

# SDx 全般に関する国内、国際技術動向調査

## 報告書

令和 8 年 3 月

一般財団法人テレコム先端技術研究支援センター

## 調査委員会名簿

(順不同 敬称略)

委員長	五味 弘	三重大学大学院 工学研究科 リサーチフェロー
事務局	吉田 努	一般財団法人テレコム先端技術研究支援センター 研究企画部 部長
事務局	牧野 淳一	一般財団法人テレコム先端技術研究支援センター 事業部 調査役

## 目次

はじめに .....	5
第1章 ソフトウェアデファインド(SDx).....	6
1.1 SDx の定義と対象.....	6
1.1.1 ソフトウェアデファインド(SDx)とは.....	6
1.1.2 SDx の対象 .....	6
1.2 SDx の原則と実装レベル.....	7
1.2.1 SDx の原則 .....	7
1.2.2 SDx の実装レベル .....	8
1.3 SDx の利点と課題.....	9
1.3.1 SDx の利点 .....	9
1.3.2 SDx の課題 .....	9
第2章 製品のソフトウェアデファインド事例.....	11
2.1 SDV ビークル .....	11
2.1.1 本田技研「ホンダが目指す SDV」 .....	12
2.1.2 トヨタ「SDV で交通事故をゼロに」 .....	14
2.1.3 ソニー・ホンダ「E2E 自動運転とエンターテインメントで新体験」 .....	17
2.1.4 SCSK「ソフトウェア企業が作る SDV」 .....	19
2.1.5 その他の SDV(ヤマハ発動機、テスラ、Open SDV Initiative).....	21
2.2 SDS ストレージ .....	23
2.2.1 レッドハット「SDS ソリューションのオープン化」 .....	24
2.3 SDN ネットワーキング .....	26
2.3.1 シスコシステムズ「SDN で意図通りのネットワーク」 .....	27
2.4 SDC コンピューティング.....	29
2.4.1 IBM「SDC でソフトウェア仮想化」 .....	29
2.5 SDR ラジオ .....	31

2.5.1 富士通「ソフトウェアラジオはラジオのソフトウェア化」 .....	32
2.6 SDE エレベータ .....	34
2.6.1 東芝エレベータ「ソフトウェアでクラウドサービスするエレベータ」 .....	34
2.7 SDS 人工衛星 .....	36
2.7.1 三菱電機「ソフトウェアデファインドで作る人工衛星」 .....	36
2.8 その他の製品 SDx（ロボット掃除機、スピーカ、携帯電話） .....	37
第3章 製造のソフトウェアデファインド事例 .....	41
3.1 SDA/SDF オートメーション/工場 .....	41
3.1.1 テスラ「SDF で機械を作る機械」 .....	42
3.1.2 シュナイダー「vPLC による SDA」 .....	43
3.1.3 オモビオ(コンチネンタル)「AWS で SDV 開発ソリューション」 .....	44
3.1.4 その他の SDA/SDF（シーメンス） .....	46
3.2 SDC 会社 .....	47
3.2.1 ミシュラン「ソフトウェア駆動型会社」 .....	47
第4章 中小企業のソフトウェアデファインド事例 .....	49
4.1 SDF 工場 .....	49
4.1.1 旭鉄工「IoT からソフトウェアデファインドへ」 .....	49
4.1.2 HILLTOP「SDx で 24 時間無人工場」 .....	50
4.1.3 その他の中小企業 SDF（ウチダ製作所） .....	52
第5章 広義のソフトウェアデファインド事例 .....	53
5.1 SDC 都市と SDS 社会 .....	53
5.1.1 コペンハーゲン「スマートシティはソフトウェアデファインド」 .....	53
第6章 ソフトウェアデファインドのまとめと今後 .....	56
付録 A「SDx 事例一覧」 .....	57
参考文献 .....	58

## はじめに

ソフトウェアデファインドとは対象となる製品やサービスの機能をソフトウェアで定義するもので、従来の剛健なハードウェア中心のアーキテクチャから、柔軟性の高いソフトウェア中心のアーキテクチャへの移行を促進する技術である。ソフトウェアデファインドの持つ柔軟性により、ユーザの要求に俊敏に対応でき、新たな価値を創造する手段となる。

このソフトウェアデファインドはネットワークやストレージの機能をソフトウェアで定義することから始まり、これらはソフトウェアデファインドネットワーク(SDN)やソフトウェアデファインドストレージ(SDS)として 21 世紀初頭に登場した。そして 2020 年代にテスラなどの電気自動車(Electric Vehicle, EV)の機能をソフトウェアで定義するソフトウェアデファインドビークル(SDV)が登場し、ソフトウェアデファインドの分野ではこの SDV が注目を集めている。

今やソフトウェアデファインドは家電製品や通信機器など多様な分野のハードウェア製品に導入され、これらはまとめて SDx(Software Defined anything/everything)と呼ばれている。そしてハードウェア製品に限らず製造工程にも SDx の考えが導入され、さらに会社や行政などの組織運営にも適用されてきている。このように SDx は社会全体の構造や運用にも変化をもたらしている。

本報告では最初にソフトウェアデファインドの定義や原則、対象分野などを述べ、ハードウェア製品に対するソフトウェアデファインドの事例を中心に、製造工程の事例や組織の事例を紹介する。

本報告がソフトウェアデファインドを理解し、その導入の手助けになることを願っている。

本報告書では内容に誤りがないようにできる限りの注意を払っているが、本書の内容を適用した結果によって生じたことについて、著者や発行人は一切の責任を負わない。

本報告書に記載する会社名や製品名などは各社の商標または登録商標であり、本報告書ではこれらの商標登録表示やその他の商標表示を省略している。

本報告書で掲載の写真は著者が撮影したものである。

# 第1章 ソフトウェアデファインド(SDx)

ここではソフトウェアデファインド (Software Defined anything/everything, SDx) の定義や対象、原則、レベル、利点や課題を示す。

## 1.1 SDx の定義と対象

SDx の定義とその対象について記載する。

### 1.1.1 ソフトウェアデファインド(SDx)とは

最初にソフトウェアデファインド(SDx)の定義(図1.1.1参照)を述べる。ソフトウェアデファインドとは、対象の機能やそれから導かれる価値をハードウェアだけでなくソフトウェアとデータで柔軟に再定義することである。このSDxによって新たな価値を創造する手段となることがSDxの本質である。



図 1.1.1 SDx の定義

なおソフトウェアで定義する機能は対象のすべての機能ではなく機能の一部であってもSDxと呼ばれており、SDxの定義には各種あることに注意する必要がある。

このSDxの対象は今や物理的な製品だけに留まらず、さまざまな対象に渡っており、それに対応してSDxの定義も広がっている。

### 1.1.2 SDx の対象

次にソフトウェアデファインドの対象を分類する。近年ではソフトウェアデファインドの対象は製品だけに留まらず、工場などの製造工程や会社、行政などの組織、さらに交通インフラや都市などの社会までさまざまな分野に拡大している。その概要を図1.1.2に示す。詳細は2章以降で述べる。

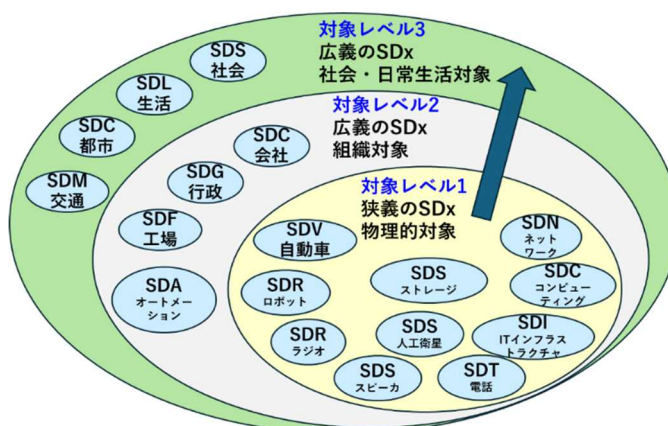


図 1.1.2 ソフトウェアデファインドの対象

#### (1) 対象レベル1：製品 (物理的対象)

ソフトウェアデファインドの対象が製品(プロダクト)であるものを以下に挙げる。

(a) ビークル（車両）、(b) ストレージ、(c) ネットワーキング、(d) スピーカ、(e) エレベータ、(f) 人工衛星、(g) ラジオ、(h) ロボット、(i) 電話

これらに加え、他の多くの製品にもソフトウェアデファインドの適用が進んでいる。

(2) 対象レベル 2,3：ソフトウェアデファインドオペレーション（製造、組織、社会対象）

ソフトウェアデファインドの対象が製品だけではなく、製造工程やサービスなどの運用、さらに組織や社会などに広がっている。この例を以下に挙げる。

(a) ファクトリ／オートメーション（製造の SDx）、(b) カンパニー、(c) モビリティ、(d) シティ

## 1.2 SDx の原則と実装レベル

ここでは SDx の原則とそれを基準にした SDx の実装レベルを述べる。

### 1.2.1 SDx の原則

ソフトウェアデファインドの原則(Software-Defined Principle)には以下のものがある。

原則 1：ハードウェア抽象化（ハードウェアの分離）

ハードウェアやリソースに対する標準インタフェースを制定することで、ソフトウェアがハードウェアと独立して実装できることが原則となる。これによりソフトウェアとハードウェアの境界が明確化され、両者を分離して設計や運用をすることが可能となる。この原則はソフトウェアデファインドの定義から必要となるもので、ソフトウェアデファインドの基本原則である。

原則 2：アップデート可能性

ソフトウェアの追加やアップデートが低コストでできることが基本である。例えば、無線通信を通じてソフトウェアを更新する OTA（Over The Air）技術がその一例である。

原則 3：コネクティビティ

ソフトウェアは相互に接続しデータ送受信ができることが求められる。これは原則 2 のアップデート可能性を拡張した原則である。

原則 4：オープン性

ハードウェアおよびソフトウェア、データの標準インタフェースを広く公開し、関係者が容易にこれらにアクセス可能とする原則である。この原則は状況に応じて採否する。

その他のソフトウェアデファインドの原則

ソフトウェアデファインドの原則は人や組織によって、さまざまなものが考えられ、また提唱されている。ここではそのいくつかを紹介する。

(1) SDV の分野ではハードウェア抽象化とアップデート可能性、コネクティビティに移植性と疎結合を加えた5原則版、(2) ハードウェア抽象化のみの1原則版、(3) ハードウェア抽象化とアップデート可能性の2原則版、(4) ハードウェア抽象化とアップデート可能性、コネクティビティの3原則版

## 1.2.2 SDx の実装レベル

ここではソフトウェアデファインドの実装レベルを、前節で示した原則への準拠度に基づいて分類する。図 1.2.2 に SDx の原理と実装レベルの概要を示す。



図 1.2.2 ソフトウェアデファインドの原理と実装レベル

ハードウェアで定義 (ソフトウェアデファインド以前)

このハードウェアデファインド(Hardware Defined anything/everything, HDx)ではどの原則も準拠せず、ソフトウェアではなくハードウェアで対象の機能を定義している。

レベル 1：スタンドアロン型ソフトウェアデファインド

レベル 1 では原則 1 のハードウェア抽象化の原則に従って、対象の機能の一部をソフトウェアで定義している。原則 2 のアップデート可能性や原則 5 のコネクティビティに準拠しておらず、スタンドアロンで動作する。これは最低限のレベルであり、事例は少ない。

レベル 2：OTA 型ソフトウェアデファインド

このレベル 2 では原則 1 のハードウェア抽象化と原則 2 のアップデート可能性を満たして、OTA などでソフトウェアのアップデートが可能ソフトウェアデファインドである。通信はソフトウェアアップデートのみで使われ、それ以外では通信しない。

レベル 3：通信型ソフトウェアデファインド

このレベル 3 では原則 1 のハードウェア抽象化と原則 2 のアップデート可能性、さらに原則 3 のコネクティビティに準拠して、相互にデータ送受信を行いながら動作するソフトウェアデファインドであり、このレベル 3 が一般的なソフトウェアデファインドである。

レベル 4：オープン型ソフトウェアデファインド

このレベル 4 ではレベル 3 に加え、原則 4 のオープン性に従って関係者が自由に対象にアクセスすることができるソフトウェアデファインドである。

進化型ソフトウェアデファインド

この進化型では機械学習などの AI 技術や先進技術の導入により、対象の機能が継続的に進化し最適化されるソフトウェアデファインドである。これは上記の実装レベルとは独立して実装される。

## 1.3 SDx の利点と課題

ここではソフトウェアデファインドの利点と課題（図 1.3 参照）を挙げる。

### 1.3.1 SDx の利点

#### 利点 1：柔軟性

ソフトウェアの持つ柔軟さから、以下のように柔軟な開発や運用ができる。

- (1) 多様な実装 - 低コストで機能定義
- (2) 柔軟な企画 - 自由な発想で商品企画
- (3) 柔軟なサービス - 製品だけでなく柔軟にサービス展開

#### 利点 2：アジリティ

ハードウェアと比較して、以下のようにアジリティ（俊敏）に開発や運用が行える。

- (1) 俊敏な開発 - 要求に応じて俊敏に対応
- (2) 迅速なサービス展開と運用 - 状況に応じて企画からサービス展開までを迅速に運用

#### 利点 3：拡張性

ソフトウェアデファインドの利点として、以下の拡張性がある。

- (1) 機能拡張性 - 要求に応じて機能の拡張が容易に可能
- (2) サービス拡張性 - 状況に応じてサービスの拡張が容易に可能

#### 利点 4：創造的なマインドセット

ソフトウェアデファインドの導入により、従来の固定的な思考から柔軟で創造的な思考ができるマインドセットへの転換が促される。

- (1) 課題解決力 - 課題解決を柔軟に可能
- (2) 新規価値創造 - 価値創造の文化醸成

#### 利点 5：対象別の利点

ソフトウェアデファインドの対象別に以下のような利点がある（詳細は後述）。

- (1) SDV - CASE(Connected, Autonomous, Shared, Electric)
- (2) SDS - 容量拡張性、スケーラブル、コストパフォーマンス

### 1.3.2 SDx の課題

ソフトウェアデファインドの課題としては、ソフトウェアの持つ柔軟さからくる以下の課題がある。これらの課題は利点の裏返しであり、課題に注意して SDx を実装する。

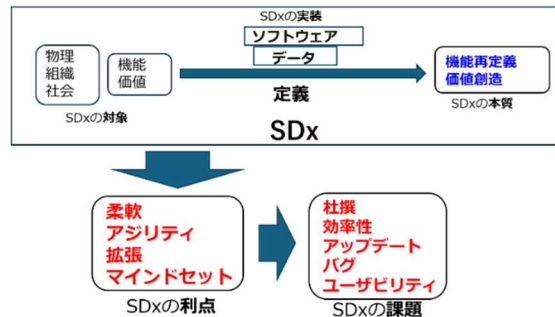


図 1.3 SDx の利点と課題

#### 課題 1：効率性の低下

ソフトウェアはハードウェアと比較して時間とリソースの効率性が悪くなる。

#### 課題 2：設計や実装が不十分

ソフトウェアは柔軟であり、また後日のアップデートがあるために、設計や実装、テストが不十分になり、杜撰なリリースになる場合がある。

#### 課題 3：ソフトウェアアップデートの手間

後日のアップデートがユーザにとって煩雑に感じられる可能性がある。

#### 課題 4：残存バグ

ソフトウェアはハードウェアと比較して柔軟であるために、製品やサービスにバグが残存するリスクが大きい。また不十分な設計や実装が原因でバグが残存するリスクがある。

#### 課題 5：ユーザビリティの悪化

ソフトウェアによる実装では効率性の低下によってレスポンスが悪くなり、また不十分な設計により、ユーザビリティの悪い機能やサービスが提供されるリスクがある。

#### (1章の参考文献)

- [1] PwC Japan グループ：「SDV (Software Defined Vehicle) とは何か。クルマだけではない SDV の世界を定義する」、<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/column/definition-of-sdv.html>
- [2] 渡辺博之：「ソフトウェア駆動型社会への変革と日本の競争戦略 ～組込みソフトウェア業界の提言～ 人月からの脱却と SDx による新価値創造へ」、JASA レポート、[https://www.jasa.or.jp/dl/report/JASAReport\\_Full20251117.pdf](https://www.jasa.or.jp/dl/report/JASAReport_Full20251117.pdf)
- [3] 五味弘：「ソフトウェアデファインドともうひとつの DX」、JEITA/JAIST 北陸セミナー2024、[https://researchmap.jp/gomihiroshi/presentations/48320129/attachment\\_file.pdf](https://researchmap.jp/gomihiroshi/presentations/48320129/attachment_file.pdf)
- [4] 倉光玲、内平直志：「Software Defined Product の分析フレームワークの提案」、日本 MOT 学会 第 14 回年次研究発表会 2022、<https://researchmap.jp/uchihira/presentations/41527555>
- [5] 福本勲：「ソフトウェア・デファインドとは？「ものづくりの常識」も変える重要キーワードの本質」、ビジネス+IT、<https://www.sbbbit.jp/article/cont1/100943>
- [6] 五味弘：「SDx マンガ FAQ」、NOTE マガジン、[https://note.com/hiroshi\\_gomi/m/m49c1a6c814a0](https://note.com/hiroshi_gomi/m/m49c1a6c814a0)

## 第2章 製品のソフトウェアデファインド事例

ここではハードウェア製品に対するソフトウェアデファインドの事例を示す。

### 2.1 SDV ビークル

ソフトウェアデファインドビークル (Software Defined Vehicle, SDV) とは自動車やバイクなどの車両の機能をソフトウェアで定義したものであり、ソフトウェアによって車両の機能を制御し拡張して新たな価値を創出するものである。この SDV の特徴としては、ハードウェアの抽象化によるハードウェアとソフトウェアの分離、機能の随時アップデート、車両と外部との高い接続性 (コネクティビティ) などが挙げられる。また SDV には先進運転システム (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS(エーダス)) や自動運転 (Autonomous Driving, AD) などの機能が搭載されることが多い。

ここで車両の電子制御装置 ECU と SDV の実装における重要な規格である AUTOSAR の概要を参考のために以下に示す。

(参考) 電子制御ユニット ECU

電子制御ユニット (Electronic Control Unit, ECU) とは対象のシステムを電子回路で制御する装置である。ここで紹介する ECU は自動車のテレマックスやブレーキシステム、シャーシシステムなどを制御する装置になる。

(参考) AUTOSAR

AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) は自動車向けソフトウェアの標準規格である。メーカー独自の ECU が増える中で、ECU の仕様を標準化するために策定された。AUTOSAR は業界標準の車載ソフトウェアアーキテクチャとして普及し、各社の自動車には AUTOSAR 準拠の ECU が使われるようになった。

(2.1 の参考文献)

- [1] 渡邊伸一郎、糸田周平：「SDV (Software Defined Vehicle) とは何か。クルマだけではない SDV の世界を定義する」、PwC Japan グループ、  
<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/column/definition-of-sdv.html>
- [2] 高田広章：「“Software is eating the world” — ついに自動車業界にもその波が到来」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、<https://nuss.nagoya-u.ac.jp/s/gscbSkjf4NjX8iS>
- [3] 今泉大輔：「【SDV】欧米中 5 つの代表的 SDV 事例の成功要因を分析 → 日本の OEM が学ぶべき点を抽出した小レポートを無料公開」、オルタナティブ・ブログ、  
<https://blogs.itmedia.co.jp/serial/2025/09/sdv5sdvoem.html>

