

先進的仮想化ネットワーク連携検証実験の取組

平山 孝弘

NICT ネットワークアーキテクチャ研究室

本発表の概要

ネットワークアーキテクチャ研究室では、人工知能(AI)を用いたネットワークサービス構築・リソース管理の自動制御の実現に向けた研究を進めている。本発表では、KDDI/NEC/日立/沖電気らと共同で実施した総務省委託研究(H30-R2およびR3年度)、並びにR4年度以降KDDI/NECらと共同で実施している共同研究での、テストベッド利用事例について紹介する。

- プロジェクト沿革

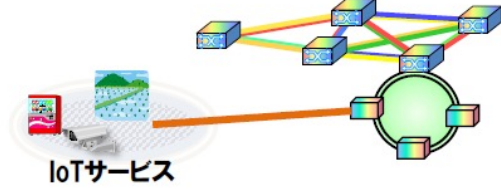
- H30-R2年度: 総務省委託研究「革新的AIネットワーク統合基盤技術の研究開発」
 - KDDI, NICT, 日立、NEC, 沖電気の5社で受託。JOSEを利用した実証実験を実施。
- R3年度: 総務省委託研究「先進的AIネットワークの基盤技術の研究開発」
 - KDDI, NEC, NICTの3社で実施。
- R4年度～: KDDI/NEC/NICTの共同研究
 - R3年度委託研究の成果をベースに、B5G高信頼仮想化テストベッド等を用いて共同実験を実施中。

**総務省委託研究「革新的AIネットワーク統合基盤技術の研究開発」でのTB利用事例
(~R2)**

背景: 5G/B5G時代のスライシング

<IoTサービス>

あらゆるモノがインターネットにつながることで、新たな付加価値をもたらすサービス。

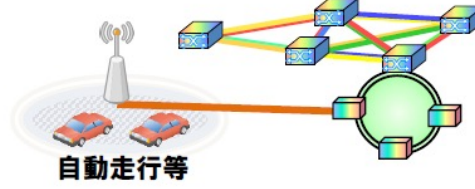


ユースケースの例

- 農業、インフラ管理(現在のモバイル網の通信エリア外での通信も含む。) 等
- 要求条件: 柔軟化・高弾力化、高効率データ流通、安全・信頼性

<超リアルタイムサービス>

自動走行等の高いリアルタイム性を必要とするサービス。

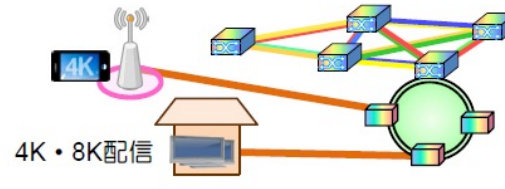


ユースケースの例

- 市街地での自動走行(都市部/郊外地域) 等
- 要求条件: 超低遅延、安全・信頼性、大容量(アクセス)、省電力化、柔軟化・高弾力化、高効率データ流通

<高精細映像配信サービス>

4K・8K等の高精細な映像を、ネットワークを介して高品質で配信するサービス。



ユースケースの例

- 一般宅内でのコンテンツ同時視聴・VoD配信
- 屋外・移動中の視聴者へのコンテンツ配信 等
- 要求条件: 大容量(コア・アクセス)、省電力化、柔軟化・高弾力化、高効率データ流通、安全・信頼性

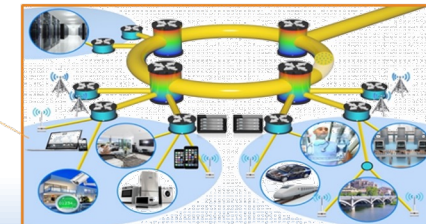
※ 総務省 将来のネットワークインフラに関する研究会資料 (2017.5.26) より抜粋

