



# フォグ・コンピューティングとは

## 使用例シナリオ

業界	製造業
アプリケーション	経営効率を改善し続ける Software Defined Smart Factory





## 「クラフトビールは好きですか？」

クラフトビール生産では、麦芽やホップ、ビール酵母など、自然の恵みを相手にするため、工業製品のように均一なものよりも経験と勘による巧みな調整が必要であり、匠の技に頼っていました。IoT 化によって、匠の技をデジタル化し、再現できるとしたら、一定以上のクオリティのビールを安定的に造れるようになり、さらに多品種のビール創りにクリエイティブに挑戦できる可能性が広がっていきます。Fog を使うと、蒸溜装置や熟成樽などから、詳細なセンサーデータを収集でき、匠が巧みに制御する「技」をデジタルに細かく記録できます。しかも、この秘中の秘の製造レシピ、制御方法などを Fog サーバだけにとどめることができ、他社への秘伝の漏洩を防ぐことができます。一方、例えば需要変動による閑散期には、自社の設備を他社と仮想的に共有することで、設備稼働率を上げ、新たな収益を産み出す可能性も広がります。

そういった時代がすぐに来ようとしています。

### OpenFog コンソーシアム日本地区委員会

#### 製造業関連ユースケース検討グループ

清水 章	アーム株式会社
高橋 忠志	デル株式会社
福田 利道、村上明子	富士通株式会社
高浦 則克	株式会社日立製作所
下堀 昌広	インテル株式会社
松田 哲史	三菱電機株式会社
吉田 大我	NTT コミュニケーションズ株式会社
屋代 正人、Jerome Lefebvre	OSIsoft Japan 株式会社
菊地 俊介	さくらインターネット株式会社
中村 公弘、波多野 健	東芝デジタルソリューションズ株式会社



## エグゼクティブ・サマリー



### 課題

- 個性のある自然の恵みを相手にしても、ばらつきの少なく高品質で独自のビール生産をしたい。
- 製造装置・機械間、工程間での品質のバラツキを減らし、品質向上を図りたい。
- 事前に故障の兆候を発見し、生産への影響の少ない部品の修理・交換対応を実施することで、装置の故障による製造停止を回避したい。
- 需要変動が激しい側面を持つ成長事業に対して生産資源への投資を最適化し、資源の余剰や不足による事業インパクトを最小限にしたい。



### ソリューション

- 樽などの製造器具に付けられた様々なセンサーデータを元に Digital Twin を作成して匠の技を再現することで、人手が少なく安定して高品質な製品が得られ、匠は空いた時間を新たな製品創造に充てることができます。
- 製造装置・機械で、いま作られている製品の品質をリアルタイムに捉え、次工程の製造パラメータ設定等を微調整することで、製造工程全体をスルーしたリアルタイムでの製品の品質向上を行います。
- 製造装置をメーカーや保守業者のシステムと接続することにより、故障兆候の分析や交換用部品の在庫確認、スケジュール調整などを速やかに実施し、製造工程を止めることなく問題のある部品を取り換えることができます。
- 生産資源の一部を工場間や企業間を越えてシェア可能にすることで、急な需要増大時に生産能力不足を他工場または他社の生産資源によって補てんすることによりビジネス機会損失を抑えることができます。また、需要変動によって余剰化されている生産資源を他工場や他社に対してシェアリングサービス化することで、製造のサービスモデルが創出されます。



### テクノロジー

- 様々なセンサーと分析技術により実現された Digital Twin。
- 複数の Fog ノードによる Feedback を含んだ自律システム。
- Fog ノードによる、装置と保守システム間の容易・柔軟・セキュアな相互接続
- 仮想化技術による自律分散リソースプール構成

## より高品質な製品を実現する Software Defined Smart Factory



より安全・安心な高い品質の製品をできるだけ安く買いたいという消費者の想いは世界共通であり、その要求は常に高まっています。そのニーズをかなえるために、供給者は世界中の工場で、高品質な製品をリアルタイムに届けることがもちろん、かつ、需要に応じた生産コントロールや品質を確保するために、様々な投資や多大な企業努力がされています。