[4] 住川武人、山科拓也、Ali Rizvi、Ani Kelkar、Philipp Kampshoff：「AI時代のソフトウェア・ディファインド・ハードウェア」、マッキンゼーの自動車・産業機械研究グループ、  
[https://www.mckinsey.com/jp/~/media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/software%20defined%20hardware%20in%20the%20ai%20era/software-defined-hardware-in-the-age-of-ai\\_jp\\_final.pdf](https://www.mckinsey.com/jp/~/media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/software%20defined%20hardware%20in%20the%20ai%20era/software-defined-hardware-in-the-age-of-ai_jp_final.pdf)

[5] パーソルクロステクノロジー：「ADAS（先進運転支援システム）とは？AD（自動運転）との違いや搭載車・機能を一覧で解説」、  
[https://staff.persolxtech.co.jp/hatalabo/mono\\_engineer/718.html](https://staff.persolxtech.co.jp/hatalabo/mono_engineer/718.html)

## 2.1.1 本田技研「ホンダが目指すSDV」

### 概要

本田技研工業(ホンダ)は日本の自動車とバイクの製造会社で、自動車は世界第7位、バイクは世界首位の企業である。そしてホンダは自動車分野で脱エンジンを目指しているが、2026年にEV戦略を一部見直し、柔軟な自動車戦略に転換している。



図 2.1.1 ホンダのSDV

図 2.1.1 にホンダのSDVの概要を示す。ソフトウェアを主体としたSDV開発技術として、ASIMO OSというビークルOSをベースに、Honda SENSING360の各種センサを搭載し、アイズオフの自動運転レベル3のAIを運用している。そしてHonda 0の電気自動車を開発している。Honda 0では自動運転と先進運転支援を備え、また車内デジタルUXを提供し、システム全体をシームレスに統合制御している。

### 1. ホンダが目指すSDVは「超・個人最適」

ホンダは個人の嗜好や行動に高度に適応する「超・個人最適」(同社のビジョン)というモビリティ体験の実現を目指しており、以下の機能を実装する。

#### (1) 自動運転

ホンダのSDVでは自動運転(AD)に力を入れていて、目を離すアイズオフの自動運転レベル3をサポートし、また自動運転レベル1とレベル2である先進運転支援システム

(ADAS)をサポートしている。さらに運転手のドライビングを学習し、個人適応した自動運転を提供することを目指している。

2021年に渋滞時にアクセルとブレーキ、ステアリングを自動操作するトラフィックジャムパイロット（渋滞運転機能）を世界で初めて実用化しており、ハンズオフ（手を離す）だけでなくアイズオフ（目を離す）を可能としている。

## (2) シームレスな統合制御

ホンダのSDVではブレーキやトラクション、横滑り抑制、空調、姿勢、安定化などの各制御デバイスをシームレスに連動させ、統合的に制御している。そしてこの統合制御も個人の感覚に適応したものになっている。これにより安全・安心・快適にクルマを自分の思い通りに制御できる。

## (3) 車内デジタル UX

車内外のカメラやその他のセンサなどのデータから、乗員の感情や意図を読み取り、車内空間の演出を行っている。例として、ペットがいる場合はペット可の場所を案内し、子供がいれば子供の好きな音楽を再生することが挙げられる。これを車内システムが自動的にを行い、個々に適応した快適な車内体験ができる。

## 2. ホンダのSDVを作る技術

以下にホンダのSDVを構成する主要技術を示す。

### (1) ASIMO OS

ホンダが目指すSDVの中心となる技術が独自のビークルOS「ASIMO OS」である。このASIMO OSが前述のAD/ADASや統合制御、車内UX体験などの動作基盤となっている。このASIMO OSは無線ネットワークによりクラウドと連携し、各種情報連携やOTA(Over The Air)による機能追加などのアップデートを行う。

### (2) Honda SENSING 360

ホンダのSDVで重要となるADASのセンサとして「Honda SENSING 360」がある。これはセンシングの範囲を車両の前後だけでなく、360度の全方位に広げたセンサになっており、渋滞時のアイズオフADASをサポートしている。

### (3) セントラル型 E&E アーキテクチャ

ホンダのSDVではクルマの全データを扱うセントラル型のE&Eアーキテクチャを採用している。これはブレーキやトラクション、横滑り抑制、空調、姿勢、安定化などの各制御とさらにAD/ADASの機能や車内UXのすべての制御を一つのセントラルで処理するアーキテクチャを目指している。

### (4) 自動運転レベル3（アイズオフ）AI

自動運転レベル3であるアイズオフの自動運転は運転手でなくシステムが主体になって運転する。ホンダは渋滞時にアイズオフ可能なレベル3の自動運転をAIによって実現している。

このアイズオフの AI では Honda SENSING の技術と Helm.ai 社の AI 画像認識技術を融合し、高度な画像認識<sup>(\*)</sup>を可能にしている。

<sup>(\*)</sup> 画像認識において人間や街路樹、動物などの対象となる知識が必要であるが、その知識なしで学習（教師なし学習）を導入し、さらにそれを進歩させる「ディープティーチング」によって、知識なしでの対象の認識を可能にしている。

#### (5) マルチモーダル生成 AI 技術

ホンダの SDV では車両内外のカメラ画像や音声などの複数のセンシングデータを同時に並列で学習するマルチモーダルな生成 AI 技術を採用しており、一般の生成 AI であるシングルモーダル AI を別個に作るよりも高度な認識結果が得られる。

#### (6) バーチャル開発環境

ホンダの SDV ではテストを効率的に実施し開発を短期間で完成するために、AWS の仮想空間上でソフトウェアの開発とテストを行うためのバーチャル開発環境を構築している。AWS 上に車載ソフトウェア開発体制「Digital Proving Ground」を構築し、SDV の開発で増加するソフトウェアのテストを効率的に仮想空間上で実施できる。これにより仮想化は早期にテストが可能であり、テストではその期間が短縮でき、また開発とテストが並行して行える。

#### (2.1.1 の参考文献)

- [1] 本田技研工業株式会社：「Honda が目指すソフトウェアデファインドビークル (SDV) ～ASIMO OS を核に、ユーザー一人ひとりに寄り添う“超・個人最適”なクルマを創造～」、Honda 公式サイト、  
[https://global.honda/jp/tech/Honda\\_SDV\\_ASIMO\\_OS/?from=tech\\_JMS2025](https://global.honda/jp/tech/Honda_SDV_ASIMO_OS/?from=tech_JMS2025)
- [2] 池本明央、他：「Honda×AWS が仮想空間でクルマをつくる——車載ソフトウェア開発体制"Digital Proving Ground"爆速開発がスタート！」、Honda、<https://software.honda-jobs.com/ahttps://software.honda-jobs.com/article/15/article/14/>、<https://software.honda-jobs.com/article/15/>

### 2.1.2 トヨタ「SDV で交通事故をゼロに」

#### 概要

トヨタ自動車は世界首位級の自動車会社である。環境技術で優位に立っており、全方位の自動車生産を行っている。

図 2.1.2 にトヨタの SDV の構成要素などの概要を示す。トヨタの SDV の目的は「SDV で交通事故をゼロに」であり、このために先進運転システムを採用している。またトヨタの SDV には 2025 年に販売した RAV4 があり、コックピットには車内外をスムーズに見渡せる車載インフォテイメントを備えている。SDV の構成としてソフトウェアプラットフォーム Arene をベースにドメインセントラル型アーキテクチャを採用している。

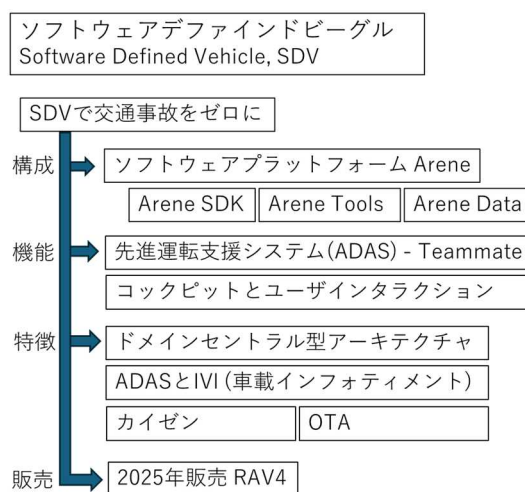


図 2.1.2 トヨタの SDV の概要

### 1. トヨタの目指す SDV は「交通事故をゼロに」

トヨタの SDV は「悲しい交通事故をゼロにすること」(同社のメッセージ)を目指している。先進運転支援システム(ADAS)の機能を OTA による継続的なソフトウェアアップデートで進歩し続けることで、交通事故をゼロにすることを目指している。これによりトヨタは SDV の価値を、交通事故を無くすという目的で明確にしている。

### 2. SDV ソフトウェアプラットフォーム「Arene」

トヨタの SDV のプラットフォームとしてオープン・バイ・トヨタらと共同で開発した「Arene (アリーン)」がある。この Arene は以下のように複数のソフトウェアサービスと組み込みツールや先進インフラで構成されている。

#### (1) Arene の構成

Arene は以下のものから構成されている。

- (a) Arene SDK：最先端技術を統合するためのソフトウェア開発キット
- (b) Arene Tools：効率的にソフトウェアの検証と評価を行うツール
- (c) Arene Data：継続的な機能改善ループを回すためのデータ収集と分析基盤

#### (2) Arene の機能

##### (a) 先進運転支援システム - Teammate

Arene は自動運転レベル 1 とレベル 2 である先進運転支援システム(ADAS)を提供している。Arene の ADAS である「Teammate(チームメイト)」はカメラや LiDAR、レーザのセンサによって得られたデータを基に正確な予測を継続して行うことができ、運転を支援するパートナーになっている。この Teammate は OTA で随時ソフトウェアアップデートされ、最新の ADAS をユーザに提供している。

##### (b) コックピットとユーザインタラクション

コックピットの中央に高精細のグラフィック表示が可能なセンターディスプレイを設置し、そのディスプレイのホーム画面はユーザがカスタマイズできる。

また車内体験(UX)と車外環境の橋渡しをスムーズに行なうために、音声認識の応答速度および理解精度を向上して快適な対話を実現している。

### (3) Arene の特徴

#### (a) ドメインセントラル型アーキテクチャ

Arene は多数の機能を少数のドメインにまとめた「ドメインセントラル型アーキテクチャ」を採用しており、将来はセントラル型アーキテクチャを目指している。

#### (b) ADAS と IVI

上記のように Arene の現状は ADAS とコックピットの IVI(車載インフォテインメント(In-Vehicle Infotainment))のドメインをサポートしているプラットフォームである。

ADAS については、トヨタは以前から「Toyota Safety Sense(TSS)」を有しており、交通事故をゼロにする思想は不偏のものとなっている。

#### (c) カイゼン

Arene は「カイゼン」(継続的改善を意味する用語)の考えで設計され、従来のウォーターフォール型でなく反復開発型を活用できるようになっている。

#### (d) OTA

Arene の機能は OTA によって、随時低コストでソフトウェアアップデートができる。これはソフトウェアデファインド一般の共通の特徴のひとつである。

### 3. (参考) ホンダとの比較

ホンダの SDV もトヨタと同様にドメインセントラル型アーキテクチャであり、ADAS と IVI を中心に構成されている。

しかしホンダのビークル OS「Asimo OS」は Arene と比較すると、ADAS より一歩進んだアイズオフの AD (自動運転) もサポートし、ブレーキやトラクション、横滑り抑制、空調、姿勢、安定化などの各制御デバイスをシームレスに連動させ、統合的に制御している。また全体の構成を見ても、Arene はソフトウェア群から構成されるソフトウェアプラットフォームであるが、Asimo OS はドメイン共通の OS として動作している。これらからホンダの SDV は ADAS に加えてアイズオフの自動運転や統合制御機能を備えており、機能面でトヨタの SDV よりも高度な実装がなされていると評価される。

一方、ホンダの次期 SDV である HONDA 0  $\alpha$  は 2027 年販売の予定であり、トヨタは 2025 年に既に量産型 SDV の RAV4 を一般に販売して量産レベルで実用化している。したがって実用時期が違ふことにも注意する必要がある。

#### (2.1.2 の参考文献)

- [1] トヨタ：「ソフトウェアづくりプラットフォーム Arene が TOYOTA 「RAV4」 の開発に初採用」、Woven by Toyota、<https://woven.toyota.jp/our-latest/20250521/>
- [2] 谷川潔：「豊田章男会長、SDV とは「悲しい交通事故をゼロにすること」であると定義 ソフトで進化する新 ADAS を新型「RAV4」搭載」、Car Watch、<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/2016101.html>
- [3] 福本裕貴：「トヨタ RAV4 で参入、「車のスマホ化」 20 兆円市場 SDV で後発日本は勝てるか」、日経ビジネス、<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00109/070100343/>
- [4] トヨタ：「3分で読み解く「SDV」。トヨタらしいSDV とは何なのか?」、トヨタタイムズ、<https://toyotatimes.jp/spotlights/1083.html>
- [5] 小川フミオ：「新型 RAV4 に搭載された「アリーン」の正体とは?」、東洋経済、<https://toyokeizai.net/articles/-/885711>
- [6] 「トヨタの新型 RAV4 に採用された「Arene (アリーン)」を車載 OS とするのは誤り!? 単なる車載 OS ではなくソフトウェア開発プラットフォームとして登場」、Car Watch、<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/2016603.html>

### 2.1.3 ソニー・ホンダ「E2E 自動運転とエンターテインメントで新体験」

#### 概要

ソニー・ホンダモビリティはソニーと本田技研（ホンダ）が出資して設立した日本の会社で、電気自動車(EV)とモビリティサービスを展開する会社である。2023年にEVの「AFEELA（アフィーラ）」を公開した。

図 2.1.3 に AFEELA の概要を示す。AFEELA はカメラやミリ波レーダー、LiDAR といった多数のセンサと SD マ

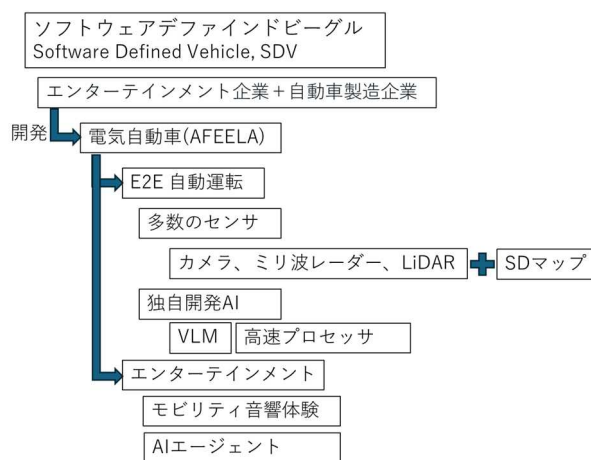


図 2.1.3 ソニー・ホンダの SDV の概要

ップを使った E2E の完全な自動運転レベル 4 を目指している。この自動運転をサポートする AI はホンダのものではなく独自の AI を新たに開発する方針であり、VLM を導入できる高速なプロセッサを搭載する。

またソニーの持つ音響やゲームなどのエンターテインメント技術により、車内で快適な没入感のあるモビリティ音響体験や AI エージェントによるエンターテインメント環境を提供している。これらの E2E 自動運転とエンターテインメントで EV の新たなユーザ体験を意図している。

## 1. E2E の自動運転

ソニー・Hondaは次世代のEVとして、E2E(End to End)の自動運転<sup>(\*)1</sup>を提供することを目指している。これは人手を介さない完全な自動運転であり、日本の企業としては比較的早期の取り組みである。

このE2E自動運転のために、センサとしてカメラだけでなくミリ波レーダやLiDAR(Light Detection And Ranging)を搭載し、これらのセンシングデータとSDマップ(Standard-Definition Map)<sup>(\*)2</sup>を統合的にAIで学習させることでレベル4の自動運転を計画している。これを実装するために数年後の次期EVではAIにVLM(Vision Language Model)<sup>(\*)3</sup>の導入を開発方針として掲げている。このようにソフトウェアであるAIを中心にした自動運転のEV開発を進めている。

### (\*)1 E2E の自動運転

E2Eの自動運転とは、カメラなどのセンサ入力から車両走行制御のアクチュエータまで、端から端までを一体化したAIで制御する自動運転である。従来のルールベース型自動運転では、センサ入力の認識から予測、判断、アクチュエータ制御の各段階におけるルールを人間が設定して制御していたが、E2E自動運転ではこれを一体化してAIがすべてを制御することで高度な自動運転が行える。

### (\*)2 SD マップ(Standard-Definition Map)

SDマップとはカーナビなどの車載システム向けの標準的な地図である。

### (\*)3VLM(Vision Language Model)

VLMは画像や動画などの視覚情報とテキストなどの言語情報を同時に処理するモデルである。

## 2. AI は独自開発

ソニー・HondaはHondaが内製している自動運転AIを採用するのではなく、独自のAIを開発している。この理由はソニー・HondaのEVとHondaのEVでは用途や価格が異なり、AIに掛けるコストや性能、目的が違うからである。

具体的にはAFEELAは前述のように多数のセンサを搭載し、またAIの演算能力は800TOPS(Tera Operations Per Second、1TOPSは1秒当たり1兆回の演算)と、HondaのEVと比較して、センサの数で優り、かつ高い演算能力を持たせている。

一方で自動ブレーキなどのソフトウェアはHonda製のものを採用し、両社の強みを活かしつつ、他社のEVと差別化を図るようにしている。

## 3. エンターテインメントで新体験

AFEELAはソニーの持つエンターテインメント技術を導入して、ソフトウェア定義の柔軟な考えを基に、「Mobility as a Creative Entertainment Space」(同社のビジョン)という従来の車載システムとは異なる特徴を持つエンターテインメント空間を開発している。

「AFEELA Immersive Audio」では車内に設置された 28 個のスピーカによって、没入感のあるモビリティ音響体験をユーザに提供している。一方でホンダの持つ低周波のロードノイズ低減技術とソニーの中周波ロードノイズ低減技術を融合したアクティブノイズキャンセリングで走行中のロードノイズを低減して、音響体験を向上させている。

「AFEELA Personal Agent」では乗員と AI のパーソナルエージェントが自然な会話を行い、アプリで音楽やマップなどのコンテンツ再生や表示が行える。この中で PlayStation のゲームのリモートプレイも可能である。また「X-to-Earn」により AFEELA のアプリ開発を外部開発者が可能なように開放する仕組みを用意している。

このようにソニー・ホンダの EV は、車内でエンターテインメント空間を構築し、ユーザに新しい体験を提供している。

### (2.1.3 の参考文献)

- [1] 本多倅基、伏木 幹太郎：「ソニー・ホンダの E2E 自動運転、ホンダと「目標違う」レベル 3 から転換」、日経 XTech、  
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/03501/021000003/>
- [2] 本多倅基：「ソニー・ホンダ、AFEELA に 1500 万円の価値はあるか？ 新興勢の SDV 意識」、日経ビジネス、<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00109/022700372/>
- [3] 山本敦：「PS5 が遊べる EV 「AFEELA 1」 で目指した新たな体験とは ソニーホンダ川西社長に聞く」、マイナビニュース、<https://news.mynavi.jp/article/20260109-3948154/>
- [4] ソニー・ホンダモビリティ：「モビリティに、かつてない音響体験を。妥協なきオーディオシステム「AFEELA Immersive Audio」」、AFEELA ニュース、<https://www.shm-afeela.com/ja/news/2025-12-09/>

