# 防災技術開発の取組み
## － DMP，kAmI，*Xercyber*®，避難シミュレーション，CAS －

Development of Disaster Prevention Technologies
DMP, kAmI, *Xercyber*®, Simulator for Multi Movement Means Evacuation, CAS

【DMP/kAmI/ *Xercyber*®】
三菱重工業株式会社
ICT ソリューション本部
電気計装技術部
ヒューマンシステム設計課
【避難シミュレーション/CAS】
三菱重工業株式会社
原子力技術部
新機軸推進グループ

福島第一原子力発電所事故以降，原子力発電プラントの安全対策工事が進められている。一方で，原子力災害発生時の意思決定や住民避難，将来予測されるサイバーテロ対策等の防災に関わる支援システムの技術が注目されている。

本報では，1. 緊急の事態での意思決定を支援するシステム DMP，kAmI，2. サイバー攻撃対応演習サービス *Xercyber*®，3. 原子力災害時の避難シミュレーション，4. 避難者の内部被ばく低減のためのクリーンエアシェルター®（CAS：Clean Air Shelter）を紹介する。

## 1. 意思決定支援システム：Decision Make supporting Panel（DMP）

災害発生時やトラブル発生時等の緊急時対応では，緊急時の全ての進展パターンを網羅した要領を準備しておくことは現実的には困難である。また，対応方針の意思決定は人間が行うが，意思決定する際の情報収集，思考，判断は個人の能力に委ねられる面が大きい。災害対応時には多数の人間が関わるため，正確な情報を迅速に収集し共有することが重要となる。

DMP は，このような状況において対応要員が正確な情報収集を迅速に行い，指揮者が将来の予測を踏まえた戦略的な意思決定を行えるようにデジタル技術を活用して支援する。DMP による意思決定支援のイメージを図1に，DMP の特徴を①～④に示す。

