

共同研究報告書

研究課題: 防災と減災のための IoT センサーネットワークの構築とその応用

研究担当者 北海道大学産学地域協働推進機構

特任教授 山本 強

あらまし 2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震は世界でもまれな大規模かつ長期間の停電（ブラックアウト）を引き起こした。この経験から、エネルギー、交通、情報通信の維持と短時間の復旧の重要性が改めて認識されることとなった。本研究では IoT システムによるインフラ監視、特に電力供給のモニタリングシステムを IoT センサーネットワークにより構築し、電力供給の状態を利用者が監視できる情報サービスを実現することを目指している。

本研究では、緊急の課題として防災、減災に対して IoT によって実現される情報収集システムがどのように機能するかを実証的に研究したものであるが、この成果はそれに限定されるわけではなく、平時においても IoT が有益であることを示すものである。情報システムによって社会システムが大変革を起こす、つまり Society5.0 に向けた情報インフラの整備やサービスの開発が行われている。本研究は Society5.0 時代に向けて、IoT やセンサーネットワークがどのように機能するか、そのプロトタイプの開発の一例でもある。

キーワード IoT, レジリエンス、数値データベース、センサーネットワーク、防災・減災、Society 5.0

1. まえがき

2011年3月の東日本大震災以降、度重なる台風被害、大規模地震の頻発、新型コロナウイルス感染症など想定を超える規模の災害や非常事態が頻発するようになっている。自然災害は予測不能であり、物理的に防止することは非現実的である。可能な対応は災害をなくす（防災）よりも、災害規模を小規模に押さえる（減災）か、災害から早期に復旧できるか（レジリエンス）である。減災、レジリエンスという目標を設定した場合、情報サービスが有効に機能する局面が出てくる。

3.11 大震災以降、防災や減災を目的とした情報システムの応用研究が活発化している。震災級の災害では、物理的被害、人的被害が主であり、情報システムが対応できることには限界がある。しかし、情報システムが生活の隅々まで浸透している現代社会において、新たな災害として「エネルギー災害」、「情報災害」という新しい形の災害が発生している。2018年9月6日に発生した2018年北海道胆振東部地震では北海道全域の長時間商用電力供給停止-ブラックアウト-という前代未聞の状況が発生した。長時間の停電は情報システムの停止を引き起こし、その結果として交通システム、物流が機能不全に陥るといった新しい災害の様相を示すことになった。ブラックアウトは電力供給事業者側の問題ではあるものの、それから誘発される2次的な災害に対する対応は各分野で十分に検討しなければならない。我々はブラックアウトを実際に経験して以来、情報システムが大規模災害時の防災、減災にどう対応できるかを情報科学分野の研究者の視点から研究を実施した。

2. IoT センサーネットワークの基本方針

IoT やセンサーネットワークというキーワードで検索すると、事例やサービスがたくさん出てくる。雑誌媒体でも Raspberry Pi や Arduino などのプラットフォームを応用した実装例が出てくるし、技術情報は沢山あるのだが、事例として出てくるのは LED 点滅と温度と明度のセンシングといった単純化

共同研究報告書

研究課題: 防災と減災のための IoT センサーネットワークの構築とその応用

研究担当者 北海道大学産学地域協働推進機構

特任教授 山本 強

された「サンプル」にとどまっている。「できることをする」と、「必要なことをする」の間に大きな隔りがある。

IoT に関してよくある誤解は、IoT を称するデバイスは超小型で軽いシステムであることから、IoT システム全体が小さくてシンプルなものだと思われることである。実際にシステム構築するとわかるのだが、IoT のエッジ部分は確かにシンプルで小さいのだが、システム全体は多層構造で大規模なものになることが多い。つまり、システムを一から作るのは多岐に渡る技術分野を理解することを求められるのである。

