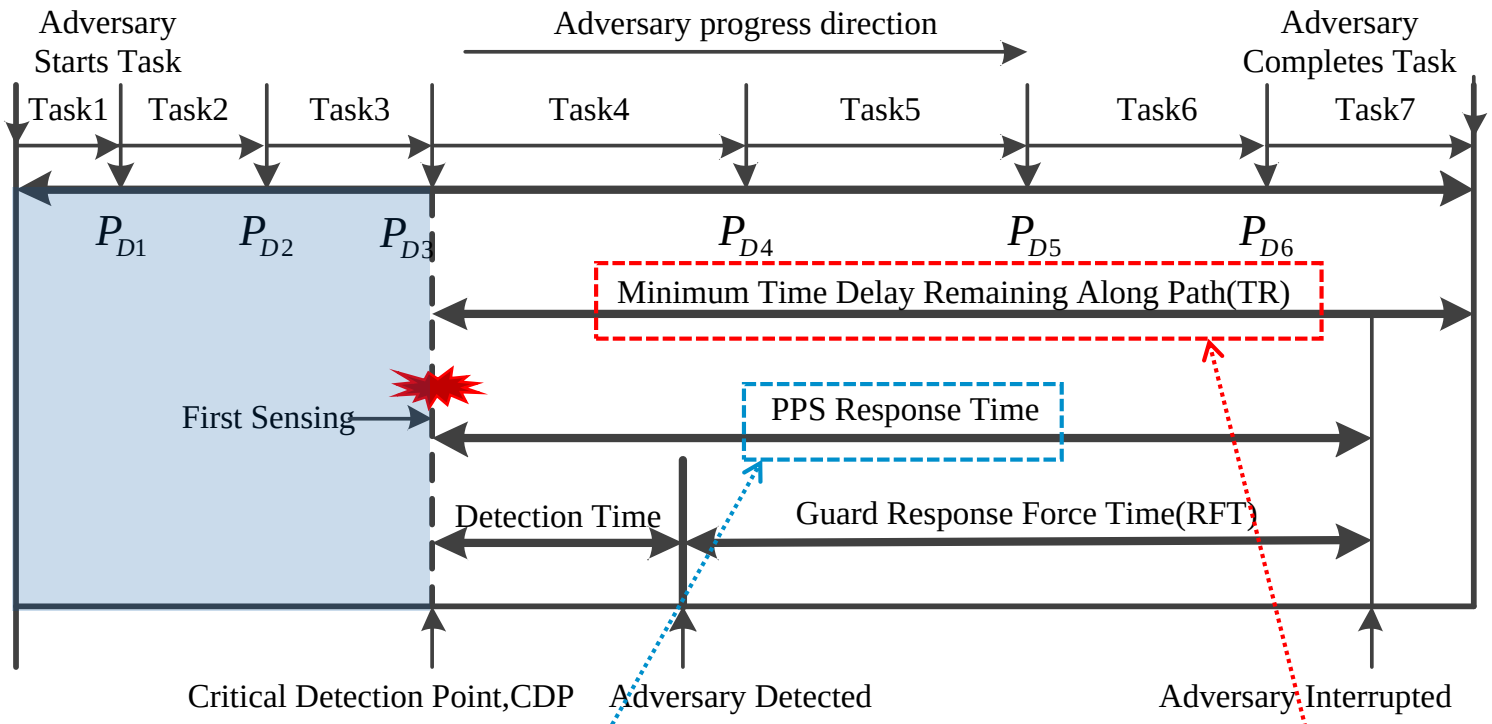
① 中断の確率(P_I)

② 中和の確率(P_N)

02 PPSの有効性の分析

5有効性分析

- 敵対者とPPSタイムライン



- パス上のセンシングオポチュニティは、次の場合にタイムリーです。
  Response Force Time < ***Adversary Task Time Remaining*** After First Sensing.