## 2.1.4 SCSK 「ソフトウェア企業が作る SDV」

### 概要

SCSK は日本の IT 企業でコンサルティングからシステム開発、IT インフラ構築など、IT 全般にわたる業務を行っている会社である。SCSK が 2025 年に SDV の概念に基づいた電気自動車を開発した。

図 2.1.4 に SCSK の SDV の概要を示す。SCSK は水平分業で電気自動車を短期で開発した。このために SDV の情報公開を行い、組み合わせ開発を行い、多くの企業とのエコシステムを構築した。

SCSK の SDV は各種センサによる制御を行い、車内にはインテリジェントコックピットとパーソナル AI エージェントを備えている。

## 1. ソフトウェア企業がSDVを作る

SCSKはソフトウェア会社であり、ハードウェアを製造していない会社であった。このSCSKがSDVをわずか9か月で開発し、ジャパンモビリティショー2025に展示した。

### (1) ソフトウェア会社がEVを作った理由

自動車業界ではSDVが主体になりつつあり、ソフトウェアが自動車の中心になってきている。このような状況の中、SCSKはソフトウェアによるユーザーの移動体験の価値を先取りし、ソフトウェア会社としての技術力と柔軟性を活かすためにSDVに取り組んだ。

SCSKはSDVとそのサービスによって、CO<sub>2</sub>などの環境負荷の低減や地域交通の最適化などSDGs(Sustainable Development Goals)の実践を目指している。

### (2) ソフトウェア会社がEVを作る方法

ソフトウェア会社がSDVを開発するために、海外の自動車関連企業パートナーと水平分業を行って、9か月の短期間で開発を完了した。

この開発方法は日本の自動車メーカーなどの垂直統合型の開発とは異なり、欧州の製造業で多用されている開発形態である。またこの開発方法はテスラなどの新興企業で用いられている方法で、世界レベルのエコシステムを構築して、短期間で効率的に開発できる方法である。これはテスラの「機械を作る機械」と同様にソフトウェアデファインドファクトリ(Software Defined Factory, SDF)を実現している。

内燃機関の自動車と比較して、EV(電気自動車)は部品点数が少なく、組み合わせ開発が行いやすく、水平分業とそのためのオープンな開発はEVの開発に適している。またこれは従来の自動車企業と共創することができる開発方法である。

## 2. ソフトウェア企業が作るSDV

SCSKはソフトウェア会社の特徴を活かし、ソフトウェアの持つ柔軟性と俊敏性により、EVの機能提供やサービス提供が臨機応変に行えるSDVを開発した。ここではSCSKのSDVの機能を紹介する。

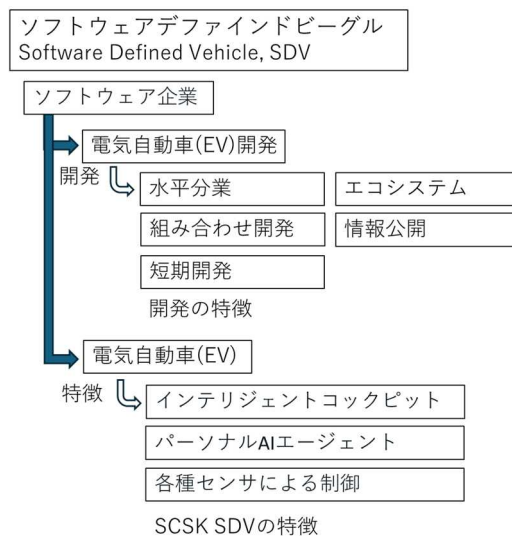


図 2.1.4 SCSK のSDV の概要

### (1) Intelligent Cockpit

8K画質の細長い44.6インチのIntelligent Cockpit Displayを搭載しており、没入感や乗員毎の複数画面表示の特徴を持ち、画面には空調制御や観光地画面、日常対話機能、ナビ連携機能などの表示に対応している。

### (2) パーソナライズド AI エージェント

パーソナライズド AI エージェントにより、個人の嗜好に合わせたレコメンテーションを行う。例として、リラックスが好きな人やトラベルが好きな人、ゲームが好きな人などの個人の嗜好に合わせて、Intelligent Cockpit の画面に前述の各種の情報を表示することが挙げられる。

### (3) 各種センサによる制御

車両内外のカメラにより対向車両や速度制限などの交通情報、運転手の状況などのデータを入手し、安全運転などの各種制御をする。また衝撃センサなどの各種センサにより、交通安全のための制御を行う。

#### (2.1.4 の参考文献)

[1] SCSK株式会社：「SCSK、IT企業”初”のEVをJapan Mobility Showにて公開～IT企業がわずか9か月でクルマをつくる。ソフトウェアで“つくり方”から変える共創～」、ニュースリリース (SCSK)、

<https://www.scsk.jp/news/2025/pdf/20251014.pdf>

## 2.1.5 その他のSDV(ヤマハ発動機、テスラ、Open SDV Initiative)

### 1. ヤマハ「AIで成長するSDVバイク」

ヤマハ発動機は日本のバイクやボート、船外機、ロボット、半導体製造装置などを製造する会社であり、バイクでは世界2位、船外機では世界1位、半導体製造のチップマウンタで世界2位の売上規模になっている。

図 2.1.5-1 にヤマハ発動機の SDV とその自立型バイク「MOTOROiD」の概要を示す。MOTOROiD は AI による学習機能を備え、ユーザとのインタラクションを通じて動作特性を最適化するバイクである。MOTOROiD はオーナーを認識し、乗車姿勢でオーナーと意思疎通をする非言語コミュニケーションのハプティック HMI を導入している。



図 2.1.5-1 ヤマハ発動機の SDV の概要

## 2. テスラ「SDV の先駆者」

テスラ(Tesla Inc)はアメリカの電気自動車と太陽光／リチウムイオン電池エネルギーを扱う会社である。テスラは世界で最も多くの電気自動車を販売している企業のひとつであり、SDV 技術の先駆者として知られている。

図 2.1.5-2 にテスラの SDV の概要を示す。テスラはソフトウェアで自動運転をサポートし、車両とインフラや他車両、歩行者などとの通信を可能にする V2X (Vehicle-to-Everything) 技術を搭載している。また OTA によって機能をアップデートする電気自動車を開発している。

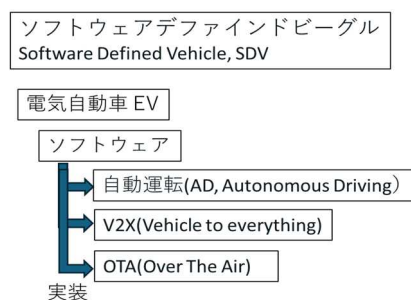


図 2.1.5-2 テスラの SDV の概要

## 3. Open SDV Initiative「SDV の標準化」

Open SDV Initiative は SDV の標準化のために、名古屋大学大学院 情報学研究科 附属組込みシステム研究センターを中心に 2024 年に設立されたコミュニティである。ここには複数の主要な自動車関連企業やソフトウェア企業が参加している。

図 2.1.5-3 に Open SDV Initiative が制定している SDV の標準となる「オープン SDV」の概

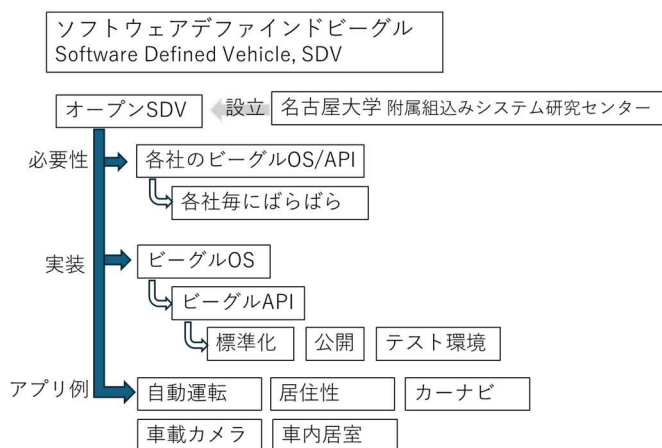


図 2.1.5-3 オープン SDV の概要

要を示す。Open SDV Initiative ではオープン SDV によってビークル OS の API を策定し、その上で動作する各種ソフトウェアの有効性を確認することを目指している。

#### (2.1.5 の参考文献)

- [1] ヤマハ発動機：「2025 年、モトロイドの新たな系譜が始まる」、[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/design/concept/motoroid-lambda/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/design/concept/motoroid-lambda/)
- [2] ヤマハ発動機：「「生き物のようなマシン」がイメージ」、[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/design/concept/motoroid/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/design/concept/motoroid/)
- [3] ヤマハ発動機：「人とマシンの関係性は、どこまで「深化」できるのか」、[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/design/concept/motoroid2/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/design/concept/motoroid2/)
- [4] 朴尚洙：「ヤマ発が AI で学習し自ら成長する「MOTOROiD」第 3 弾を開発、3 輪 EV は実走モデルに」、MONOist、<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2510/09/news057.html>
- [5] バイクのニュース編集部：「AI で学習するヤマハの「自立バイク」 未来を探る「MOTOROiD」プロジェクト第 3 弾「MOTOROiD： $\Lambda$ （ラムダ）」を JMS2025 で公開「モビリティ×強化学習による運動制御」で二輪の世界を刷新」、バイクのニュース、<https://bike-news.jp/post/442424>
- [6] 岡本玄介：「AI で進化したヤマハの最新バイク。そのデザインはもはやアート」、ギズモード・ジャパン、<https://www.gizmodo.jp/2025/10/yamaha-motoroid-lambda.html>
- [7] Alumni：「Tesla: Building the Machine that Builds the Machine」、Harvard University、<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/tesla-building-the-machine-that-builds-the-machine/>
- [8] 高田広章：「“Software is eating the world” — ついに自動車業界にもその波が到来」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、<https://nuss.nagoya-u.ac.jp/s/gscbSkjf4NJX8iS>

## 2.2 SDS ストレージ

ソフトウェア定義ストレージ(Software Defined Storage, SDS)とは、ストレージにおいてハードウェアとソフトウェアを分離するアーキテクチャである。

この SDS は物理的なストレージへのデータアクセスを管理するソフトウェアであり、上位層からはストレージのハードウェアに依存せず、ストレージ機能を使えるようになる。例えば SDS はストレージがサーバ直結型であっても構内ネットワーク上やクラウド上に配置されていても、同一のインターフェースでアクセス可能であり、位置透過性を実現する。

また NAS(ネットワーク接続ストレージ Network Attached Storage)や SAN(ストレージエリアネットワーク Storage Area Network)との違いは、SDS はストレージ機能をソフト

ウェアによって抽象化し仮想化する概念であり、物理的構成に依存しない柔軟な運用が可能となる。一方 NAS や SAN は特定の製品を指しハードウェア中心の概念である。

(参考：NAS)

NAS(ネットワーク接続ストレージ Network Attached Storage)はネットワークに接続されたストレージ装置とそのサービスを指す。NAS はネットワーク上に配置された複数のストレージ装置をあたかも 1 個のスタンドアロンの固定的なハードディスクのように扱える。この意味で NAS は物理的にストレージ仮想化を実現している。SDS の実装ではネットワークと接続するのは必須であり、NAS の実装と同じである。しかし NAS がハードウェアを想定しているのに対し、SDS はソフトウェアを中心に想定していることが異なる。

(参考：SAN)

SAN(Storage Area Network)とは、ストレージを専用のネットワーク回線でリモート接続したネットワークのことである。NAS と比較して専用回線であることと、ファイル単位でなくブロック単位で管理することが異なる。

## (2.2 の参考文献)

[1] レッドハット：「ソフトウェア・デファインド・ストレージとは」、レッドハット公式ブログ、<https://www.redhat.com/ja/topics/data-storage/software-defined-storage>

[2] IBM：「ソフトウェア定義ストレージ (SDS) ソリューション」、<https://www.ibm.com/jp-ja/solutions/software-defined-storage>

### 2.2.1 レッドハット「SDS ソリューションのオープン化」

#### 概要

レッドハットはアメリカの IBM の子会社で、Linux ディストリビューションの Red Hat Enterprise Linux の開発とサポートをはじめ、クラウドソリューションを行っているソフトウェア会社である。

図 2.2.1 にレッドハットの SDS ソリューションの概要を示す。レッドハットではソフトウェアを主体にして、ハードウェアからソフトウェアを分離し、ハードウェア独立・ベンダ独立を目指している。これによりネットワークの柔軟な機能定義とスケーラブルな実装

ができ、コストパフォーマンスに優れたものになる。これらの目的を実現するために、レ

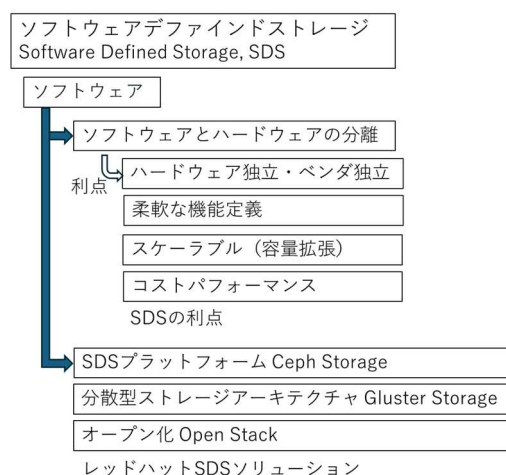


図 2.2.1 レッドハットの SDS ソリューション

レッドハットは SDS プラットフォームとして Ceph Storage および Gluster Storage を提供している。そしてレッドハットは情報をオープンにして SDS を進めている。

## 1. SDS の利点

SDS の利点は以下のものがある。

### (1) ハードウェア独立・ベンダ独立

ソフトウェアでストレージアクセスを管理することで、ストレージのハードウェアに依存しない。また後述するオープン化により、特定のベンダにも依存しない。これらによりユーザはストレージのベンダを自由に変更できる。

### (2) 柔軟な機能定義

ソフトウェアでストレージアクセスを定義することで位置透過性（ストレージの配置をどこに置いても同様に動作すること）があり、ストレージアクセスの機能定義や変更が容易にできる。

### (3) 容易な容量拡張・スケーラブル性

ソフトウェアでストレージアクセスを管理することで、ストレージの容量を拡張しても（または縮小しても）、容量変更が容易に対応できる。この結果、ストレージのスケーラブル性に優れている。

### (4) コストパフォーマンス・タイムパフォーマンス

上記のようにソフトウェアでストレージ機能を定義することで、ベンダ独立と柔軟な機能定義、容易な容量拡張ができる。これらにより SDS はタイムパフォーマンスに優れている。またストレージ機器の使用状況に適した構成変更が容易に実現できることで、結果的にハードウェアのコスト低減ができ、コストパフォーマンスにも優れている。

## 2. SDS はオープン性が重要

レッドハットは、SDS の普及と発展のためにはオープン性が重要であると位置づけている。実際にレッドハットの SDS ソリューションはオープンソースソフトウェア (Open Source Software, OSS) で実装されている。これにより OSS の持つ利点である多数の開発者やパートナー、ユーザが共同で作業が行え、またベンダロックインされることはない。そして普及している OSS は、世界中に多くのシステムが動作し多数のユーザによる長年の使用経験が得られることも、オープンである利点になる。

## 3. レッドハットの SDS ソリューション

レッドハットにはソフトウェアで実装される以下の SDS ソリューションがある。これらのソリューションはレッドハットが提供する他のシステムと親和性があり、特に OpenStack との親和性が高くなっている。

### (1) Ceph Storage

Ceph Storage ソリューションはスケーラブルでオープンな SDS プラットフォームを、クラウド環境やインターネット上のオブジェクトストレージ用に提供している。

### (2) Gluster Storage

Gluster Storage ソリューションは複数のノードにデータを分散する「分散型ストレージアーキテクチャ」を採用することで、高可用性と耐障害性を持たせている。またデータの増加に対応するために、ストレージ容量を動的に拡張することが容易に可能である。

#### (2.2.1 の参考文献)

- [1] Cynthia Harvey : 「Red Hat SDS Solutions: Product Overview and Insight」、Red Hat Enterprise Storage Forum、<https://www.enterprisestorageforum.com/products/red-hat-sds-solutions-product-overview-and-insight/>
- [2] サイオステクノロジー : 「Red Hat Storage」、<https://sios.jp/products/redhat/storage/>

## 2.3 SDN ネットワーキング

ソフトウェア定義ネットワーク(Software Defined Networking, SDN)とは、従来のネットワークにおいて各ネットワーク機器が個別に制御していたものを、ネットワーク全体をソフトウェアにより集中管理し制御したアーキテクチャをいう。

この SDN はソフトウェア定義技術の中でも初期に登場した代表的なアプローチであり、他の SDx 技術の先駆けと位置づけられる。

以下に SDN と関係のある VPN と VLAN、NFV の概要を参考のために示す。

(参考) VPN、VLAN、NFV

VPN(Virtual Private Network)は仮想的にプライベート LAN を構築するものであり、これに対して SDN は一般的にはプライベートな LAN の中でネットワーク全体の構成や経路の制御を行うものである。

VLAN(Virtual Local Area Network)は仮想的に LAN セグメントの構成を設定するものであり、これに対して SDN は 1 個の OpenFlow スイッチだけの設定をすることでネットワーク全体の構成や経路の集中制御が行える。

NFV(Network Function Virtualization)はネットワーク機器そのものを仮想化し、NFV は SDN を発展させたものがある。一方 NFV でも OpenFlow で制御することが多く、NFV と SDN は共存できる。

#### (2.3 の参考文献)

- [1] 江川尚志、早野慎一郎、Fabian Schneider、Sibylle Schaller、Marcus Schöller、Frank Zdarsky : 「SDN 実用化に向けた標準化」、NEC 技報/Vol.66 No.2/ICT システムを高度化する SDN 特集(2014)、<https://jpn.nec.com/techrep/journal/g13/n02/pdf/130204.pdf>

[2] Study Sec : 「SDN コントローラーとは？仕組み・メリット・導入事例を徹底解説！」、Study Sec、<https://study-sec.com/sdn-controller/>

[3] シスコ「Software Defined Networking (SDN) ネットワークを自動化し、プログラムによって高速化する」、[https://www.cisco.com/c/ja\\_jp/solutions/software-defined-networking/overview.html](https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/software-defined-networking/overview.html)

### 2.3.1 シスコシステムズ「SDN で意図通りのネットワーク」

#### 概要

シスコシステムズはアメリカにある世界最大のネットワーク機器開発の会社である。製品にはネットワークやセキュリティ、コラボレーション、アプリケーション、クラウドの各製品とそのソリューションがある。

図 2.3.1 にシスコシステムズの SDN の特徴を示す。SDN ではネットワーク機器の構成や転送経路の制御をソフトウェアで行い、柔軟で動的なリソース管理やスケーラブルなネットワーク配信を可能にしている。この SDN 実装としては、OpenFlow プロトコルにより制御と転送の分離を行っている。

またシスコシステムズではユーザの意図通りにネットワークの構成や制御を行う IBN をこの SDN で実現している。そのソリューションには SD-Access や SD-WAN、SD-Branch があり、Cisco Identity Services Engine(ISE)や Cisco Catalyst Center などの機器がある。