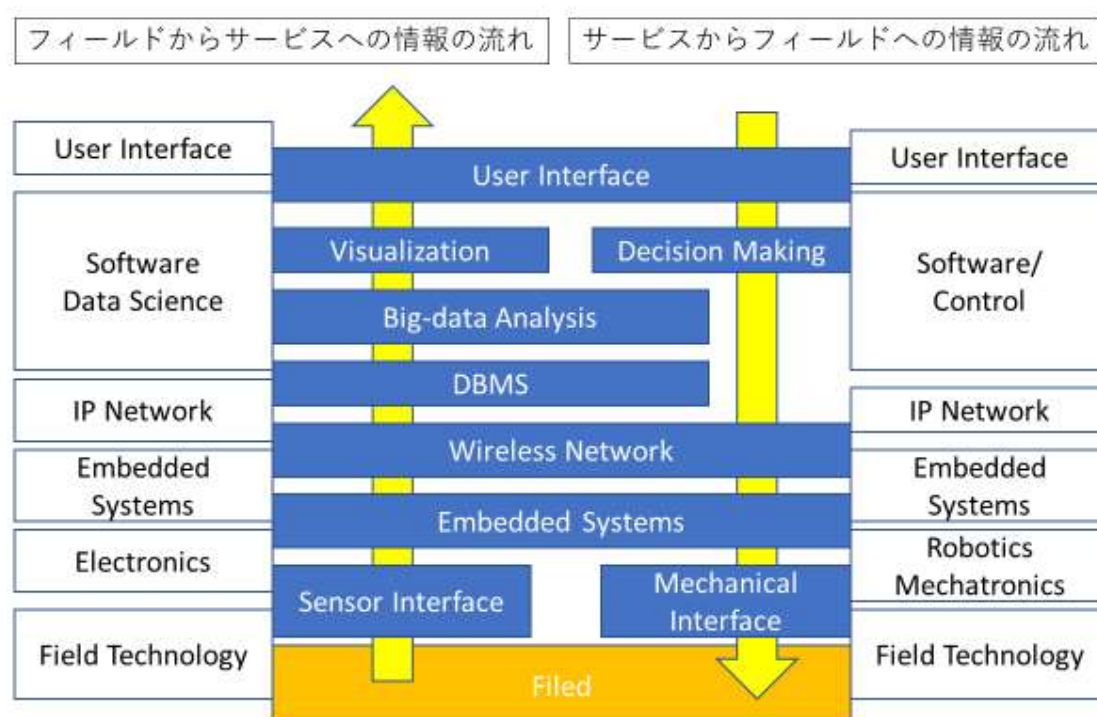


図 1. IoT サービスを構成する要素技術の階層

3. センサーネットワークの基本設計

本研究では、複数観測点で商用電源の周波数変動を主とし、加えて電圧や環境情報（気温、明度、その他センシング可能な情報）を取得し、それをサーバーで集約して商用交流電源の周波数変動を観測することにより、発電や送配電の状況をモニタすることを目指している。本センサーネットワークはインターネットインフラが使えることを前提とし、エッジ・サーバー・クライアントの 3 モジュールで構成する。全体システムの開発は大きく以下の 4 モジュールに分割できる。

1. エッジモジュール(Raspberry Pi)

(ア) 高精度電源周波数計測モジュール (ハードウェア)

共同研究報告書

研究課題: 防災と減災のための IoT センサーネットワークの構築とその応用

研究担当者 北海道大学産学地域協働推進機構

特任教授 山本 強

- (イ) センサーノードソフトウェア
- 2. サーバーソフトウェア(Linux[CentOs 6]).
 - (ア) エッジ向け API 設計
 - (イ) クライアント向け API 設計
 - (ウ) データベースマネジメント
- 3. クライアントソフトウェア(HTML5/javascript)
 - (ア) 可視化ソフトウェア

この 3 モジュールが IP ネットワークで接続され、モジュール間通信の API により連携することでサービスが実現される。モジュール間通信の構造を図 2 に示す。