02 PPSの有効性の分析

5有効性分析

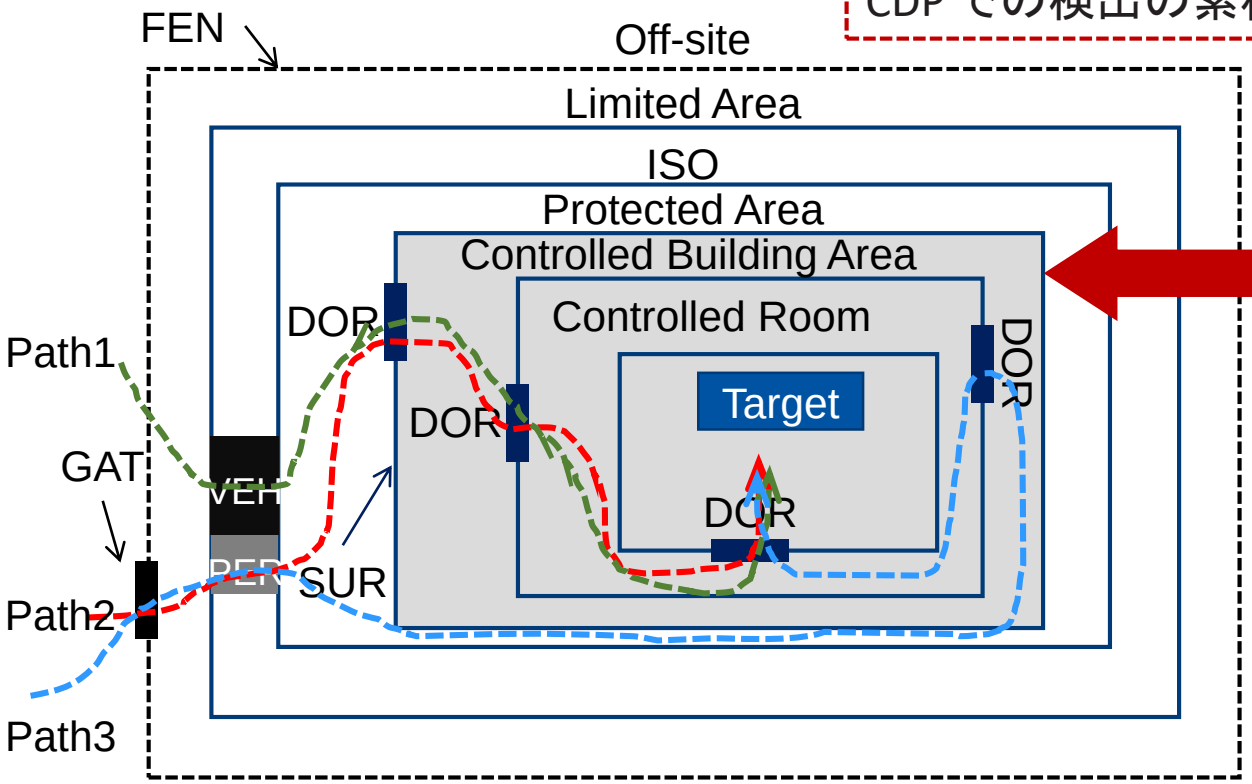
A. 中断の確率(P_I)

✓ クリティカル検出ポイントまでのパスに沿った検出の累積確率。

$$P_I = 1 - (1 - P_{D1}) \times (1 - P_{D1}) \times \ldots (1 - \boldsymbol{P_{DCDP}})$$