多種多様な QoS 要求



ネットワーク仮想化技術

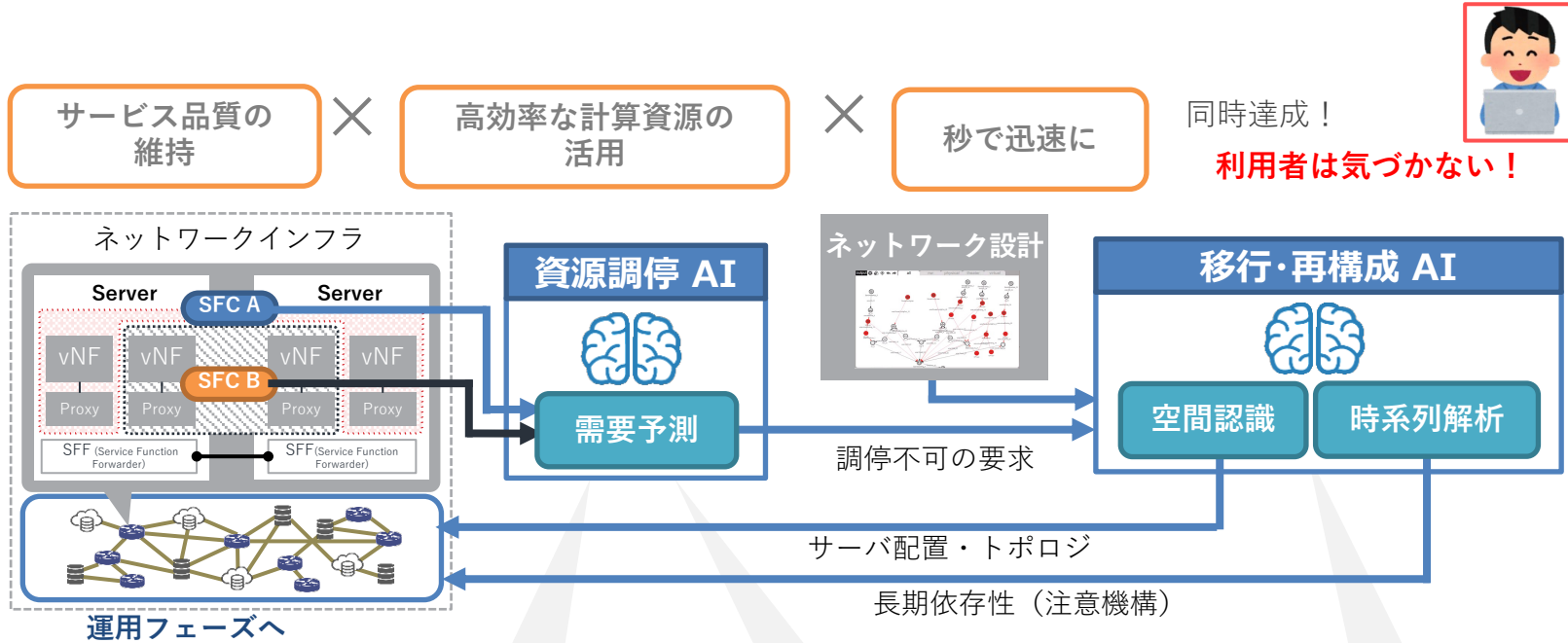
QoS要求を満たす仮想ネットワークを、同じ物理基盤上で論理的に構築



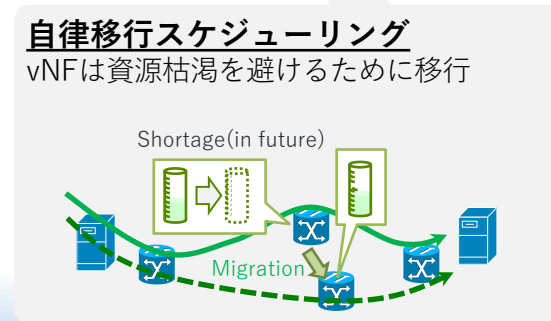
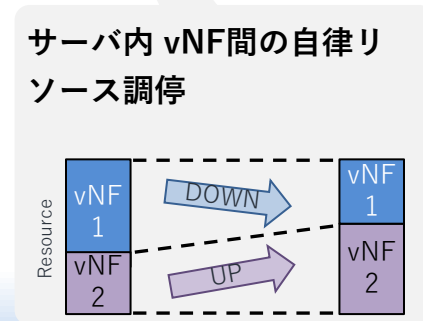
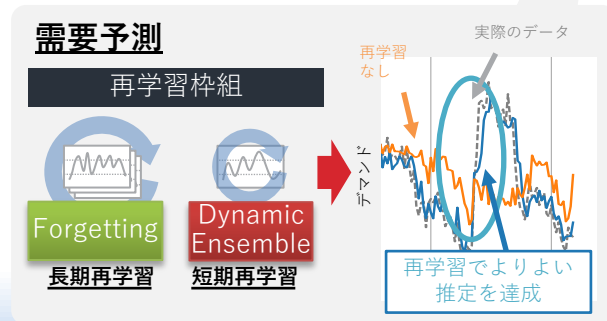
物理ネットワーク

課題I NICT担当パート：AIを用いたネットワーク資源管理制御

- ネットワーク内に分散配置された複数の仮想マシン(VNF)が連携し、一つのサービスを形成する(サービス機能チェーン, SFC)を対象にVNFのリソース要求量の予測、VNF資源調停、VNFの移行スケジューリング機能という三つの機能を司るAIを研究開発

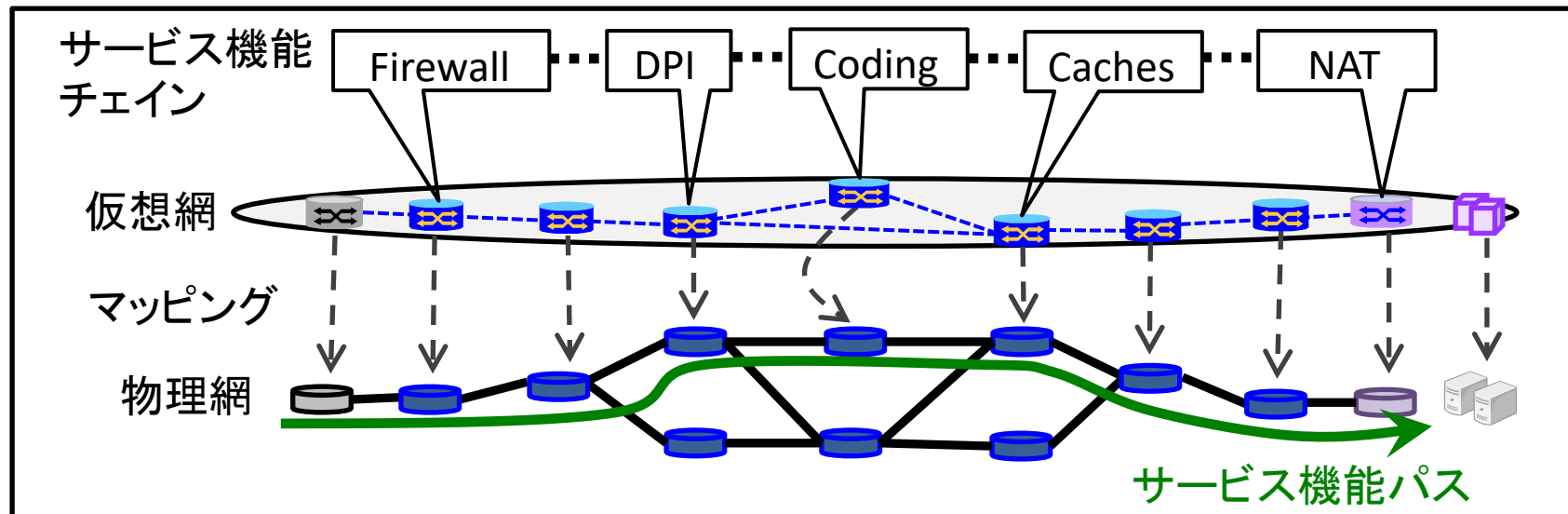


同時達成！
利用者は気づかない！



用語説明 ～ SFC ～

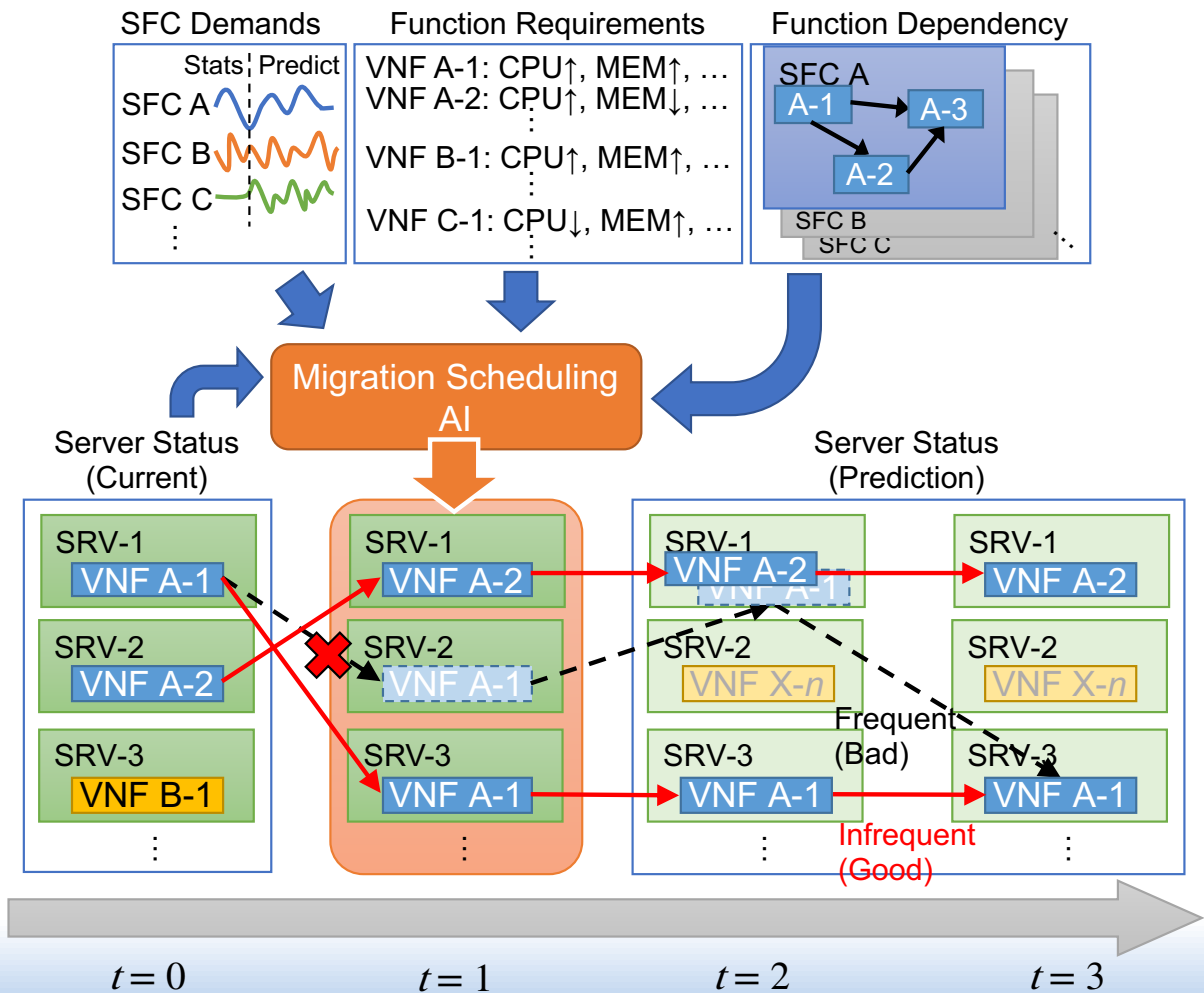
- Network Function Virtualization (NFV) :
 - 複数のネットワーク機能(NFs)を汎用サーバからなる基盤上でソフトで実装
- Service Function Chaining (SFC) :
 - 必要な複数のNFsを分散配置し、特定の経路に沿って転送されるパケットに対して適切な順番でネットワーク内処理を施すための仮想的なサービス機能チェーンを構築
 - NFsを柔軟に分散配置でき、エンドユーザ毎に適時適切なサービスを迅速に提供可能
 - 参考： IETF RFC 7665 / RFC 8300, ETSI GS NFV-EVE 005 V1.1.1