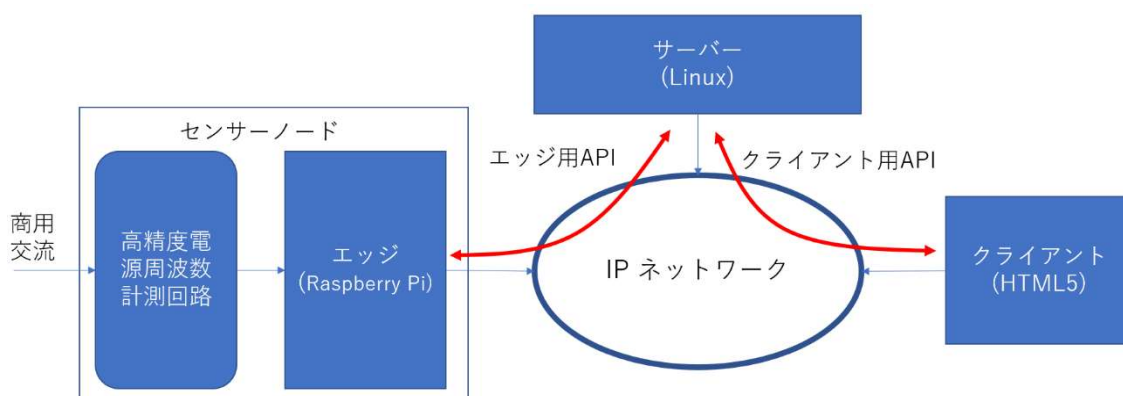


図 2. 交流周波数精密測定用センサーネットワークのモジュール構造

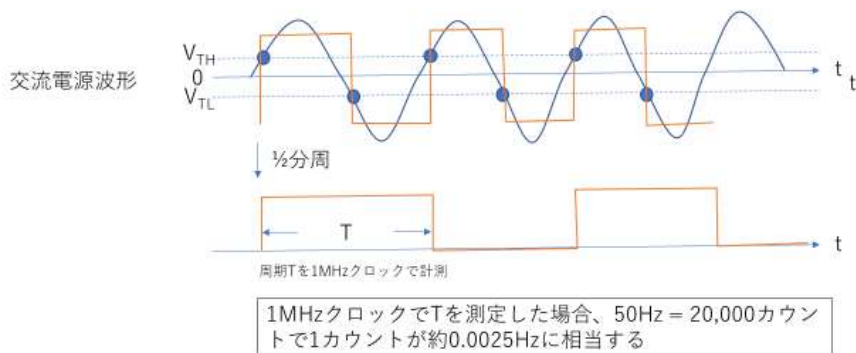
モジュール構造で実現することにより、分散開発が可能になるだけでなく、各モジュールを他のアプリケーションと共用することが可能になる。

4. エッジモジュール設計

エッジモジュールは高精度周波数計測回路ハードウェアとサーバーとの通信を管理するセンサーノードソフトウェアで構成される。

高精度周波数計測は商用交流の周期 T を測定し、その逆数から瞬時周波数を求めている。図 3 は瞬時周波数計測の原理を説明している。実装においては内部で高精度の 1MHz クロックを生成し、交流信号の 1 周期時間に含まれるクロック数をカウンタで計測することにより、周期時間(時間分解能 1μ 秒)を計測し、その逆数から周波数を求めるものである。1MHz クロックを用いた場合、50Hz での 1 カウントの周波数精度は 0,0025Hz であり、測定精度は $0.0025/50 = 50\text{ppm}$ である。

