

製造業の課題を解決する「状態基準保全」 Cyclone® V SoC FPGA が エッジとクラウドを結ぶ

機器や設備の状態をセンシングして予防的に保守を行う「状態基準保全」(Condition Based Maintenance: CBM)を実現する「振動解析 CBM サービス」を紹介します。Cyclone® V SoC FPGA を搭載したエッジ端末と、アマゾンウェブ サービス (AWS) 上に構築された IoT データ分析プラットフォームとを組み合わせたサービスで、スモールスタートが可能などの特徴を備えます。

macnica

株式会社マクニカ
〒 222-8561 横浜市港北区新横浜 1-6-3
マクニカ第 1 ビル
<https://www.macnica.co.jp/>



アクロクエストテクノロジー株式会社
〒 222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 3-17-2
友泉新横浜ビル 5F
<https://www.acroquest.co.jp/>



アマゾン ウェブ サービス ジャパン合同会社
〒 141-0021 東京都品川区上大崎 3 丁目 1-1
目黒セントラルスクエア
<https://aws.amazon.com/jp/>

再び着目が集まる CBM 知見の蓄積やエッジ端末の高性能化で実用段階へ

機器、設備、構造物などの状態をセンシングしたのち、センサーデータの分析を通じて異常または異常の徴候を検知し、部品交換や点検補修といった適切な措置へとつなげる CBM に再び注目が集まっています。

CBM が最初に "ブーム" になったのは 2015 年頃のことでした。モノのインターネットである IoT (Internet of Things) やドイツで提唱された Industrie 4.0 (インダストリー 4.0) におけるアプリケーションの 1 つに挙げられ、さまざまな企業が PoC (概念実証) に取り組みました。

しかし当時は、どのような仕様のセンサーを、機械や設備のどの部分に取り付けて、どのようにデータを分析すればいいか、といった知見が蓄積されていなかったことや、現場のデータを社外 (クラウド) に送信することに対してセキュリティー面で懸念を感じていた企業も多く、かといってオンプレミスでサーバーを構築するには費用がかさみ、結果的に本格導入には至らずに PoC 止まりとなった事例も少なくありません。

その後、数年の間に、CBM を取り巻く環境は大きく変化しました。多くの企業がスマート・ファクトリーやデジタル・トランスフォーメーション (DX) に取り組みはじめたことや機器・設備を管理してきたベテラン担当者が定年退職などで減少していること、感染症の影響もあり機器や設備の状況をリモートで把握したいというニーズが高まっていること、センシングや分析に関する知見が蓄積されてきたこと、エッジノードの性能やディープラーニングの技術が向上してきたこと、外部クラウドの利用に対する拒否感がなくなってきたことなどがその要因として挙げられます。

CBM のメリットは、あらためて説明するまでもありませんが、機器や設備の異常を予兆の段階で捉えられることです。結果として、故障が発生する前に部品を準備、交換するなどの予防的措置が可能であり、ラインやプラントのダウンタイムや損失コストを最小限に抑えられます。

故障が発生してから対処する「事後保全」(Breakdown Maintenance: BM) は復旧に時間を要する場合があります。一方で、一定の期間や稼働時間ごとに点検する「時間基準保全」(Time Based Maintenance: TBM) では突発的な故障を予知することが難しいといった課題が指摘されていました。

**低コストでスモールスタートが可能な
「振動解析 CBM サービス」**

CBM を実現するさまざまなソリューションの中から、株式会社マクニカ（本社・横浜市港北区）のエッジ・コンピューティング端末「SENSPIDER」（センスパイダー）と、アクロクエストテクノロジー株式会社（本社・横浜市港北区）の IoT データ分析プラットフォーム「Torrentio Cloud」（トレンティオ・クラウド）を組み合わせた「振動解析 CBM サービス」を紹介します。

システムの構成は図 1 のとおりです。モーターの摩耗や故障を診断対象とする場合、最初に機器や設備の適切な箇所に帯域 10kHz 程度の広帯域振動センサーを装着します。振動センサーの出力は SENSPIDER でサンプリングと信号処理が行われ、アマゾン ウェブサービス (AWS) 上に構築された Torrentio Cloud にデータがアップロードされます。そのデータはアクロクエストテクノロジーが開発した独自のアルゴリズムによって解析され、変化の傾向や異常の徴候などがダッシュボード画面に表示されます。

