



2021年度

IoT 無線振動・温度センサ及び

機器状態監視診断システムの技術開発の技術開発

成果報告書

2022年3月

一般社団法人 日本舶用工業会

はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、2021年度に一般社団法人日本船用工業会が実施した「IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの技術開発の技術開発」の成果をとりまとめたものである。

本開発は、2020年度、2021年度の2年計画で、ダイハツディーゼル株式会社に委託して実施しており、2年度分の報告書をここにまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

2022年3月
(一社)日本船用工業会

目次

第一部 令和2年度(2020年度)	1
1. 事業の目的	1
2. 事業の目標	3
3. 事業内容	4
3.1 令和2年度の実施内容	4
4. IoT無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの調査	5
4.1 振動への着眼	5
4.2 船主要望のヒアリング	6
4.3 本研究課題での製品仕様のアプローチ	7
5. IoT無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムの技術検証用試作品の設計/試作	8
5.1 開発する試作品について	8
5.2 IoT無線振動・温度センサの設計/試作	9
5.3 機器状態監視診断システム/コントローラの設計/試作	13
6. 試作品の評価と考察	15
6.1 IoT無線振動・温度センサ単体試験	15
6.2 温度センサ評価試験	16
6.3 子機の動的消費電流測定	18
6.4 子機の連続駆動時間の推定	19
6.5 子機の連続駆動時間の実測	19
6.6 無線通信の受信成功率の計測	20
6.7 無線通信距離の評価	21
7. 実船調査	23
7.1 実船(模擬)試験の設備とセンサの設置	23
7.2 実船(模擬)試験による振動計測	30
7.3 実船(模擬)試験環境下での電波環境の確認	32
7.4 実船(模擬)試験環境下での子機と親機の理想的位置関係の確認	34
8. 成果について	37
8.1 令和2年度の実施内容	37
9. 事業目標の達成状況	39
9.1 2020年度の目標	39
9.2 目標の達成状況	39
9.3 事業実施によって得られた成果	39
第二部 令和3年度(2021年度)	40
10. 事業の目標	40
10.1 本事業の最終目標	40
11. 事業内容	40

11.1	2021年度(令和3年度)の実施内容	40
12.	IoT無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの調査	42
12.1	設計要件の調査と再定義	42
13.	IoT無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムの商用設計／試作	43
13.1	開発する試作品について	43
13.2	IoT無線振動・温度センサの設計／試作	44
13.3	機器状態監視診断システム／コントローラの設計／試作	46
14.	試作品の評価と考察	48
14.1	IoT無線振動・温度センサ単体試験	48
14.2	温度センサ評価試験	49
14.3	子機の動的消費電流測定	51
14.4	子機の連続駆動時間の推定	54
14.5	子機の連続駆動時間の実測	55
14.6	無線通信の受信成功率の計測	56
14.7	無線通信距離の評価	57
15.	実船調査	59
15.1	実船試験の設備とセンサの設置	60
15.2	実船試験による振動計測	67
15.3	実船試験環境下での電波環境の確認	86
15.4	実船環境下での子機と親機の理想的な位置関係の確認	89
16.	船級試験対応（予備試験）	94
16.1	EMC試験について	94
16.2	EMC試験での供試体と試験環境	95
16.3	EMCイミュニティ試験	96
16.4	EMCエミッション試験	100
17.	成果について	104
17.1	令和3年度の実施内容	104
18.	事業目標の達成状況	107
18.1	2021年度の目標（最終目標）	107
18.2	目標の達成状況	107
18.3	事業実施によって得られた成果	108
19.	本技術開発における自己評価	109
20.	今後の取り組みについて	109
21.	謝辞	109

第一部 令和2年度（2020年度）

1. 事業の目的

日本では2025年ターゲットに無人運航船に係わる技術開発が急速に進む。
無人化度を高める為には、機器の異常診断、故障予知に関する技術開発が急務である。
そして、複雑化した機器に対する機関士の管理強化や省力化可能な技術開発も必須である。

本事業で開発するIoT無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムは、従来機関士がタッチングで行っていた機器異常の把握を、IoT無線振動・温度センサの計測に代替し、振動や温度の人の感触変化による異常検知ノウハウを最新の異常診断技術に代替することを目的とする。

最新IoT・無線技術を適用し、画期的な振動データ処理手法の採用により、船内のあらゆる船内機器を対象に、振動と温度によるCBM（※1）を可能とする。このような思想の製品は市場には無く、成果は船用以外にも広く展開可能である。

