

ソフトウェア駆動型コンテナデータセンター

3.1 概略

データセンターの設備をソフトウェアで詳細に制御することで、高い効率と信頼性の両立を実現するために開発及び検証を行っているソフトウェア駆動型コンテナデータセンター「co-IzmoSD」とco-IzmoSDを用いた研究についての概略を紹介します。

3.2 データセンターに求められるもの

インターネットサービスを実現するために最低限必要なものはインターネット回線とサービスを動かすためのITサーバです。それだけでインターネットに接続されたすべてのユーザに対してサービスを提供できることがインターネットの大きな利点です。しかし、サービスを継続的にかつ大量のユーザに対して提供するにはもうすこし検討が必要です。例えば障害時（停電、インターネット回線の中断、回線収容機器の故障）を想定した冗長化、ITサーバを多数収容するラック設置場所の床荷重対応、機器の排熱を処理する空調容量の増強、と一般の住居やオフィスでは対応が難しいことがたくさんあります。

安定したインターネットサービスを実現するための機能を提供するのがデータセンターです^{*1}。データセンターは大量のITサーバを安全かつ継続的に稼働させることを目的として専用に設計された設備なので、前述した問題を一挙に解決できます。空調システム、電力システム、外部との接続性などの要素が冗長化されており、もしデータセンターの一部が故障したとしても運用を継続できます。また、厳密な入館管理などの物理的なセキュリティや機器状況の監視、IT機器専用の消火設備による機器保全といった付加サービスも提供されています。

データセンターに求められているのは「安定した運用」ですが、現在の先進的なデータセンターにはそれ以外の特性も期待されています。この10年程のインターネット向けのデータセンターの技術的発展のキーワードとして「効率化」と「高密度化」があります。この2つは「クラウドコンピューティング」の発展とも大きく関連しています。

データセンター利用の分類として「ホスティング」や「ハウジング/コロケーション」という用語が利用されます。機材の所有権の

違いはありますが、どちらの場合もデータセンターの役割は「お客様の利用する機材を設置する」ことです。これらの場合、データセンターの主なサービスは設置機材の周辺環境を整えることです。契約がある限りは、機材の稼働状況などに関わらず、極端な例を挙げれば実際の機材が存在していなくても、空調や電力などのサービスを提供し続ける必要があります。

それに対して「クラウドコンピューティング」を主目的としたデータセンターでは、フロア全体、もしくは、データセンター全体が1つのクラウドサービスのために利用されることがほとんどです。1つのサービスもしくは運用者によってデータセンターが占有されるため、データセンターと機材の運用が一体化されることが特徴です。一体化されることで今までのデータセンターとは異なる運用手法や効率化手法が適用できます。例えば、通常よりも高い温度で動作するITサーバを選択して、あまり冷やさなくても良いデータセンターとして建物や冷却設備を始めとする諸々の設計条件を変える、といったことや、小さなバックアップ電源を搭載したITサーバと専用の電源管理ソフトウェアを組み合わせることで、通常のデータセンターでは必須である高価な電源バックアップ設備（大規模バッテリーや自家発電装置）を排除するといったアグレッシブな試行がなされている例もあります。このように、クラウド目的のモダンなデータセンターは単なるITサーバを収容するための設備ではなく、収容したサーバとデータセンターが一体となった有機的なシステムとして捉えるほうが適切になりつつあります。

3.3 データセンターの効率化

データセンターは同一箇所に多数のサーバを収容するためスケールメリットが発生します。これは、付帯設備を共有できることや付帯設備自体を効率の良い規模で運用できることに由来しており、データセンター以外の環境と比較して効率が良い状態を維持できます。データセンターの効率を表現するための指標としてPUE (Power Usage Effectiveness) という指標がつかわれることがあります。PUEは次の式で定義されます。

$$PUE = \frac{\text{データセンター全体の消費電力}}{\text{IT機器の消費電力}} = \frac{\text{IT機器の消費電力} + \text{付帯設備の消費電力}}{\text{IT機器の消費電力}}$$