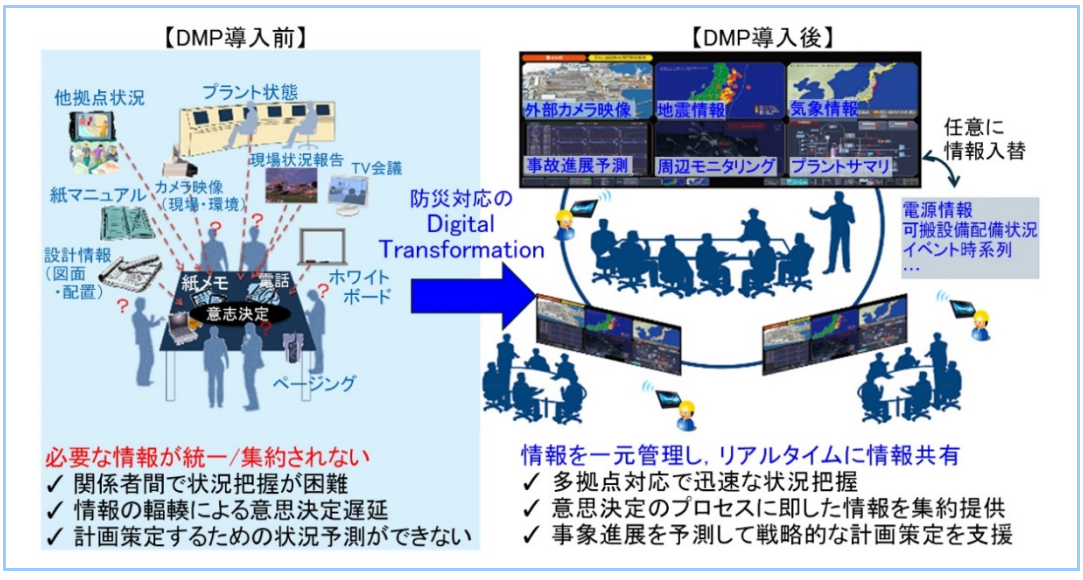


**図1 デジタル技術を活用した迅速・確実な意思決定支援**

① 緊急時の対応力を高めるコンテンツを提供

DMP では，緊急時対応業務を人間工学(行動観察やタスク分析等)技術を活用して分析

することで，真に必要な機能をアプリケーション化している。これらのアプリケーションは原子力発電プラントの中央制御設備で培った人間とシステムのインタフェース設計技術を活用し，直感的に認知・操作できるユーザフレンドリーなユーザインタフェースとなっている。また，DMP は複数のアプリケーションの組み合わせで構成されており，最も効果の高い1つのアプリケーションからの導入（スモールスタート）が可能となっており，導入後に運用しながらアプリケーションの追加をしていくことができる。

② 状況変化に追従してリアルタイムに情報共有

情報を一元管理し，ネットワーク接続により多拠点間で同じ情報をリアルタイムで共有できる。また，既に導入済みであるさまざまな防災用システムとのデータ連携が可能であるため，既存のシステムの効果をより高めることができる。

③ 将来予測により戦略的な意思決定を支援

デジタルツイン技術や AI 技術を活用して，人が認識するよりも早く兆候を捉えたり，対応案を実施した際の将来シミュレーションを行うことで“どの対応策を選択するべきか”を判断できる指標を示し，指揮者の戦略的な意思決定を支援する。

④ 手書き情報（アナログ情報）の共有化の改善

現場の様子を動画で撮影し入力，GPS などの位置情報を自動取得，報告をテキスト化する音声入力など，最新のデジタル技術を活用することでユーザがシステムへ入力する負担を低減している。しかし，急激なデジタライゼーションは現場の運用変化が大きいため混乱を引き起こす可能性もある。そのため，DMP は現場の運用を変更せずにデジタル化する入力システム“kAmI（カミ：紙のローマ字表記中にAIの文字が含まれることから命名）”を備えている。

災害対策本部などでは，白地図やホワイトボード等に手書きで情報を書き込む運用がされている。これは，その場にいる関係者にとっては容易に情報共有できる手法であるものの，離れた場所にいる関係者にとっては情報共有に困難な手法となっている。kAmI は，白地図やホワイトボードを定期的に撮影し，AI 技術を活用し，その差分から更新された情報を抽出することで，手書き情報（アナログ情報）の共有を実現するシステムである。kAmI におけるデータの流れを図2に示す。

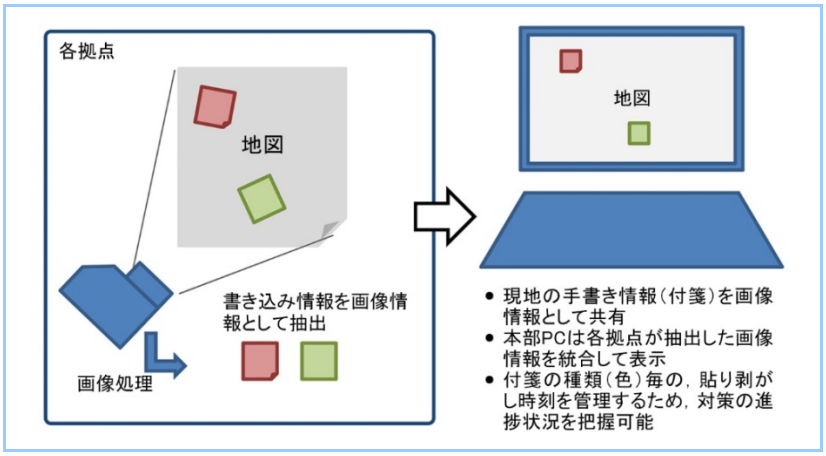


図2 kAmI におけるデータの流れ

## 2. サイバー攻撃対応演習サービス：*Xercyber*®

情報システムのみならず，産業システムへのサイバー攻撃事例の増加に伴い，特に，広範囲のインパクトが懸念される重要インフラへのサイバーセキュリティ(CS：Cyber Security）対策が急務であり，その継続的対応が必要である。CS 対策は，既に広く開始されている各種セキュリティ評価/ツール適用等だけでなく，組織全体で取り組む必要があり，それに資する人・組織のリテラシー