瞬時周波数計測の原理



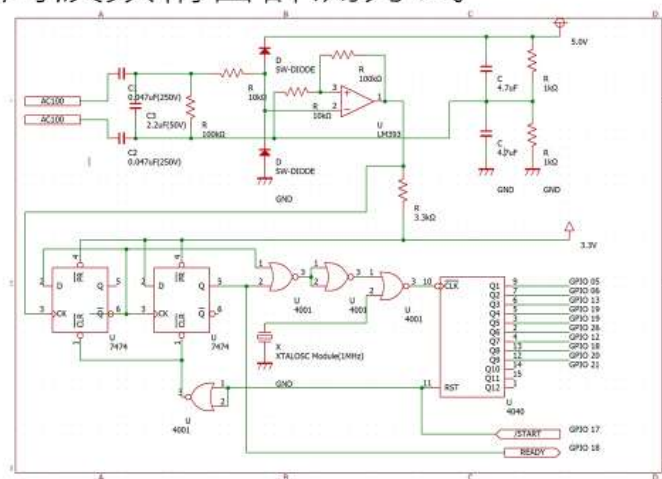
(c) Advanced IT Prototyping Laboratory

4

図 3 高精度瞬時周波数計測の原理

この原理に基づき、実際に商用交流電源の周波数（周期）を計測するハードウェアを設計した。その回路図を図 4 に示す。50Hz を 1MHz クロックでカウントすると最大 20000 カウントに達するため、カウンタビット数は最低でも 20bit 以上必要になる。しかし、収容交流周波数は事前知識としてその変動範囲が極めて小さいことがわかっているため、 $50\text{Hz} \pm 1\%$ 程度の変動幅を想定してカウンタの下位 9bit のみを観測している。

瞬間周波数精密計測方式



5

図 4 高精度瞬間周波数計測回路の実装例

共同研究報告書

研究課題: 防災と減災のための IoT センサーネットワークの構築とその応用

研究担当者 北海道大学産学地域協働推進機構

特任教授 山本 強

エッジモジュール本体は小型 Linux ボードコンピュータ Raspberry Pi Zero WH で実装されている。図 4 の出力を Raspberry Pi の GPIO に接続し、サーバー通信用の API インターフェイスソフトを組み込むことにより、サーバーとの通信が可能になる。エッジコンピュータ側ではサーバーに対してリモートプロシジャーコールとして実行される `rcp` コマンドにより、周波数データをファイルとしてサーバーにアップロードする。