✓ where P_{Dj} is the probability of detection at the j^{th} opportunity

CDP での検出の累積確率



Path1: $P_I = 0.856$
Path2: $P_I = 0.806$
Path3: $P_I = 0.903$

02 PPSの有効性の分析

5 Effectiveness Analysis

B. 中断の確率(P_I)

✓ 単一の検出センサ(または他の検出手段)の場合、敵対行動シーケンスの中断の確率は、

$$P_I = P(R|A) \times P(D) \times P(C)$$

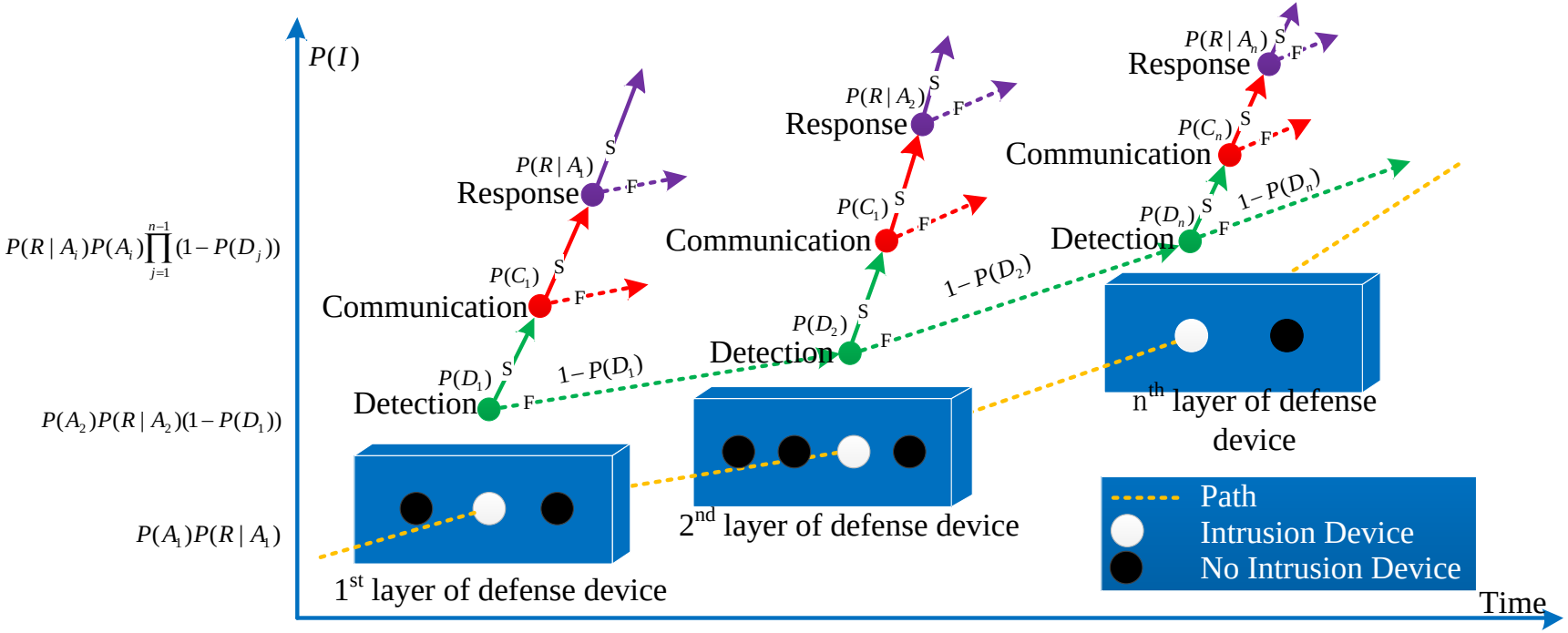
✓ $P(R|A)$=

アラームを与えられた敵の行動シーケンスの終了前に応答力が到着する確率。

$P(C)$ = 応答力への通信の確率。

02 PPSの有効性の分析

5 有効性分析



PPS信頼性解析の原理

複数のセンサーの場合、同様の推論に基づくP(I)の一般的な式は、

$$P_I = P(R|A_1) \times P(D_1) \times P(C_1) + \sum_{i=2}^{n} P(R|A_i) \times P(C_i) \times P(D_i) \prod_{i=1}^{i-1} (1 - P(D_i))$$

02 PPSの有効性の分析

5有効性分析

- 中和の確率(P_N)
  - ✓ 応答力が応答力によって敵の中断を与えられ、敵の完全な物理的制御を得る確率。

$$P_N = \frac{N_{win}}{N_{engagements}}$$

- 次のことを前提としています。

✓$N_{engagements}$は統計的に有意な数のエンゲージメントです。

- ✓ すべてのエンゲージメントの初期条件は同じです
- ✓ エンゲージメントごとに考えられる 2 つの結果: 勝つか以下

武器、鎧、熟練度、戦術、姿勢などに依存します。

02 PPSの有効性の分析

6ヒューリスティックパス検索アルゴリズム

- **EASI法が不十分**

✓EASI メソッドは、列挙法を使用して脆弱性の敵対パスを探しますが、侵入ノードのサイズが大きくなると、計算が大きくなり、ソリューションの速度が遅くなります。

- ヒューリスティック情報を考慮した場合、パス検索に A* アルゴリズムを使用しても、最も脆弱な侵入パスは求めかいません。ただし、非ヒューリスティック情報の場合、A* アルゴリズムは、詳細に説明されている最も脆弱な侵入パスを求めることができる Dijkstra アルゴリズムと同等になります。

- A* algorithm:

$$F(n) = G(n) + H(n)$$

✓ $G(n)$は、開始ノードからノードへのパスのコスト関数です (既知の関数、幅優先検索です)。

✓ $F(n)$は、n^th ノードからターゲット ノードまでの最も安価なパスのコストを見積もるヒューリスティックです (不明な関数、深度優先検索)。

アルゴリズムが実際の最短パスをすばやく見つけ出すには、ヒューリスティック関数 $\mathrm{H}(n)$より正確である必要があります。

02 PPSの有効性の分析

6 Heuristic Path-finding Algorithm

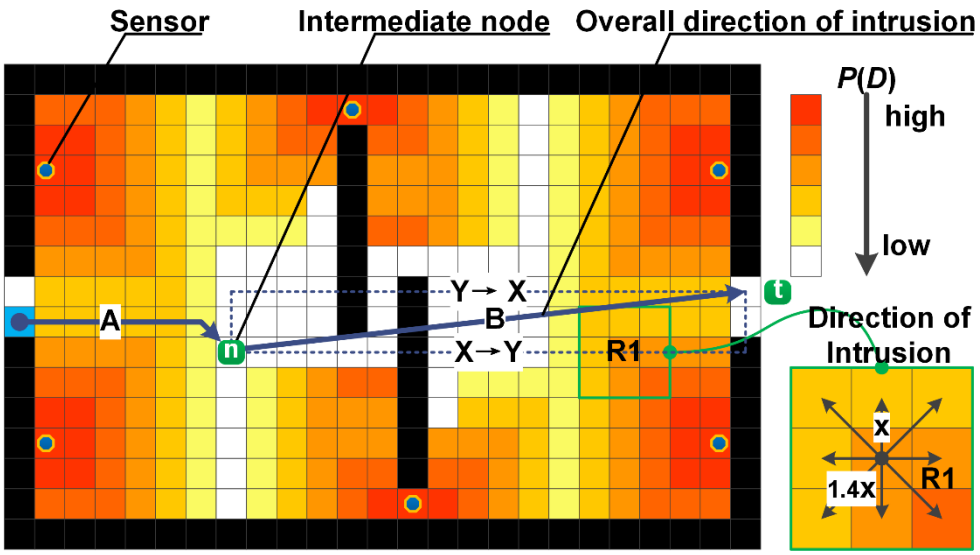
□ 検出の確率

✓センサーの検出確率は、敵対者の侵入経路が脆弱であるかどうかを推定する場合にのみ考慮されます。

$$P(D) = P(D)_G + P(D)_H$$

$$P(D)_G = P(D_1) + P(D_2) \times [1 - P(D_1)] + P(D_n) \times \prod_{i-1}^{n} [1 - P(D_{n-1})]$$