*1 広義のデータセンターは「計算機設備を収容する建物」全般を指しますが、ここではインターネット向けデータセンターに限定して扱います。

例えば、

- IT機器の消費電力=10kW
- IT機器を稼働させるための付帯設備の消費電力=12kW

とした場合のPUEは以下のように2.2になります。

$$PUE = \frac{10k + 12k}{10k} = 2.2$$

PUEはIT機器を運用するために付帯設備(電力設備や空調設備や照明設備など)がどのくらい必要かを示しているの、理論上の最良値は「付帯設備が一切電力を消費しない状態」を示すPUE=1.0になります。国内の標準的なデータセンターはPUEが2.0程度とされています。付帯設備がIT設備と同量の電力を消費していますが、それでも一般のオフィスビルでサーバ運用するよりも十分に効率が良い状態です。しかし、インターネットサービスの拡大によるIT機器総量の増加などから、データセンターの効率をよりいっそう追求しなければなりません。特に、膨大な数のサーバを集約してシステムを構築するクラウド型のデータセンターでは規模効率の向上が停滞することは死活問題です。2010年以降に設計・構築された先進的な大規模データセンターはどれもPUE=1.2程度を目標値として挙げており、実績としてもPUE=1.1~1.3程度の値を出しているようです。

このような背景のなか、IJJでは様々なデータセンターの効率化を行っています。データセンターの設備の効率化としては、2011年より島根県松江市で運用されている松江データセンターパークを挙げることができます。松江データセンターパー

クではモジュール型のデータセンターコンテナ及び空調モジュールを基本とした構成とすることで、初期投資コスト及び運用コストの最適化を図っています。通年のPUE実績は1.2程度となっており、非常に効率的なデータセンター設備といえます。松江データセンターパークの詳細はWebページ^{*2}を参照ください。

3.4 統合型データセンター

構成要素の改善によってPUEの理論限界値である1.0に近い効率化を実現しつつある最新世代のデータセンターにおいて、より高い効率の実現にはデータセンターの定義の見直しを含むパラダイムの変更が必要です。単なるIT機器の収容設備としてデータセンターを扱うのではなく、データセンターとIT機器が一体化されたシステムとして適用できる技術を模索する必要があります。

IT機器も含めたシステム化を検討できるデータセンターの利用形態は、データセンター運用者とITシステム運用者が密接に関連しているもしくは同一であるデータセンターに限られるため、ここでは簡単に「統合型データセンター」と呼びます。既存データセンターと統合型データセンターの差異を表-1に示します。

統合型データセンターでは、今まではデータセンター運用者が関与できなかったIT機器に対する環境を制御する裁量を得ることができ、また、ITシステム運用者がデータセンターの挙動を制御することも可能となります。既存データセンターで「ITラックの吸気は温度が22-23度、湿度40%RHを満たす」などの静的な運用条件の指定しかできませんでしたが、統合型データセンターでは、ITシステムの稼働状態に応じてデータセンターの運用

項目	既存データセンター	統合型データセンター
運用者	DCと内部システムの運用者は異なる	DCと内部システムの運用者が同一
DC内環境	DC内の環境条件をDC事業者が利用者に無断で変更することはできない	運用者が同一なので条件に応じて設定できる
収容機材	顧客によって持ち込みもしくは指定される機材を収容するため選択不可能	設計条件及び運用条件に応じて収容機材を選択可能
運用条件	事前に規定された提供サービスレベルを常に満たす静的な運用を実施(温湿度、電源、接続性などで規定)	収容機材やサービスの運用条件などを考慮した動的に決定される条件に基づいた運用を実施