* 資源:コンピュータ資源(CPU、メモリ、ストレージ容量、ソフトウェア基盤)

AIによるNF移行スケジューリング

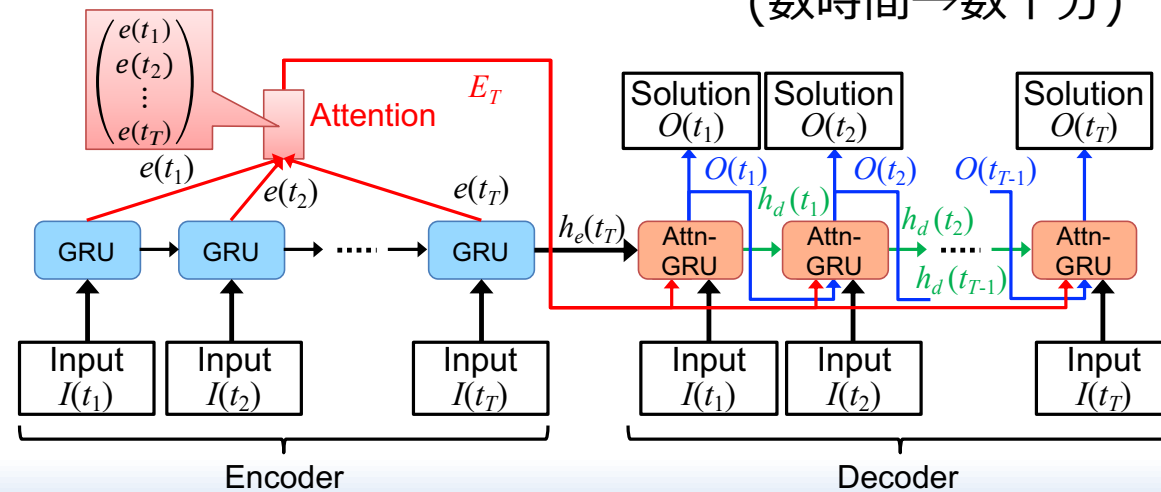
- サーバの資源量、SFチェーンの需要変動、VNFのリソース要求量などを参照して、VNFの移行先 & 移行時期をすばやく(数秒程度で)決定
 - 数ステップ先を見据えて、同じNFの移行が頻繁に起きないように配慮



時系列変動分析に有効なEDRNN (Encoder-Decoder Recurrent Neural Network) を適用:

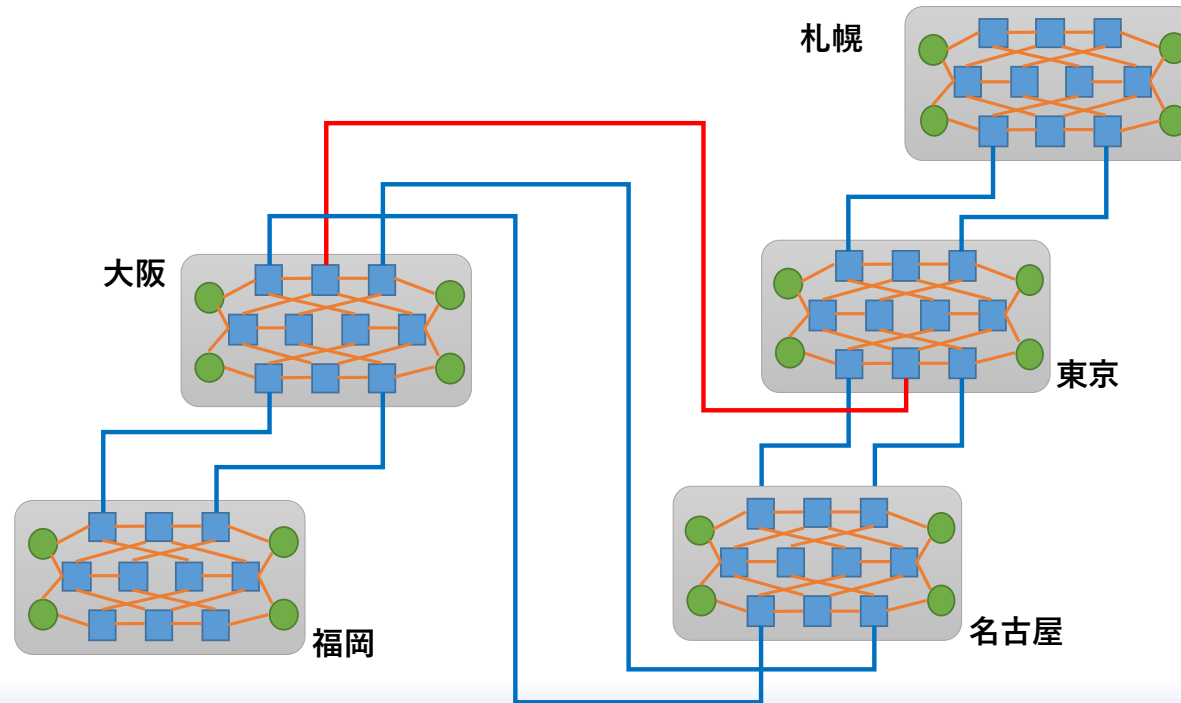
- 環境再構築に通じる影響度の高い変動箇所を抽出し、VNFの移行タイミングと移行先を自動決定
- VNF再配置と計算資源不足の発生頻度の最小化 および**秒単位**でのVNF移行先決定を同時に実現
- DNNと比較して学習時間を大幅に低減

(数時間→数十分)



テストベッドを利用した実証実験 (1)

