

## 論文の内容の要旨

**論文題目**           **柔軟な異種システム連携を実現するためのアーキテクチャに関する研究**

**氏名**               **山本 秀典**

近年の世界的な経済発展と環境保護の高まり、震災復興の経験により、社会インフラシステムには、安全、安定、さらなる利便性向上だけでなく、再生可能エネルギーの積極利用、有事であってもサービスが滞らないこと、災害発生時のインフラサービスの早期復旧等が強く要求されてきている。また従来からの電力、交通、等の社会インフラの分野及び鉄鋼、一般産業等の分野においては、性能及び信頼性を維持したまま、低コストで、かつビジネス環境の急激な変化や顧客の要求変化に柔軟に即応できる情報制御システムが強く求められ続けている。

上述のようなこれからの社会インフラを支えるシステムの要件として、以下の3つが挙げられる。(1)様々な需要家やサービス事業者のインフラ供給への参入、新サービスの提供、供給と需要の関係の変動等の様々な変化に柔軟に対応できる、「多種多様性」、(2)従来からの既存設備だけでなく、様々な需要家やサービス事業者の大量の機器やアプリケーションが様々なネットワークを通じて社会インフラに加わった場合、災害発生等が原因でシステムの一部が動作不能となった場合でも安定的なインフラ稼働とサービス提供を実現する、「信頼性」、(3)社会インフラの成長や長期維持に対応した、「拡張性」、である。

上述のような要件を満たすためには、新規システムだけでなく、元々独立して各々の業務を遂行するために稼働している既存システムも含めて、異種のシステム間で柔軟に連携することが必要となる。ここで異種システムとは、準拠規格やプロトコルの異なるシステム、業務の異なるシステム、制御系と情報系のような処理周期・タイミングの異なるシステム、または業種や事業者の異なる異主体システム、のことを指す。

なお社会インフラシステムの多くは既に各々独立して構築されて稼働しているシステムであり、システム連携する場合においても、特に各インフラにおける制御系の性能、信頼性を維持することは不可欠である。

以上の事柄を踏まえて本論文では、社会インフラシステムの信頼性を保証し、どのような状況においてもサービス提供を維持させるために、目的、導入時期等の異なる異種のシステム同士による状況（サービスの実行状態、異常発生の有無、等）に応じた、動的な連携またはシステムの柔軟な拡張・範囲変更（状況への適応、非常時対応、等）を実現するための、システムアーキテクチャ及び基盤技術としての異種システム連携技術について提案することを目的とする。

上述の目的を達成する上では、目的・要件の異なる既存システムの組み合わせ及び新旧共存による System of Systems (SoS) システムの構築・更新・拡張が前提となる。

System of Systems (SoS) は、これからの社会インフラを支える主要なシステム技術の1つである。特に SoS の性質として、Connectivity(接続性)、Belongings(所属)、Autonomy(自律性)、Diversity(多様性)、Emergence(創発)の5つが挙げられている。

本研究による異種システム連携も SoS の1つの形態であると言える。上記の SoS の5つの性質のうち、Connectivity(接続性)、Belongings(所属)、Autonomy(自律性)は対象とするシステムやサービスの前提となり得る。特に Diversity(多様性)の観点で、社会インフラに関して異なる多数の事業主体を跨いで、状況に応じた様々な目的を達成するための、多主体多目的協調型のシステムとして本研究による異種システム連携を捉える。また Emergence(創発)の観点で、非常時対応も含めて状況に関わらず社会インフラとしてのサービスを継続するために、社会インフラシステムを構成する制御系及び情報系の柔軟な連携による、制御/情報統合型のシステムとしても本研究による異種システム連携を捉える。

そこで本論文では、上記の SoS の5つの性質のうちの Diversity(多様性)、Emergence(創発)の観点から、複数の異なる種別のシステムの連携であっても、全体効率化や様々な新たなサービス提供を実現するために、サービスと実際のインフラシステム、さらにそれらを相互接続し仲介するシステムビュー、の3つの階層から成るアーキテクチャを有する「異種システム連携コンセプト」を提案する。

Autonomy(自律性)の観点では、上述の異種システム連携コンセプトを具体化する上で、システムの裾野が拡大され、多種多様で大量の機器を、各機器の状態やサービスに対する要求内容に応じて柔軟に扱うための、「動的グループ形成・制御」の技術を提案する。

Connectivity(接続性)の観点では、上述の異種システム連携コンセプトを具体化する上で、実際のシステム間で仕様や動作状況の違いを吸収するために、個々のシステムの物理構成やデータの配置等に基づき既に稼働している異なるミドルウェアの間での連携を行う、「異種ミドルウェア連携」の技術を提案する。