向上，文化醸成が重要である。

当社では，原子力発電プラントの各種セキュリティ評価/ツール適用等の推進と並行し，万一の対策として，人・組織のリテラシー向上/文化醸成を目的とした，サイバー攻撃対応演習：*Xercyber*®（エクササイバー。eXercise（エクササイズ）と cyber（サイバー）を組合せ命名）を開発し，2019 年初頭よりお客様向け演習サービスとしてリリース済みである。

*Xercyber*®は，参加型グループワーク主体の演習であり，その演習効果を高めるために，Familiarity(親しみ易い)，Reality(実態に即した)，Portability(場所を選ばない)を考慮した構成が特徴となっている。受講者レベルに合わせ2つのコンテンツを用意しており，既に初級教育は多数受講頂き好評を得ている。また，上級教育は多くの実施ニーズを頂いている。以下に各コンテンツの特徴を，図3及び図4に演習イメージを示す。

① 初級演習（Gamification 演習） … 広く関係者のセキュリティ意識/リテラシーを向上

- 原子力発電プラントをモデルとしたグループ対抗戦形式
- ゲームボード・カード・クラウド型ソフトを用いた構成
- オフィス・サイト会議室にて受講可能

**図3 初級演習イメージ**

② 上級演習（Simulator 演習） … 運転/保修員等の現場最前線の対応能力を向上

- PWR（加圧水型軽水炉：Pressurized Water Reactor）運転訓練 Simulator を活用した連携演習
- 実設備・安全機能に即した演習シナリオ
- 訓練センター・訓練室にて受講可能

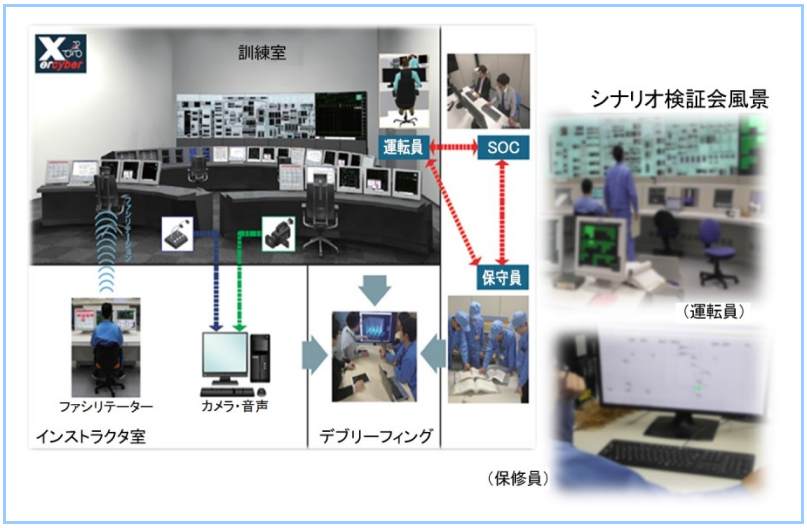


**図4 上級演習イメージ**

重要インフラに対するサイバー攻撃のリスクも増大傾向かつ日々巧妙化する状況にあり，原子力発電プラントの設計・保守等における当社知見/ノウハウを活用した *Xercyber*®が，万一のサイバーインシデントに適切に対処できる人・組織の防災意識向上／安全文化醸成の一助となることを期待する。