例えば、あなたが製造工場の責任者であるとしましょう。安定供給や安定した品質を実現するために、あなたの優秀な部下たちに、材料確保、在庫管理、製造機器の定期的点検、厳しい品質チェック、製造機器の定期点検を徹底して見てもらっています。そして、毎日同じ数量を生産し、安定した供給・品質により、お客様の信頼を勝ち取ってきました。「納期厳守」「高品質」「お客様の信頼を絶対に裏切らない」があなたの毎日の口癖です。あるとき、急なニーズの高まりで、急きょ生産量を増大させる必要がでてきました。これは大きなビジネス機会であり、収益増加につながるため、絶対に逃さない機会です。そこであなたは、部下たちに生産量増大を指示しますが、急な増産対応による人手不足で、追加雇用を行うなどして、納期通りに製品をお客様へ届けることが必要です。ところが、偶然にも突然製造ラインの一部の機器故障が起り、現場からラインを全部止めて、修理が必要だと言ってきました。その上、故障した機器を取り換える新しい部品は、欠品中で、1か月後にしか届かないということです。どんなにもがいても納期に間に合いません。あなたは製造工場の責任者として責任を問われるとともにビジネス機会やお客様の信頼を失ってしまうでしょう。

このようなビジネス機会やお客様の信頼の損失を起こさないために、製造工場に先進の IoT テクノロジーを導入することで、新しいスマートファクトリーが実現できます。具体的には次のようなことが可能になります。

- ・需要予測に基づく材料確保や在庫管理最適化、生産資源の調整による安定供給
- ・製造機器の故障事前検知の自動化と保守部品の在庫・手配管理によるリアルタイムな保守対応
- ・品質監視と品質劣化に対する低遅延対応で不良品による損失の低減

上記のように安定供給や安定した品質を実現するには、IoT テクノロジーを用い、工場の製造設備の異常や製品の品質劣化の予兆をリアルタイムに検知し、迅速な対処を行うことがキーになります。フォグコンピューティングはまさにこれを現実ビジネスとして成功させる、次世代テクノロジーなのです。

本書では、消費者にとって日常生活に身近でかつ高い関心を集める食品や飲料分野の一つであるクラフトビールの工場を例にして、需要予測に基づく材料確保や在庫管理最適化、そして製造機器の故障事前検知を可能にするフォグコンピューティング技術が、どのように工場の生産現場でモノづくりを支えるのか紹介します。

## 高品質製造業の問題点

つながるスマート工場を実現するためには、以下の問題を解決する必要があります。

### 自然の恵みを相手にする、マニュアル通りにいかないビール生産

クラフトビール生産などの食品加工業の場合、原料が麦芽やホップ、ビール酵母などの自然の恵みを相手にするため、材料が無機質である工業製品の場合と異なり、均一な製品を作り上げるのがより難しくなります。ここで匠の出番です。上流工程や熟成工程の温度、湿度、麦芽やホップの状態など様々な要素を長年の経験とカンで、原料の分量や配合、熟成期間などを調整する必要があります。しかし、少量多品種のクラフトビールの場合、様々な状況におけるそれぞれの品種に最適なパラメーターを選ぶのは非常に難しくなってしまいます。

### 不具合品生産による損失

少量でも高価な製品であったり、短時間で大量な製品を生産する製造現場においては、例えば、高価なユニットを毎分 1,000 個製造し 1 分間の不具合製造が数千万円の損失につながる等、不良品の生産による損失が非常に大きくなる場合が多々あります。ただ、検査要員を増員するとなると人件費などのコストアップにつながってしまいます。この損失を最小限にしつつ、コストも最小化するための仕組みが求められています。

### 遠隔監視・修理などをするための外部との連携の困難さ

遠隔から工場内装置の監視や保守・修理を行うためには、工場内および保守業者のシステムが相互に接続されている必要があります。しかし、装置の稼働状況や各種センサの情報は、情報の機密性やプロトコル・通信方式の異なるシステムを接続するのが困難といった理由により、システムの相互接続はあまり進んでいません。また、修理部品の在庫管理や輸送手配、作業スケジュールの策定をスムーズに行うためには、システムにおける判断を自動化することも求められます。

### 需要変化に対する生産資源の不足・余剰管理の困難さ

消費者のライフスタイルや嗜好の多様化により、クラフトビールのような少量多品種かつ需要期間・需要数量変動の大きな製品ライフサイクルへの対応が市場から求められるようになってきました。このトレンドに対して、製造業においては、短期的な需要予測に基づく材料確保や在庫管理の最適化に加え、変動要因に対して償却期間の長い生産設備投資と人的リソース(スキルの高い人材確保)の最適化が大きな経営課題となっています。