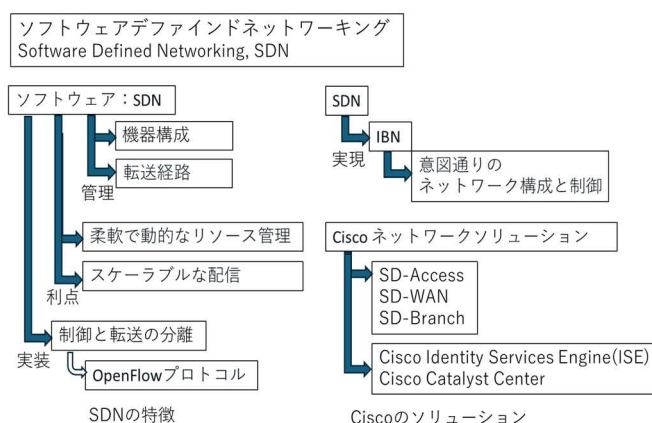


図 2.3.1 シスコシステムズの SDN の特徴

#### 1. SDN の特徴

SDN ではネットワークの制御プレーンと転送プレーンを分離することで、ネットワーク設計や構築、管理を柔軟に行うことができる。このためのプロトコルとして OpenFlow があり、その装置であるオープンフロースイッチをソフトウェアで制御することで、ネットワーク全体の制御をする。またこのアーキテクチャではデータ転送はハードウェア機器が担い、その制御はソフトウェアによって集中管理される。

## 2. SDN のメリット

SDN により柔軟なネットワークの構成とその変更、リソース管理が柔軟にでき、ネットワーク効率が向上する。またアプリケーションの配信が動的に俊敏にできる。またネットワークの構成やアプリケーションの配信がスケーラブルに可能で、大規模なデータセンタで効率的に運用できる。

## 3. SDN はインテントベースネットワークの実装

インテントベースネットワーク(Intent Based Networking, IBN)とは、ユーザのインテント（意図、思い）通りのポリシーに基づいてネットワークを構成することでき、これによりユーザの意図通りのネットワークの構成最適化や転送制御、セキュリティ、監視、ネットワーク修復、学習などの機能が自動的に追加できる。

この IBN がネットワーク運用の本来の目的であり、この IBN を実装するために SDN がある。ユーザ企業の事業の目的達成のために、ユーザの業務要件に応じて自動的にネットワーク構成を最適化し、アプリケーションやコンテンツ配信やセキュリティ、AI 適用などを実施するために SDN があり、SDN はこの IBN を目指すことになる。

## 4. SDN の事例

シスコシステムズは SDN 用のネットワーク機器やソリューションをユーザ企業に提供しており、SD-Access や SD-WAN、SD-Branch などのソリューション、Cisco Identity Services Engine (ISE) や Cisco Catalyst Center などの機器がある。

シスコシステムズの SDN 導入事例は多数あり、例として NTT データには会社間のネットワークを SD-WAN で管理することでセキュリティを強化し、ネットワーク基盤を構築した事例がある。これにより拠点ごとに異なるネットワーク接続ニーズに対応し、クラウドベースでネットワーク全体の状況をリアルタイムに可視化できる。

また日立ハイテクソリューションズの事例では、セキュリティ強化のために SDN を導入し、AI による運用支援も採用検討をしている。

### (2.3.1 の参考文献)

- [1] 猪腰拓郎：「NTT データ株式会社 グローバル統括会社間のネットワークを SD-WAN で統合管理 セキュリティ強化と投資効率最大化の基盤を構築」、シスコ導入事例、[https://www.cisco.com/c/dam/global/ja\\_jp/about/case-studies-customer-success-stories/pdf/2111-nttdata.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ja_jp/about/case-studies-customer-success-stories/pdf/2111-nttdata.pdf)
- [2] 小野俊彦：「日立製作所のセキュアな IT 環境を実現する Cisco Secure Access の構築・導入を支援」、シスコ ニュースネットワーク、<https://news-blogs.cisco.com/apjc/ja/2025/07/29/>

## 2.4 SDC コンピューティング

ソフトウェア定義コンピューティング(Software Defined Computing, SDC)とは、プロセッサ (CPU や GPU) やメモリ、ストレージ、ネットワークなどのコンピュータが計算するときに必要なリソースをソフトウェアで動的に定義するという概念である。

(注意) SDI(Software Defined (IT) Infrastructure)の文脈では、SDC はプロセッサとメモリのリソースに限定している。SDI には SDC(プロセッサとメモリ)と SDS(ストレージ)、SDN(ネットワーク)が含まれるという定義になっている。このため SDI の文脈では SDC は限定されている。ここでは SDC を広義に捉え、いわゆる SDI と同等なものとしている。これによりここでの SDC ではオンデマンドに必要なときに必要なだけコンピュータリソースを動的に割り当てて、計算を効率よく実行するものとなる。

### 2.4.1 IBM 「SDC でソフトウェア仮想化」

#### 概要

IBM(International Business Machines Corporation)はアメリカの IT 総合企業であり、世界 170 国以上で事業を展開する巨大な企業である。コンピュータのハードウェアとソフトウェアの開発や販売、そのサービスやコンサルティングを行っている。

図 2.4.1 に IBM の HCI の概要を示す。IBM の HCI では IT インフラの運用やコンピュータリソースをソフトウェアで統合管理する。ソフトウェアでリソースを管理することにより、集中管理や自動化による拡張性や低コスト化が可能になる。

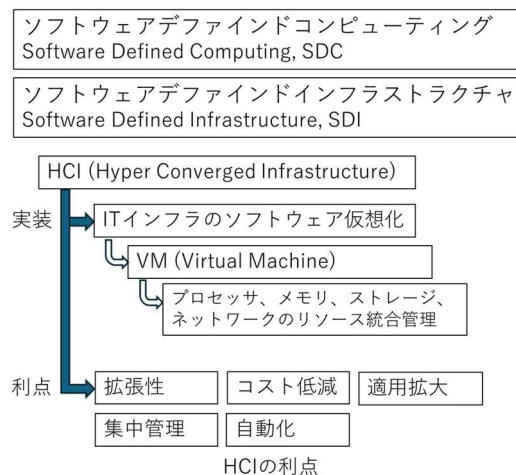


図 2.4.1 IBM の HCI の概要

#### 1. ハイパーコンバージド インフラストラクチャ(HCI)

SDC の実装のひとつとして、ハイパーコンバージドインフラストラクチャ(Hyper Converged Infrastructure, HCI)がある。HCI の前にコンバージドインフラストラクチャ (Converged Infrastructure, CI)について紹介する。CI とはプロセッサやメモリ、ストレージ、ネットワークなどのコンピュータリソースをひとつのシステムに統合して、システムの運用や管理を容易にしたものである。

これに対して HCI はコンピュータリソースをソフトウェアで仮想化して、これらのリソースをソフトウェアで定義できるようにしたものである。この「ハイパー」という語は、ソフトウェアによる仮想化を強調するものである。またコンピュータリソースを IT イン

フラストラクチャとして、これをソフトウェアで定義し制御できるため、HCIはソフトウェアデファインドインフラストラクチャ(Software Defined Infrastructure, SDI)の実装とも言える。

このHCIの柔軟性とスケーラビリティの利点は、ソフトウェアデファインドデータセンター(Software Defined Data Center, SDDC)にも適用できる。

## 2. HCIの構成要素

HCIはコンピュータリソースをソフトウェアで仮想化する。最初にコンピュータのリソースになるコンポーネントをまとめたVM(Virtual Machine、仮想マシン)はSDCの実装のひとつであり、これによりコンピュータの計算機構を仮想化する。そしてこのコンポーネントであるストレージはSDS(Software Defined Storage)で仮想化し、ネットワークはSDN(Software Defined Networking)を使うことになる。

例として、これらをVMのハイパーバイザによって制御することで、リソースを動的に割り当て、コンピュータインフラストラクチャを管理できることが挙げられる。

## 3. HCIの利点

HCIの利点としては柔軟なソフトウェアによる定義から以下のものがある。

### (1) 柔軟な拡張性

ソフトウェアによって動的にリソースを割り当てるために、スケーラブルにシステムを拡張(または縮小)できる。これにより必要なリソースだけを使うことができ、無駄にならない。

### (2) 集中管理

これはCIの利点にもなるが、リソースを一元的に集中管理できるために管理が容易になり、管理コストが小さくなる。

### (3) 自動化

ソフトウェアによりリソースを集中管理できるために、管理作業を自動化することが容易になり管理コストが低減する。

### (4) コスト低減

上記のようにリソースが効率的に使用でき、また管理コストが低減することで、全体の運用コストが低減する。

### (5) 適用拡大

ソフトウェアで集中管理できるため、多様な業務機能や新興分野への適用が可能である。例としてVDI(Virtual Desktop Infrastructure、仮想デスクトップ)やオンプレミスとクラウドのハイブリッドクラウドや複数のクラウドを使うマルチクラウドの機能が提供で

き、また大規模データセンターや高性能な計算能力が必要な分野などに適用できることが挙げられる。

#### 4. HCI の事例

IBM では HCI の事例として、以下のものがある。

##### (1) ヘルスケア

ヘルスケアシステムでは、電子カルテ管理で機密性の高い患者データの保護をしながらデータの保存およびアクセスの効率化が図られている。また高性能な HCI を活用して、研究者などに仮想学習環境を提供している。

##### (2) 金融

金融サービスではスケーラビリティと俊敏性が必要であるため、この分野で HCI が活用されている。例えば、運用に応じてシステム拡張が必要となるオンラインバンキングや金融商品取引システムなどに利用されている。

##### (3) 販売

販売管理や在庫管理、顧客管理、サプライチェーン管理などの複雑で販売店ごとに変動の大きいデータを扱うときに HCI の持つ柔軟さが有用になる。

##### (2.4.1 の参考文献)

[1] Josh Schneider、Stephanie Susnjara、Ian Smalley :「ハイパーコンバージド・インフラストラクチャーとは」、IBM、<https://www.ibm.com/jp-ja/think/topics/hyperconverged-infrastructure>

[2] IBM、「ソフトウェア定義データセンター (SDDC) とは」、<https://www.ibm.com/jp-ja/think/topics/software-defined-data-center>

## 2.5 SDR ラジオ

ここではラジオのハードウェアをソフトウェアで置き換えたソフトウェア定義ドラジオ(Software Defined Radio, SDR)を紹介する。このソフトウェア定義ドラジオとは、ハードウェア(アナログ電子回路)で実装されたラジオの主要機能である変調器/復調器や搬送波発振器、帯域フィルタなどを AD 変換器や DSP(Digital Signal Processor)、DA 変換器などのデジタル装置上のソフトウェアで置き換えたラジオ(送受信機)である。また SDR は「ソフトウェアラジオ」や「ソフトウェア無線」とも呼ばれている。

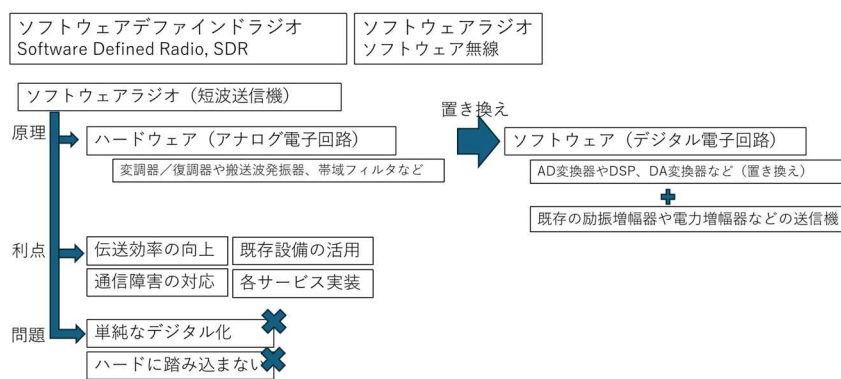
これによりソフトウェアで全体のデジタル通信の制御ができ、さまざまな周波数やプロトコルに応じたラジオが実装可能になる。

## 2.5.1 富士通「ソフトウェアラジオはラジオのソフトウェア化」

### 概要

富士通は日本の IT サービスの大手企業であり、通信機器などのハードウェアからサービスソリューションなど幅広く手掛け、コンサルティングや DX に力を入れている。

図 2.5.1 に富士通のソフトウェアラジオの概要を示す。富士通の SDR ではアナログ電子回路をデジタル電子回路とソフトウェアで置き換えることで、伝送効率の向上や通信障害の対応、多様なサービスの実装ができる。また



既存設備を活用できるようにしている。しかしアナログ回路の単純なデジタル化では SDR の利点は得にくく、ソフトウェア技術者がハードウェアに踏み込む必要があった。

### 1. SDR 事例の紹介

ここで紹介する富士通の SDR は搬送波発振器や平衡変調機、帯域フィルタをデジタル回路のソフトウェアで置き換えた SDR の短波送信機である。ソフトウェアで置き換えたフルデジタル変調器の変調信号を既存の励振増幅器や電力増幅器などの送信機機能を使って送信する。

今回の事例では海上の船舶とのデジタル通信を行っており、位相偏移変調方式 (PSK(Phase Shift Keying) 方式) で 約 2,600km の電波伝搬を実現している。

### 2. SDR 事例の利点

この SDR の短波送信機の利点を以下に紹介する。

#### (1) 伝送効率の向上

この SDR の短波送信機で、デジタルナロー化 (デジタル技術による狭帯域通信方式) によりアナログ短波送信機の 1/100 の帯域幅を実装している。またわずか 150W の空中線電力で、多地点受信方式の採用と変調速度調節によりデータ通信が可能となっている。

#### (2) 既存設備の活用

変調器/復調器のソフトウェア実装により、既存の励振増幅器や電力増幅器などのアナログ設備を利用できるようにしている。

### (3) 通信障害の対応

この SDR では多地点受信方式を採用し、通信障害に対応している。

### (4) 各種サービスの実装

SDR はソフトウェアで実装するために、デジタル通信だけでなく、これを使ったサービスの提供が柔軟に可能となっている。本事例では通信の自動化や正確な位置情報の獲得などのサービスを実装している。

## 3. SDR の実装における課題と留意点

SDR の実装において、アナログ回路を単純なデジタル回路によるものに置き換えただけでは以下の問題が生じる。

### (1) 単純な置き換えでは既存のアナログ機能をすべて置き換える必要がある

ラジオのアナログ回路を単純にデジタル回路とそのソフトウェアで置き換える場合は、すべてのアナログ回路を置き換える必要があり、多大なコストが必要になる。

### (2) 短波帯域での商用デジタル通信の事例がない

SDR によりさまざまな無線方式やさまざまなデジタル通信の商用利用ができるようになるが、これらの商用事例は多くはない。このためにビジネスマーケティングから法規準拠などの多くの課題に対応する必要がある。

### (3) 全体のサービスを制御する必要がある

適用範囲が広い SDR ではデジタル通信の制御だけでなく、全体のサービスを制御する必要があり、このための制御ソフトウェアが必要になる。

今回の SDR 事例では船舶の航行に専念するものであるから、SDR 送信の聞き逃しを避けるための通信の自動化などのソフトウェアが必要になる。

### (4) 無線局免許など環境整備の必要がある

短波送信機の場合は無線局免許の取得、各種法令の準拠、受信局の設置などの環境整備の必要がある。

## 4. ソフトウェアからハードウェアへの挑戦

SDR は SDV や SDN などと比較して新興分野であり、産業界における認知や関心はまだ限定的であり、事例が少なく、知見が集まっていない。また前述したようにハードウェアを単なるソフトウェアで置き換えるだけでは実装が困難であり、各種の課題を解決する必要がある。これらを解決するためには、ソフトウェアエンジニアがハードウェアの分野に踏み込み、共同してハードウェアのソフトウェアデファインドに挑戦する必要がある。

### (2.5.1 の参考文献)

[1] 河野太基：「DX時代に求められるソフトウェアとそれを取り巻く環境」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、JEITA ソフトウェア事業基盤専門委員会 2024 年度成果報告書

## 2.6 SDE エレベータ

ソフトウェアデファインドエレベータとは、エレベータ（昇降機）の各種サービスをソフトウェアで定義するシステムである。これによりエレベータの新たなサービスの追加や拡張が柔軟に行える。

### 2.6.1 東芝エレベータ「ソフトウェアでクラウドサービスするエレベータ」

#### 概要

東芝エレベータは日本の大手総合電機メーカーである東芝の子会社で、エレベータの国内シェアで3位を占める大手の昇降機メーカーである。エレベータの設計から製造の開発、販売、設置、保守までを一貫して行っている。

図 2.6.1 にソフトウェアデファインド技術を用いたエレベータクラウドサービス「ELCLOUD」の概要を示す。ELCLOUD の技術としてはロボット連携サービスやスマホ呼びサービス、管理支援サービスをコンテナ化し、クラウド上で実装している。またエレベータ運用の安全のためにセキュリティ対応も行っている。

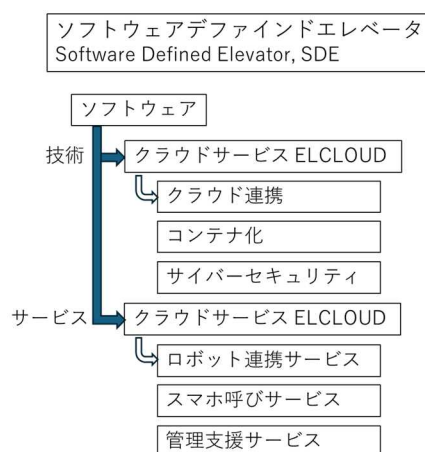


図 2.6.1 東芝エレベータ  
サービス ELCLOUD の概要

#### 1. ソフトウェアデファインドエレベータ

東芝エレベータのエレベータクラウドサービス「ELCLOUD」は、クラウド連携によりエレベータの各種サービスをソフトウェアで定義するサービスで、エレベータの新たなサービスの追加や拡張を柔軟に行える。これは（ELCLOUD を中心にした）ソフトウェアデファインドエレベータの事例となっている。

#### 2. ELCLOUD の技術

ここではソフトウェアデファインドでエレベータサービスを実現するための技術を見ていく。

##### (1) クラウド連携

従来のエレベータのソフトウェアはエレベータ制御盤のスタンドアロン型であったが、ELCLOUD では制御盤のソフトウェアとクラウド連携したソフトウェアから構成されている。

従来のスタンドアロンでは新規のサービスを追加し拡張するときは大きな開発コストが必要でサービス提供に時間が掛かっていた。そこで ELCLOUD ではクラウドコンピューティングで連携させることで新規サービスの追加や拡張を効率的に開発でき、柔軟なサービス提供を可能にしている。

## (2) コンテナ化

コンテナ(container)とは、アプリケーションとその依存関係を一体化してパッケージ化する技術であり、環境に依存せずに実行可能とする技術である。

ソフトウェアをコンテナ化することで、ソフトウェアをオンプレミスやクラウド上など自由にどこでも配置することができる位置透過性を持つことになる。ソフトウェアデファインドではこのコンテナ化による位置透過性は、柔軟な開発と運用のために必要となる技術である。

## (3) サイバーセキュリティ

エレベータサービスをクラウド連携したソフトウェアデファインドにすることで、新規サービスの追加や拡張などでソフトウェアのアップデートが頻繁に行われ、ネットワークアクセスが増加する。

このため悪意を持ったセキュリティ攻撃の可能性が高まり、セキュリティ対策が必要になる。そこで昇降機メーカーの業界団体である NEII(National Elevator Industry, Inc.)が定めているエレベータのサイバーセキュリティのベストプラクティスに基づいて、ELCLOUD はサイバーセキュリティの対応を実施している。