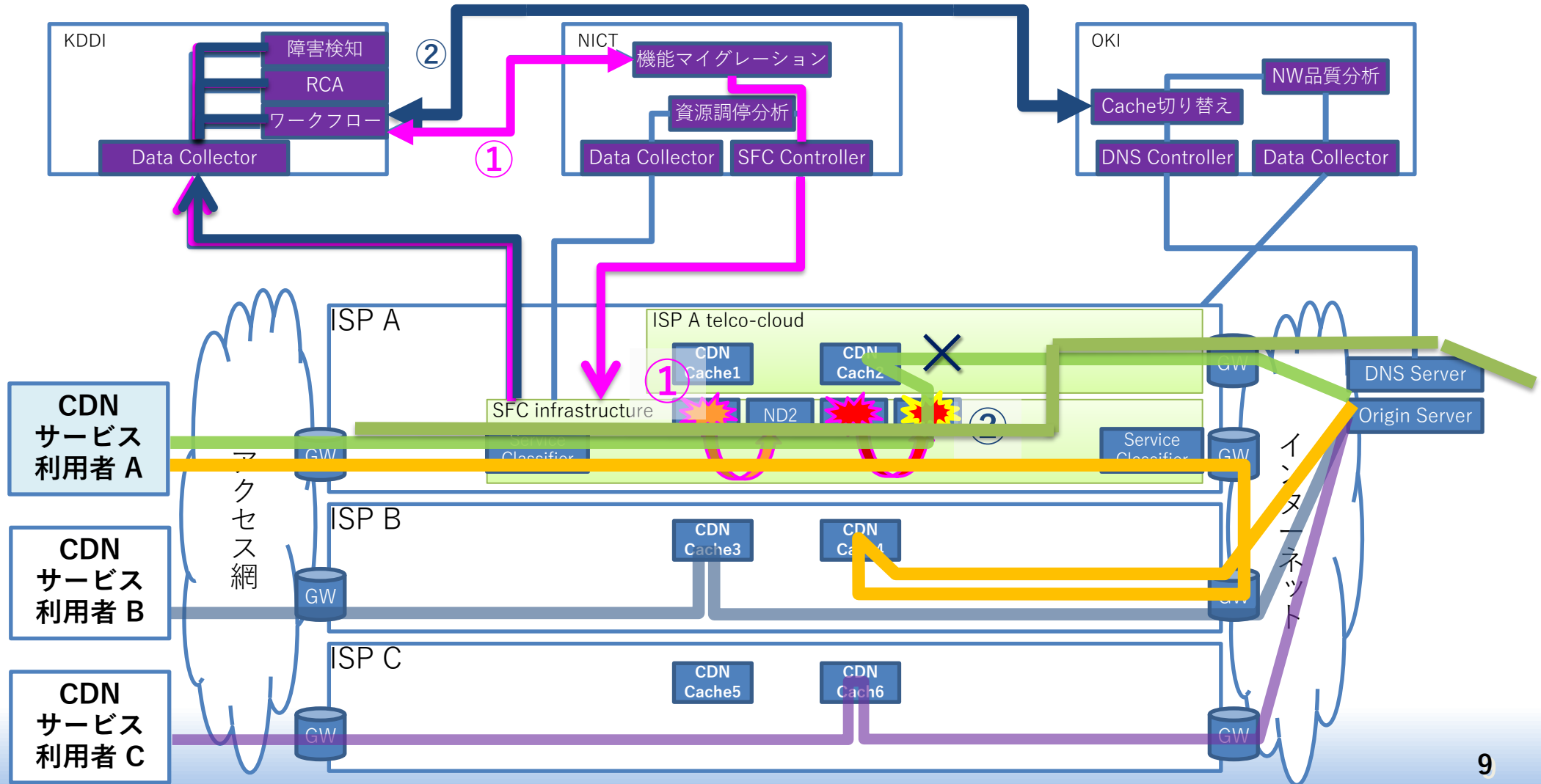
- NICT単体でのSFC性能評価
 - アーキテクチャ研究室で作成したSFC検証ソフトウェアをもとに、PoC構築
 - SFCの実装はIETF RFC 7665/8300に準拠
 - アーキ研、JOSE合わせて50基のサーバ(青■)を用い、五大都市に見立てた仮想ネットワークを構築。VM100台を用いたSFCの構築、およびデータ疎通試験を実施。
 - 注: ドメインの地名は仮のもので、とサーバの実際のロケーションには関連なし
 - エンドホスト(緑●)間のスループットをiperf3で計測し、ほぼ常時100Mbps以上を維持できることを確認



テストベッドを利用した実証実験 (2)

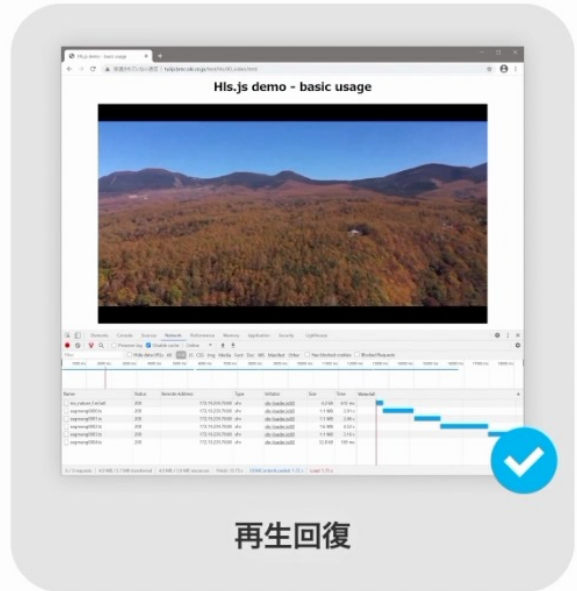
KDDI, NICT, OKI 3者で実施

- ① KDDI AIが障害を検知し、NICT AIにマイグレーションを指示。(ISP A内でマイグレーション)
- ② マイグレーション先で障害が発生し、OKI AIのキャッシュ制御機能によりISP Bへ迂回



テストベッドを利用した実証実験 (2)

アプリケーション動的制御



ユーザー視聴画面及びネットワーク監視画面

SFC基盤マイグレーション実行

2021年2月、KDDI、沖電気、NICTの3社によるネットワーク制御実験で、この「移行・再構成AI」が、動画サービスの品質維持に有効である事を実証しました。

※この動画は、IEICE総合大会(2021年3月)で発表したKDDI/NICT/OKIの連携検証動画より抜粋したものです。

**総務省委託研究「先進的AIネットワークの基盤技術の研究開発」でのTB利用事例
(R3~)**

総務省委託研究「先進的仮想化NW基盤技術の研究開発」

- サービスの形態は、VM(VNF) から **コンテナ(CNF)ベースへ(クラウドネイティブ化)**
- 機能の細分化により柔軟性・効率性の向上が見込まれるが、管理制御はより複雑化

➡ **CNF基盤技術をAI技術で機能拡張することにより、柔軟性・拡張性が高く、シームレスな設計、制御、監視環境が提供できるため、各種DXサービスの推進に貢献する。**

現在の課題 ※R3年

- テレワークによる在宅トラフィック増加
- コロナ禍での中小企業のDX推進
- 高信頼なネットワークのニーズ増大



NEC

サービス毎の要求条件

設計

超高速化ICTシステム設計技術

- 利用者利便性の向上のための分単位でのサービス再設計技術を確立
- 人手だけではできない膨大な数の要件・設計パターン（案件毎に10万種以上）を整備し、幅広い要件に柔軟に対応するシステム設計機能を確立

設計情報

制御

基盤計算機リソースの動的かつ最適制御技術

- コンテナとVMの双方の特徴を活かしたアプリケーションの品質劣化抑制技術の確立
- 通信ネットワーク基盤を構築し、アプリケーションのノード移行を含む基盤再構成を分単位で実現



リソース調整・構成変更

DX

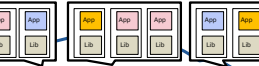
- Webサービス
- 映像配信

マイクロサービス

5G/MEC/クラウド

クラウドネイティブ化による先進的仮想化ネットワーク

障害予兆



KDDI

構成情報・性能ログ

監視

障害事前予測技術

- コンテナ基盤から運用自動化に必要な指標の網羅的な収集技術の確立
- 障害予兆発生時の3分以内に障害事象を検知する事前予測技術を確立し、大規模サービス障害を未然に防ぐ