## フォグ・コンピューティングによるソリューション

### Digital Twin で匠の技を再現

ワインが、同じ生産地でも製造年によって特性が大きく変わることは広く知られています。クラフトビールにおいても同じ話で、産地・収穫時期・特性などの大きく異なることもある麦芽やホップなどの自然の恵みや、醸成工程における周囲の温度、湿度も含めて非常に多くのパラメーターが存在します。どのくらいの配合比でいつまで発酵させるべきか？いつ攪拌作業をするべきなのか？などは、匠が材料と“会話”することによって、決めていきます。しかし、少量多品種なクラフトビールを製造する中小規模のクラフトビール醸造所すべてが、十分な匠をそろえているわけではありませんので、作りたくても作れない状況があり得ます。

そこで IoT の登場です。匠が手掛かりにするパラメーターを、Fog ノードとして働く各種のセンサーを用いて取得し、さらに、その状況状態で匠が制御する技をデジタルデータとして細かく記録することができます。これらを集約する Fog ノードにより、実世界の再現として Digital Twin が作成され、匠の作業は最小限にすることができます。その省力化によって、匠に与えられた時間は、新たなおいしいビール造りの開発というクリエイティブな作業にあてることが出来ます。また、この過程で取得されたビッグデータを分析することにより、匠でも気づかなかったおいしいビールを作るための新たなレシピ(ルール)が言語化され、新たな商品作りに役立つこともあるでしょう。

経営の視点で、匠の技術の継承の問題をもつクラフトビール醸造所もあるでしょう。そのために、匠の技を言語化し、会社の資産として守ることもできます。このデータ自体がその会社の資産となりますので、強固な Security で外部への漏えいを遮断することも、Fog の仕事です。

### 生産機器を中心とした、低コスト・自律的・リアルタイムソリューションで歩留まりを改善

工場の生産現場ではたくさんの生産機械が使われております。これらの機械が自律的に動作し、リアルタイムに状況に合わせて動作しあうことで、人が関わる部分をなるべく少なくしながら生産性を高め、低コストで歩留まりの高いモノづくりを実現することができます。下記で二つの例を見てみましょう。

一つ目が、一つの機械の中で完結する場合です。ドリルによるねじ穴をあける工程を例にとります。ドリル穴あけ機器で穴あけ後に、その穴の位置を画像検査します。その際、実際の穴の位置が設計位置と規定以上ずれた場合には、ドリルの位置を設計値に戻すべく調整します。これにより、規格外の不具合品が出る前に自己修復することができます。これが、もっと複雑な動きをするロボットなどの場合、その動きの制御ではミリ秒、あるいは、モータードライブのコントロールだとマイクロ秒という短い時間での制御が求められます。このような場合、装置内、装置間での通信時間遅延の条件も非常に厳しくなります。

二つ目が、機械間で協調する場合です。先の例で、穴あけ機械を機械 1、そのあとその穴にねじを入れこむ機械を機械 2 とします。機械 1 で開けた穴のずれが規定以上であった場合、その製品の ID とズレの情報が機械 2 に伝えられます。その情報を受けた機械 2 は、ずれた穴に合わせてねじをうまくはめ込むようにすることにより、ねじがうまくはまらない不具合がなくなり、この協調動作で不具合品をなくすことができます。このように複数の機械・ロボット間で、どのように動くべきかをローカルにデータ収集・学習し、その学習結果を機械・ロボット間で共有しあうことで、よりリアルタイムに判断エンジンを高度化させ自律的にその効率を高めていくこともできます。

機械の中にあるフォグノードが、これらの自律的でリアルタイムな(協調)動作を実現してくれます。

### 遠隔保守と最適なスケジュール調整で、故障による製造停止を回避

クラフトビールは仕込みや発酵、ろ過、瓶詰めなどの各工程で多くの装置が連携して製造されます。そのため、1つの装置が止まっただけでも他の工程に影響し、大きな損害となり得ます。また、装置が故障した場合、故障原

因の分析や影響範囲の確認、修理部品および人員の手配、修理作業、動作の確認など、長時間の操業停止状態となり、その損害額は計り知れません。

事前に故障を予期して部品を交換することができれば、故障による製造停止を回避することができます。それを可能にするのが、装置に付与したセンサ、保守システム、および、センサとシステムの間をつなぐゲートウェイなどのフォグノードです。