## 3. ELCLOUD のサービス

ソフトウェアデファインド技術でクラウド連携した ELCLOUD のサービスを以下に示す。

### (1) ロボット連携サービス

ELCLOUD ではエレベータの警備や清掃、搬送などを行うロボットと連携するサービスを提供している。

### (2) スマホ呼びサービス

ELCLOUD ではエレベータの呼び出しをユーザのスマートフォンのアプリケーションで行うサービスを提供している。

### (3) 管理支援サービス

ELCLOUD では遠隔操作でエレベータの運行状態などの情報を共有するサービスをビル管理会社向けに提供している。

(2.6.1 の参考文献)

[1] 藤松由里恵、福壽康弘、曾根祐輝：「ソフトウェアデファインド技術を適用したエレベータークラウドサービス ELCLOUD のセキュリティ設計・実装」、東芝レビューVol. 80 No. 4 (2025 年 7 月)、  
<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2025/04/a07.pdf>

## 2.7 SDS 人工衛星

ここではソフトウェア技術で開発した人工衛星システムについて述べる。この人工衛星システムをソフトウェアデファインドサテライト(Software Defined Satellite, SDS)と呼んでいる。

### 2.7.1 三菱電機「ソフトウェアデファインドで作る人工衛星」

#### 概要

三菱電機は日本の大手総合電機メーカーで、FA 機器や自動車機器、昇降機、パワー半導体、家電などを開発し販売している。また宇宙事業も行っており、宇宙機や人工衛星システムを開発している。

図 2.7.1 にソフトウェアデファインド技術で開発した三菱電機の人工衛星システムの概要を示す。人工衛星の開発では開発スピードやスケータビリティ、柔軟性などが必要になり、このため開発方針として、ソフトウェアデファインドの原則であるソフトウェアとハードウェアの分離、ハードウェアの標準化、デジタルツイン環境での試験と開発を採用している。

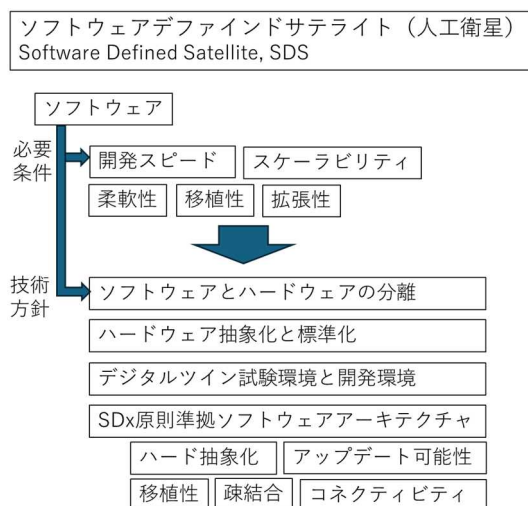


図 2.7.1 三菱電機の人工衛星システムの概要

#### 1. 人工衛星とは

三菱電機が開発している人工衛星は部品点数が 70 万点を超える巨大システムであり、宇宙機/衛星システムと地上システムの総合システムから構成され、多くのサブシステムとコンポーネントで構成しているシステムオブシステムズ(System of Systems, SoS)である。

サブシステムには航法誘導制御やデータ処理、通信、電源、ミッション制御などがあり、各サブシステムを構成するコンポーネントにはセンサやアクチュエータ、コンピュータ、ソフトウェアなどがある。

## 2. 人工衛星の現状と必要条件

現状の人工衛星の開発では擦り合わせ開発（各部門が密接に連携しながら個別最適を積み重ねていく開発手法）により高性能と高信頼な衛星システムを開発している。

しかし人工衛星の現況としては、アメリカの SDA(宇宙開発局)が HGV(極超音速兵器)への対処手段として PWSA(Proliferated Warfighter Space Architecture)を定めており、この PWSA では 1000 基を超える人工衛星を打ち上げる計画を立て、この計画を基に驚異的なスピードで開発を行っている。

このため人工衛星システムには従来と比べ圧倒的な開発スピードとそれを可能にする柔軟性が求められ、さらに人工衛星が多数打ち上げられ、人工衛星が大規模になっても対応できるスケールビリティが必要になっている。

また人工衛星は追尾レイヤやトランスポートレイヤなど複数レイヤで構成され、開発世代を分けて段階的にシステム構築と機能向上を繰り返し、レイヤごとの段階的開発のために移植性と拡張性が必要になっている。

## 3. 人工衛星システムのソフトウェアデファインド技術

そこで人工衛星システムの開発には高性能と高信頼性を維持し、かつ上記の開発スピードや柔軟性、スケールビリティ、移植性、拡張性が求められる。これらを実現するために三菱電機では以下のソフトウェアデファインドの概念と技術を導入している。

- (1) ソフトウェアとハードウェアの分離
- (2) ハードウェア抽象化と標準化
- (3) デジタルツイン試験環境と開発環境
- (4) SDx 原則に準じたソフトウェアアーキテクチャ

### (2.7.1 の参考文献)

[1] 西川和宏：「宇宙機・人工衛星向け Software Defined 技術と DX への取り組み」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、JEITA ソフトウェア事業基盤専門委員会 2024 年度成果報告書

## 2.8 その他の製品 SDx（ロボット掃除機、スピーカ、携帯電話）

これまでの事例以外のソフトウェアデファインド製品の事例を以下に示す。

## 1. iRobot「オープンなソフトウェアデファインドロボット」

iRobot はアメリカにある世界有数のロボット掃除機の世界有数の会社であった。製品には家庭向け掃除ロボット「ルンバ」やモップかけロボット「ブラーバ」、フローリング洗浄掃除ロボット「スクーバ」などがあり、ここではソフトウェアデファインドロボットとしてのルンバを見ていくことにする。なお iRobot 社は 2025 年 12 月に事業を終了しているが、その技術的貢献は現在も評価されている。

図 2.8-1 に iRobot のロボット掃除機の概要を示す。ロボット掃除機はソフトウェアにより各種のセンサとモータを制御し、ロボット掃除機の動作は包摂アーキテクチャで実装している。iRobot 社はロボット掃除機という文化を創造した。また iRobot 社は仕様をオープンにし、サードパーティによるカスタマイズを可能にし、これによりハッカー文化を育てた。しかしロボット掃除機に採用した包摂アーキテクチャは、当時は話題になった一方で効率の悪さが課題になっていた。

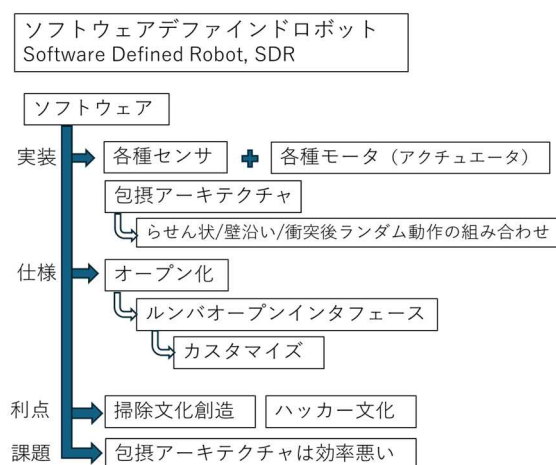


図 2.8-1 iRobot のロボット掃除機の概要

## 2. アマゾン「ソフトウェアとクラウドによる AI スピーカ」

アマゾン・ドット・コム社はアメリカのオンラインショップでの販売やプラットフォーム提供、アマゾンウェブサービス (AWS) の提供に加え、Kindle や Fire、Echo、Ring などのデジタル製品の製造・販売を行っている会社である。

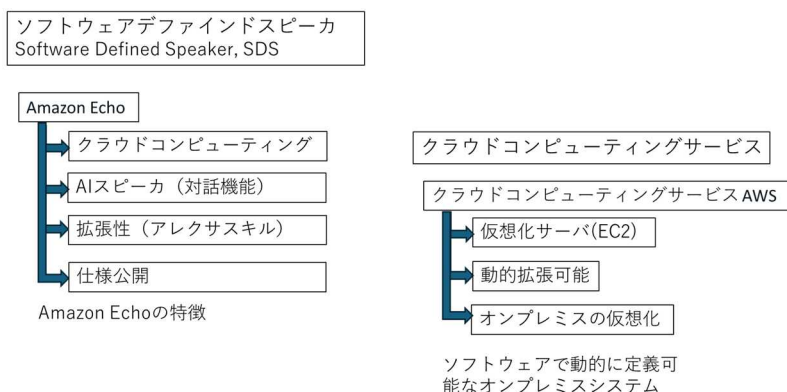


図 2.8-2 アマゾンの AI スピーカ Echo と AWS

図 2.8-2 にアマゾンの AI スピーカ Echo とクラウドサービスの AWS の概要を示す。Echo はクラウドコンピューティングで実装し、対話機能を持つ AI スピーカである。またアレクサスキルで機能を拡張でき、この仕様は公開されており誰でも自由に機能拡張できる。

またアマゾン社が展開しているクラウドサービスは仮想化サーバの EC2 で実装され、これにより動的に容量を拡張可能にしている。これはオンプレミスの環境をネットワーク上にソフトウェアで実現したことになる。

### 3. Apple 「スマートフォンはソフトウェアデファインドの代表的な応用例」

Apple はアメリカの IT 企業で、iPhone や iMac などのコンシューマ向けデジタル製品やソフトウェア、クラウドサービスなどの製造、販売、運営をしている。ここではスマートフォン（スマホ）の元祖である iPhone を取り上げる。

図 2.8.3 に iPhone の概要を示す。iPhone は従来の携帯電話を PC 化したものであり、ソフトウェアデファインドの考えを携帯電話に導入して開発したものになっている。

またサードパーティにも仕様をオープンにしたことでアプリの普及に効果があった。また iPhone の開発スタックとして iOS から開発環境 Xcode、ソフトウェア開発キット、Cocoa フレーム、プログラミング言語 Swift と Objective-C、iOS アプリがある。

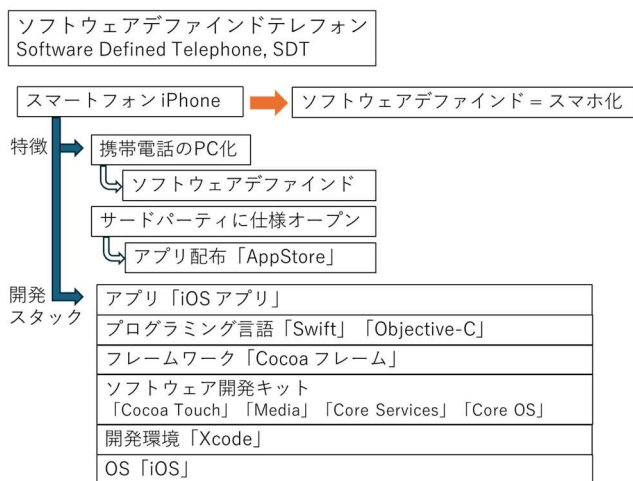


図 2.8-3 iPhone の概要

#### (2.8 の参考文献)

- [1] Joseph L. Jones : 「Robots at the Tipping Point The Road to the iRobot Roomba」、IEEE Robotics & Automation Magazine、pp.76-78(March 2006)
- [2] iRobot : 「iRobot® Create® 2 Open Interface (OI) Specification based on the iRobot® Roomba® 600」、[https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/create\\_2\\_Open\\_Interface\\_Spec.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/create_2_Open_Interface_Spec.pdf)
- [3] trendgteru : 「iRobot がこだわり続けた「vSLAM」技術の深層：ルンバの賢い動きの秘密」、はてなブログ、<https://trendgteru.hatenablog.com/entry/2025/07/12/154518>
- [4] アマゾン : 「Alexa コネクテッドデバイスの開発」、<https://developer.amazon.com/ja-JP/alexa/devices/connected-devices/development-resources>
- [5] Amazon : 「【2025 年版】 Echo Dot 第 5 世代であなたの家が「未来の住まい」に！新機能でスマートホームを徹底強化」、echo dot home、<https://echodotroom.com/amazon-echo/2025-05-20-5th-gen-smart-home-guide>
- [6] Apple : 「iOS テクノロジーの概要」、<https://web.archive.org/web/20110523014921/http://developer.apple.com/jp/devcenter/ios/library/documentation/iPhoneOSTechOverview.pdf>

[7] 杉本貴之：「【ios アプリとは？】初心者でも簡単に理解できる完全ガイド」、エミー  
オ、<https://emeao.jp/guide/appli/appli-knowlege/post-53414/>

## 第3章 製造のソフトウェアデファインド事例

ここでは製造工程や工場におけるソフトウェアデファインドの事例を示す。

### 3.1 SDA/SDF オートメーション/工場

ソフトウェアデファインドオートメーション (Software Defined Automation, SDA) やソフトウェアデファインドファクトリ (Software Defined Factory, SDF) とこれらに関する用語を説明する。

SDA ではソフトウェアでオートメーションシステムを構築することで、製造プロセスのロジックの変更だけでなく新規機能の追加を柔軟かつ迅速な対応が可能となり、時代の変化に追従できるようになる。またこの SDA では OT(Operating Technology、製造の運用技術)を ERP(Enterprise Resource Planning、企業資源計画)などの IT と融合し、データデファインドオートメーション(DDA)を実現できる。

SDF では工場の生産設備 (ハードウェア) を抽象化し、それを制御するソフトウェアと分離するもので、これにより柔軟な製造が行えるようになる。このことから SDF は SDA を包含し、スマート工場の進化形と位置づけられる。

以下に SDA/SDF で重要な構成要素になる vPLC の概要を参考のために示す。

(参考：バーチャル PLC(vPLC))

#### (1) 物理的配線

PLC が使われる以前は工場の製造ロジックを、リレーとタイマなどを物理的な配線でつなぎ制御していた。物理的な配線であったために、制御ロジックを変更するためには大きなコストが掛かっていた。

#### (2) (ハードウェア)PLC

プログラマブルロジックコントローラ(PLC)とは上記の配線をコンピュータソフトウェアのプログラムに置き換えるための装置である。PLC により制御ロジックの変更がプログラムの変更のみ行えるようになり、変更が容易になった。しかし PLC のアーキテクチャではソフトウェアとハードウェアが一体化しているため、高度な分析や AI による推測機能などの新たな機能を追加するときには大きなコストが必要であった。また PLC はベンダ独自のものになり、他システムとの接続性や拡張性が低くなっていた。

#### (3) バーチャル PLC

バーチャル PLC (vPLC)とは、PLC のアーキテクチャにおいてソフトウェアとハードウェアを分離することで、柔軟に制御変更や機能追加をできるようにしたものである。これによりハードウェア固有の仕様に縛られず、またソフトウェアにはハイパーバイザやコンテナなどの仮想化技術を適用して、柔軟に動作できるようにした。また必要に応じて、リソースの追加や削除が動的に行えるようになり、効率化とそれによるコスト低減を行える。なおバーチャル PLC は PLC シミュレータとは異なり、実際の製造ラインのセンサやアクチュエータと接続し、実稼働する。

### (3.1 の参考文献)

[1] 樋口悟：「2026年、ソフトウェア・デファインド・ファクトリー（SDF）の未来：世界の最前線と日本の製造業が取るべき針路」、エネがえる、

<https://www.eneaeru.com/2026futureofthesoftware-definedfactory> (2026/2/2 閲覧)

[2] ろぼてく：「バーチャル PLC 市場の徹底分析：FA 業界のパラダイムシフトと将来展望」、ファミブログ、<https://oyako-programming.com/fa-virtualplc>

#### 3.1.1 テスラ「SDF で機械を作る機械」

##### 概要

テスラ(Tesla Inc)はアメリカの電気自動車(Electric Vehicle, EV)と太陽光／リチウムイオン電池エネルギーを扱う会社であり、電気自動車の分野は世界のトップクラスである。

図 3.1.1 にテスラのギガファクトリーの概要を示す。ギガファクトリーは「機械を作る機械」として、ソフトウェアによる工場の自動化、生産管理、サプライチェーン管理を実施している。

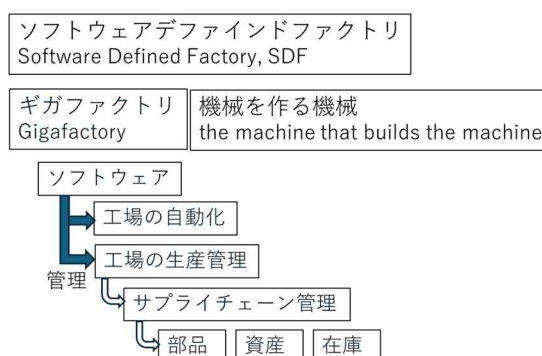


図 3.1.1 テスラのギガファクトリーの概要

##### 1. 機械を作る機械

テスラの工場である「ギガファクトリー(Gigafactory)」(同社のビジョン)は単なる電気自動車を作る工場ではなく、電気自動車を作る機械を作る機械(the machine that builds the machine)という考え方を持っている。つまり製品である電気自動車だけでなく、サプライチェーンを含んだ生産プロセス全体を作るという設計思想に基づいている。

##### 2. テスラのソフトウェアデファインドファクトリー

このギガファクトリーはファクトリーオートメーションを含んだソフトウェアデファインドファクトリー(Software Defined Factory, SDF)である。工場の自動化に加えて、工場の生産管理をソフトウェアで制御することで新たな生産プロセスを柔軟に構築できる。

具体的にはサプライチェーンをソフトウェアで管理し、部品や資産がどこにあり在庫がどの程度であるかをリアルタイムで追跡し管理している。これにより低コストで迅速に生産プロセスを変更でき、生産計画の実行を動的に運営できる。この仕組みは自社工場内に留まらず、サプライチェーン全体に適用され、エコシステム全体の生産プロセスを包括的に制御している。

### (3.1.1 の参考文献)

[1] Alumni : 「Tesla: Building the Machine that Builds the Machine」、Harvard University、<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/tesla-building-the-machine-that-builds-the-machine/>

### 3.1.2 シュナイダー「vPLC による SDA」

#### 概要

シュナイダーエレクトリック社はフランスの電気・製造機器を製造する会社であり、エネルギー管理とオートメーションの世界的な技術を持っている。

図 3.1.2 にシュナイダーエレクトリックのバーチャル PLC によるソフトウェアデファインドオートメーションである Automation Expert の概要を示す。

Automation Expert では vPLC の実装によりハードウェアとソフトウェアの分離を行い、柔軟な制御変更や機能追加が行えるようになる。この Automation Expert では生成 AI によるプログラミング開発支援やデジタルツインによる設計や検証、シームレスな IT/OT 間のデータ統合を提供している。また vPLC の IEC61499 仕様に準拠し、その普及を推進している。

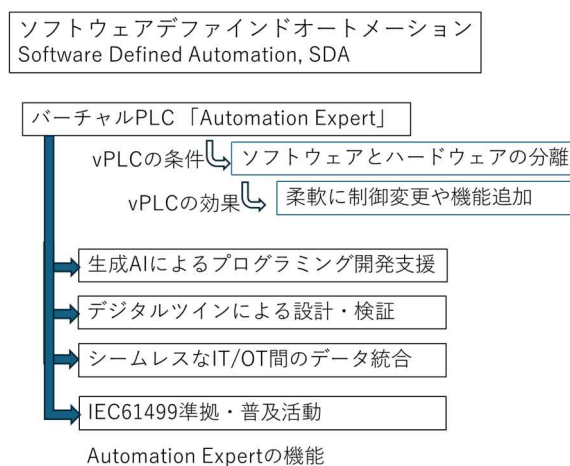


図 3.1.2 シュナイダーの Automation Expert の概要

#### 1. Automation Expert

シュナイダーエレクトリック社は同社のバーチャル PLC 「EcoStruxure Automation Expert」を使って、従来の製造プロセスオートメーションを SDA に変革している。