本事業の目的は以上の通りであるが、個別の事項について補足すると以下の様に纏められる。

※1）CBM：Condition Based Maintenance/状態監視ベースのメンテナンス手法

※2）あらゆる機器：主機、発電機、電動機、ポンプ等の振動/熱を持つ機器

【意義と必要性】

現在、日本が進めている無人運航船では、不具合防止のために故障予知により不具合発生率を抑えること、抑えられない場合には冗長化により不具合を起こさないことが求められる。

特に故障予知には、機関士が機器を丁寧にワッチすることにより見つける人為的な方法と、機器にセンサを設置し、出力されるデータから異常診断する機械的な方法が有る。

前者の対応は、ベテラン機関士が減り船内機器が複雑化している現状では、不具合の予兆見落としの可能性が高くなり、それを防ごうとすると機関士に掛かる負担が大きくなってしまふ。

そこで、後者のセンサ計測と異常診断技術の高度化が注目されることになるが、現状、船内の全ての機器に故障予知用のセンサが設置され、異常診断が行われているわけではなく、ここに改善の余地がある。

本事業では、ベテラン機関士の日常監視業務に着目し、あらゆる機器をタッチングし、振動と温度変化による異常を五感にて判断していたワッチ業務を、当該 IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムにより代替し、諸課題を解決するための技術開発を行う。

このシステムは、無人運航船の実現に必要不可欠である。

【課題】

- ① 自律化度を高めるための異常診断、故障予知に関する技術開発
- ② 複雑化した機器に対する機関士の管理能力 を強化する技術開発
- ③ 複雑化した機器に対する機関士の管理負荷を軽減する技術開発
- ④ ベテラン機関士の異常検知ノウハウを、誰もが使える様にする技術開発

【効果及び新規性】

本事業には以下の新規性がある

- ① 振動だけでなく熱も加えた、より機器の状態診断に適した IoT センサを開発
- ② 電池駆動に適し、異常診断に最適化した超低消費電力の振動データ変換技術
- ③ MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を採用、
圧電型センサ（一般的な計測用振動センサ）より小型廉価
- ④ 数十点の振動センサを同時運用できる無線電送システムの構築
- ⑤ あらゆる機器に適用出来る、振動と熱の変化を利用した異常診断技術の構築
- ⑥ 多数の機器状態を一括監視可能な、視認性が良いインターフェースの構築
- ⑦ ベテラン機関士が故障予知に使う機器へのタッチング（五感）の代替手法

これにより以下の効果が有る

- ⑧ 無人 運航船を見据えた機関室機器の振動と熱による CBM (※1) を実現できる
- ⑨ 機関室内のあらゆる機器 (※2) を監視下に置けるようになる
- ⑩ 無線の採用により後付け設置も非常に簡単となる
- ⑪ 機関士の日常監視業務をフォローし、不具合を見落とす可能性を大幅に削減

2. 事業の目標

2.1 本事業の最終目標

IoT 無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムとしてのコントローラの商用試作品を開発する。

(1) IoT 無線振動・温度センサの開発

- 1) センサ 1 個で 55 点のアナログ出力 (1 方向 18 点×3 軸+温度)
- 2) 省電力無線と節電回路を改良し、電池駆動期間 1 年以上とする。
- 3) 無線電送距離は 30m 以上とする。

(2) 状態監視診断システムの開発

- 1) システムへのセンサ同時接続数は 20 センサ以上とする。
- 2) システムは 20 センサ×55 点=1100 点以上の同時処理能力を維持する。

2.2 令和 2 年度の目標

IoT 無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムとしてのコントローラの技術検証用試作品を開発する。

(1) IoT 無線振動・温度センサの開発

- 1) センサは、振動 X, Y, Z 方向 3 軸、温度 1 点計測出来る振動センサとする。
- 2) 振動信号は FFT (Fast Fourier Transform/高速フーリエ変換) 等を用い、周波数成分に変換。1 方向 18 点のアナログ信号に分解して出力する。
- 3) 無線電送距離は 15m 以上とする。