センサやシステムが扱うデータ形式やプロトコルはさまざまですが、フォグノードがそれらのデータを変換し相互接続性を担保することにより、各システムの接続方式の違いを意識することなく容易に接続し連携することができます。また、フォグノードは装置のメーカーや保守業者などに応じた最適な通信ルートを自動的に選択し、対応する保守システムにリアルタイムに送信します。保守システムでは送信されたデータを解析し、故障の予兆を検知した際には速やかに交換用部品の在庫確認や、生産への影響が少ない日程でのスケジュール調整を行います。

センサデータが大容量となる場合や通信帯域の確保が難しい場合には、データ解析の一部を工場内に設置したフォグノードで実行しネットワーク帯域の削減や処理分散をすることもできます。その場合、保守システムのプログラムを工場内のフォグノードで動作させ、一次処理したデータを保守業者に送信します。一方、遠隔地からの装置制御や、異常発生時に解析用のリッチデータを保守システムに送信する際には、帯域制御や優先制御を行うことで重要なデータをタイムリーに届けることができます。

工場と他のシステムを接続する際の懸念となるのがセキュリティの問題です。フォグノードはデータの内容を自律的に判断し、必要なデータを必要なシステムだけに送信します。データの暗号化や VPN 経由のデータ送信をすることで、さらにセキュアな通信が可能です。

## 工場間、企業間を越えた生産資源のシェアリングにより、需要変動に対する工場経営を最適化

少量多品種で、かつ、需要予測の困難なクラフトビールを生産する工場経営において、生産資源（ヒト、機械や設備）の不足によるビジネス機会損失や過剰投資を生む資源の余剰を最適化することが経営課題となります。

そこで、生産資源を多様な顧客嗜好ニーズ（味、うまみ、喉ごしなど）をそれぞれの企業の独自の技術によって満たす差異化部分の生産キャパシティと汎用的製品要求部分（規格化された共通仕様、外装や梱包など）を満たす生産キャパシティとに分類し、特定の工場や企業の強みの源泉となる差異化部分の生産資源への投資をより重視し、汎用的生産キャパシティを支える生産資源部分を工場間・企業間でシェア可能なプラットフォーム化することで過剰な投資を低減することが可能となります。これによって大きな需要変動に対して、在庫サイクルの短縮化や、余剰生産キャパシティを有する工場から生産キャパシティ不足な製造工場への生産キャパシティ補てんなど、設備投資を適正に抑えた中での運用効率の最大化を実現できるものと考えられます。

汎用的な生産能力をプラットフォーム化するにあたっては、（単一の専用プラットフォームを構築するのではなく）各工場の生産資源の需給をベースとしてタイムリーに（仮想的な）生産ラインをダイナミックに構成可能な生産資源取引のための分散型仮想プラットフォームとすることが必要となります。

工場間または企業間を越え分散型仮想プラットフォームを構築するためには、各工場にて機密性の高いデータ（生産キャパシティ、歩留まり、現在の生産量）を匿名化した生産資源取引情報として共有させていくことが必要となります。

また、生産資源取引情報は実際に生産を実行する生産設備や生産プロセスを反映したうえで、他工場の生産資源との相互運用性を担保するものでなければなりません。

そして、このような課題を解決するためには、OpenFog が定義するフォグコンピューティングが有効なアプローチとなります。

フォグコンピューティングでは、各工場の生産設備、ヒト、プロセスなどのデータを工場内に設置されるフォグノードにおいて解析し匿名情報化し、生産設備情報取引上必要な情報のみを仮想プラットフォーム上で共有します。