「動的グループ形成・制御」に関して、他システムに対して公開しアクセス可能とするシステム内のデータ及び機能をノードと定義する。ノードは各々のインフラシステムにおける実際のデータ、機能に対してマッピングされる。またサービス実行に必要な1つ以上のノードの集合をグループと定義する。サービスは、サービスシナリオに従ってグループ内でのノードの連動動作により実行される。

各ノードに紐づくインフラシステム側の状態を監視しておき、アクセス不可となった場合には、該当ノードをグループから削除し、同等のノードで連携可能な他のノードを探索し、発見すれば代わりにグループに追加する。上述のようにノードを活用し、グループの管理及び制御を行うことで、実際のインフラシステム側の設備等の仕様や状況を意識せずとも、サービス提供者はサービスシナリオを作成し、異なる複数のインフラシステムの連携

によるサービスを構築、実行することができる。

「異種ミドルウェア連携」に関して、上述の「動的グループ形成・制御」におけるグループ及びグループの構成要素であるノードを用いてサービスを提供するためには、ノードとマッピングされる実システムにおけるソフトウェアで実現する機能やデータ等を相互に連携させる必要がある。ここで各々のノードにマッピングされる実システムにおけるソフトウェアで実現する機能やデータ等は、それぞれ準拠する標準規格・プロトコルや処理タイミング等が異なるシステム内の異なる階層・範囲に位置し、それぞれ異なるミドルウェア上で実現され得る。ゆえにこれらの機能やデータ等を連携させるためには、異なるミドルウェアを相互に連携させる。このためには各々のミドルウェアを含めるシステム間の静的及び動的な異種性を解決する必要がある。

静的な異種性とは、定数データ、単位系、準拠するインタフェース仕様・データモデル等の時間に非依存な、扱う形式・構造の違いに起因する異種性である。また動的な異種性とは、アプリケーションの処理周期、データ発生頻度、通信プロトコルにおける処理シーケンス等の時間に依存した、システムの動作の違いに起因する異種性である。

静的な異種性を解決するために、標準規格によるデータモデル、インタフェースのマッピング・変換を行う、規格間相互接続を提案する。また動的な異種性を解決するために、エージェント及びアダプタを活用した動作仲介、及び物理構成に依存しない論理的なグループ形成によるアクセス範囲仲介を提案する。上記技術を用いることで、異なるミドルウェア間の接続・連携の処理を連携先毎に個別に全て作り込む必要はなく、連携処理作成におけるソフトウェア生産性を向上させることができる。

本論文では上述の異種システム連携技術を実装し、実際のシステムを構築するための方式についても述べる。なおソフトウェアとして実現すべき機能は全てが新規ではなく、個々の機能及び技術の中には既存のものを有効活用できるもあるため、特に本研究の特長となる、「動的グループ形成・制御」、「異種ミドルウェア連携」の実現方式について具体的に述べる。また上記の「異種ミドルウェア連携」の一部について、実現方式及び実施手段の観点からの有用性を定量的及び定性的に評価する。

続いて本論文では、本研究にて提案する異種システム連携技術を適用すると効果が高いと見込まれる実問題における想定ユースケース例と、それらの想定ユースケース適用を通しての本研究の提案技術の有用性に関する評価結果について述べる。特に社会インフラ（電力）分野の想定ユースケースとして、Virtual Power Plant (VPP)の例を挙げる。ここでは規模の異なる、巨多の需要家設備やシステムを含む環境においても、またVPPを構成する個々の需要家及び設備は契約内容や状況に応じてVPPシステムから加入及び離脱する場合でも、VPPシステムの安定動作が可能であるとして、本研究の提案技術の有効性を示す。また航空宇宙分野における想定ユースケースとして、無人探査機を用いた惑星探査における「その場」観測及び探査機の保守の例を挙げる。複数の異なる種別の探査機による目的毎の連携、上記連携による状況に応じたミッション遂行が可能である、また新旧の探査

機にマッピングしたノードの管理により、サービス無停止での新旧入替、段階的なサービス拡張を可能とするとして、本研究の提案技術の有効性を示す。

最後に本論文では、上述の実問題における想定ユースケース例及び評価結果を踏まえて、本研究にて提案する異種システム連携技術を、社会インフラ分野、航空宇宙分野に適用することにより期待できる効果について述べる。またその他の実問題や、その他の分野として産業分野への、本研究にて提案する異種システム連携技術の応用可能性についても述べる。