## 3. 避難シミュレーション

原子力災害は，発災地点が事前に特定できる，対策規模を講ずべき範囲が広い（国は原子力防災に掛かる体制を強化すべき範囲を，原子力発電プラントを中心とした概ね 30 kmの範囲としている）など，他の災害と異なる特性を持つ。このため，原子力防災では，事前に避難シミュレーションを行うことで，避難に関連する課題を抽出して対策を講じ，防災訓練によりその効果を確認することが重要となる。しかし，原子力発電プラントを中心とした 30 kmの範囲には都市部も含まれていることが多く，避難対象人口が約 100 万人に及ぶこともある。さらに，災害時の状況を事前にピンポイントで予測することは困難であることから，幾つもの災害想定に基づくシミュレーションが必要となる。

このため，シミュレーションプログラムには，大規模計算（半径数十kmの範囲を移動する 100 万人の避難行動の模擬）を，高速に解くことが求められる。この課題に対し，当社では，核融合で培ったシミュレーション技術をベースに，独自プログラムを開発している。

核融合プラズマのシミュレーションに用いられる PIC 法（Particle-In-Cell）では，プラズマ流体を数万から数百万の粒子に代表させ，その挙動を模擬している。本手法は，粒子間の相互作用なども扱うため，計算量は莫大となり，高速化のための処理が多く用いられている。避難シミュレーションの開発では，荷電粒子の挙動を避難車両に置き換えることで，プラズマ解析プログラムの多くを避難シミュレーションに適用し，ネットワークポテンシャル法を短期間で開発した。この手法を適用することで，避難指示の範囲 31 km，対象人口 97 万人を対象とした避難シミュレーション（避難時間 48 時間）を 10 分程度で解析可能とした。図5にネットワークポテンシャル法の考え方について示す。この手法では，ハザード付近を高電位，避難所等を低電位，ポテンシャルがネットワークを伝播するものと仮定し，ポアソン方程式を解くことで避難経路上の電位を算出する。これに対し，避難者行動を高電位から低電位への移動と仮定することで模擬する。

この技術を用いることで，これまでに，5か所の原子力発電プラントを対象としたシミュレーションを受託し，これらの地点の避難計画整備に貢献している。

近年は，関連技術として，避難体制を構築するために必要な要員数の見積もり，関係機関の行動スケジュールを推定するためのシミュレーションプログラムを開発し，避難計画の実効性向上にも寄与している。

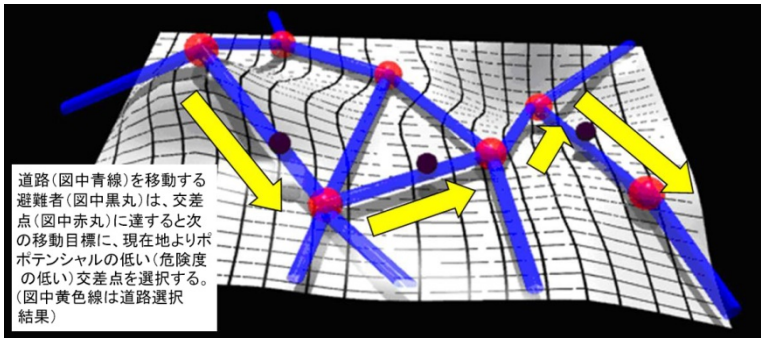


**図5 ネットワークポテンシャル法の考え方**

## 4. クリーンエアシェルター®：CAS シリーズ

原子力災害で屋内退避が求められる緊急時の避難所として使用が予定されている体育館，公民館等には，気密化対策の一つとして，迅速に設営可能で，避難者の内部被ばくの抑制が可能

なエアシェルターが予め配備されることがある。送風機と HEPA(High Efficiency Particulate Air Filter)フィルタ及び放射性ヨウ素除去フィルタを持つ空気浄化ユニットとテントで構成するクリーンエアシェルター®(CAS)は，高性能なフィルタの捕集効率に加え，空気浄化ユニットで浄化された空気でエアシェルター内を陽圧化することで，放射性物質がエアシェルター内に進入するのを防ぐことができる。既に，国内 22 施設に計 61 基(2020 年 4 月 1 日現在)を設置しており，その空気浄化性能は，HEPA フィルタによるセシウム等の粒子状の放射性物質の捕集効率 99.97%以上(粒子径 0.15μm)である。放射性ヨウ素除去フィルタ(活性炭素繊維フィルタ)による放射性ヨウ素の捕集効率は 99.99%以上であり，避難者を被ばくから守ることができる。以下，図6に CAS の主な特徴を示す。