$$P(D)_H = h(p) \times \prod_{i-1}^{n} [1 - P(D_{n-1})]$$



グリッド生成、検出分布、移動方向のスケッチ マップ。

02 PPSの有効性の分析

6ヒューリスティックパス検索アルゴリズム

- 中断の確率

✓ EASIアプローチに基づいて、中断の確率はPPSの有効性の包括的な評価のために使用される。中断の確率が高いほど、PPSは原子力施設と材料をより効果的に保護します。

✓

$$P(I) = P(I)_G + P(I)_H$$

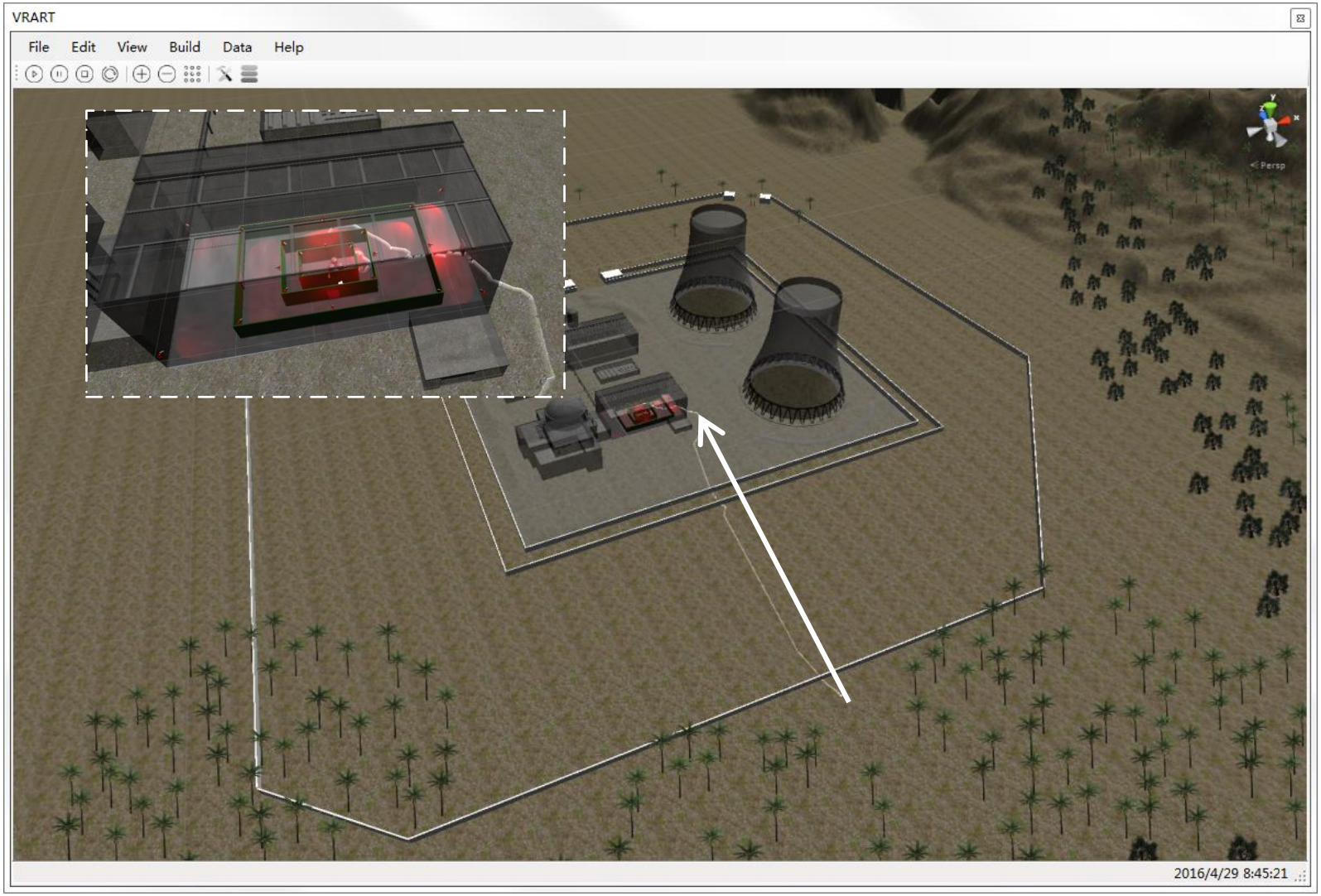
$$P(I)_G = P(R|A_1) \times P(D_1) \times P(C_1) + \sum_{i=2}^{m} P(R|A_i) \times P(C_i) \times P(D_i) \prod_{j=1}^{i-1} (1 - P(D_j))$$

$$P(I)_H = 0$$

- ヒューリスティック関数 H(n) と等しく、複数のパラメータを計算する必要があるため、それを記述する最適な関数を見つけるのは困難です。したがって$P(I)_H = 0.$