センサー出力を生データのままクラウドに送信してしまうと、データ量が膨大になるだけではなく、さまざまなノイズ成分が含まれたままとなってしまう、適切な処理ができません。そこで、SENSPIDER によってデータの間引き、ノイズ除去、特徴量抽出などを行うことで、Torrentio Cloud での適切な処理につなげています。

センシング対象や検知ロジックをどのように組むかにもよりますが、ベアリングの傷や摩耗、ボールねじの故障、主軸異常、工具異常、シャフト・アンバランスなどの動的部位の異常検知が可能です。機器または設備としては、工作機器、プレス機、射出成型機、半導体製造装置、印刷機、ボイラーやコンプレッサー、搬送機などが対象になるでしょう。

SENSPIDER も Torrentio Cloud も実績のあるソリューションであり、低コストでスモールスタートが可能な点も特徴です。また、AWS を利用しているため、多台数の機器や設備を対象にした大規模な CBM にスケールアップすることもできます。次のセクションで SENSPIDER および Torrentio Cloud のそれぞれについて詳しく紹介します。

図 1. マクニカのエッジ・コンピューティング端末「SENSPIDER」と、アクロクエストテクノロジーの IoT データ分析プラットフォーム「Torrentio Cloud」とを組み合わせた、「振動解析 CBM サービス」の概略構成



センサー出力を FPGA で高速にサンプリング Arm 上のソフトウェアで特徴量抽出なども可能

SENSPIDER はマクニカが開発したエッジ・コンピューティング端末です。幅 150mm × 高さ 100mm × 奥行き 85mm とコンパクトで、制御盤への収容も容易なほか、機器や設備に直接組み込んでも邪魔になりません。消費電力は最大 60W で、ファンレスで動作します (図 2)。

I/O スロットは 4 スロットが用意されていて、アプリケーションに応じて、広帯域の振動センサーに対応した 2 チャンネル構成の「高速振動センサー・インターフェイス・カード」、電圧および電流センサーに対応した 2 チャンネル構成の「汎用センサー・インターフェイス・カード」、および、熱電対やサーミスターを接続できる 2 チャンネル構成の「温度センサー・インターフェイス・カード」を組み合わせることで実装することができます。入力信号のサンプリングは最高 48kHz/16bit と高速で、広帯域のセンシングが可能です。

SENSPIDER の心臓部を構成するのが、大規模なロジックエレメント (FPGA) にデュアルコアの Arm Cortex-A9 MPCore プロセッサを統合した、高性能な Cyclone® V SoC FPGA です。

8 チャンネルのセンサー入力のサンプリング処理や信号処理をソフトウェアで実行すると性能が不足してしまうため、FPGA 上に実装したハードウェア・ロジックによって高速に実行。一方で、より複雑な信号処理やネットワーク・プロトコル処理は Arm Cortex-A9 MPCore プロセッサ上にソフトウェアとして実装しています。

こうしたフレキシブルかつ最適な機能分割ができるのが Cyclone® V SoC FPGA を用いるメリットの 1 つといえるでしょう。また、Cyclone® V SoC FPGA は長期供給の実績も豊富なので、長期運用が求められる SENSPIDER のような産業向けエッジノードに最適です。

SENSPIDER には高速振動センサー・インターフェイス・カード 1 枚が標準装備されます。マクニカの評価によれば、アライメント不良などに起因した振動を検出するには振動センサーの帯域は 1kHz 程度あれば十分な一方で、ベアリングの傷、動作時の異音、ギア異常、油圧系のキャビテーションなどを検知するには 10kHz 程度の帯域を持つ振動センサーを用いる必要があります (図 3)、SENSPIDER の入力サンプリング・レートが最高 48kHz に設定されているのもそうした理由によります。なおマクニカでは、振動センサーとして、アナログ・デバイス社の MEMS 加速度センサー「ADXL1002」を搭載した IMV 株式会社 (本社・大阪市西淀川区) が提供する 10kHz 帯域の超小型振動ピックアップ「VP-8021A」などを推奨しています。