表-1 既存データセンターと統合型データセンターの差異

*2 松江データセンターパーク (<http://www.ijj.ad.jp/DC/about/index.html>)。

条件を変更したり、データセンターの運用制約に応じてITシステムの稼働率を制御する、といった相互のインタラクションが可能となります。これらの

- 動的で即応性の高い(ダイナミックな)制御
- データセンターとIT設備のインタラクション

の特徴がシステム統合の利点となります。

3.5 データセンターとITシステムの相互作用

データセンターとITシステムを相互作用させることでより高い効率を実現するためには、データセンターとITシステムそれぞれを扱うためのソフトウェア的インタフェースが必要です。

ITシステムに関しては標準的なAPIやプロトコルが規定されている場合がほとんどなので、それらを用いれば必要に応じて各種情報の取得や制御ができます。また、ITサーバやネットワークスイッチを自動制御するための仕組みやラック全体を集約して扱うシステム構築技法などの検討や評価、標準化も進んでいるので制御可能範囲は十分に広がっていると言えます。

一方で、データセンター設備の制御に関しては課題が存在しています。最大の問題は、データセンターは「ものと設備の集合」を示す概念であり、情報システム的な実態がないことです。データ

センターを制御する、としても制御のためのエンドポイントが定義されているわけではありませんから、実際にはデータセンターのすべての構成要素を個別に扱わなければなりません。また、それぞれの構成要素に関する別の問題があります。データセンター設備に用いられる各種制御システムも情報化は進んでおり、専用ネットワークや専用のプロトコルを用いた情報システムを構築できます。しかし、ITの世界ほどオープン化は進んでいないため、外部との接続や情報交換などのインタラクションに必要な機能に関しては遅れているのが現状です。

IJ技術研究所ではデータセンターを情報システムの一部として扱えるような抽象化を提供するソフトウェア層を新たに導入することで、これらの問題の解決を図ろうとしています。抽象化に加えて

- データセンター内の構造の記述手法の確立
- データセンター内部情報のデータ形式の標準化
- データセンター内要素の制御手順(APIなど)の整備
- データセンター制御プログラム向けの標準的なライブラリ群の整備