(2) 状態監視診断システムの開発

システムのセンサ同時接続数は 10 センサ以上とする。

3. 事業内容

3.1 令和2年度の実施内容

(1) IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの調査

令和元年現在、センサの要素技術を開発中である。開発中の要素を纏めた技術検証用試作品を開発するために必要な仕様や要件定義の為の調査を行う。

- 1) 本船での設置手法や電波の拡散や受信等の技術調査
- 2) 船社へのセンサ及びシステムの具体的な仕様の要望ヒアリング等

(2) IoT 無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムの技術検証用試作品の設計/試作

1) IoT 無線振動・温度センサの設計

調査の結果を反映し、電池駆動が可能な超消費電力回路設計を行うことを前提に、MEMS 振動素子、超低消費電力無線技術等を採用し、振動3軸と温度を同時計測できるセンサを設計する。なお、無線伝送距離は15m以上とし、振動方向は1方向18点のアナログ信号に分解し、出力できるようにする。

2) IoT 無線振動・温度センサの試作

設計したセンサは、同時駆動することが前提であることから、40個を試作する。また、最適設計を比較評価するために、例えば異なる無線強度の仕様等にバリエーションを持たせたセンサも試作する。

3) 機器状態監視診断システム/コントローラの設計

調査の結果を反映し、IoT 無線振動・温度センサを複数個接続し、各センサを制御しつつ計測データを収集してエラー処理等を行い、多数のデータを用いて対象機器の状態変化を視認性が良く、判りやすいHMI (Human Machine Interface) で表示するコントローラの試作品を設計する。令和2年度は10センサ以上の同時接続を可能とする。

4) 機器状態監視診断システム/コントローラの試作

設計したコントローラは、全体のシステムを接続して動作確認し、正しくセンサを認識して計測し、データを表示できるか評価するための試作を行う。試作品は実船調査にも適用できる仕様とし、実船搭載と社内検証の為に3個試作する。

(3) 実船調査

試作したIoT 無線振動・温度センサと機器状態監視診断システム/コントローラを就航船に搭載し、実運用を行い評価(実際の運用環境下での電波状況の確認やセンサとコントローラ間のデータ取得等)する。

(4) 報告書作成

令和2年度の事業内容を取り纏め、報告書を作成する。

4. IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの調査

振動を異常診断に使う場合の現状や課題の調査を行い、IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムに必要な仕様や要件の洗い出しを行った。

4.1 振動への着眼

例えば、エンジンを運転すると、ピストンは上下動し、クランク軸は回転する。これらの動きや回転による揺れは船体に伝わり、我々は体でエンジンの揺れを感じることができる。また、機関室のコンプレッサやモーターが運転した際には、そのケーシングを手で触り、その揺れを感じて正常動作していることを把握できる。この様な物体が揺れ動く現象を一般的に振動現象と呼び、人は感覚で揺れの大小だけでなく、揺れの周期の早い遅いも感じることができる。

機械は多くの部品から構成されており、それらが決められた動作を繰り返すことで機能するものが一般的である。機械はその動作の場面により、時間とともに変動する力が発生し、その力がまわりの構造物をも振動させる。機械が正常動作を行っている場合には、その振動現象の変化は一定の範囲の変化に収まるが、機械に故障が生じた場合などには、故障による影響が振動現象の変化となって顕著に表れることが多い。

従来、船舶の機関室を管理するベテランの機関士は、人間が持つ五感を活用し、効率良く船内機器の異常を発見する技術を磨いてきた。特にタッチングといわれる「手」で触って、機器の振動や温度の変化を感覚で測りとり、それを自分の経験に照らし合わせて、問題のあるなしを瞬時に判断する手法を普通にこなし、早期の不具合発見に務めてきた。

しかし、近年は混乗化や減員が進み、船員のスキルレベルも幅広くなりつつある中、以前のようなベテラン職人のノウハウである、タッチングで行う機器異常の早期発見が望みにくい環境になりつつある。一方で、今日盛んに議論が進む無人化船のように、そもそも人が機関室に常駐しないような環境も出てくる可能性も高い。

そのような無人化船時代をにらみ、今までベテランの機関士が普通に行っていたタッチングによる船用機器の異常検知のスキルは重要であると再認識し、誰もが使える異常診断技術を用いて、船内機器の運用の安全性と信頼性の向上に寄与できる機器監視製品の開発を目指す。

この製品は、まもなく来るであろう無人化船時代にも適用できるよう、船内・機関室のあらゆる機器を振動面から不具合検知する仕組みを盛り込む。たとえ、無人化船時代となっても多くの振動を発生する船用機器はなくなることは無いと予想できる。将来にわたって安心・安全な船舶航行を目指すためには、この様な機器の状態監視を高度化する技術開発と製品群は益々必要性を高めると推測し、振動と機器状態監視に着眼した本研究開発課題を設定した。