図 2. Cyclone® V SoC FPGA で構成したマクニカのエッジ・コンピューティング端末「SENSPIDER」の概略仕様

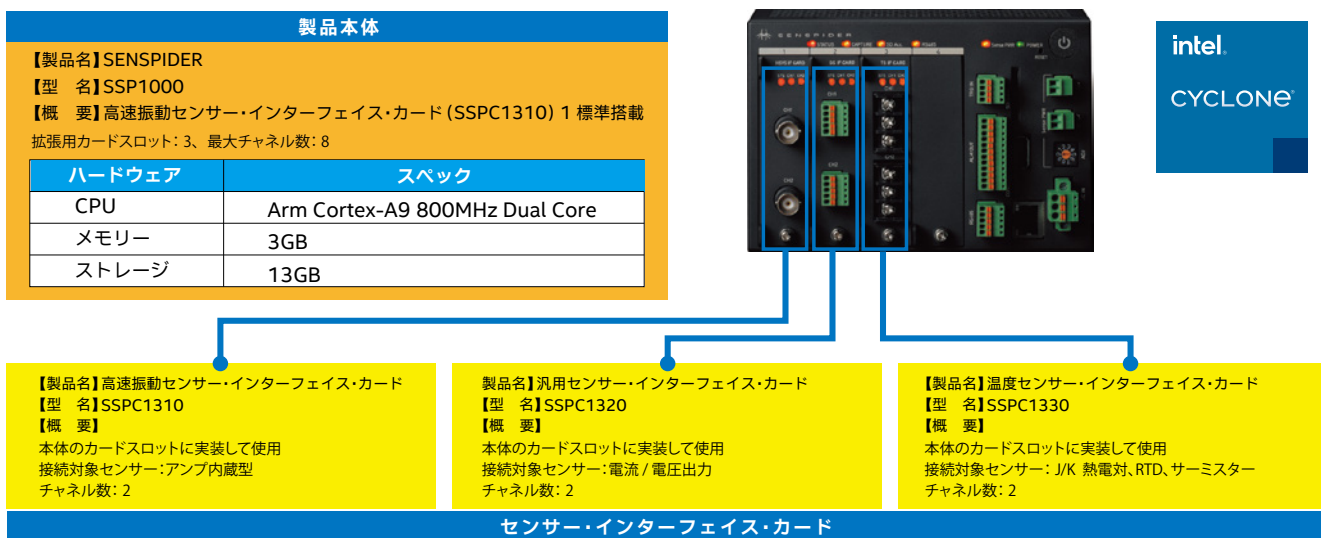
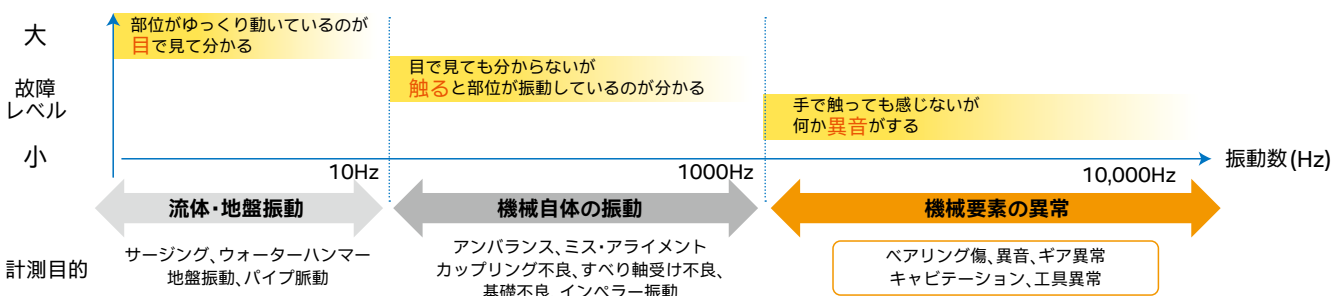


図 3. 異常によって生じる振動のおおまかな周波数帯 (マクニカ調べ)

広帯域振動センサーで設備異常を早期に発見



SENSPIDERでは、データ量の削減を目的としたサンプリングの間引き（データ切り出し）のほか、オフセット調整、FFT、バンドパスフィルター、RMS 値計算などの信号処理による特徴量抽出が可能です。さらに、ユーザー独自のエッジ処理プログラムや解析アルゴリズムを Python ベースで実装する開発キット「SENSPIDER Developers Package」がマクニカから無償で提供されていますので、信号処理（特徴量抽出）のカスタマイズのほか、推論処理によって異常の徴候をリアルタイムに捉えることもできます。