02 PPSの有効性の分析

6ヒューリスティックパス検索アルゴリズム



3D シーンでの侵入をシミュレートします。

PART THREE

シナリオ PPSの分析

03 PPSのシナリオ分析

1 シナリオ分析とは

□ シナリオ分析

✓いくつかの可能な敵対的シナリオを考慮して PPS の有効性を分析するための方法論。

□ シナリオ分析

✓パス分析の攻撃、防御、および結果をより詳細に分析できます。

・パス分析を使用すると、分析するシナリオを決定できます。

✓ 脆弱性の特定に重点を置く

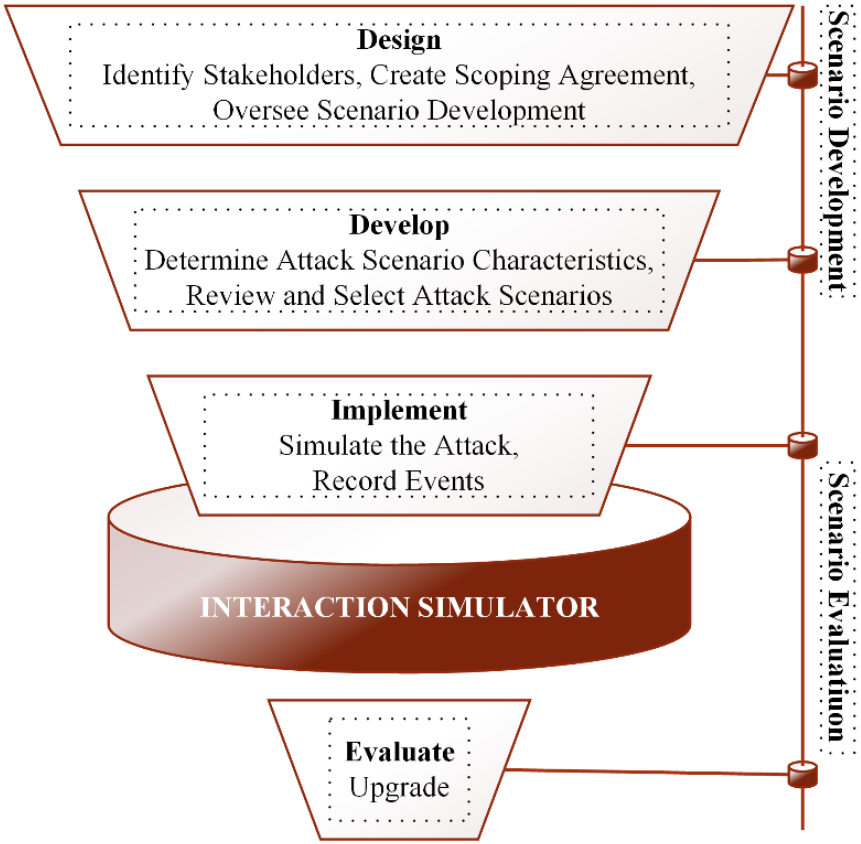
✓ 貢献する

- 全体的な PPS 設計
- 緊急時対応計画
- ポリシーと手順
- 機関間調整

03 PPSのシナリオ分析

2シナリオ分析シミュレータ

- 図は、設計、開発、実装、および評価の 4 つのステップを含むシナリオ分析プロセスの改善を示しています。シナリオ開発の段階では、セキュリティ リスク シミュレーターは、PPS の現在の状態を記述するためのナレッジ ベースを構築します。