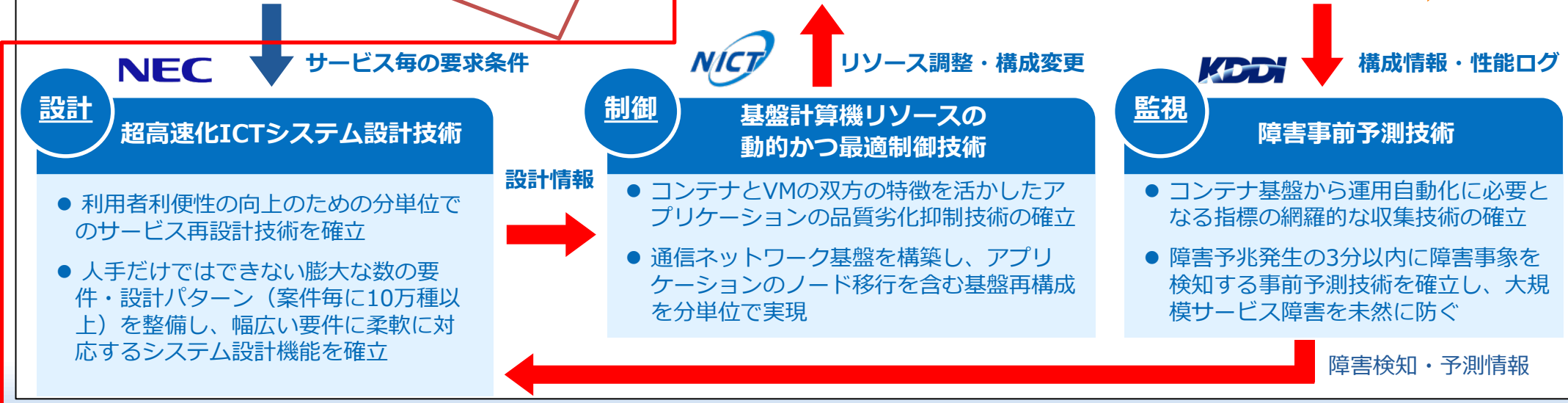
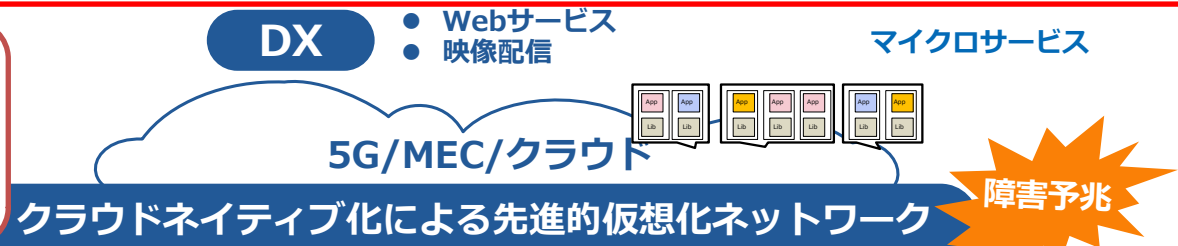
障害検知・予測情報

背景：総務省委託研究「先進的仮想化NW基盤技術の研究開発」

- サービスの形態は、VM(VNF) から **コンテナ(CNF)ベースへ(クラウドネイティブ化)**
- 機能の細分化により柔軟性・効率性の向上が見込まれるが、管理制御はより複雑化

➡ **CNF基盤技術をAI技術で機能拡張することにより、柔軟性・拡張性が高く、シームレスな設計、制御、監視環境が提供できるため、各種DXサービスの推進に貢献する。**