**教師なし学習で推論モデルを構築
1カ月から3カ月で運用開始が可能**

振動解析 CBM サービスの一翼を担うのがアクロクエストテクノロジーが提供する IoT データ分析プラットフォームの Torrentio Cloud です。SENSPIDER から送信された時系列データを対象に、同社独自のルール制御エンジンとハイブリッド予兆検知エンジンによって異常の予兆を検知します。

用意されている検知パターンは、データの逸脱を検知する「外れ値検知」、データの大きな変化を検知する「変化点検知」、周期性のあるデータから異常を検知する「異常パターン検知」、複数のデータ系列の相関から異常を検知する「相関分析」の4種類です（図4）。

また、時系列データは AWS 上に構成されたクラウドストレージに格納されるため、SENSPIDER 単独では難しい長期レンジでの変化を把握することもできます。

CBM で課題になるのは異常発生時のデータ収集と学習です。というのも機器や設備は基本的には正常な状態で稼働しているため、異常につながるであろうデータがセンシングされることはほとんどありません。すなわち学習が困難なことを意味します。そこで Torrentio Cloud では「教師なし学習」を用いてモデルの構築を行っています。CBM の検討開始から学習を経て運用開始に至るまで、従来手法に比べて 1/2 以下となる1カ月から3カ月という短期間で済むのが Torrentio Cloud の特徴の1つといえます（図5）。

図4. アクロクエストテクノロジーの IoT データ分析プラットフォーム「Torrentio Cloud」で用意されている4種類の検知アルゴリズム

Torrentio の異常予兆検知 AI エンジンでは、以下のような傾向を異常として自動で判断します。これらは、時系列データの異常として扱われる代表的なものを網羅します。

外れ値検知		通常、データが取り得る範囲から、逸脱するような傾向を検知します。昼夜で、稼働状況などが異なる場合など、単純な判定では難しいケースにも対応可能です。
変化点検知		測定データが、ある時点で急に变化する傾向を検知します。直前のデータの傾向に対して、大きな違いが出るような状況を特定します。
異常パターン検知		周期性のある内容で、正常に動作した場合に、その周期で取り得る傾向と食い違いがある場合を検知します。しきい値での判断ができない傾向のデータの異常を検知するのに有効です。
相関異常検知		通常、データが取り得る範囲から、逸脱するような傾向を検知します。昼夜で、稼働状況などが異なる場合など、単純な判定では難しいケースにも対応可能です。