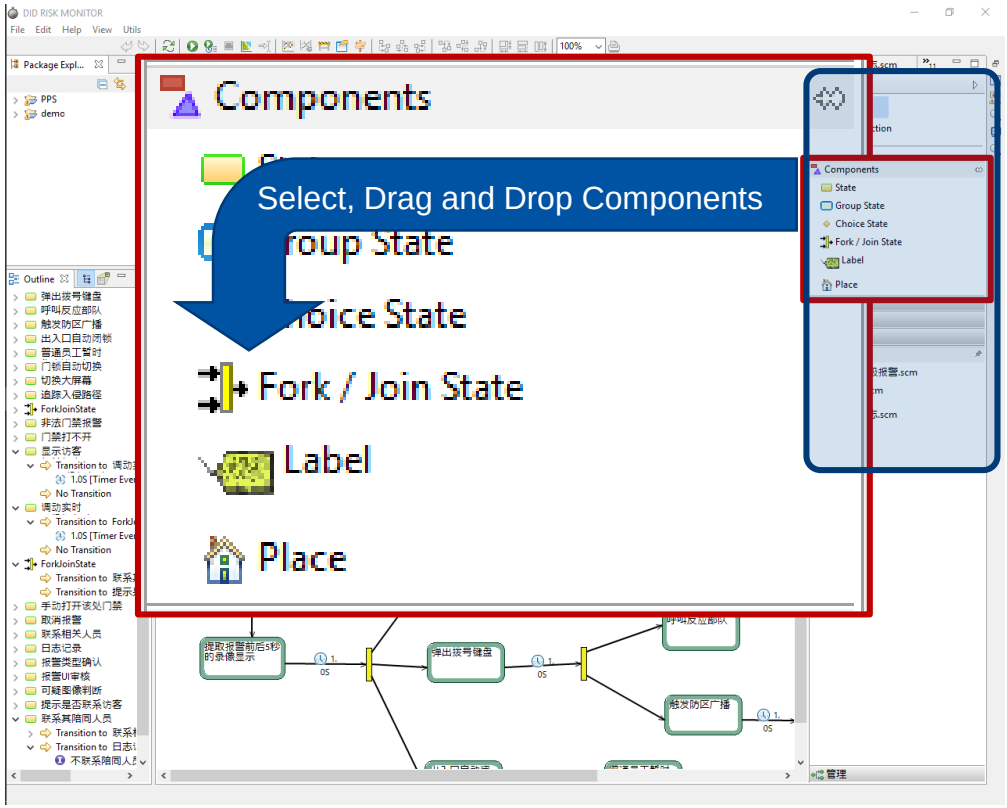
インタラクションシミュレータにおけるシナリオ解析のプロセス

03 PPSのシナリオ分析

3 DID リスク モニタ

吉川榮和教授の提案

SYMBOL	TERM	DEFINATION
	State	State represents the condition of an object at a particular point in time, including simple state, initial state, final state, composite State.
	Decision	Decision state accepts tokens on one or two incoming edges and selects one outgoing edge from one or more outgoing flows.
	Merge	Merge state brings together multiple incoming alternate flows to accept one outgoing flow.
	Fork	Fork state makes parallel processing states.
	Join	Join state synchronizes all input side parallel state and makes transition to one state.
	Transition	Transition is an arrow line connecting between states. Events and actions are hold in the transition line.

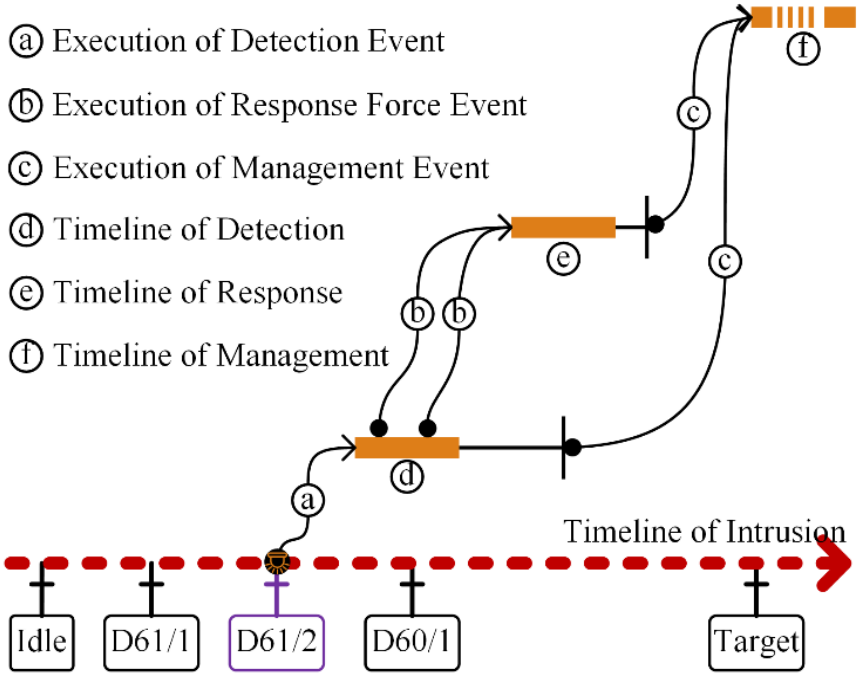


DID リスク モニタのスナップショット

03 PPSのシナリオ分析

4 ケーススタディ

- セキュリティ リスクのシミュレーション中に、各状態の所要時間がセキュリティ リスク シミュレーション プラットフォームで設定されます。内部の脅威を考慮する場合は、保護デバイスが故障したと仮定できます。
- たとえば、D61/2 でアラームが発生し、D60/1 要素が内部内部内部の内部内部の管轄区域である場合、または敵対者が容易に侵入できる場合、遅延時間はセキュリティ リスク シミュレーション プラットフォームで 0.0 に設定され、図に示すように内部の脅威モードをシミュレートします。