4.2 船主要望のヒアリング

日本財団の Future2040（無人運航船が作る日本の未来）、国交省のロードマップと先進船舶技術研究開発支援事業（i-Shipping）や自動運航船実証事業によると、フェーズ 1（IoT 活用船）の段階として、見張り支援、機関遠隔監視や操船支援等への対応が望まれている。

2020 年からはフェーズ 2 となり、遠隔自動見張り、機関故障予知/予防や一部自動操船がターゲットとされ、さらなる予知・予防、行動提案、情報提示、自律化についての開発が進むとされている。加えて、先行して異常診断技術や予知技術の開発が加速している状況である。

さらに、2025 年からはフェーズ 3 として高度な自動操船や機関保守自動化がターゲットとされており、日本の船用業界は 2025 年の無人化船、自律化船のモデル船構築を目指しているところである。

我々、船用機器メーカーには、このように急速に変化する外部環境の下で、様々なセンシング技術や通信技術、異常診断等の技術的発展が強く求められている。

急速に変化する船用業界の社会的背景の元、総じて前倒しで計画は進みつつあり、特に IoT や異常診断技術などの技術開発のスピードは早い。

実施者もエンジンメーカーとして船舶の安全運航を担保する責務があり、船舶の異常検知や安全に資する開発を急いで進めているところである。

その一方、機関室の状況を鑑みると、年々ベテラン機関士は減り、あらゆるスキルレベルの機関士が混乗する中で、以前は普通であった五感を通じたワッチ技術が低下し、人間による不具合検知能力の低下が危惧されている。

実施者では予知検知、異常診断等の技術革新は、これらの課題に対応できるようになってきたと考えており、本事業で推進するコンセプトについて、ご協力頂く船主に相談を行ったところ当方の課題認識については違和感なくとのことで前向きにとらえて頂き、ご協力頂けることとなった。

4.3 本研究課題での製品仕様のアプローチ

振動による診断は一般的に広く利用されているが、正しく計測し、機器診断に有効に利用するには一定の知識が必要になること、効果的で簡単な診断の実現は、一般の技術者には難しいということがわかった。

そこで、我々の目標である「ベテランエンジニアのタッチングスキルを計測システムに盛り込む」ことを目指すため、今回開発を進める「IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システム」は、一般にある振動計測システムのように、計測精度を追求するような方向ではなく、機器の状態監視に必要な要件とは何かを考えて簡易計測/自動診断へフォーカスした仕様とすることで、ユーザには難易度を一段下げ、誰にでも使えるものを目指す事とした。

具体的には、以下の設計思想ですすめた。

【センサ側】

- ① IoT 無線振動・温度センサは可能な限り小型化し、あらゆる機器に設置できる
- ② 振動は振動波形やFFTで分析するのではなく、シンプルなアナログ値として扱う
- ③ 無線送信と電池駆動により配線敷設を不要にする

【コントローラ側】

- ④ 機関室内の沢山の機器に設置した多数のセンサを一括で取り扱うことができる
- ⑤ 振動がある機器であれば設置する機器を選ばない
- ⑥ 誰でも使え、専門家でなくても状態変化を捉えるために異常診断技術を応用する。
- ⑦ ユーザーフレンドリーな操作と簡単な設定を実現する。

これらの方向性を盛り込んだ、計測システムとして開発を推進する。なお、今期の開発の中心は①～⑥の部分であり、来期は更なる改善及び、その他の開発部分の試作製品化を目指した。

5. IoT 無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムの技術検証用試作品の設計／試作

5.1 開発する試作品について

「IoT 無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システム」には、二つの構成要素がある。一つは「IoT 無線振動・温度センサ」、「子機」と呼ぶ。監視対象機械に複数個設置される。もう一つは「機器状態監視診断システム」である。Bluetooth 電波が届く範囲をセグメントと呼び、そのセグメント内にある子機とやりとりし、振動データを集める「親機」と、複数の親機からのデータを集め、総合的に機器毎の異常診断と警報出力を行う「コントローラ」から構成される。これらの機器が開発する試作品となり相互に連携して動作することになる。