図5. Torrentio Cloud における教師なし学習を用いた短期間でのモデル構築

従来の手法による分析

検討 → データ収集 → 学習モデル構築 → 学習モデル検証 → チューニング追加データ収集 → 運用

6カ月～1年

Torrentio による分析

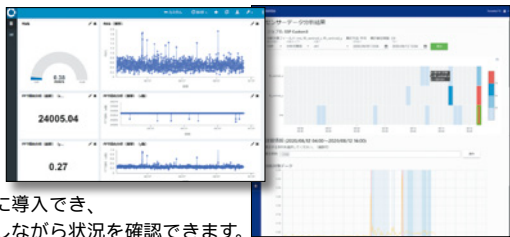
検討 → データ収集 → 設定 → プレ評価 → 運用

データ収集も簡単に連携 | 自動で学習モデルを構築

1～3カ月

運用開始までの期間を 50～80%短縮
導入の手間も大幅に削減

すぐに導入でき、運用しながら状況を確認できます。



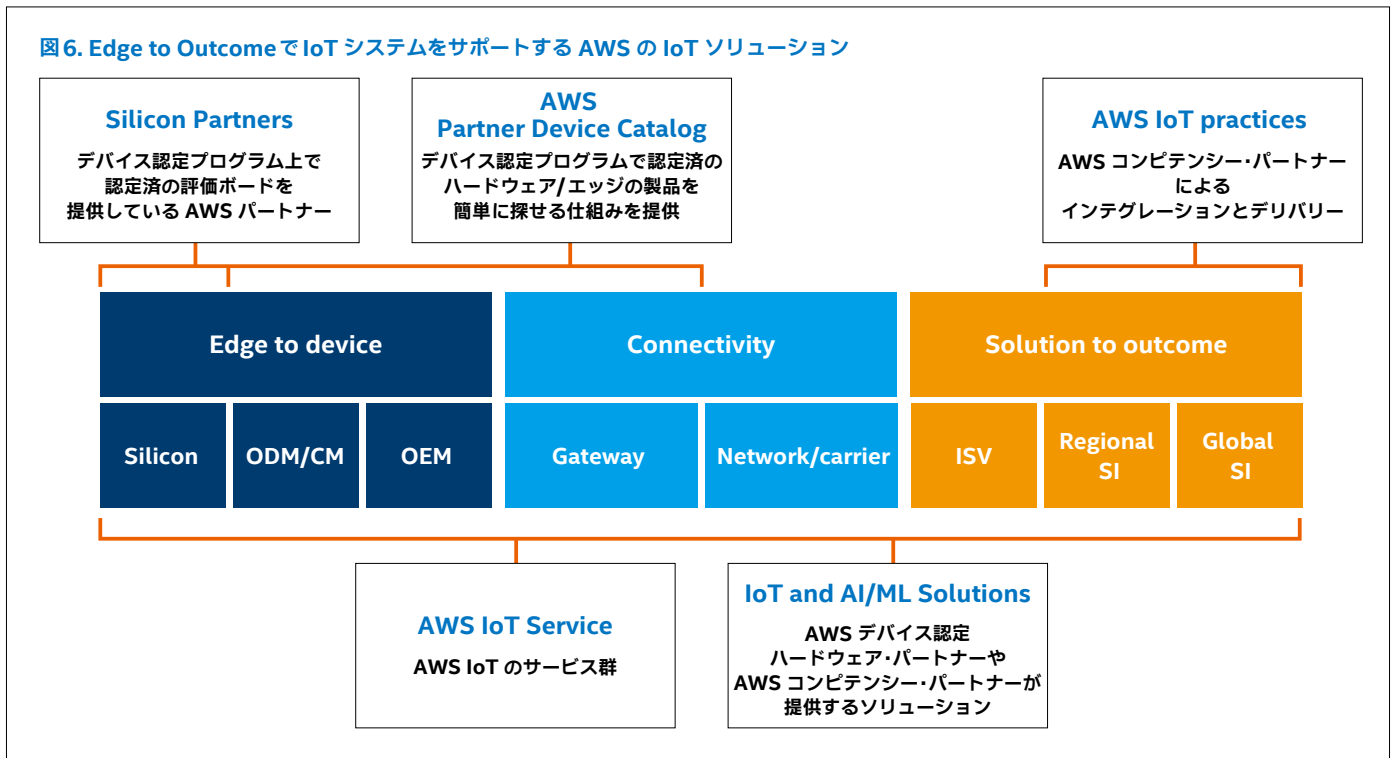
SENSPIDER から Torrentio Cloud に渡すデータに特に制限はありませんが、使用する回線の帯域、公衆網 (SIM) 経由の場合は月間最大データ量、AWS 上に用意するクラウドストレージの容量や時系列データを保存したい期間、および、SENSPIDER と Torrentio Cloud の間での異常検知の役割分担などに応じて、SENSPIDER 側でデータ間引きや特徴量抽出などを行ってデータ量を削減するのが一般的な使い方となります。

**IoT システムの構築に最適なクラウドサービス
エッジから成果までをエンドツーエンドで**

予防保全に代表される IoT システムを構築する際には、エンタープライズ向けのクラウドサービスではなく、データ収集、デバイス管理、分析などの機能を備えた IoT に適したクラウドを選定することが肝要です。PoC をスタートとして、アジャイル的に試行を繰り返しながら、最後は本番稼働へとスムーズに進めるためにも、簡単で、短期間で、かつ低コストで IoT を構築できるクラウドサービスを活用することが望ましいと言えます。

Torrentio Cloud が使用しているのが、アマゾン ウェブ サービスが提供する AWS IoT サービス群です。AWS IoT サービスでは、エッジデバイスの構築を支援するソフトウェア群、エッジデバイスの制御や管理をサポートするサービス群、および、データを分析するサービス群で構成されていて、IoT システムに最適化されているのが特徴です。