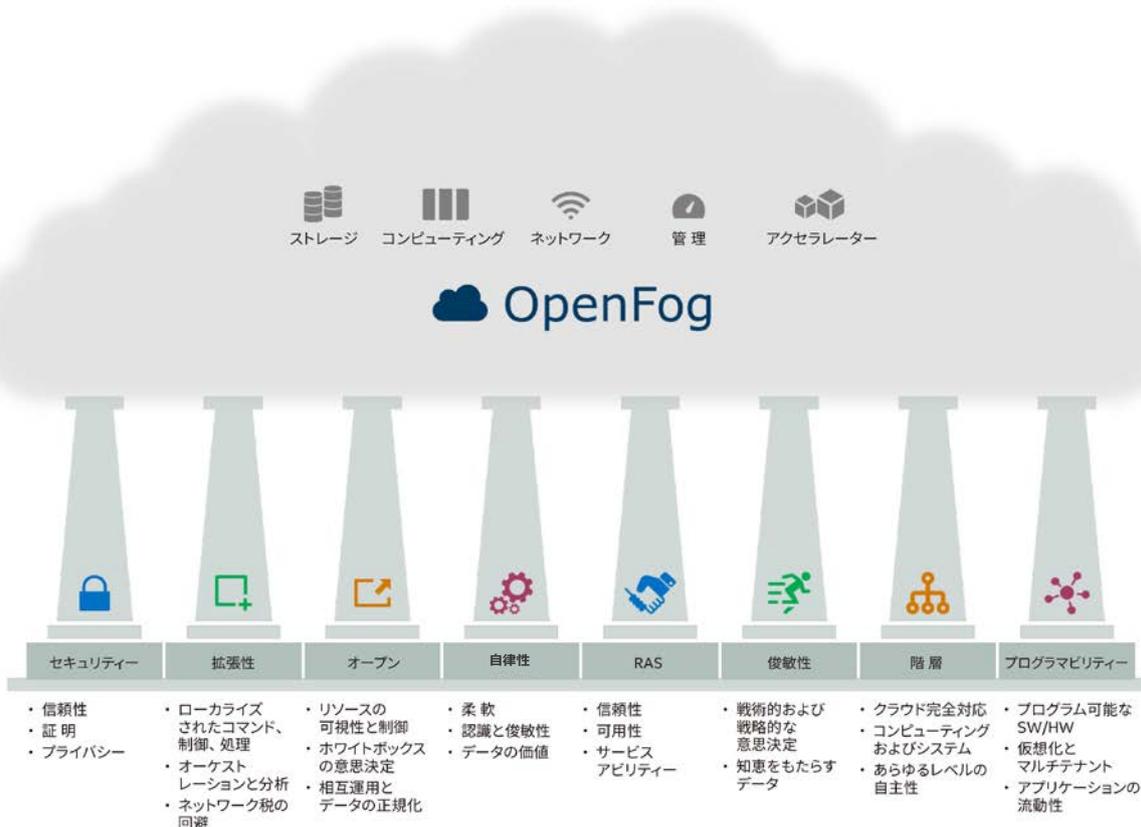
全てのフォグノードは、プライバシーやセキュリティを管理する機能を必ず持ち、かつ、優れたデータ解析能力を有しています。

また、異なる工場間や企業間同士のフォグノードをダイナミックに組み合わせた仮想プラットフォームを構成するにあたり、フォグコンピューティングは目的や需給をベースとした複数のフォグノードによる仮想グループを自在に構築することができます。これは、OpenFog が定義し、標準規格化団体とともに標準規格化するネットワークコミュニケーション、アプリケーションフレームワーク、API の基本的な要求仕様 (Minimum Viable Interfaces: MVI) などによって確保される相互運用性によって実現されます。また、フォグノード間で取引される生産資源情報ならびに需給情報などの情報モデルについても OpenFog によって相互運用性が確保され、ダイナミックな生産資源情報取引が可能となります。

以上のようなアプローチをフォグコンピューティングによって実現することにより、急激な需要変動に対してビジネス機会損失や過剰な設備投資を抑えた最適な生産資源の投資と運用が可能になるだけでなく、生産資源の取引という新たな収入源の創出が見込まれます。

# Software Defined Smart Factory のアーキテクチャーについて

## OpenFog アーキテクチャーの主要な柱



### オープンなフォグ・コンピューティング・アーキテクチャーの 8 つの柱: OpenFog コンソーシアム

OpenFog コンソーシアムは、フォグ・コンピューティング・アーキテクチャーの 8 つの柱を定義しています。Software Defined Smart Factory において、いずれの柱も重要な役割を担います。

- セキュリティ** – OpenFog アーキテクチャにより、セキュアなエンド・ツー・エンド計算環境の上にシステムを構築することが可能となります。また、産業の境界を越えても、モノからフォグ [Things to Fog (T2F)]、フォグからフォグ [Fog to Fog (F2F)]、フォグからクラウド [Fog to Cloud (F2C)] の接続を動的につくることことが可能となります。フォグコンピューティングにより可能となる現場でのデータ処理のおかげで、機微な情報を工場内にとどめることが可能となります。また、OpenFog アーキテクチャにより、セキュアな遠隔保守が可能となります。
- 拡張性** – まず、手近にある共有可能なリソースを共有することから始めましょう。次に、需要に従って、フォグ内、フォグ間、そして、産業間と、リソース共有をスケールアップ/ダウンしましょう。フォグコンピューティングにより、解析結果のみを送信することで工場からクラウドへ送信するデータ量を減らすことが可能です。その結果、遠隔保守システムの通信帯域観点での拡張性を改善することができます。
- オープン** – 相互接続性により、Minimum Viable Interface (MVI) と呼ばれるオープンインターフェースを介して、リソースの発見と共有を透過的に行うことが可能となります。MVI により、アプリケーションとサービスの移植性が実現されます。OpenFog のオープン性により、工場機器は、遠隔保守サービス提供事業者のシステムと、工場機器の製造者のシステムの両方に接続することが可能となります。