この Automation Expert では以下のような機能追加を実現している。

- ・生成 AI によるプログラミング開発支援 Automation Application Copilot
- ・デジタルツインによる設計・検証 EcoStruxure Machine Expert Twin
- ・シームレスな IT/OT(\*)間のデータ統合 AVEVA System Platform

また Automation Expert は IEC61499 に準拠した vPLC であり、従来のリレー回路を模したラダー言語ではなくイベント駆動型のオブジェクト指向プログラミング言語を採用している。このオブジェクト指向プログラミングによりハードウェアと独立した実装が可能となっている。

さらにシュナイダーエレクトリック社は IEC61499 の普及を目指して、UniversalAutomation.org の設立を主導し、自社製品をオープンにしている。

(\*) IT/OT は Information Technology(情報技術)と Operation Technology(運用技術、ここでは製造工程の運用技術)のことである。

(参考) ソフトウェアデファインドとオープン化

ソフトウェアデファインドとオープン化は密接な関係にある。この理由はソフトウェアの持つ基本的な性質として「使い回し」のコストが小さいことがある。ソフトウェアは使い回されてこそ価値があり、1回だけのソフトウェアでは意味がない。この使い回しのためにはソフトウェアはオープンであることが重要で、ソフトウェアデファインドでもオープンにした方が結局は全体最適になる。

### (3.1.2 の参考文献)

- [1] シュナイダーエレクトリック：「次世代型のソフトウェア・デファインド・オートメーションを実現するバーチャル PLC を、デロイト トーマツのイノベーション拠点に導入」、共同通信 PR ワイヤー、<https://kyodonewsprwire.jp/release/202505299690>
- [2] シュナイダーエレクトリック：「シュナイダーエレクトリック、次世代型のソフトウェア・デファインド・オートメーションを実現するバーチャル PLC を、デロイト トーマツのイノベーション拠点に導入」、ニュースルーム、[https://www.se.com/jp/ja/about-us/newsroom/news/\(2025/5/29版\)](https://www.se.com/jp/ja/about-us/newsroom/news/(2025/5/29版))
- [3] シュナイダーエレクトリックジャパン：「Hannover Messe 2025 最新展示に見る製造業の未来：ソフトウェア・デファインド・オートメーション」、NOTE、[https://note.com/schneider\\_jp/n/n8312c877b139](https://note.com/schneider_jp/n/n8312c877b139)

### 3.1.3 オモビオ(コンチネンタル)「AWS で SDV 開発ソリューション」

#### 概要

コンチネンタル社はドイツの自動車部品やタイヤの製造メーカーであり、シーメンス社の自動車電子部品部門を買収して規模や分野を広げている。そして 2025 年にオートモーティブ部門が独立しオモビオ(Aumovio)社となった。

図 3.1.3 にオモビオ社のバーチャル ECU による SDV 関連ソリューションの概要を示す。オモビオのバーチャル SDV コンポーザは AWS(Amazon Web Services)上で、マルチテナントで動作するフレームワークである。ツールであるバーチャル ECU クリエータによりソフトウェアで仮想化した ECU を生成し、この ECU をユーザ企業各社が利用することで実機を用いずに SDV の開発を実現する。

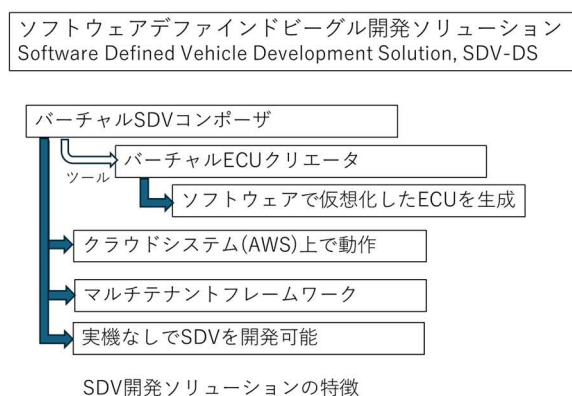


図 3.1.3 オモビオの SDV 関連ソリューションの概要

## 1. vECU Creator

コンチネンタル社が開発しオモビオ社に引き継いだ vECU Creator は、AWS 上で動作しそこで vECU を生成するソフトウェアであり、これは SDV 開発フレームワーク「vSDV Composer(virtual SDV Composer)」の一部である。なおコンチネンタル社時代の旧名は CAEdge (Continental Automotive Edge)であった。

vSDV Composer(CAEdge)は AWS 上に構築された複数のユーザ企業（自動車メーカー）が利用できるマルチテナントフレームワークで、vECU Creator もマルチテナントで動作する。これによりユーザ企業の自動車メーカーは AWS 上の vECU Creator を使い、自社の vECU を生成して、AWS 上でテストなどを実施できる。

これにより自動車メーカーは生成した vECU を使い、実機なし（ハードウェアレス）で ECU の動作テストが行え、効率的に SDV の開発が行える。これにより自動車メーカーは開発の初期段階で問題の特定が可能で、オモビオ社は SDV の開発期間を最大 12 か月短縮できるとしている。

## 2. SDV 開発ソリューション vSDV Composer

オモビオ社は AWS 上の vECU Creator を含む vSDV Composer を自動車メーカーに公開し、ハードウェアレスで効率的な SDV 開発ソリューションを提供している。

この取り組みは製品としての SDV ではなく、開発プロセスにおけるソフトウェアデファインドの適用事例と位置づけられ、「ソフトウェアデファインド SDV 開発ソリューション」と言える。

### (3.1.3 の参考文献)

- [1] Ilona Tzudnowski : 「Continental und Amazon Web Services beschleunigen Automotive-Softwareentwicklung」、Continental、  
<https://www.continental.com/de/presse/pressemitteilungen/20230817-caedge-vecu/>
- [2] Chris Anthony : 「Continental and Amazon Web Services collaborate on virtual ECU project」、Tyrepress、  
<https://www.tyrepress.com/2023/08/continental-and-amazon-web-services-collaborate-on-virtual-ecu-project/>
- [3] Liza (Elizaveta) Zinovyeva, etc : 「Shaping the future of embedded automotive development with AUMOVIO and AWS」、AWS for Industries、  
<https://aws.amazon.com/jp/blogs/industries/shaping-the-future-of-embedded-automotive-development-with-aumovio-and-aws/>
- [4] Tsubasa Watanabe : 「Continental Automotive Edge (CAEdge) を用いたソフトウェアデファインドビークルのためのプラットフォーム開発」、AWS ブログ、

<https://aws.amazon.com/jp/blogs/news/developing-a-platform-for-software-defined-vehicles-with-continental-automotive-edge-caedge/>

[5] 青木英也：「アジャイル開発の鍵を握るコラボレーション・プラットフォーム…コンチネンタル [インタビュー]」、レスポンス、

<https://response.jp/article/2022/12/21/365480.html>

[6] 椿山和雄：「コンチネンタル、AWS を採用する SDV 向けソリューションを「人とするまでのテクノロジー展 2024 横浜」で展示」、Car Watch、

<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1593825.html>

[7] オモビオ株式会社：「コンチネンタル、アマゾン AWS と共同で自動車向けソフトウェア開発を加速」、PR Times、

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000055.000023443.html>

### 3.1.4 その他の SDA/SDF（シーメンス）

#### 1. シーメンス「SDA と AI による製造現場のステップアップ」

シーメンスはドイツの総合電機メーカーであり、鉄道車両製造では世界シェアの2割を占める大手企業である。またインダストリー4.0にも参画している。

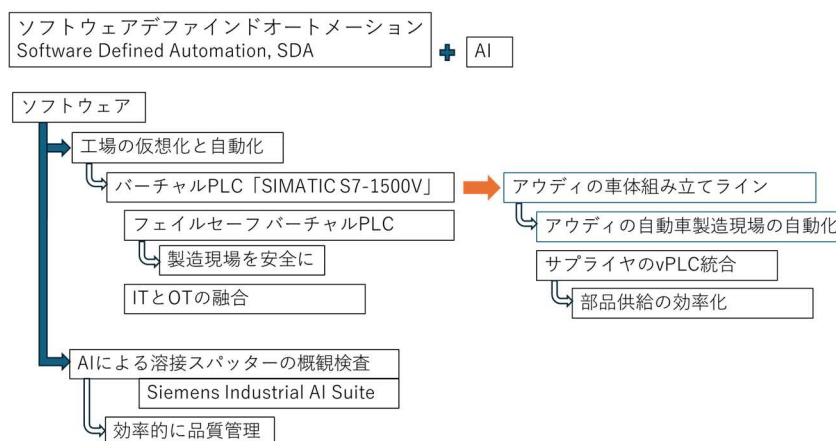


図 3.1.4-1 シーメンスの SDA の概要

図 3.1.4-1 にシ

ーメンスのソフトウェアデファインドオートメーションの概要を示す。シーメンスはアウディ社の車体組み立てラインに対して、vPLC「SIMANTICS」を提供して、アウディ社のソフトウェアによる工場の仮想化と自動化を実現している。

SIMANTICS はフェイルセーフな vPLC になっており製造現場に安全性を提供しており、また IT と OT の融合を行っている。さらに AI による溶接スパッターの概観検査により、品質管理の効率化を実現している。

これらの事例以外でも前章で示したホンダや SCSK など製造工程をソフトウェアデファインドで実施している事例がある。

### (3.1.4 の参考文献)

- [1] シーメンス：「シーメンスとアウディ、AI と IT を活用した大規模な自動化により、製造現場を次のレベルに引き上げ」、<https://press.siemens.com/jp/ja/pressrelease/pr-20250327>
- [2] シーメンス：「多様な産業向けシーメンスソフトウェア」、<https://www.siemens.com/jp/ja/products/software.html>
- [3] シーメンス：「仮想 V&V (検証と妥当性確認) により、優れたソフトウェア・デファインド・ビークルを製造」、<https://resources.sw.siemens.com/ja-JP/e-book-build-better-software-defined-vehicles-with-virtual-verification-and-validation/>
- [4] シーメンス：「ソフトウェア・デファインド・ビークルの変革を推進」、<https://resources.sw.siemens.com/ja-JP/executive-brief-driving-transformation-for-software-defined-vehicles/>

## 3.2 SDC 会社

ここでは会社組織を対象にしたソフトウェアデファインドを示す。

### 3.2.1 ミシュラン「ソフトウェア駆動型会社」

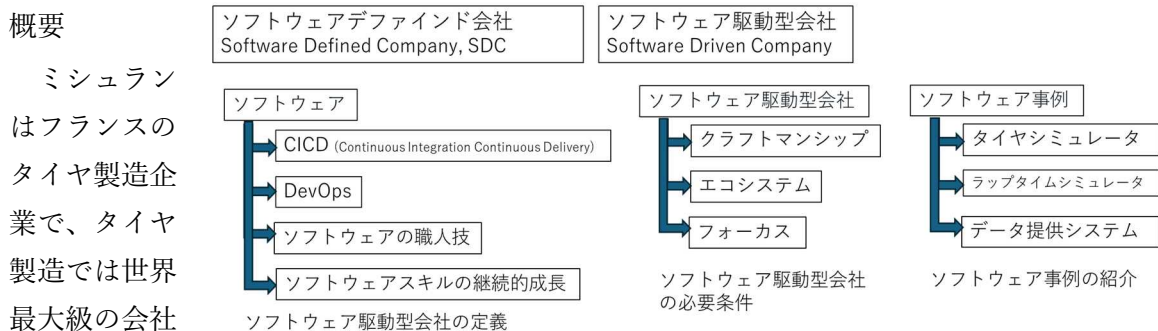


図 3.2.1 ミシュランのソフトウェア駆動型会社の概要

図 3.2.1 に

ミシュランのソフトウェア駆動型会社の概要を示す。ソフトウェア駆動型会社では CICD や DevOps、ソフトウェアの職人技、ソフトウェアスキルの継続的成長が不可欠で、さらにクラフトマンシップやエコシステム、フォーカスの側面で捉える必要がある。またソフトウェア事例としてタイヤシミュレータなどがある。

#### 1. ソフトウェア駆動型会社

ミシュランはタイヤとその材料、それに加えてこれらからもたらされるサービスを提供して収益を得ている会社である。さらにソフトウェアによって研究開発から製造、サービ

ス、ユーザ体験などあらゆる点で競争力を高めており、これらからミシュランは「ソフトウェア駆動型会社(Software Driven Company)」と宣言している。

またミシュランはソフトウェア駆動型会社として(1) CICD (Continuous Integration Continuous Delivery)と DevOps(Development Operation、開発と運用)、(2)ソフトウェアの職人技、(3)ソフトウェアスキルの継続的成長が不可欠であると言及している。

## 2. ソフトウェア駆動型会社の実現方法

ミシュランはソフトウェア駆動型会社になるためには(1)クラフトマンシップ、(2)エコシステム、(3)フォーカスの側面から捉えることが不可欠であるとしている。

クラフトマンシップの側面では、ショー&テルの実践などを行う中で、ユーザ満足度を充足する価値提供のためスプリントではなくマラソン(長い道のり)になると述べている。

エコシステムの側面では SaaS (Software as a Service)や OSS (Open Source Software)などの既存の外部リソースからなるエコシステムを利用すべきと主張している。フォーカスの側面では計画の範囲を縮小して、アジリティを向上させることであり、これには「一つのことを本当にうまくやるのが最善」の Google 原則が重要であると述べている。

## 3. ミシュランのソフトウェア事例

ミシュランはタレスの Sentinel を活用して、タイヤの挙動を予測するシミュレータ「TameTire」を自動車メーカーやモータースポーツチームに提供している。またラップタイムのシミュレーションや車両モデリング、セットアップをする「Canopy」、タイヤやサスペンションなどコンポーネントデータを自動車メーカーやサプライチェーン企業に提供する「SiMiX」などもある。これらによりミシュランはソフトウェア主導で収益を挙げるビジネスモデルを構築しようとしている。

### (3.2.1 の参考文献)

[1] Yves Caseau : 「Software-Defined Excellence for Michelin」、Michelin、

<https://blogit.michelin.io/software-defined-excellence-for-michelin/>

[2] ミシュラン : 「ミシュラン、先進のシミュレーション技術を取得 データドリブンカンパニーとしての成長を加速」、ニュースルーム、

<https://news.michelin.co.jp/articles/20230602-michelin-motorsport-2023-release>

[3] タレス : 「タレスとミシュラン、革新的なシミュレーションソフトウェアでソフトウェア収益の成長を促進」、タレスニュースリリース、<https://cpl.thalesgroup.com/ja/about-us/newsroom/michelin-thales-software-growth-sentinel-platform>

## 第4章 中小企業のソフトウェアデファインド事例

ここでは中小企業でのソフトウェアデファインドの事例を述べる。

### 4.1 SDF 工場

今回、中小企業のソフトウェアデファインド事例として、工場をソフトウェアデファインドの対象にしたソフトウェアデファインドファクトリ(SDF)の事例を示す。なおソフトウェアデファインドファクトリについては3章で示している。

#### 4.1.1 旭鉄工「IoT からソフトウェアデファインドへ」

##### 概要

旭鉄工は愛知県の自動車部品製造の会社で、従業員数が約500名の中堅企業である。旭鉄工では製造機器のIoTモニタリングツール「iXacs (アイザックス)」を開発し、これを用いて効率的な製造を可能としている。また関連企業の i Smart Technologies 社ではこの iXacs を用いた IoT サービス提供とコンサルティングを行っている。

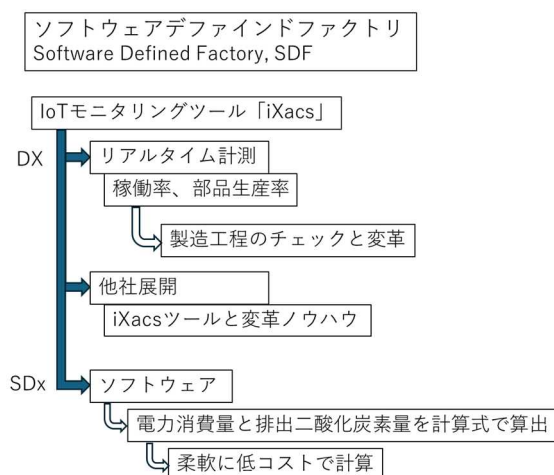


図 4.1.1 旭鉄工の IoT モニタリングツール iXacs の概要

図 4.1.1 に旭鉄工の IoT モニタリングツール iXacs の概要を示す。iXacs は製造装置の稼働率や部品生産率をリアルタイムで計測するツールであり、またソフトウェアにより電力消費量と排出二酸化炭素量を計算式で算出し、これらを柔軟に低コストで計測できる。

#### 1. 製造業 DX とソフトウェアデファインド

ソフトウェアで対象の機能を定義するソフトウェアデファインドは、DX(Digital Transformation、デジタルトランスフォーメーション)では必須ではないが、DX のひとつの変革手段として捉えることができる。

製造業 DX では製造工程や製品、サービスに対して、デジタル技術を用いて、製造変革や製品変革を行い、ビジネス変革を行うことになる。このときに製造業 DX の手段としてはデジタル技術を使って製造装置や製品、サービスから収集したデジタルデータをソフト

ウェアで処理することになり、これはソフトウェアでデータ処理の機能を定義するソフトウェアデファインドと親和性が高いものになっている。

## 2. IoT モニタリングツール「iXacs」

旭鉄工が開発した製造機器の IoT モニタリングツール「iXacs」は各製造装置の稼働率を計測する IoT ツールであり、製造装置から収集したセンシングデータは AWS のクラウド上で分析して、リアルタイムで結果を表示する。

このツールは製造装置に直接組み込むのではなく独立して計測することで、このツールに不具合があっても製造装置には影響を与えない。またツールの製造費用を抑えるために Raspberry Pi（ラズベリーパイ）や安価なセンサを使うように工夫している。

またこのツールでは製造装置の電源投入時間（稼働時間）だけでなく、実際の部品の製造時間（製造サイクルタイム）も計測して、時間当たりの部品生産数（部品生産率）も算出できるようにしている。さらにソフトウェアのみの低コストで稼働時間から計算式で消費電力量と排出される二酸化炭素量も算出している。これにより電力計などのハードウェアを使わずに低コストで計測でき、また新しい製造装置や連携している製造装置に対しても、ソフトウェアにより柔軟に低コストで算出できる。

そしてこのツールやこのツールを使った変革のノウハウを他社に展開するビジネスを関連企業の i Smart Technologies 社で行い、IoT システムの導入を通じて製造業における DX の実現を目指している。

### (4.1.1 の参考文献)

[1] IPA 製造分野向け DX 推進検討 WG：「中小規模製造業の製造分野におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)のための事例調査 報告書 Ver.2」、IPA 社会基盤センター、<https://www.ipa.go.jp/digital/dx/mfg-dx/ug65p90000001kqv-att/000109368.pdf>

## 4.1.2 HILLTOP「SDx で 24 時間無人工場」

### 概要

HILLTOP は京都のアルミ切削などの試作品製造を手掛ける中小製造業の会社であり、自動プログラミングツールや IoT システムにより、短納期多品種少量のアルミ切削製品などを製造する工場を 24 時間無人での稼働を実現している。