そのシステムの全体像を図 1 に示す。

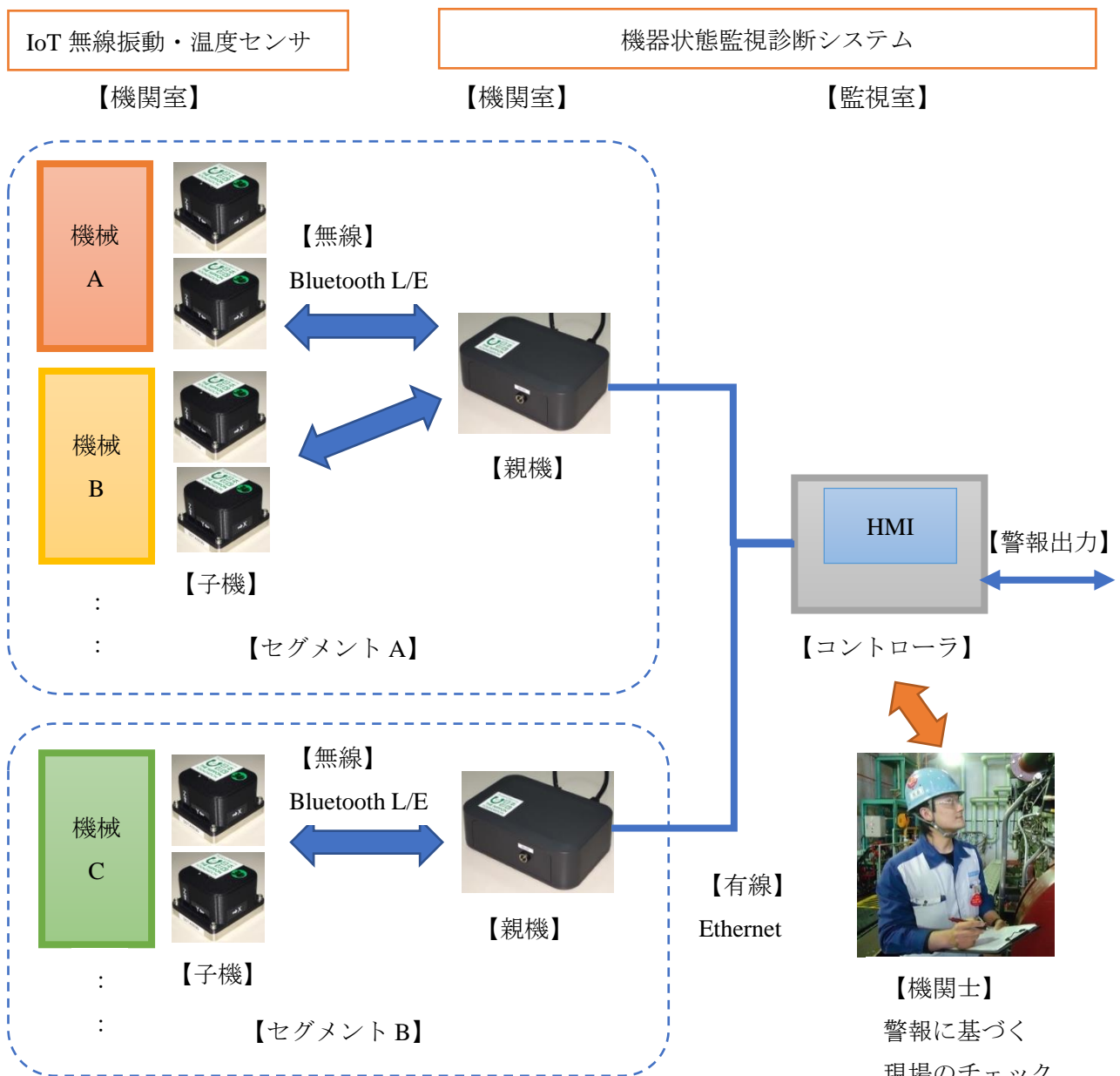


図 1 全体システム概要

5.2 IoT 無線振動・温度センサの設計／試作

IoT 無線振動・温度センサは、機関室にある監視を必要とする様々な機械の振動（加速度）を定期的に計測して演算し、振動データを作成する機能と Bluetooth 無線通信により親機と送受信送する機能を持つ、小型軽量で取付簡単な「機器状態監視に特化させた」振動センサである。

振動は、MEMS（Micro Machine Mechanical System）技術を採用した 3 軸の振動計測部を搭載している。MEMS は半導体上に組み上げた微細な機械的な構造から加速度を測定する技術であり、差動コンデンサ構造の検出部により構成されている。振動がセンサに加わると機械的な構造部がたわみ、作動コンデンサ構造部に電圧の変化が生じることになる。その電圧変化を加速度信号として取り出すものである。MEMS センサの心臓部はコンデンサであるためアクティブ状態でも非常に低消費電力となることから、今回のような電源制約が厳しい開発案件には非常に適した加速度センサといえる。