などを組み合わせることでデータセンターとITシステムの親和性を高める研究を進めています。図-1にデータセンターを扱うためのソフトウェア群の構成要素を示します。

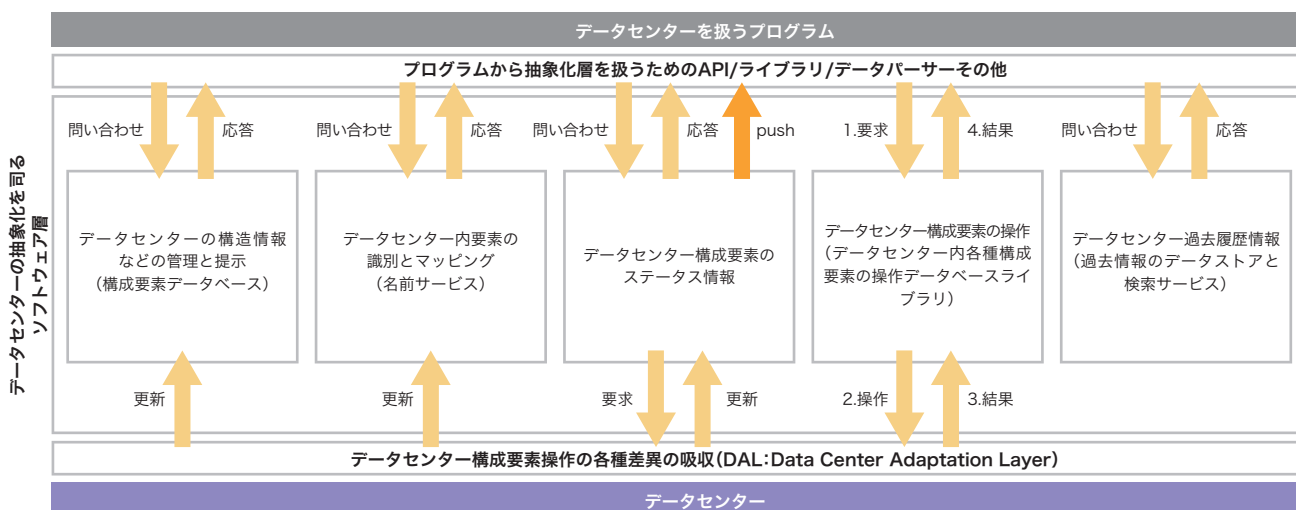


図-1 データセンターのソフトウェアによる抽象化

3.6 研究開発用コンテナデータセンター： co-IZmoSD

「ITシステムと親和性の高いデータセンター」の研究開発目的に運用されているデータセンター設備がco-IZmoSD(図-2)です。co-IZmoSDは2013年に一体型の小型コンテナデータセンターとしてIJJで開発されたco-IZmo^{*3}をベースとしており、研究開発に必要な機能を付加した上で2014年に設置されました。co-IZmoSDのSD部分は「software defined」を示して

おり、既存のデータセンター設備に対してソフトウェア制御できる要素を最大化することを目的とした実験設備であることを示しています。

ベースとなったco-IZmoとco-IZmoSDの概略仕様を表-2に示します。co-IZmoSDはco-IZmoの2号機として設計されたため、co-IZmoの実装及び運用経験による様々な改良が施されています。IJJではco-IZmoSD以降もコンテナデータセンターの研

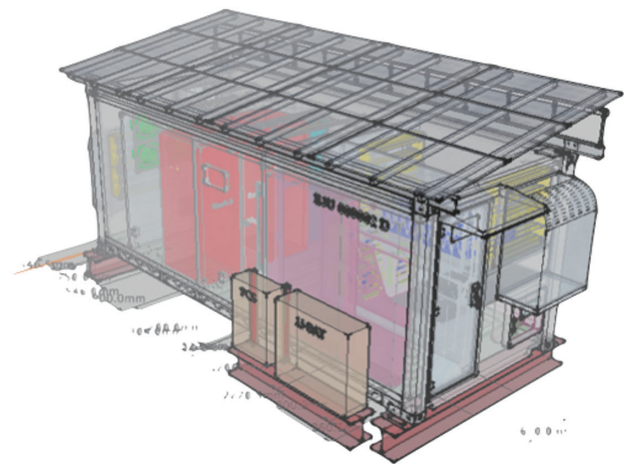


図-2 co-IZmoSDの外観図(左)と透視図(右)

項目	co-IZmo	co-IZmoSD
アーキテクチャ	IT/空調一体型コンテナデータセンター	←
大きさ	ISO20フィートコンテナ、High Cube(9.6ft)	ISO20フィートコンテナ、標準(8.6ft)
設置面積	8m × 3m = 24㎡	←
空調システム	直接外気フリークーリング、チラーレス	←
ラック数	3ラック(46U)	3ラック(42U)
ラック配置	コールド・ホットアイル分離型	←
冷却能力	最大30kw(外気条件による)	←
内部環境規定	Ashrae 2011 allowable 3をベースとした独自基準	←
保全システム	火災予兆センサー、結露センサーなど	←
補助バッテリー装置	なし	12KWh Li-ion バッテリーユニット
PV + PCS	なし	定格10KWhシステム装備
制御システム	独立型	独立 + 外部制御ハイブリッド
電源システム	一様	プライオリティあり階層式電源システム

表-2 co-IZmoとco-IZmoSDの基本仕様と差異

*3 IJJ、「通年外気冷却を利用したコンテナ型データセンターモジュールの実証実験を開始」(<http://www.ijj.ad.jp/news/pressrelease/2013/0408.html>)。

究開発を続けており、間接外気空調方式を用いたモジュール型データセンターであるco-Izmo/I^{*4}が最新のアーキテクチャとなります。

co-IzmoSDのスペックは表-2に示したとおりで、基本的なアーキテクチャはco-Izmoと変わりません。co-IzmoSDはベースのISOコンテナの高さが低く(標準サイズ)なり、太陽電池パネルや外部電源ユニットなどの各種付帯設備が付属している程度の違いです。一方で、内部構造は大きく異なり、高い自由度を持つ制御機構が実装されています。co-IzmoSDの内部構造の概略図を図-3に示します。