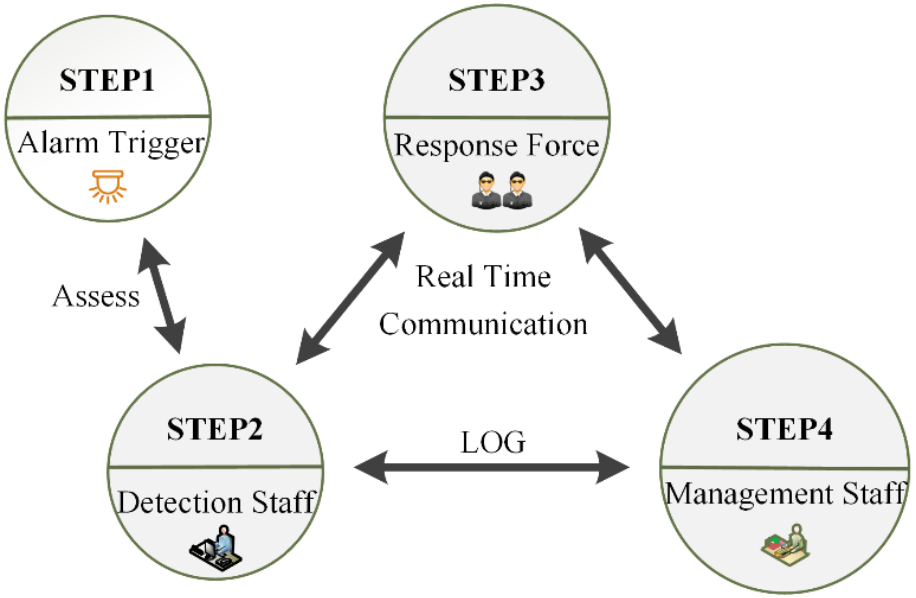


敵の侵入経路で敵が検出される領域

03 PPSのシナリオ分析

4ケーススタディ

- 図に示すように、PPSのシナリオ分析は、管理スタッフ、検知スタッフ、対応力を効果的にバンドルし、リアルタイムの協力、包括的な情報の相互作用、緊急時の対応を実現します。
- 工学では、原子力発電所は、人為的ミスによる侵入に対する防御の失敗の結果を減らすことができる3つの役割を監督し、管理するための統合管理プラットフォームを開発しています。