AWS では、「Edge to Outcome」(outcome = 成果) という言葉で AWS IoT の価値を訴求しています (図 6)。プロセッサなどのシリコンチップを含むエッジデバイスから始まり、ネットワーク・コネクティビティーを経て、インテグレーションや分析までをエンドツーエンドのトータルでサポートする考えを示したコンセプトです。Edge to Outcome を実現するために、マクニカやアクロクエストテクノロジーを含むパートナー企業によって、エコシステムが構築されています。



ダウンタイムや損失の最小化を実現する CBM モノ売りからコト売りへの転換にも

振動解析 CBM サービスの実際の導入にあたってはいくつかの形態が考えられます。もっとも一般的な例が、工場やプラントを持つ企業が既設の機器や設備に取り付けて運用する形態でしょう。スマート・ファクトリーやデジタル・トランスフォーメーションに対する取り組みと合わせれば、自社の見える化が図れるとともに、運用ノウハウを社内に蓄積することができます。

製造ラインなどの構築や設計を担うラインビルダー（工場版システム・インテグレーター）が、自社のサービスとして振動解析 CBM サービスを企業に提供する形態も考えられます。月額料金制などいわゆるサブスクリプションとしてメニュー化することで、安定した売上げが期待できると同時に、企業側としては導入コストや運用コストの抑制が図れます。

もう1つ考えられるのが、機器や設備のメーカーが振動解析 CBM サービスを自社の製品に組み込んで提供する形態です。客先での実際の使われ方や稼働状況を把握できるとともに、機器や設備のメンテナンス・サービスを付加価値として提供できます。製品だけを提供する「モノ売り」にとどまらず、いわゆる「コト売り」へとビジネスを拡大することにもつながります。

※ それぞれのソリューションの詳細については下記のリンクを参照してください。

- ・マクニカのエッジ・コンピューティング端末「SENSPIDER」
https://www.macnica.co.jp/business/ai_iiot/products/hardware/senspider/
- ・アクロクエストテクノロジーの IoT データ分析プラットフォーム「Torrentio Cloud」
<https://www.site.torrentio.tech/torrentio/>
- ・Cyclone® V FPGA & SoC FPGA
<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/products/details/fpga/cyclone/v.html>
- ・アマゾン ウェブ サービス
<https://aws.amazon.com/jp/>

工場やプラントを構成する機器や設備の不具合・故障は、品質不良や生産停止の原因となって大きな損失を招くだけでなく、ときには現場で働く人たちの安全を脅かすことにもつながりかねません。従来の TBM（時間基準保全）に CBM を組み合わせるなどして有効性の高いメンテナンス方法を確認し、ダウンタイムや損失の最小化を図ることが望まれます。

CBM の実践にあたっては、センサーのフロントエンド処理や特徴抽出は高性能なエッジ端末で行い、長期的な変動を含むデータ解析はコンピューティング・リソースを潤沢に用意できるクラウド上で行うという、いわゆるエッジ-クラウド連携が推奨されます。マクニカとアクロクエストテクノロジーが提供する振動解析 CBM サービスのように、投資負担が少なく、かつ、スモールスタートとスケールアップが可能な実績あるソリューションを利用するのが一案になるでしょう。

このようにエッジ-クラウド連携による CBM が広がりを見せている今、インテルは、高性能なインテル® プロセッサやインテル® FPGA の提供を通じて、さらなる高性能化と高度化が求められるエッジ・コンピューティングのニーズに応えていきます。また、AWS とはエコシステム・パートナーとして連携を深めており、エッジ-クラウド連携をエコシステムを通じてサポートしていきます。



この文書は情報提供のみを目的としています。この文書は現状のまま提供され、いかなる保証もいたしません。ここにいう保証には、商品適格性、他者の権利の非侵害性、特定目的への適合性、また、あらゆる提案書、仕様書、見本から生じる保証を含みますが、これらに限定されるものではありません。インテルはこの仕様の情報の使用に関する財産権の侵害を含む、いかなる責任も負いません。また、明示されているが否かにかかわらず、また禁反言によるとよらずにかかわらず、いかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。

Intel、インテル、Intel ロゴ、その他のインテルの名称やロゴは、Intel Corporation またはその子会社の商標です。

その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

インテル株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内 3-1-1

<http://www.intel.co.jp/>

©2022 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。
2022年1月

349567-001JA
JPN/2201/PDF/CB/PSG/TI