- **自律性** – 広域通信やクラウドの様な外部サービスに障害が起きた場合でも、自律性により工場は設計された機能を果たすことが可能となります。工場機器が少し異常な状態でも、工場が外部の助けを借りることなく良品を生産することが、フォグコンピューティングにより可能となります。フォグコンピューティングは、外部の助けを借りることなく予防保全を行うためのローカル計算パワーも提供します。
- **RAS(信頼性/可用性/保守性)** – OpenFog の要件に対応することで、フォグシステムの高い信頼性/可用性/保守性を確保できます。OpenFog アーキテクチャは、製造ラインの遠隔保守と予防保全の実装を可能とし、製造環境の RAS に貢献します。
- **俊敏性** – 産業システムから、大量のデータが発生します。俊敏性により、フォグシステムの中で、ローカルでインテリジェントな判断を行うことが可能となります。俊敏性により、工場ラインは、工場機器が起こす小さなエラーに即座に対応し、変化する顧客ニーズに迅速に適応することが可能となります。俊敏性により、工場のダウンタイム削減のために予防保全を行うことが可能となります。
- **階層** – OpenFog アーキテクチャにより、オフプレミス/オンプレミスで T2F, F2F, F2C といった様々な実装モデルの適用が可能となり、フォグノードはハイブリッド/複数のサービスを実行することが可能となります。製造業のための監視と制御、運用支援、ビジネス支援を階層的に実装することが可能です。
- **プログラマビリティ** – OpenFog アーキテクチャにより、他のビジネスとリソースを共有することを含むビジネス上の要求に対応して、リソースを別目的で利用することが可能となり、リソース利用の最適化によるビジネスの迅速な成長につながります。製造業の場合、全体の生産効率を維持しながら、製造ラインや工場機器の動的変更を行うことが可能となります。また、動的なバリューチェーンを生み出すことが可能となります。フォグコンピューティングが提供するプログラマビリティにより、工場でデータアナリティクスを実行することが可能となります。

## フォグ・コンピューティングとは何か



フォグ・コンピューティングとはシステムレベルの水平アーキテクチャーであり、Cloud-to-Things(クラウドからモノまでの)連続体に対して、処理能力、ストレージ、管理、およびネットワークのリソースとサービスを提供します。

- **水平アーキテクチャー**: 複数の業界とアプリケーション分野をサポートし、ユーザーおよび企業に対してインテリジェンスとサービスを提供します。
- **サービスの Cloud-to-Thing 連続体**: モノに近い場所から、Cloud-to-Things(クラウドからモノまでの)連続体のあらゆる場所にサービスおよびアプリケーションを提供します。
- **システムレベル**: モノから、ネットワーク・エッジを超え、クラウドを通じて、複数プロトコルレイヤー全体に拡張されます。無線システムだけでなく、特定のプロトコル層だけでなく、エンドツーエンド・システムの一部だけでなく、システムはモノとクラウドの間全体に展開します。

## OpenFog コンソーシアム



今回ご紹介した Software Defined Smart Factory のケースは、フォグ・コンピューティングの数多くある業界利用例のひとつにすぎません。その商業的な実現可能性は、フォグ・コンピューティングが最新のデジタル・アプリケーションが求める迅速なレスポンス、通信帯域幅、通信を実現できるかどうかにかかっています。

OpenFog コンソーシアムは、オープンなアーキテクチャー・フレームワークによって、フォグ・コンピューティングが実現する技術革新を促進しています。OpenFog は、ARM、Cisco、Dell、Intel、Microsoft、プリンストン大学によって 2015 年 11 月に設立されました。現在、このコンソーシアムには、北米、ヨーロッパ、アジアの多くのメンバーが参加しています。詳しくは次のサイトを参照してください。

[www.openfog.jp](http://www.openfog.jp)