図 4.1.2 にその概要を示す。IoT 装置によりアルミ切削装置の稼働状況を自動監視し、ソフトウェアの自動プログラミングツールや職人技データベース、シミュレーションによる動作確認により無人工場の実現を可能にしている。

これにより 24 時間無人で品質の高い製品を製造でき、また柔軟に変更可能な多品種少量生産も可能になる。

## 1. SDx による 24 時間無人工場

HILLTOP のアルミ切削加工では、製造装置（マシニングセンター、NC マシン）に加工用のプログラムを与え、自動的にアルミ製品を切削加工する。またその稼働状況を IoT システムで自動監視する。

これらの鍵となるのがソフトウェアにより柔軟に生産計画を立てることができるソフトウェアデファインドファクトリ (SDF) である。以下に HILLTOP の SDF の構成要素を述べる。

### (1) 自動プログラミングツール「COMlogiQ」

アルミ製品の 3 次元設計図を「COMlogiQ」に入力すると、AI によって設計図データを基に製造装置（アルミ切削加工の 5 軸切削加工機など）の加工プログラムを生成する。

### (2) 職人技データベース「HILLTOP SYSTEM」

職人技データベース「HILLTOP SYSTEM」は穴開けや交差指示などの職人技の加工技術を集めたデータベースであり、COMlogiQ に組み込まれている。アルミ製品の 3 次元設計図を COMlogiQ に与えると、データベースから材料や治具、材料の設定位置と設定方法などの手順書を自動生成する。

### (3) シミュレーションによる動作確認

加工プログラムと手順書によるアルミ切削加工の動作をシミュレーションによって確認する。これにより製造装置の無人運転でのリスクを低減している。

### (4) 製造装置の稼働状況を IoT 装置で自動監視

加工プログラムによって動作している製造装置を外付けの IoT 装置によって、1 分間隔で自動監視する。これにより夜間は監視も含めて無人でアルミ製品を製造する。

(参考) アルミは切削作業を自動化しやすい材料

アルミは切削くずの処理が扱いやすい材料であり、他の材料では切削くずによる製造装置の故障や異常動作を監視する必要があるが、アルミではその必要がなく自動運転に適している材料である。

## 2. 24 時間無人工場の利点

ここまで述べたように 24 時間無人工場には以下の利点がある。

### (1) 24 時間稼働と無人化による低コスト化

### (2) プログラムの自動生成とその実行による生産性の向上（短納期生産）

### (3) 職人技データベースによる品質向上

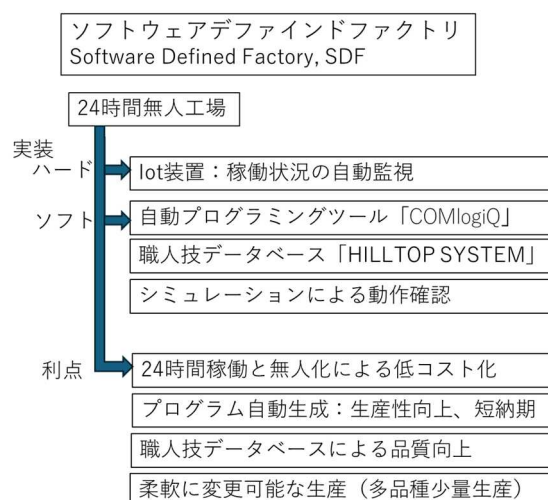


図 4.1.2 HILLTOP の 24 時間無人工場

#### (4) 柔軟に変更可能な生産計画（多品種少量生産）

##### (4.1.2 の参考文献)

[1] HILLTOP：「自動プログラミングサービス「COMlogiQ」（コムロジック）の販売スタート 職人技のデータベースと AI を組み合わせた自動プログラミングで『製造業の DX 化』へ」、

<https://hilltop21.co.jp/news/%e2%be%83%e5%8b%95%e3%83%97%e3%83%ad%e3%82%b0%e3%83%a9%e3%83%9f%e3%83%b3%e3%82%b0%e3%82%b5%e3%83%bc%e3%83%93%e3%82%b9%e3%80%8ccomlogiq%e3%80%8d%ef%bc%88%e3%82%b3%e3%83%a0%e3%83%ad%e3%82%b8%e3%83%83/>

[2] 山善：「自動プログラミングサービス「COMlogiQ」（コムロジック）の提供開始」、  
<https://www.yamazen.co.jp/news/entry-1686.html>

#### 4.1.3 その他の中小企業 SDF（ウチダ製作所）

##### 1. ウチダ製作所「つながる工場は中小企業 SDx」

ウチダ製作所は愛知県のプレス加工メーカーの中小製造業の会社であり、アイシンなど大手自動車関連企業に向けプレス加工製品を製造している。主力の製品には自動車の窓枠を支える金属部品などがある。

ウチダ製作所は企業連合を作り、そこで「つながる工場」を構築しており、図 4.1.3-1 につながる工場の概要を示す。

つながる工場では共同受注と共同設計製造、共同保守を行っており、共同受注では AI による需要予測と最適手配を行っている。また共同設計製造ではつながる工場に参加している企業連携により高度な金型製造を行っている。このつながる工場は低コストな IoT システムにより一体化共同システムを構築し、また AI データ分析で実装している。

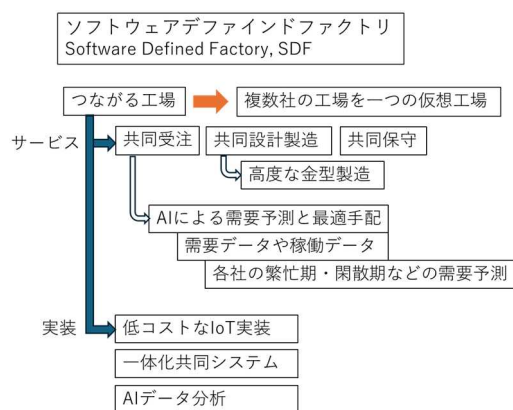


図 4.1.3-1 つながる工場の概要

##### (4.1.3 の参考文献)

[1] 「中小規模製造業の製造分野におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)のための事例調査報告書」、IPA 社会基盤センター、<https://www.ipa.go.jp/digital/dx/mfg-dx/ps6vr70000009jrd-att/000084035.pdf>

## 第5章 広義のソフトウェアデファインド事例

ここでは広義のソフトウェアデファインドとして、今までの製品や製造、組織より対象を広げたソフトウェアデファインドとして、対象を都市に広げた事例を示す。

### 5.1 SDC 都市と SDS 社会

ソフトウェアデファインドの対象をさらに広げて、都市のインフラやシステムを対象にしたソフトウェアデファインドシティ (Software Defined City, SDC) であるスマートシティを述べる。

(参考) スマートシティとは

スマートシティとは日本の内閣府によれば「グローバルな諸課題や都市や地域が抱えるローカルな諸課題の解決、また新たな価値の創出を目指して、ICT 等の新技術や官民各種のデータを有効に活用した各種分野におけるマネジメント（計画、整備、管理・運営等）が行われ、社会、経済、環境の側面から、現在および将来にわたって、人々（住民、企業、訪問者）により良いサービスや生活の質を提供する都市または地域」と定義され、いずれは Society5.0 の実現につながっていくと提唱している。

具体的な施策には、自動車の自動運転と MaaS (Mobility as a Service)、分野間連携サービス、5G 通信、ICT とデータ活用によるスマートメーターなどがある。

またソフトウェアデファインドの対象を社会全体に適用したソフトウェアデファインドソサエティ (Software Defined Society) の概念も登場している。

(5.1 の参考文献)

[1] 内閣府：「スマートシティ - Society 5.0 -」、

[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/smartcity/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/smartcity/index.html)

[2] 情報処理推進機構(IPA)：「ソフトウェアモダナイゼーション委員会」、

<https://www.ipa.go.jp/disc/committee/software-modernization-comittee.html>

#### 5.1.1 コペンハーゲン「スマートシティはソフトウェアデファインド」

概要

コペンハーゲンはデンマークの首都であり、人口 80 万人の海洋都市である。アルバーツルンドはコペンハーゲンの西部にある人口 3 万人の市で計画的ニュータウンとして開発された新都市であり、コペンハーゲンと密接な関係がある。

コペンハーゲンとアルバーツルンドは環境にやさしいカーボンニュートラルの都市を目指して、スマートシティの施策を実施している。

図 5.1.1 にコペンハーゲンのスマートシティの概要を示す。コペンハーゲンではインテリジェンス交通システムを構築し運用しており、アルバーツルンドではデジタル街路灯を運用している。これらはデータを基軸にしたソフトウェアデファインドの考えで実装している。

### 1. スマートシティはソフトウェアデファインドで実装

現状のスマートシティの施策は交通サービス(MaaS)やスマートメーターなどの社会インフラサービスが中心であり、施策としてはソフトウェアよりハードウェアで実装されている。

しかしスマートシティの次の段階では、交通サービスやインフラサービスで流通しているデータの利活用

が進むことにより、ソフトウェアデファインドの世界に到達することが期待される。このときにはソフトウェアデファインドシティ (Software Defined City) となり、やがて社会全体がソフトウェアデファインド社会 (Software Defined Society) になるであろう。

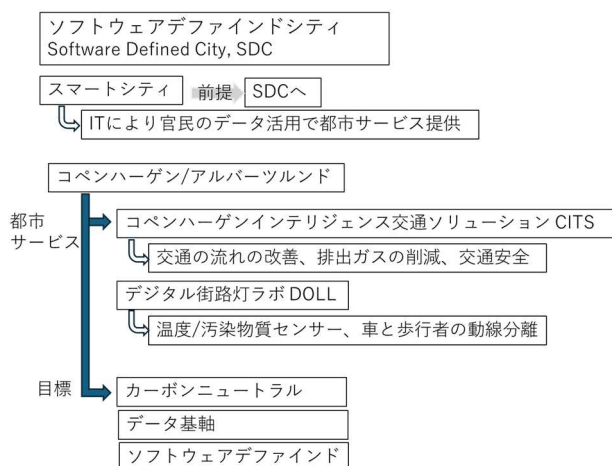


図 5.1.1 コペンハーゲンのスマートシティの概要

### 2. コペンハーゲンのスマートシティ

コペンハーゲンはカーボンニュートラル都市を目指し、そのためにスマートシティの施策を実施している。またコペンハーゲンの西部に位置するアルバーツルンドの街路灯インフラも同様であり、ここでは併せて述べる。

### 3. スマートシティの施策

コペンハーゲンやアルバーツルンドのスマートシティの施策にはデンマーク技術大学など4大学、シスコシステムズ、日立コンサルティングなどの民間企業も参加している。

これらの参画者によって以下の交通インフラや街路灯インフラを中心に環境やエネルギー、通信などの分野でカーボンニュートラルを目指している。

#### (1) CITS(Copenhagen Intelligent Traffic Solutions) – コペンハーゲン

CITS(コペンハーゲンインテリジェンス交通ソリューション)では、交通の流れの改善や排出ガスの削減、交通安全の向上を目指している。

このために現在と過去の交通状況、道路工事、気象状況、社会的イベントなどの交通に影響を与える因子を監視し、さまざまなシミュレーションも実行できるようにしている。

これにより交通の安全性を確保し、渋滞の改善を行い、さらに渋滞中でも快適性に提供することができる。

CITS プラットフォームのデータは Wi-Fi から収集され、これらのアクセスポイントでは携帯電話やタブレット、パソコンなどの Wi-Fi 対応デバイスに対応している。

#### (2) DOLL(Digital Outdoor Lighting Lab) - アルバーツルンド

アルバーツルンドではスマートシティ基盤として街路灯インフラ（照明インフラ）を構築しており、街路灯インフラには温度や汚染物質を計測するセンサを設置し、カーボンニュートラルを目指している。また車の動線と歩行者の動線を徹底的に分離して、交通安全の向上に努めている。

### 4. スマートシティが目指すもの

コペンハーゲン、アルバーツルンドのスマートシティが目指すものを以下に示す。

#### (1) カーボンニュートラル

コペンハーゲンのスマートシティはカーボンニュートラルを目指しており、CITS によって交通渋滞がなくなれば CO2 排出量も減少する。

#### (2) データ基軸

CITS では交通関連のデータ、DOLL では温度や汚染物質などの環境データを利活用しているスマートシティである。したがってスマートシティはデータが基軸になる。

#### (3) ソフトウェアデファインド

データを基軸にするためには実装としてソフトウェアデファインドを目指すことになる。データを取得するハードウェアのセンサを部品として活用するソフトウェアがより重要になる。

#### (5.1.1 の参考文献)

[1] City of Copenhagen , Technical University of Denmark (DTU) : 「CITS – Copenhagen Intelligent Traffic Solutions」、<https://stateofgreen.com/en/solutions/cits-copenhagen-intelligent-traffic-solutions/>

[2] Digital OutDoor Living Lab : 「DOLL Living Lab」、<https://doll-livinglab.com/>

## 第6章 ソフトウェアデファインドのまとめと今後

本書の第1章ではソフトウェアデファインドの定義から対象、原理、レベル、利点や課題を述べてきた。続く第2章以降では各分野におけるソフトウェアデファインドの事例を示し、本書では多数の多様なSDx事例を挙げてきた（付録A参照）。本報告で紹介した事例を対象と実装レベルで図6に分類する。

これらの事例から、SDxの対象領域は今後さらに拡大し、ソフトウェアの柔軟性を活かした多様な分野での活用が期待される。しかしSDVの分野では日本の自動車産業は、テスラのようなソフトウェア中心の開発体制への移行が限定的であり、製造重視の体制からの

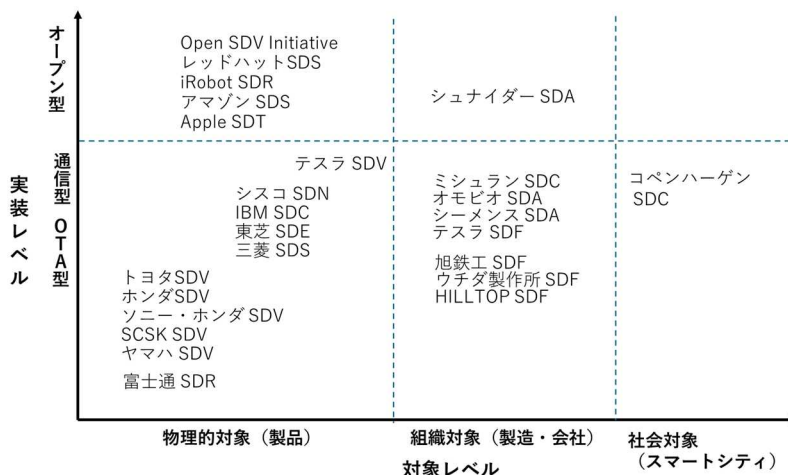


図6. SDx事例の分類

転換が求められている。日本の自動車産業はテスラのようなソフトウェア中心の開発体制への移行が限定的であり、依然として「モノづくり中心」の体制からの転換が求められている。一方SDFやSDAの分野では標準化や仮想化が不可欠であるが、これに対しても日本企業は部分的に取り組んでいるものの日本全体としてはまだ弱い状態である。しかしソフトウェアデファインドは「作り方」と「使い方」の両面で革命を起こすものであり、日本もこの視点を持って進化していくべきである。

今後は破壊と創造を伴う改革、企業間連携、オープンなエコシステム構築が求められる。特に「ソフトウェアが世界を食い尽くす」と言われる現代において、日本企業はソフトウェア中心の価値創出へと変革する必要がある。

一方DXは単なるIT化ではなく、デジタルによって対象の変革が重要になる。このDXのひとつの手段としてSDxは有効である。SDxはソフトウェアの柔軟さによりDXで対象の変革をするときの鍵になる。SDxで対象を実装すること自体が目的ではないが、SDxはDXをはじめとする変革の鍵になるので、DXの推進においてSDxの導入を前提とした設計や運用の見直しは有効な手段となる。

1章で述べたようにSDxは対象レベル1の製品や組込みシステムだけでなく、レベル2やレベル3の組織や環境、社会に広がっていき、対象の変革を行う鍵となっていくであろう。

## 付録 A 「SDx 事例一覧」

	分類	SDx 対象	所在地	会社	節名
1	製品 SDx	SDV 自動車	日本	本田技研	ホンダが目指す SDV
2			日本	トヨタ	SDV で交通事故をゼロに
3			日本	ソニー・ホンダ	E2E 自動運転とエンターテインメントで新体験
4			日本	SCSK	ソフトウェア企業が作る SDV
5			日本	ヤマハ発動機	AI で成長するバイク
6			アメリカ	テスラ	SDV の先駆者
7			日本	Open SDV Initiative	SDV の標準化
8	製造 SDx	SDS ストレージ	アメリカ	レッドハット	SDS ソリューションのオープン化
9		SDN ネットワーク	アメリカ	シスコシステムズ	SDN で意図通りのネットワーク
10		SDC コンピューティング	アメリカ	IBM	SDC でソフトウェア仮想化
11		SDR ラジオ	日本	富士通	ソフトウェアラジオはラジオのソフトウェア化
12		SDE エレベータ	日本	東芝エレベータ	ソフトウェアでクラウドサービスするエレベータ
13		SDS 人工衛星	日本	三菱電機	ソフトウェアデファインドで作る人工衛星
14		SDR ロボット	アメリカ	iRobot	オープンなソフトウェアデファインドロボット
15		SDS スピーカ	アメリカ	アマゾン	ソフトウェアとクラウドによる AI スピーカ
16		SDT 電話	アメリカ	Apple	スマートフォンは SDx の代表的な応用例
17	製造 SDx	SDF 工場	アメリカ	テスラ	SDF で機械を作る機械
18		SDA オートメーション	フランス	シュナイダー	vPLC による SDA
19			ドイツ	オモビオ	AWS で SDV 開発ソリューション
20			ドイツ	シーメンス	SDA と AI による製造現場のステップアップ
21		SDC 会社	フランス	ミシュラン	ソフトウェア駆動型会社
22	中小 SDx	SDF 工場	日本	旭鉄工	IoT からソフトウェアデファインドへ
23			日本	HILLTOP	SDx で 24 時間無人工場
24			日本	ウチダ製作所	つながる工場は中小企業 SDx
25	都市 SDx	SDC シティ	デンマーク	コペンハーゲン	スマートシティはソフトウェアデファインド

## 参考文献

### (1章の参考文献)

- [1] PwC Japan グループ：「SDV (Software Defined Vehicle) とは何か。クルマだけではない SDV の世界を定義する」、<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/column/definition-of-sdv.html>
- [2] 渡辺博之：「ソフトウェア駆動型社会への変革と日本の競争戦略 ～組み込みソフトウェア業界の提言～ 人月から脱却と SDx による新価値創造へ」、JASA レポート、[https://www.jasa.or.jp/dl/report/JASAREport\\_Full20251117.pdf](https://www.jasa.or.jp/dl/report/JASAREport_Full20251117.pdf)
- [3] 五味弘：「ソフトウェアデファインドともうひとつの DX」、JEITA/JAIST 北陸セミナー2024、[https://researchmap.jp/gomihiroshi/presentations/48320129/attachment\\_file.pdf](https://researchmap.jp/gomihiroshi/presentations/48320129/attachment_file.pdf)
- [4] 倉光玲、内平直志：「Software Defined Product の分析フレームワークの提案」、日本 MOT 学会 第 14 回年次研究発表会 2022、<https://researchmap.jp/uchihira/presentations/41527555>
- [5] 福本勲：「ソフトウェア・デファインドとは？「ものづくりの常識」も変える重要キーワードの本質」、ビジネス+IT、<https://www.sbbi.jp/article/cont1/100943>
- [6] 五味弘：「SDx マンガ FAQ」、NOTE マガジン、[https://note.com/hiroshi\\_gomi/m/m49c1a6c814a0](https://note.com/hiroshi_gomi/m/m49c1a6c814a0)