図 5 は試作機の実装例です。

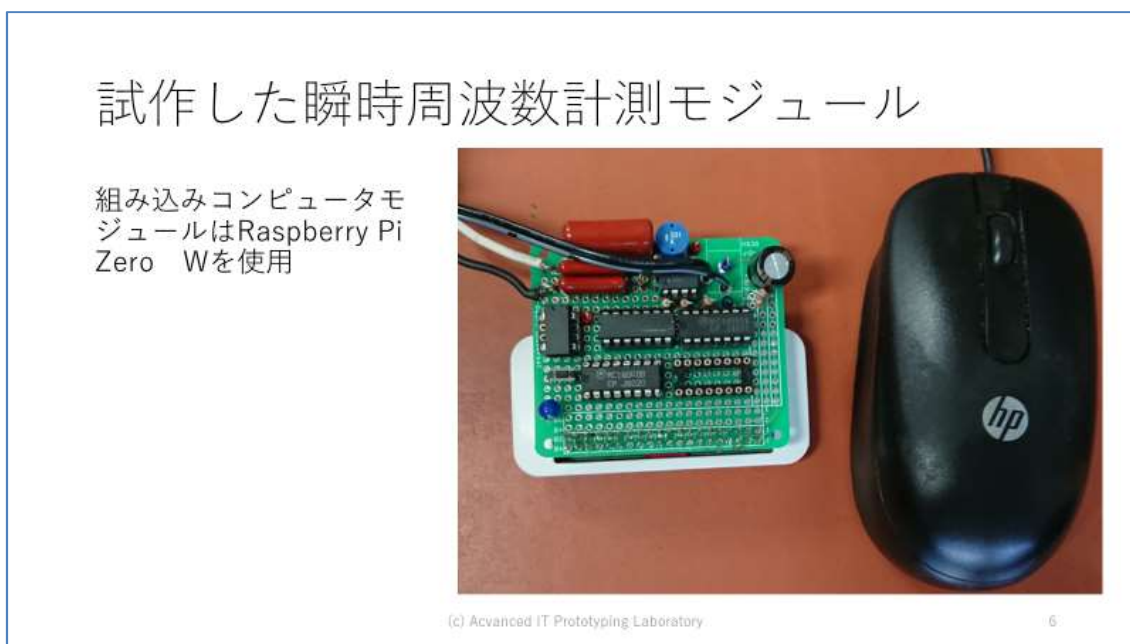


図 5. 試作した瞬時周波数計測モジュール

5. サーバーソフトウェア

サーバーシステムはクラウドサービスとして実装される。具体的には CentOS で動作する Unix サーバーである。サーバーはエッジ用 API とクライアント用 API が提供される。エッジ用 API は現在の実装では `rcp` によるネットワークファイル転送(アカウント認証付き)を用いて実装されている。

クライアント用 API は HTTP の CGI インターフェイスとして実装されている。具体的にはエッジモジュールの ID と日時を指定することで、指定エッジノードで観測された周波数データをダウンロードすることができる。

6. クライアントソフトウェア

クライアントソフトウェアは PC, タブレット, タブレット, スマートフォンからリアルタイムで商用電源の周波数変化を時系列として表示するものである。HTML 5 で記述しており、クライアント端末のハードウェア依存は無い。図 6 は 2020 年 5 月 29 日の北海道電力の周波