委託研究終了後、(R4-R5年度)実施
3機関が開発したAIの連携動作により、このClosed-loopを自動で行えることを実証



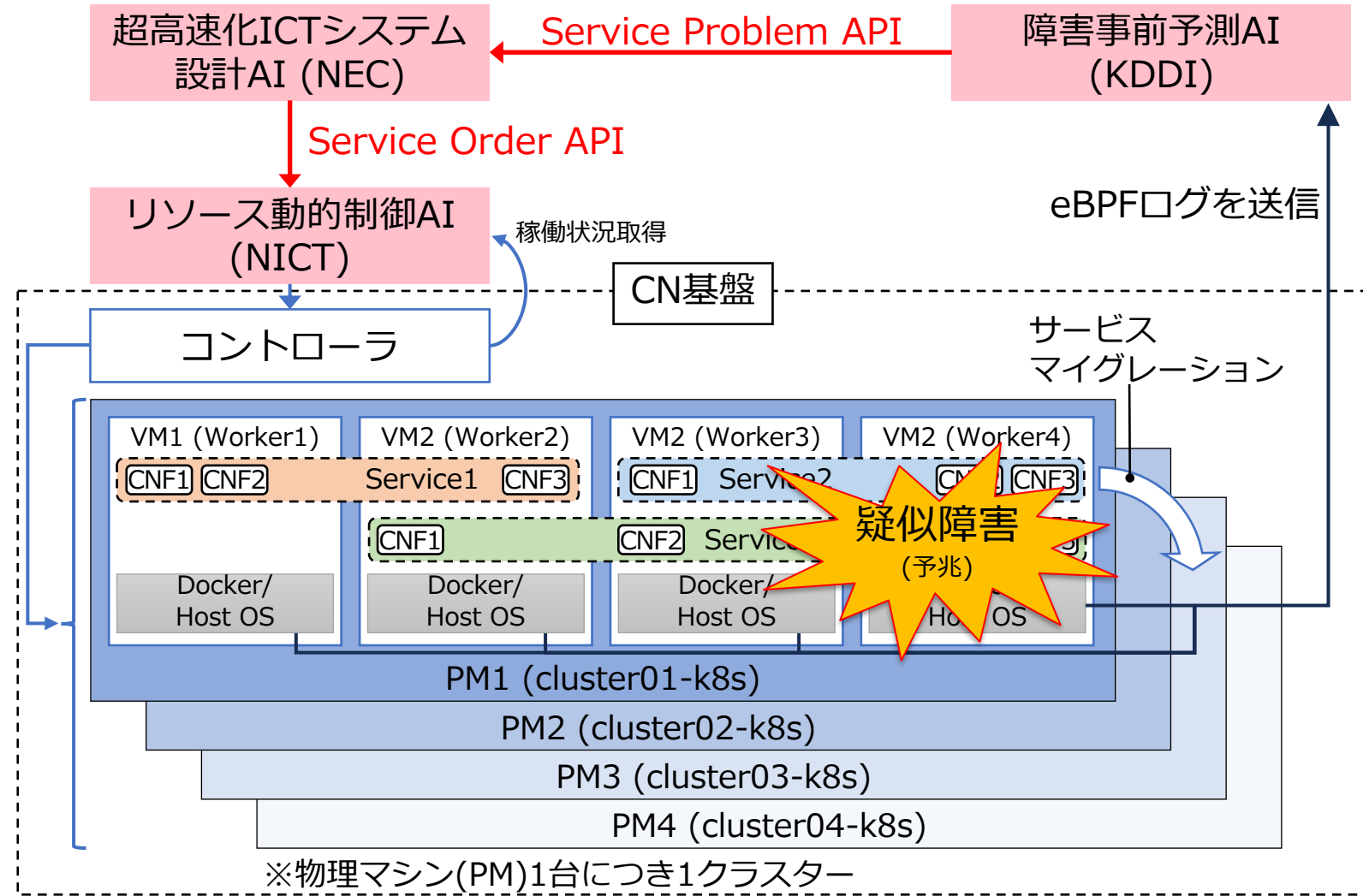
本報告で行った実験の構成図と概要

目的

- NICTテストベッドに構築した、クラウドネイティブネットワーク(CN)基盤で稼働するサービスのQoS維持をAIにより自動で行う

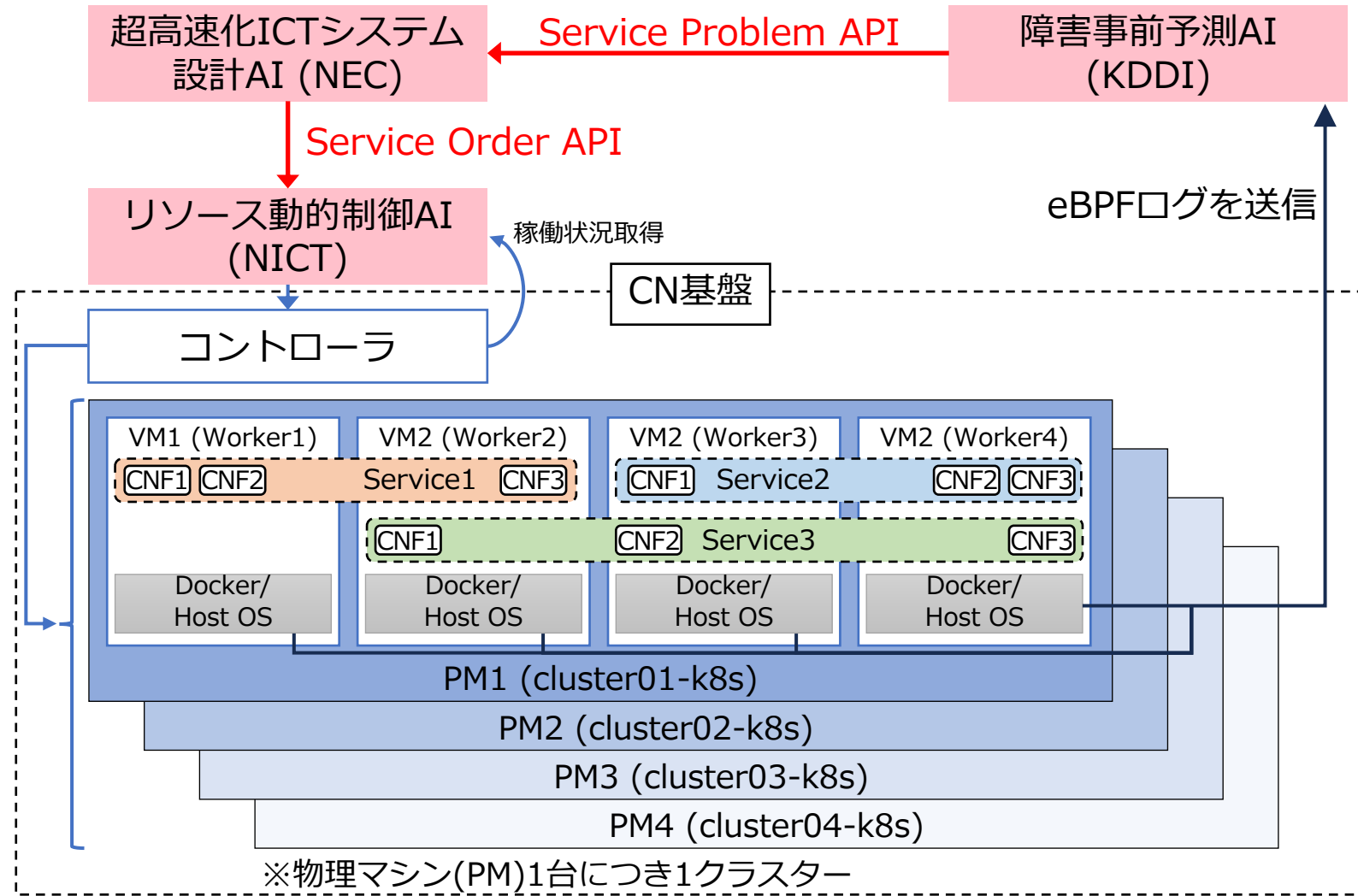
成果

- 3機関各々が開発した機能が異なるAIを連携させ、QoS維持のための
 - ① 障害事前予測(予兆の検出)
 - ② 障害を避けたサービスの再設計(マイグレーション先の決定)
 - ③ 移行先でのリソース競合回避(残余リソースを考慮したCNF配置)
 を自動で行う機能の実証
- AI間の連携インターフェースとして、TM Forum Open APIにおける
 - Service Problem API (656)
 - Service Order API (641)
 を参照し、同APIの妥当性を実証



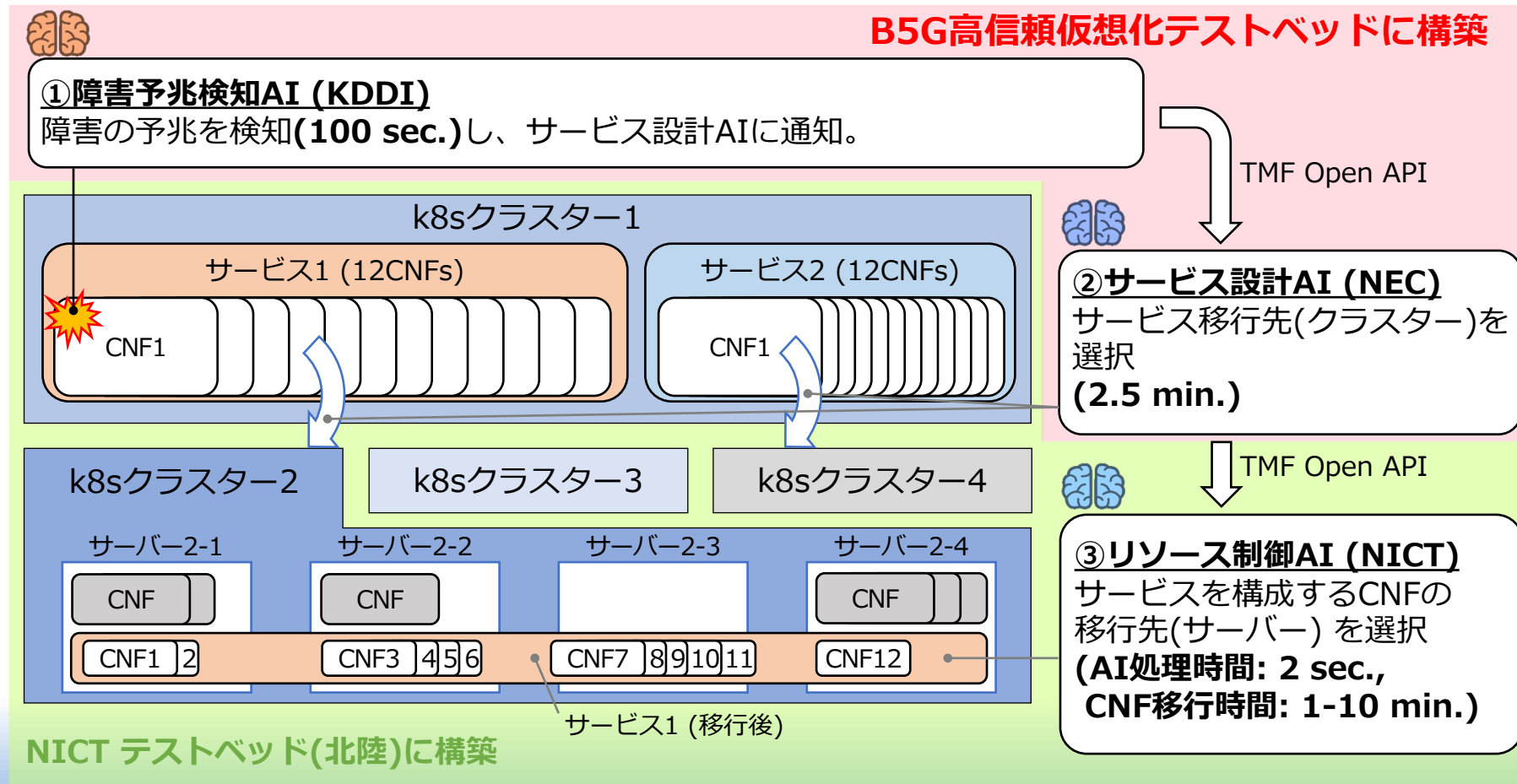
TM Forum Open API による AI 間連携

- それぞれのAIは独自に得た情報をもとに判断する
 - 目的・学習モデルも異なるAI間の情報伝達をどうするか？
- TMF Open APIを参照
 - TM Forum(TMf)が規定するAPI
 - TMF: キャリア・ベンダの業界団体
 - サービスのライフサイクル全体のオペレーション自動化を目指し設計
- Service Problem API
 - 障害の発生時刻を予想し通知する
- Service Order API
 - 障害を避けたサービス構成を通知
 - 障害の影響を受ける可能性があるサービスの移行先を指定