### (2.1の参考文献)

- [1] 渡邊伸一郎、糸田周平：「SDV (Software Defined Vehicle) とは何か。クルマだけではない SDV の世界を定義する」、PwC Japan グループ、<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/column/definition-of-sdv.html>
- [2] 高田広章：「“Software is eating the world”ー ついに自動車業界にもその波が到来」、JEITA 組み込みソフトウェア・ワークショップ 2024、<https://nuss.nagoya-u.ac.jp/s/gscbSkjf4NjX8iS>
- [3] 今泉大輔：「【SDV】欧米中 5 つの代表的 SDV 事例の成功要因を分析→日本の OEM が学ぶべき点を抽出した小レポートを無料公開」、オルタナティブ・ブログ、<https://blogs.itmedia.co.jp/serial/2025/09/sdv5sdvoem.html>
- [4] 住川武人、山科拓也、Ali Rizvi、Ani Kelkar、Philipp Kampshoff：「AI 時代のソフトウェア・ディファインド・ハードウェア」、マッキンゼーの自動車・産業機械研究グループ、[https://www.mckinsey.com/jp/~/\\_media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/software%20defined%20hardware%20in%20the%20ai%20era/software-defined-hardware-in-the-age-of-ai\\_jp\\_final.pdf](https://www.mckinsey.com/jp/~/_media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/software%20defined%20hardware%20in%20the%20ai%20era/software-defined-hardware-in-the-age-of-ai_jp_final.pdf)
- [5] パーソルクロステクノロジー：「ADAS (先進運転支援システム) とは？AD (自動運転) との違いや搭載車・機能を一覽で解説」、[https://staff.persol-xtech.co.jp/hatalabo/mono\\_engineer/718.html](https://staff.persol-xtech.co.jp/hatalabo/mono_engineer/718.html)

#### (2.1.1の参考文献)

- [1] 本田技研工業株式会社：「Honda が目指すソフトウェアデファインドビークル (SDV) ～ASIMO OS を核に、ユーザー一人ひとりに寄り添う“超・個人最適”なクルマを創造～」、Honda 公式サイト、[https://global.honda.jp/tech/Honda\\_SDV\\_ASIMO\\_OS/?from=tech\\_JMS2025](https://global.honda.jp/tech/Honda_SDV_ASIMO_OS/?from=tech_JMS2025)
- [2] 池本明央、他：「Honda×AWS が仮想空間でクルマをつくる——車載ソフトウェア開発体制”Digital Proving Ground”爆速開発がスタート！」、Honda、<https://software.honda-jobs.com/ahttps://software.honda-jobs.com/article/15/rcticle/14/>、<https://software.honda-jobs.com/article/15/>

#### (2.1.2の参考文献)

- [1] トヨタ：「ソフトウェアづくりプラットフォーム Arene が TOYOTA 「RAV4」 の開発に初採用」、Woven by Toyota、<https://woven.toyota.jp/our-latest/20250521/>
- [2] 谷川潔：「豊田章男会長、SDV とは「悲しい交通事故をゼロにすること」であると定義 ソフトで進化する新 ADAS を新型「RAV4」 搭載」、Car Watch、<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/2016101.html>
- [3] 福本裕貴：「トヨタ RAV4 で参入、「車のスマホ化」 20 兆円市場 SDV で後発日本は勝てるか」、日経ビジネス、<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00109/070100343/>
- [4] トヨタ：「3分で読み解く「SDV」。トヨタらしいSDVとは何なのか?」、トヨタタイムズ、<https://toyotatimes.jp/spotlights/1083.html>
- [5] 小川フミオ：「新型 RAV4 に搭載された「アリーン」の正体とは?」、東洋経済、<https://toyokeizai.net/articles/-/885711>
- [6] 「トヨタの新型 RAV4 に採用された「Arene (アリーン)」を車載 OS とするのは誤り!? 単なる車載 OS ではなくソフトウェア開発プラットフォームとして登場」、Car Watch、<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/2016603.html>

#### (2.1.3 の参考文献)

- [1] 本多倅基、伏木 幹太郎：「ソニー・ホンダの E2E 自動運転、ホンダと「目標違う」 レベル3 から転換」、日経 XTech、<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/03501/021000003/>
- [2] 本多倅基：「ソニー・ホンダ、AFEELA に 1500 万円の価値はあるか? 新興勢の SDV 意識」、日経ビジネス、<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00109/022700372/>
- [3] 山本敦：「PS5 が遊べる EV 「AFEELA 1」 で目指した新たな体験とは ソニーホンダ川西社長に聞く」、マイナビニュース、<https://news.mynavi.jp/article/20260109-3948154/>
- [4] ソニー・ホンダモビリティ：「モビリティに、かつてない音響体験を。妥協なきオーディオシステム「AFEELA Immersive Audio」」、AFEELA ニュース、<https://www.shm-afeela.com/ja/news/2025-12-09/>

#### (2.1.4 の参考文献)

- [1] S C S K株式会社：「S C S K、IT 企業”初”の EV を Japan Mobility Show にて公開 ～IT 企業がわずか 9 か月でクルマをつくる。ソフトウェアで“つくり方”から変える共創～」、ニュースリリース (SCSK)、<https://www.scsk.jp/news/2025/pdf/202https://www.scsk.jp/news/2025/pdf/20251014.pdf51014.pdf>

#### (2.1.5 の参考文献)

- [1] ヤマハ発動機：「2025 年、モトロイドの新たな系譜が始まる」、[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/design/concept/motoroid-lambda/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/design/concept/motoroid-lambda/)
- [2] ヤマハ発動機：「生き物のようなマシン」がイメージ」、[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/design/concept/motoroid/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/design/concept/motoroid/)
- [3] ヤマハ発動機：「人とマシンの関係性は、どこまで「深化」できるのか」、[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/design/concept/motoroid2/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/design/concept/motoroid2/)
- [4] 朴尚洙：「ヤマ発が AI で学習し自ら成長する「MOTORoID」第 3 弾を開発、3 輪 EV は実走モデルに」、MONOist、<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2510/09/news057.html>

[5] バイクのニュース編集部：「AI で学習するヤマハの「自立バイク」 未来を探る「MOTORoID」プロジェクト第3弾「MOTORoID： $\Lambda$ （ラムダ）」をJMS2025で公開「モビリティ×強化学習による運動制御」で二輪の世界を刷新」、バイクのニュース、<https://bike-news.jp/post/442424>

[6] 岡本玄介：「AI で進化したヤマハの最新バイク。そのデザインはもはやアート」、ギズモード・ジャパン、<https://www.gizmodo.jp/2025/10/yamaha-motoroid-lambda.html>

[8] Alumni：「Tesla: Building the Machine that Builds the Machine」、Harvard University、<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/tesla-building-the-machine-that-builds-the-machine/>

[9] 高田広章：「“Software is eating the world”ー ついに自動車業界にもその波が到来」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、<https://nuss.nagoya-u.ac.jp/s/gscbSkjf4NjX8iS>

## (2.2 の参考文献)

[1] レッドハット：「ソフトウェア・デファインド・ストレージとは」、レッドハット公式ブログ、<https://www.redhat.com/ja/topics/data-storage/software-defined-storage>

[2] IBM：「ソフトウェア定義ストレージ（SDS）ソリューション」、<https://www.ibm.com/jp-ja/solutions/software-defined-storage>

### (2.2.1 の参考文献)

[1] Cynthia Harvey：「Red Hat SDS Solutions: Product Overview and Insight」、Red Hat Enterprise Storage Forum、<https://www.enterprisestorageforum.com/products/red-hat-sds-solutions-product-overview-and-insight/>

[2] サイオステクノロジー：「Red Hat Storage」、<https://sios.jp/products/redhat/storage/>

### (2.3 の参考文献)

[1] 江川尚志、早野慎一郎、Fabian Schneider、Sibylle Schaller、Marcus Schöller、Frank Zdarsky：「SDN 実用化に向けた標準化」、NEC 技報/Vol.66 No.2/ICT システムを高度化する SDN 特集(2014)、<https://jpn.nec.com/techrep/journal/g13/n02/pdf/130204.pdf>

[2] Study Sec：「SDN コントローラーとは？仕組み・メリット・導入事例を徹底解説！」、Study Sec、<https://study-sec.com/sdn-controller/>

[3] シスコ「Software Defined Networking（SDN） ネットワークを自動化し、プログラムによって高速化する」、[https://www.cisco.com/c/ja\\_jp/solutions/software-defined-networking/overview.html](https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/software-defined-networking/overview.html)

### (2.3.1 の参考文献)

[1] 猪腰拓郎：「NTT データ株式会社 グローバル統括会社間のネットワークを SD-WAN で統合管理 セキュリティ強化と投資効率最大化の基盤を構築」、シスコ導入事例、[https://www.cisco.com/c/dam/global/ja\\_jp/about/case-studies-customer-success-stories/pdf/2111-nttdata.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ja_jp/about/case-studies-customer-success-stories/pdf/2111-nttdata.pdf)

[2] 小野俊彦：「日立製作所のセキュアな IT 環境を実現する Cisco Secure Access の構築・導入を支援」、シスコ ニュースネットワーク、<https://news-blogs.cisco.com/apjc/ja/2025/07/29/>

### (2.4.1 の参考文献)

[1] Josh Schneider、Stephanie Susnjara、Ian Smalley：「ハイパーコンバージド・インフラストラクチャーとは」、IBM、<https://www.ibm.com/jp-ja/think/topics/hyperconverged-infrastructure>

[2] IBM、「ソフトウェア定義データセンター（SDDC）とは」、<https://www.ibm.com/jp-ja/think/topics/software-defined-data-center>

#### (2.5.1 の参考文献)

[1] 河野太基：「DX時代に求められるソフトウェアとそれを取り巻く環境」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、JEITA ソフトウェア事業基盤専門委員会 2024 年度成果報告書

#### (2.6.1 の参考文献)

[1] 藤松由里恵、福壽康弘、曾根祐輝：「ソフトウェアデファインド技術を適用したエレベータクラウドサービス ELCLOUD のセキュリティ設計・実装」、東芝レビューVol. 80 No. 4（2025 年 7 月）、  
<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2025/04/a07.pdf>

#### (2.7.1 の参考文献)

[1] 西川和宏：「宇宙機・人工衛星向け Software Defined 技術と DX への取り組み」、JEITA 組込みソフトウェア・ワークショップ 2024、JEITA ソフトウェア事業基盤専門委員会 2024 年度成果報告書

#### (2.8 の参考文献)

[1] Joseph L. Jones：「Robots at the Tipping Point The Road to the iRobot Roomba」、IEEE Robotics & Automation Magazine、pp.76-78(March 2006)

[2] iRobot：「iRobot® Create® 2 Open Interface (OI) Specification based on the iRobot® Roomba® 600」、[https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/create\\_2\\_Open\\_Interface\\_Spec.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/create_2_Open_Interface_Spec.pdf)

[3] trendgteru：「iRobot がこだわり続けた「vSLAM」技術の深層：ルンバの賢い動きの秘密」、はてなブログ、  
<https://trendgteru.hatenablog.com/entry/2025/07/12/154518>

[4] アマゾン：「Alexa コネクテッドデバイスの開発」、<https://developer.amazon.com/ja-JP/alexa/devices/connected-devices/development-resources>

[5] Amazon：「【2025 年版】Echo Dot 第 5 世代であなたの家が「未来の住まい」に！新機能でスマートホームを徹底強化」、echo dot home、<https://echodotroom.com/amazon-echo/2025-05-20-5th-gen-smart-home-guide>

[6] Apple：「iOS テクノロジーの概要」、  
<https://web.archive.org/web/20110523014921/http://developer.apple.com/jp/devcenter/ios/library/documentation/iPhoneOSTechOverview.pdf>

[7] 杉本貴之：「【ios アプリとは？】初心者でも簡単に理解できる完全ガイド」、エミーオ、  
<https://emeao.jp/guide/appli/appli-knowlege/post-53414/>

#### (3.1 の参考文献)

[1] 樋口悟：「2026 年、ソフトウェア・デファインド・ファクトリー（SDF）の未来：世界の最前線と日本の製造業が取るべき針路」、エネがえる、<https://www.enegearu.com/2026futureofthesoftware-definedfactory> (2026/2/2 閲覧)

[2] ろぼてく：「バーチャル PLC 市場の徹底分析：FA 業界のパラダイムシフトと将来展望」、ファミブログ、  
<https://oyako-programming.com/fa-virtualplc>

#### (3.1.1 の参考文献)

[1] Alumni : 「Tesla: Building the Machine that Builds the Machine」、Harvard University、  
<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/tesla-building-the-machine-that-builds-the-machine/>

#### (3.1.2 の参考文献)

[1] シュナイダーエレクトリック : 「次世代型のソフトウェア・デファインド・オートメーションを実現するバーチャル PLC を、デロイト トーマツのイノベーション拠点に導入」、共同通信 PR ワイヤー、  
<https://kyodonewsprwire.jp/release/202505299690>

[2] シュナイダーエレクトリック : 「シュナイダーエレクトリック、次世代型のソフトウェア・デファインド・オートメーションを実現するバーチャル PLC を、デロイト トーマツのイノベーション拠点に導入」、ニュースルーム、  
[https://www.se.com/jp/ja/about-us/newsroom/news/\(2025/5/29 版\)](https://www.se.com/jp/ja/about-us/newsroom/news/(2025/5/29%20版))

[3] シュナイダーエレクトリックジャパン : 「Hannover Messe 2025 最新展示に見る製造業の未来：ソフトウェア・デファインド・オートメーション」、NOTE、[https://note.com/schneider\\_jp/n/n8312c877b139](https://note.com/schneider_jp/n/n8312c877b139)

#### (3.1.3 の参考文献)

[1] Ilona Tzudnowski : 「Continental und Amazon Web Services beschleunigen Automotive-Softwareentwicklung」、Continental、<https://www.continental.com/de/presse/pressemitteilungen/20230817-caedge-vecu/>

[2] Chris Anthony : 「Continental and Amazon Web Services collaborate on virtual ECU project」、Tyrepress、  
<https://www.tyrepress.com/2023/08/continental-and-amazon-web-services-collaborate-on-virtual-ecu-project/>

[3] Liza (Elizaveta) Zinovyeva, etc : 「Shaping the future of embedded automotive development with AUMOVIO and AWS」、AWS for Industries、<https://aws.amazon.com/jp/blogs/industries/shaping-the-future-of-embedded-automotive-development-with-aumovio-and-aws/>

[4] Tsubasa Watanabe : 「Continental Automotive Edge (CAEdge) を用いたソフトウェアディファインドビークルのためのプラットフォーム開発」、AWS ブログ、<https://aws.amazon.com/jp/blogs/news/developing-a-platform-for-software-defined-vehicles-with-continental-automotive-edge-caedge/>

[5] 青木英也 : 「アジャイル開発の鍵を握るコラボレーション・プラットフォーム…コンチネンタル [インタビュー]」、レスポンス、<https://response.jp/article/2022/12/21/365480.html>

[6] 椿山和雄 : 「コンチネンタル、AWS を採用する SDV 向けソリューションを「人とくるまのテクノロジー展 2024 横浜」で展示」、Car Watch、<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1593825.html>

[7] オモビオ株式会社 : 「コンチネンタル、アマゾン AWS と共同で自動車向けソフトウェア開発を加速」、PR Times、  
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000055.000023443.html>

#### (3.1.4 の参考文献)

[1] シーメンス : 「シーメンスとアウディ、AI と IT を活用した大規模な自動化により、製造現場を次のレベルに引き上げ」、<https://press.siemens.com/jp/ja/pressrelease/pr-20250327>

[2] シーメンス : 「多様な産業向けシーメンスソフトウェア」、<https://www.siemens.com/jp/ja/products/software.html>

[3] シーメンス : 「仮想 V&V (検証と妥当性確認) により、優れたソフトウェア・デファインド・ビークルを製造」、  
<https://resources.sw.siemens.com/ja-JP/e-book-build-better-software-defined-vehicles-with-virtual-verification-and-validation/>

[4] シーメンス：「ソフトウェア・デファインド・ビークルの変革を推進」、<https://resources.sw.siemens.com/ja-JP/executive-brief-driving-transformation-for-software-defined-vehicles/>

#### (3.2.1 の参考文献)

[1] Yves Caseau：「Software-Defined Excellence for Michelin」、Michelin、<https://blogit.michelin.io/software-defined-excellence-for-michelin/>

[2] ミシュラン：「ミシュラン、先進のシミュレーション技術を取得 データドリブンカンパニーとしての成長を加速」、ニュースルーム、<https://news.michelin.co.jp/articles/20230602-michelin-motorsport-2023-release>

[3] タレス：「タレスとミシュラン、革新的なシミュレーションソフトウェアでソフトウェア収益の成長を促進」、タレスニュースリリース、<https://cpl.thalesgroup.com/ja/about-us/newsroom/michelin-thales-software-growth-sentinel-platform>

#### (4.1.1 の参考文献)

[1] IPA 製造分野向け DX 推進検討 WG：「中小規模製造業の製造分野におけるデジタルトランスフォーメーション (DX) のための事例調査 報告書 Ver.2」、IPA 社会基盤センター、<https://www.ipa.go.jp/digital/dx/mfg-dx/ug65p90000001kqv-att/000109368.pdf>

#### (4.1.2 の参考文献)

[1] HILLTOP：「自動プログラミングサービス「COMlogiQ」(コムロジック)の販売スタート 職人技のデータベースと AI を組み合わせた自動プログラミングで『製造業の DX 化』へ」、  
<https://hilltop21.co.jp/news/%e2%be%83%e5%8b%95%e3%83%97%e3%83%ad%e3%82%b0%e3%83%a9%e3%83%9f%e3%83%b3%e3%82%b0%e3%82%b5%e3%83%bc%e3%83%93%e3%82%b9%e3%80%8ccomlogiq%e3%80%8d%ef%bc%88%e3%82%b3%e3%83%a0%e3%83%ad%e3%82%b8%e3%83%83/>

[2] 山善：「自動プログラミングサービス「COMlogiQ」(コムロジック)の提供開始」、  
<https://www.yamazen.co.jp/news/entry-1686.html>

#### (4.1.3 の参考文献)

[1] 「中小規模製造業の製造分野におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)のための事例調査報告書」、IPA 社会基盤センター、<https://www.ipa.go.jp/digital/dx/mfg-dx/ps6vr70000009jrd-att/000084035.pdf>

#### (5.1 の参考文献)

[1] 内閣府：「スマートシティ - Society 5.0 -」、[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/smartcity/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/smartcity/index.html)

[2] 情報処理推進機構(IPA)：「ソフトウェアモダナイゼーション委員会」、  
<https://www.ipa.go.jp/disc/committee/software-modernization-comittee.html>

#### (5.1.1 の参考文献)

[1] City of Copenhagen , Technical University of Denmark (DTU)：「CITS – Copenhagen Intelligent Traffic Solutions」、<https://stateofgreen.com/en/solutions/cits-copenhagen-intelligent-traffic-solutions/>

[2] Digital OutDoor Living Lab：「DOLL Living Lab」、<https://doll-livinglab.com/>