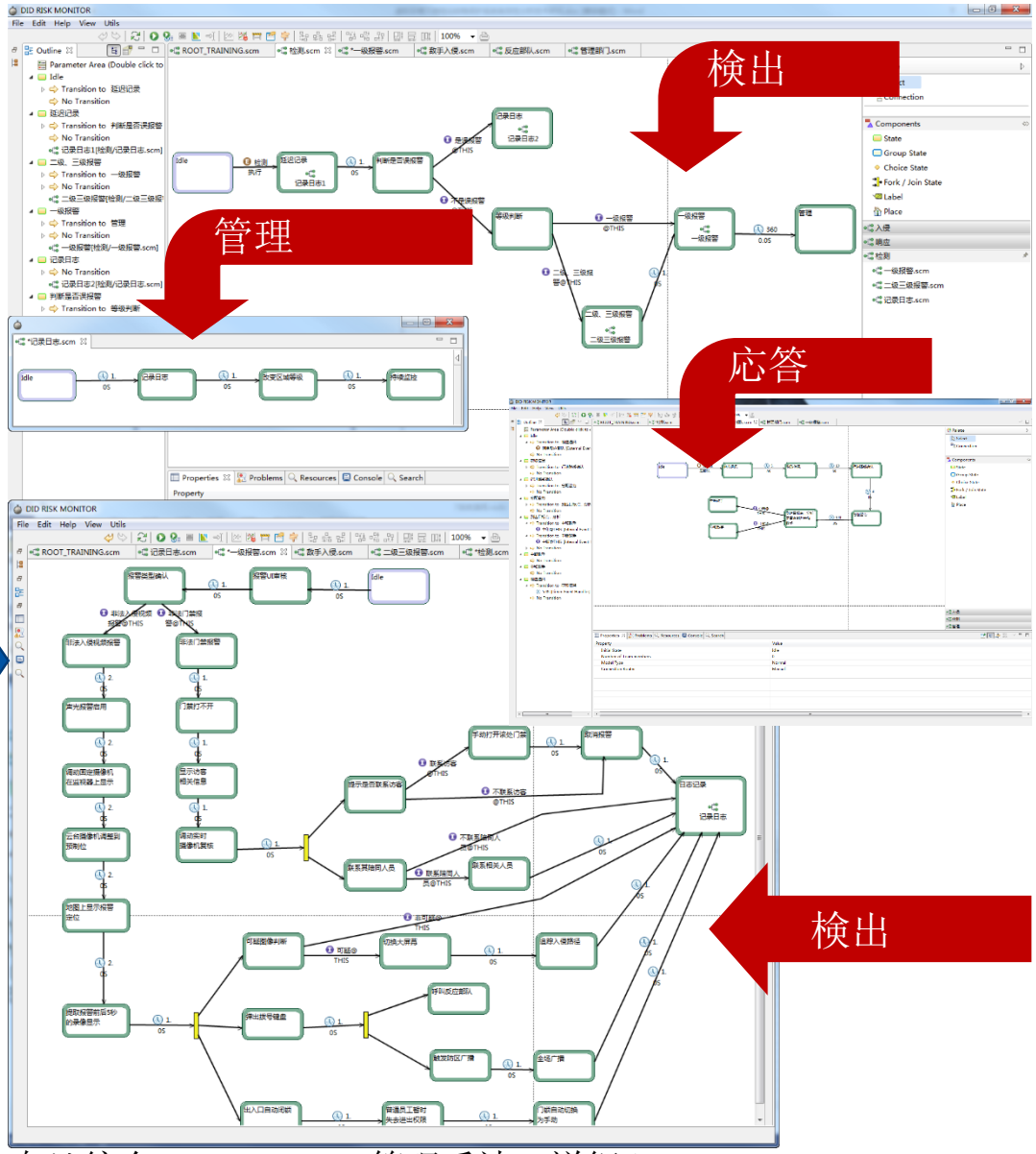


NPOにおけるセキュリティ管理方法

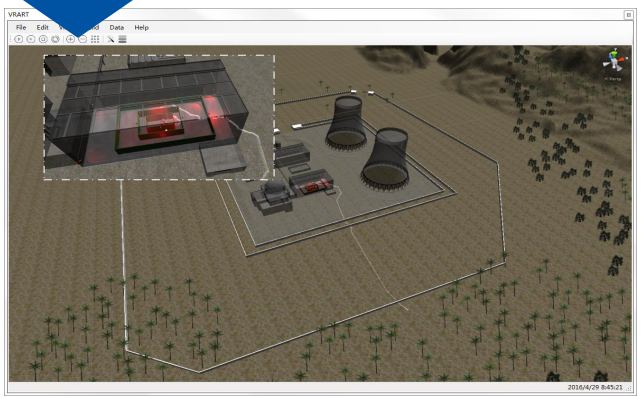
03 PPSのシナリオ分析

4 ケーススタディ

- 検出規則は、上海原子力工学研究所が提案したNPP包括的なセキュリティ管理特許に基づいています。



シナリオストレージ、データ交換



NPO向け統合セキュリティ管理手法の詳細なフローチャート.

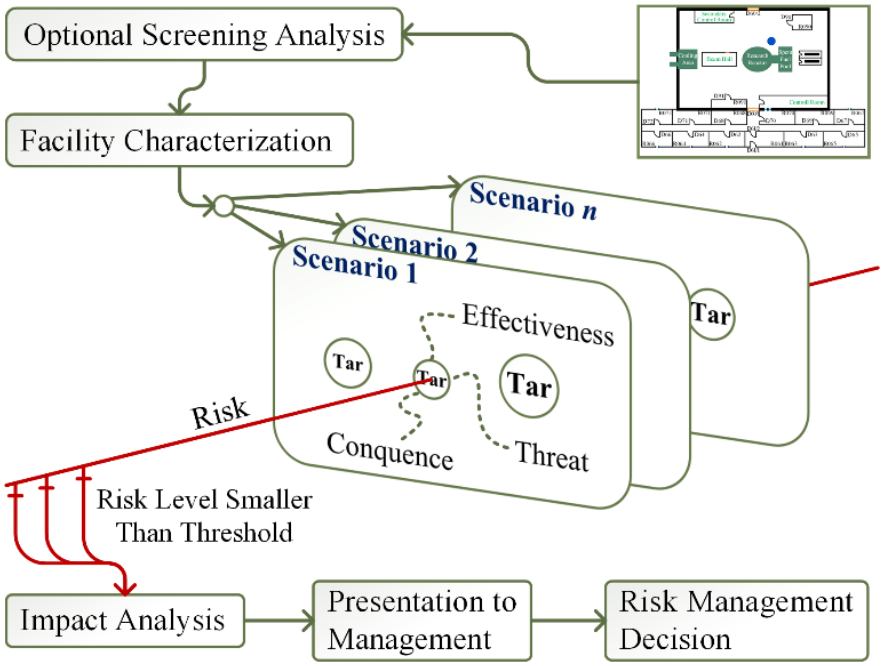
03 PPSのシナリオ分析

4ケーススタディ

- この手順には、オプションのスクリーニング分析、施設の特性評価、(脅威分析、結果分析、有効性分析)、影響分析、経営陣へのプレゼンテーション、およびリスク管理の決定が含まれます。サンディア研究所が提案する基本的なリスク方程式は、

$$R = p(A) \times [1 - P(E)] \times C$$

- この図は、異なる設計ベースの脅威に基づくシステム リスクの分析プロセスです。リスク評価の結果は、マネージャの分析を支援するために使用されます。



リスク評価プロセス.

PART FOUR

結論

結論

① PPSの解析と設計(IPAD)のための統合プラットフォームが提案されました。

② PPSにおける脆弱な侵入経路の評価のために、新しいヒューリスティック経路発見法が提案された。

③ DID リスク・モニターは、PPS のシナリオ分析に使用されます。インタラクションシミュレータは、PPSのすべての離散サブシステムを統合し、侵入検知/応答中断の相互変調チェーンを形成します。敵対侵入戦略と防衛戦略は、インタラクションシミュレータのナレッジベースとみなされます。

OKAYAMA
UNIVERSITY

THANK U

ありがとうございます