共同研究報告書

研究課題: 防災と減災のための IoT センサーネットワークの構築とその応用

研究担当者 北海道大学産学地域協働推進機構

特任教授 山本 強

数変動を札幌市内で計測したデータの可視化結果である。

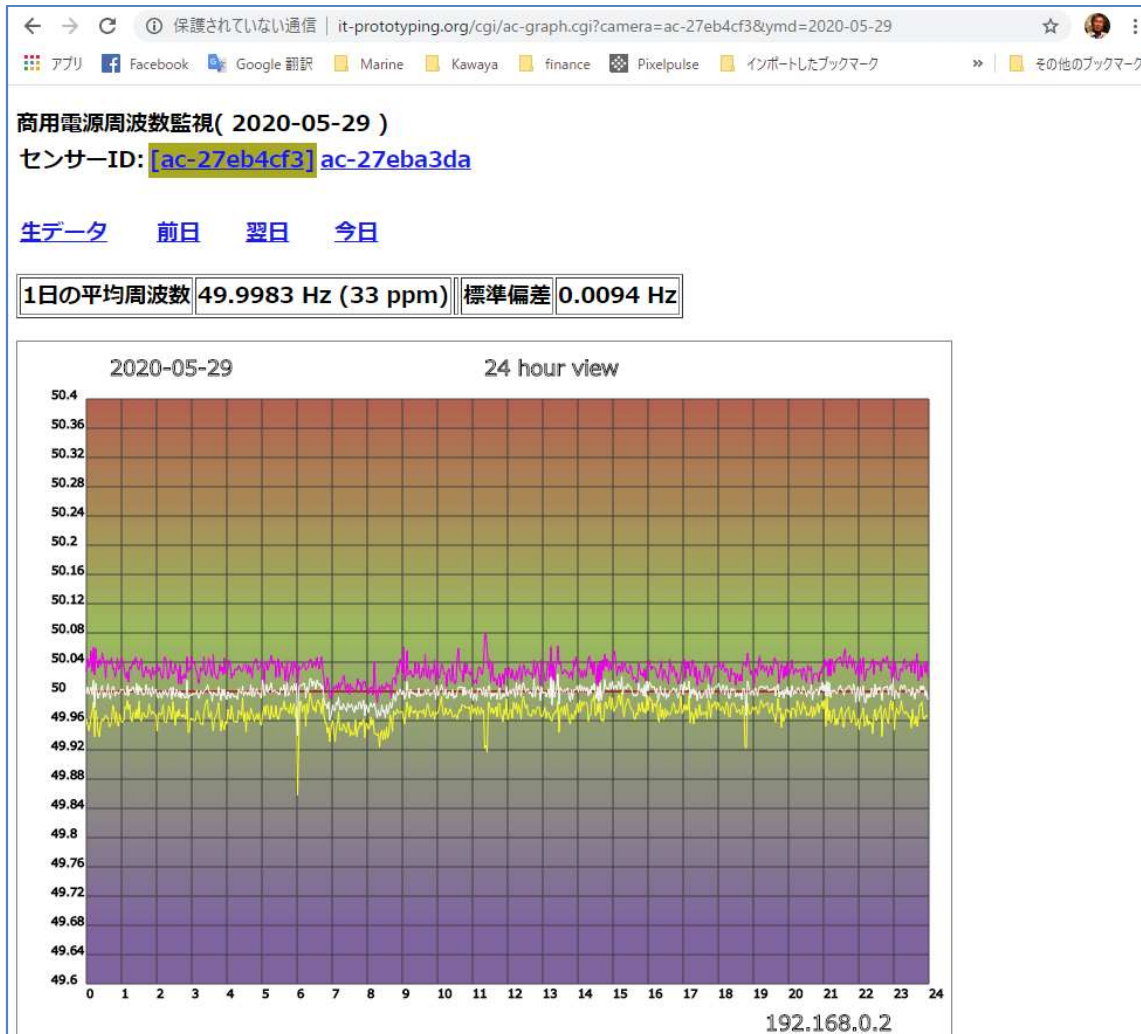


図 6 交流周波数変動の観測例

研究開始以来、エッジ計測ノードは定常的に周波数モニタリングを続けており、特徴的な周波数変動パターンも観測されている。図 7 は急激な周波数上昇の例である。北海道電力に対してこの状況の原因を確認したところ、大口需要家の瞬間的な負荷減少により発電システムが軽負荷状態になり周波数が急激に上昇したものであるという情報が得られた。

記録されたスパイク的な周波数変動の検出例

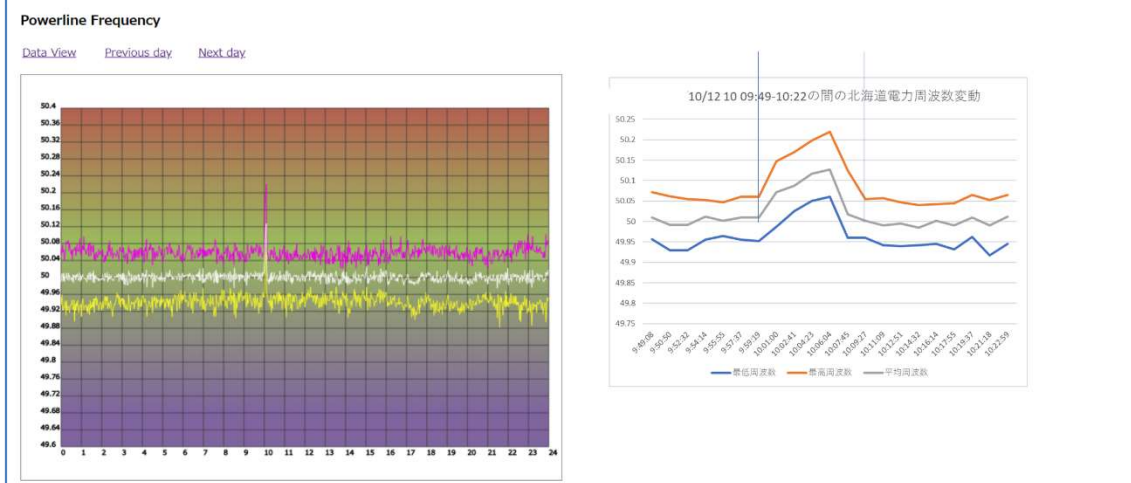


図 7. 観測された習慣的な周波数上昇の事例

エッジノードは小型であり、インターネット環境があればどこでも周波数モニタリング可能である。図 8 はエッジノードをフィンランドに持ち込み、ヘルシンキ郊外において電源周波数を 1 日観測した時の記録例である。