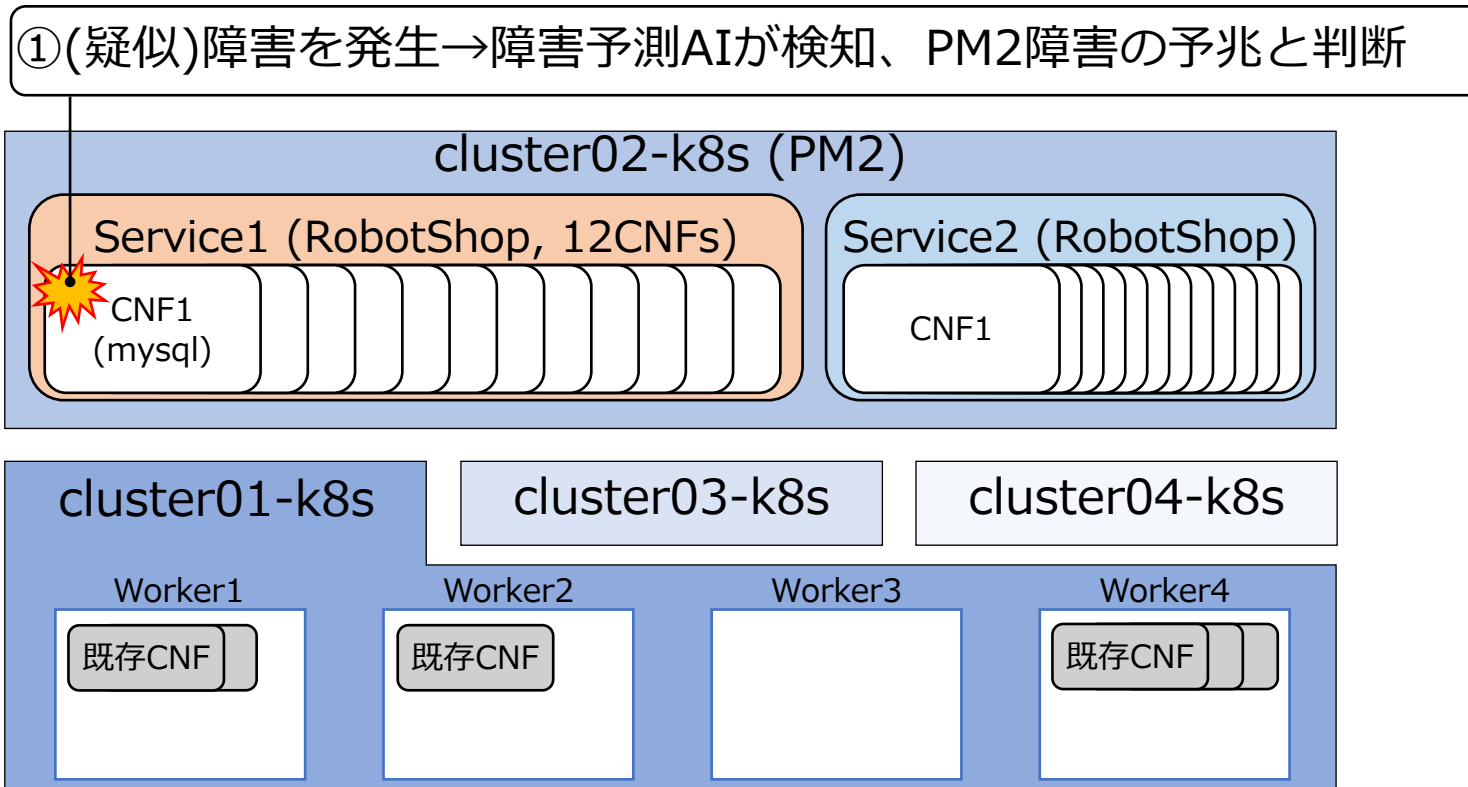
実験環境および検証シナリオ

- 4つのクラスター内に複数のサービスが存在するうちの、1クラスターに擬似障害を発生
 - 擬似障害: 特定のコンテナのNICの遅延をtcコマンドで増大させる
- ネットワークサービスのサンプルとして、Stan's Robot Shopを使用
 - MySQLやMongoDBなどの12のコンテナで構成された、コンテナ監視ツールの検証用サンプル



障害予測AIの事前学習と障害発生時の動作

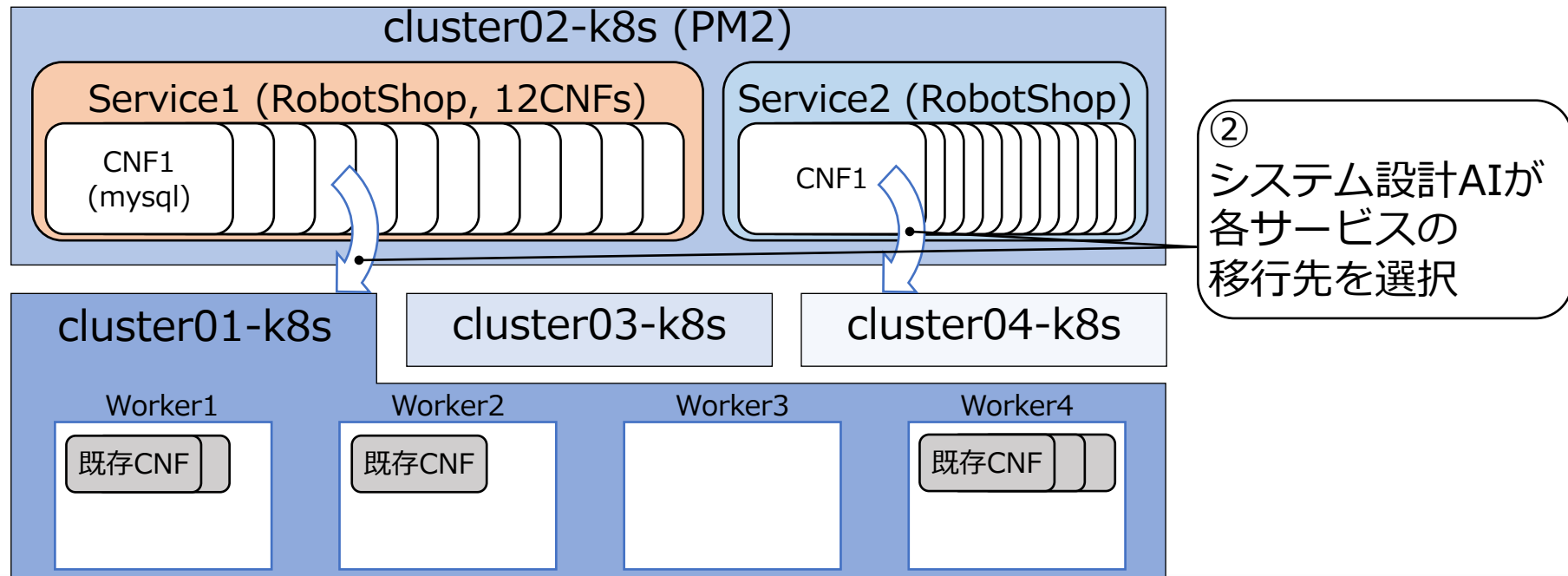
- eBPF(extended Barkley Packet Filter)により、稼働状況(パケットロス率、RTT等)を常時収集
- AIモデルに対して、サービスを構成するテナごとに正常時の挙動を学習させる
 - AIモデル: LSTMによる将来の予測+Autoencoderによる異常検知
- 10秒に一回評価を行い、Autoencoderの復元値(平常時にとりうる値)と実測値との平均二乗誤差が閾値を超えると異常とみなす