図-3に示したように、データセンター内部の各種環境センサー、アクチュエータ(ファンや空気取り入れ口のダンパーなど)、電力設備の制御機構(配電盤内系統切り替えスイッチや

電力系センサー)はPLC(プログラマブルロジックコントローラー)のネットワークを介して集約されています。PLCには必要最低限のロジックがプログラムされており、通常のデータセンター運用や非常時の機器保全動作などが単体で可能です。co-IzmoSDでは更にPLCのプログラムを拡張して、外部からの制御とPLC内部の制御ロジックの双方を組み合わせるハイブリッド動作が可能な設計になっています。PLCは高い信頼性を持ちますが、内部のプログラムの規模を大きくすることや開発サイクルを短くすることは困難です。しかし、このように外部システムと連携できる機構を実装しておくことで、通常のPLCでは実現できないより高度な制御が可能となります。

他にも、付帯設備(太陽電池パネルPVとPCSや大型バッテリーシステム)やラック内のPDUやUPS、空調制御などには用いられない各種センサーユニット群などがネットワークに接続されて

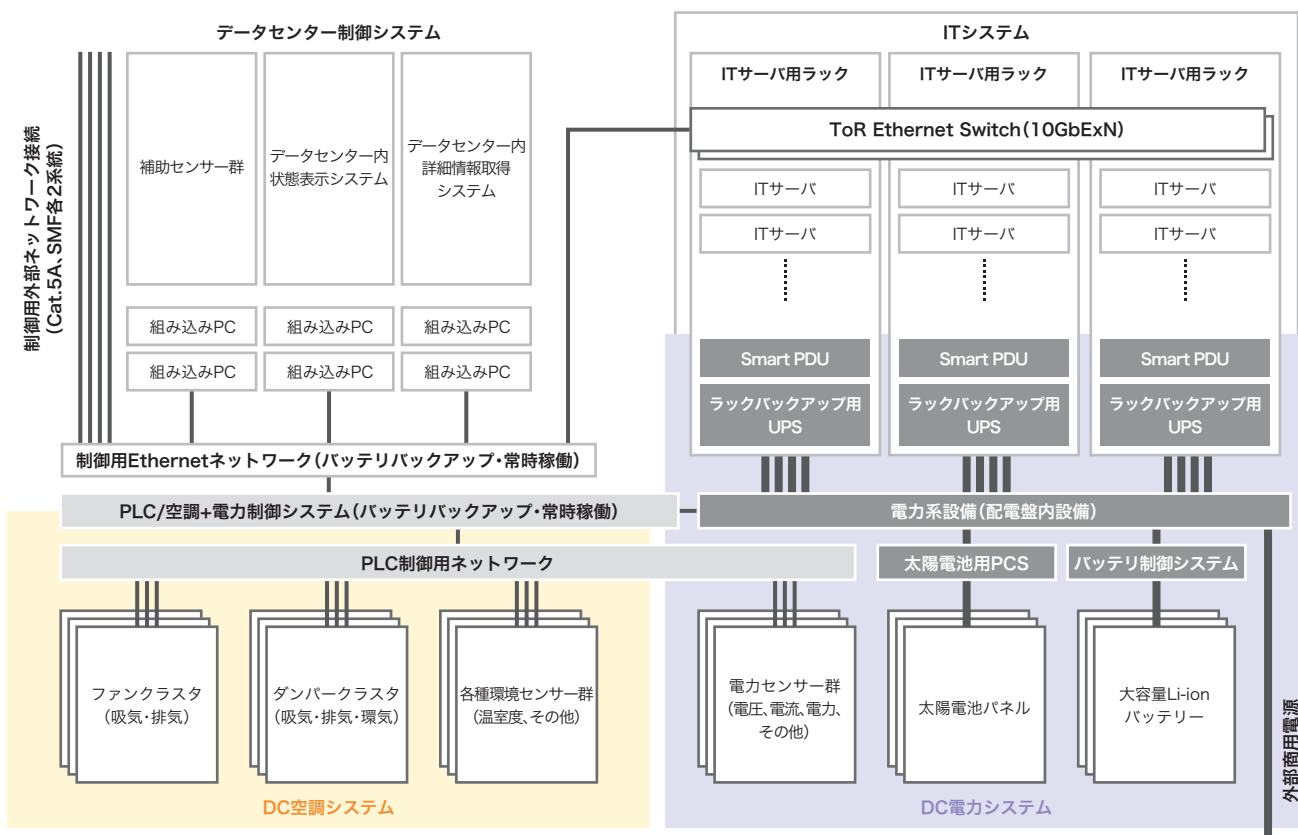


図-3 co-IzmoSDの内部構造

*4 co-Izmo/I (http://www.ij.ad.jp/DC/products/coizmo_i.html)。

おり、ほぼすべての要素を内部のITシステムやco-IzmoSDの外部からネットワーク経由でアクセス可能となっています。電源システムに関しても、複数の電源ソースからの給電や、各種バッテリーユニットとの連携をサポートするための機能が実装されており、ソフトウェアによるデータセンターの部分停止や一時停止といった機能を実行することができるようになっています。

3.7 データセンター用オペレーティングシステム

co-IzmoSDはデータセンターとITシステムの相互作用というコンセプトを検証するために設計・構築された研究用のデータセンターです。co-IzmoSDは相互作用のための必要十分な機能を提供しているので、この機能と連携するソフトウェア要素を組み合わせることで本コンセプトを実証できます。