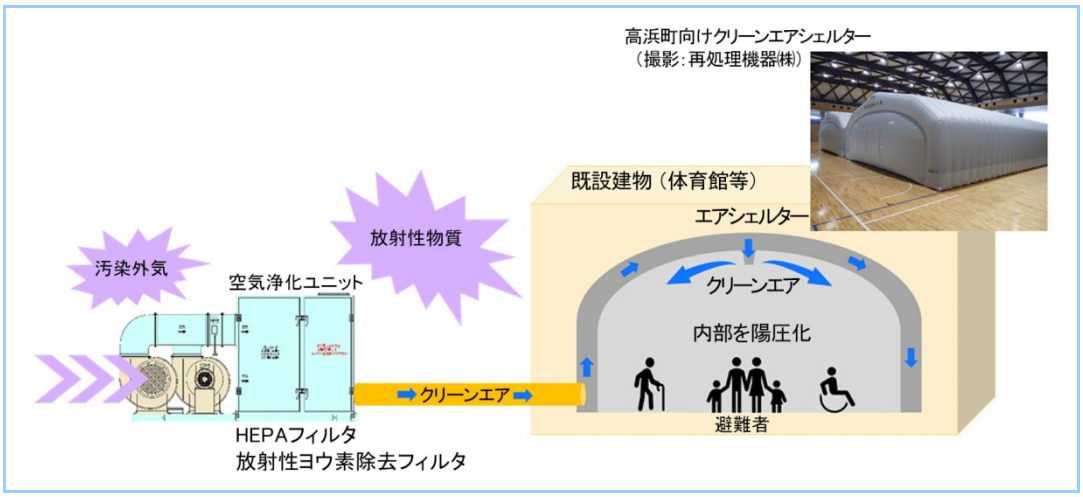


図6 CAS の特徴

CAS は予め避難施設を定め，そこに必要な資機材を設置することを前提としているが，地震等の自然災害が発生している場合，予めシェルターを設置した体育館等が，建物の破損や，土砂崩れによる道路被害などで使用できないことも考えられる。一方，避難所として使用可能な全ての施設に CAS を配備しておくことも困難である。そこで，当社では予め設置場所を定めない移動式クリーンエアシェルター(M-CAS:エムキャス。Movable CAS)を，CAS をベースに開発した。M-CAS は，平時には，軽量で高強度なポリエステル素材を使用しコンパクトに収納が可能なエアシェルターや空気浄化ユニット等の資機材を備蓄拠点にて保管し，緊急時には，ユニット化された資機材を4トントラックで施設に迅速に輸送し設置することができる。図7に運用イメージを示す。