システム設計AIの動作

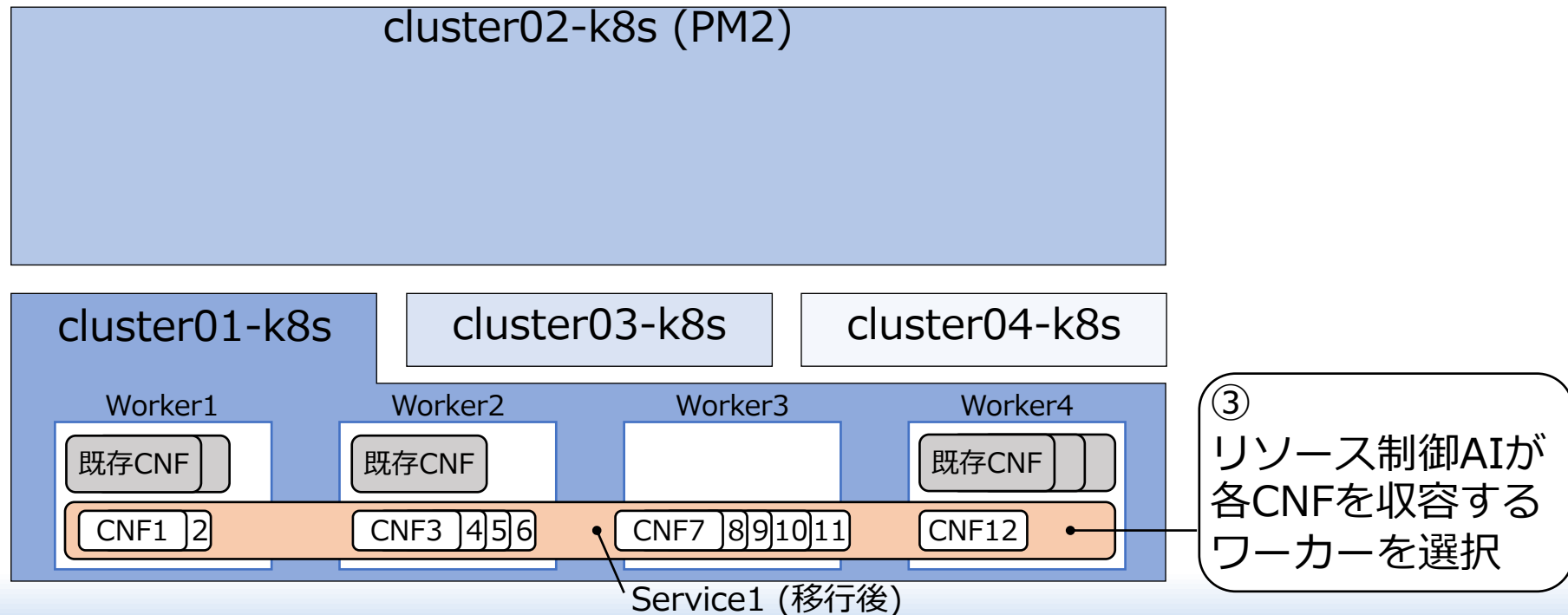
- システム設計の探索エンジンと有望な構成案を推定するGNN(Graph Neural Network)で構成
- 探索エンジンによるシステム設計
 - 利用可能な部品の情報に基づき、具体的な構成案を生成
 - 数多の案の中から最適なものを選択するために、強化学習を利用
- 移行先の既存サービス/移行対象サービスの性能要件、既存サービスの現在の配置などを考慮
 - 既存サービスへの悪影響(*)が少ない構成を選択

*リソース競合など



リソース動的制御AIの事前学習と動作

- Encoder-Decoder RNNモデルにより、サーバ利用状況、サービス需要に適したCNF配置を決定
- CNFの配置、およびいつ・どこでマイグレーションを行うかを決定する問題をILPで定式化。
MATLABで導出した最適解を教師データとして利用
 - 数分～数十分かかる計算処理を、AIにより高速化
- システム設計AIからマイグレーションの指示を受けた際に、移行対象の現在のCPU利用率、移行先クラスタの残余リソース量を参照し、CNFの配置を決定する



KDDI, NEC, NICT連携実験のまとめ

- VNF→CNFへの移行に伴う、CNサービスのQoS維持作業の複雑化を解決するための研究開発
 - 障害予測(KDDI)、システム設計(NEC)、リソース制御(NICT)の3種のAI間連携の実証実験を実施

- (疑似)障害の発生を予測し、事前にサービスを競合を避けてマイグレーションすることで、QoSの劣化を未然に回避するための一連の処理を、AIによる完全自動制御により実現
 - 異なるAI間の連携では、TMF標準のOpen APIを参照
 - 既存APIの不足する点(障害発生予想時刻の通知)があるため、Open APIに拡張の余地あり
 - 障害予測: 60-100秒、システム設計: 約150秒、リソース制御: 2秒の処理時間で解を導出可能

時刻	イベント
0:00	mysql コンテナにて tc コマンドを実行
1:48	障害予測 AI が障害の予兆を設計 AI に通知 (108 秒)
4:25	システム設計 AI がサービスを再設計し、 サービス移行先をリソース制御 AI に通知 (157 秒)
4:27	リソース制御 AI が CNF 配置を決定(2 秒)
5:27	12CNF 中 10CNF の移行が完了(60 秒)
11:39	残り 2CNF(shipping, ratings)の移行が完了

※2023/7月実験時のデータ

まとめと今後の展望

まとめ

H30年度以降の、総務省委託研究、KDDI/NECとの共同研究の実験に関するTB利用事例をご紹介します

- H30-R2年度：総務省委託研究「革新的AIネットワーク統合基盤技術の研究開発」
 - サービス機能チェーンなどの運用のためのAIによる制御技術の研究開発
 - 5社それぞれがJOSE上に実験環境を構築。障害検知、サービス設計、サービス制御などの実験を実施。
 - NICTはサーバ50台(VM100台)超の実験環境を用い、IETF RFC準拠のSFC技術を開発し実証実験。
 - KDDI, NICT, OKIの3社で障害検知→サービス移行・品質維持の共同実験を実施。
- R3年度：総務省委託研究「先進的AIネットワークの基盤技術の研究開発」およびR4年度～：KDDI/NECとの共同研究
 - 制御の対象をCNFに拡張し、一部機能の完全自動化(自動化レベル4)を目指す
 - KDDI/NECは高信頼TB、NICTは北陸に環境を構築。相互接続実験を実施
 - 業界団体TM Forumが提唱するAPIに基づくAI間連携により、QoS維持制御の完全自動化を実証