データセンターを構成する要素はITシステムを含めると量かつ多種多様となります。また、データセンターは、基本的に全体が停止することはない無停止システムです。これは、裏を返せばデータセンターでは常にどこかが入れ替わったりメンテナンスで部分停止している可能性を示しており、データセンターの構造が流動的であることを意味しています。巨大で流動的な構造を持つシステムを、何のサポートもなしに1からプログラムによって制御するのは困難なので、これらの特性を考慮した、プログラミングやそのプログラムの実行をサポートするソフトウェア基盤が必要です。co-IzmoSDのような外部のシステムと連携して柔軟な制御を実現できるデータセンターを対象として、ソ

フトウェア化を補助する「データセンター用のオペレーティングシステム」の研究開発を進めています。

co-IzmoSDの運用開始と共に、データセンター用オペレーティングシステムの概念設計を開始し、2015年度にプロトタイプとして基本的な機能の実装を行いました。現在co-IzmoSDを対象として運用しながらソフトウェアの品質を向上させている段階です。

3.8 ソフトウェア駆動型データセンターの今後

データセンターはインターネットサービスを安定して提供するために今や必要不可欠な設備であり、今後もその数や収容されるITサーバの規模は拡大していくと予想されます。そのため、より効率が良いデータセンターの追求はインターネットサービス事業者やクラウドサービス事業者にとって避けることのできない課題です。

本記事では、IJ技術研究所におけるデータセンター関連研究のうち、研究の位置付けとコンセプトの検証を目的に設計・開発され運用が続けられているco-IzmoSDに関して説明しました。co-IzmoSDを用いた研究は、既にソフトウェア部分に焦点が移りつつあります。今後はデータセンター及びITシステムを一体として扱うソフトウェアによる高度化されたデータセンターを前提としたITシステムの設計や制御手法に関して研究を継続的に進めていきます。



執筆者：
宇夫 陽次郎（うお ようじろう）

株式会社IJイノベーションインスティテュート 技術研究所 主幹研究員。
ネットワーク基盤システム(分散システム、オペレーティングシステム、データセンターなど)を専門に研究を行っている。