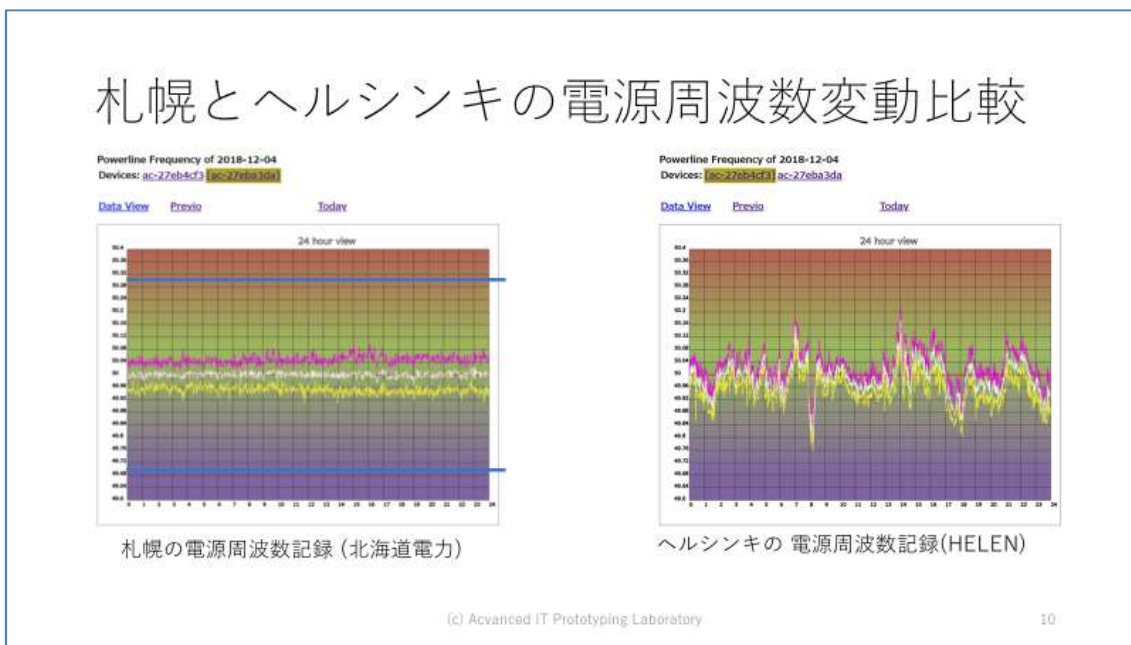


図 8 札幌とヘルシンキの商用電源周波数変動の比較

この状況から見るに、日本の電力会社の周波数制御とフィンランドのそれは大きく異なっていることがわかる。変動幅についてみれば日本 (北海道電力) は周波数変動が極めて小さ

共同研究報告書

研究課題: 防災と減災のための IoT センサーネットワークの構築とその応用

研究担当者 北海道大学産学地域協働推進機構

特任教授 山本 強

く安定であることがわかる。

7. むすび

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震の直後に発生した広域停電事故、いわゆるブラックアウトの原因となった発電システムへの負荷変動を IoT の活用により観測するセンサーネットワークを設計・開発した。開発システムの重要な特徴はノード設置場所における設定などが不要である点である。つまり、センサーノードはすべて同一ハードウェア、同一ソフトウェアであり、エッジコンピュータのハードウェアが持つ固有 ID だけで全体を管理する構造として API を設計した。これにより、センサーノードを多数ストックしておき、必要が生じたときに設置し通電、IP 接続するだけで電源周波数情報をサーバーにアップロード開始することが可能になった。

開発システムのエッジ用 API は電源周波数だけでなく、8ch のセンサー情報もアップロード可能な汎用性をそなえており、本システムを用いて多目的なセンサーネットワークシステム構築が可能となった。