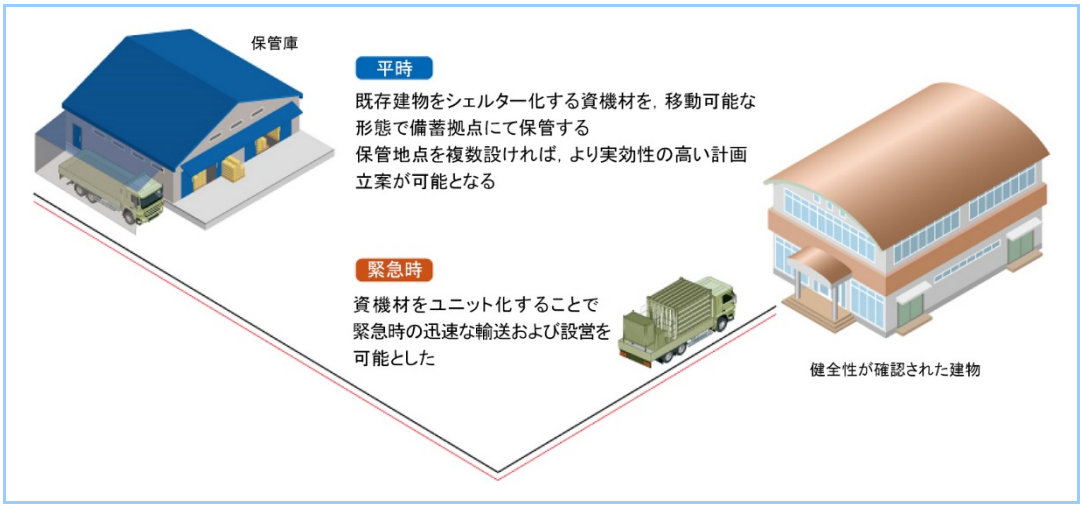


図7 M-CAS の運用イメージ

さらに，当社では，CAS の技術を応用して新型コロナウィルス感染症等の対策に使用可能な医療用クリーンエアシェルター（Me-CAS：エムイーキャス。Medical CAS）も開発した。Me-CAS は，内部を陰圧に保ち，医療用フィルタを備えた排気装置の作用により，シェルター内部からのウィルス等の流出を防止する。（米国疾病予防管理センター（CDC：Centers for Disease Control and Prevention）の医療用隔離施設に対する施設基準を満足。）図8に Me-CAS の外観・平面図を，表1に仕様を示す。

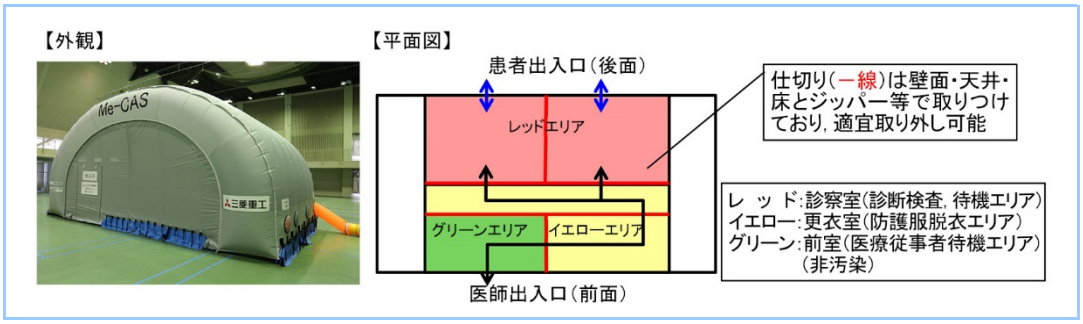


図8 Me-CAS 外観・平面図

表1 Me-CAS 仕様

| 項目 | 仕様 |
|---|---|
| テント | 外寸）幅 8 400 ㎜×奥行 4 380 ㎜×高さ 3 900 ㎜<br>内寸）幅 6 000 ㎜×奥行 4 380 ㎜×高さ 3 000 ㎜<br>設置場所）屋外<br>動線分離）医療従事者の出入口，患者の出入口を分離 |
| HEPA 付排風機 | 風量）8.5m³/分以上<br>フィルタ）感染症対策用 HEPA フィルタ<br>電源）AC100V，50/60Hz |
| 換気回数 | 全居室 6回/H 以上（診察室の換気回数は 12 回以上） |
| 運転圧力 | －3Pa |

## 5. 今後の展開

当社では，プラントメーカとして，今後も原子力のみならず，多様な自然災害や事故時を想定し，災害時でのハード面/ソフト面での支援を強化していく。

*Xercyber*®は日本における三菱重工業（株）の，クリーンエアシェルター®は日本における再処理機器（株）（当社グループ会社）及び帝人フロンティア（株）の登録商標です。