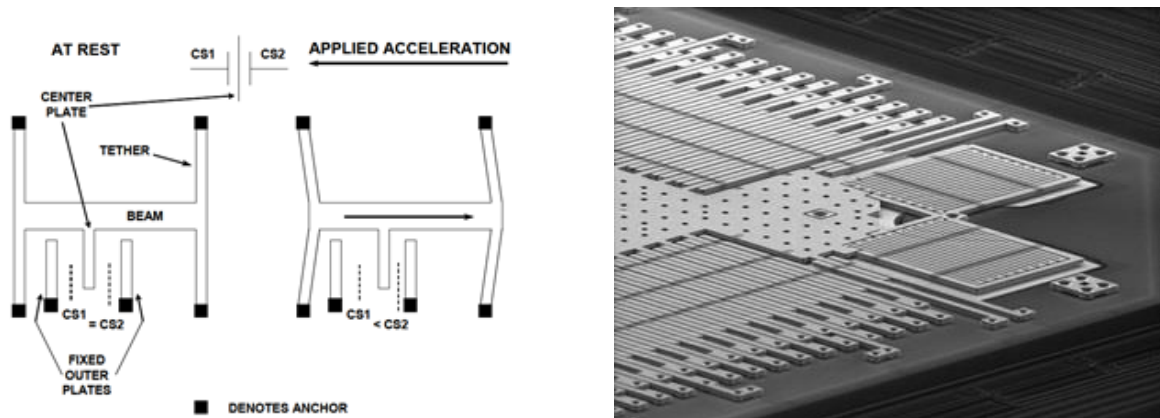


図 2 MEMS センサの概要 (ANALOG DEVICES HP より抜粋)

https://www.analog.com/jp/landing-pages/003/sensor_pv_jp/sensor_home_jp/accelerometer.html

今回、加速度は 3 軸を同時計測する。監視対象とする機械が持つ振動は、あらゆる方向に発生しており、一般的な 1 軸センサを適用すると全ての振動を検出できない。X, Y, Z 軸の 3 軸で振動計測を行う事で、全方位の振動が計測出来る事となり、より機械の状態変化を確実に検出できるようになる。

また、温度計測も 1 点用意した。対象となる機械は動作時には振動だけでなく、温度の変化も生じていることが一般的である。機器異常時には、振動の変化だけでなく温度変化も生じる可能性があるため、当該システムでは振動だけでなく、温度変化も加えたデータにより異常診断を行う。その為に、IoT 無線振動・温度センサを設置する面、つまり対象機械に可能な限り近づけた位置に温度センサのエレメントを設置する仕様とした。

IoT 無線振動・温度センサ内部の信号処理のフローは、図3の通りである。

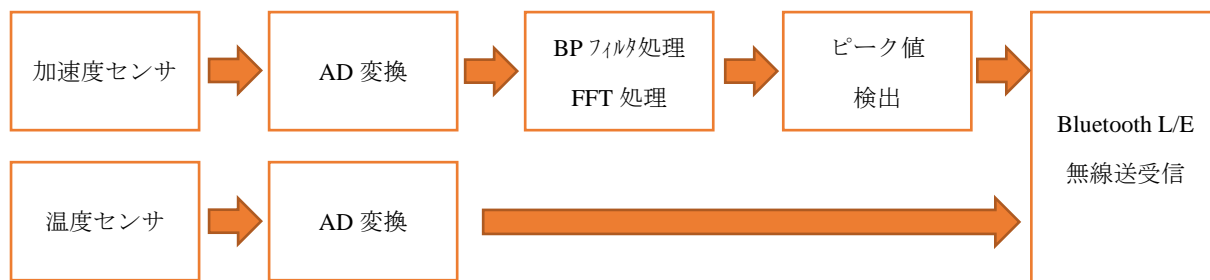


図3 IoT 無線振動・温度センサ内部の処理フロー

今回、開発の中で注力しているのはIoT無線振動・温度センサ自体の「電力消費」の大幅削減である。消費電力削減のために、振動の生データを連続して親機に送るのではなく、子機側（エッジ側）で信号処理を行い、最低限のデータに圧縮して送信する工夫を行った。

電力消費を抑制するために、子機内部では極めて短時間で演算処理を行い、可能な限りCPUや無線機能をスリープ状態にする。この負荷が掛かる演算処理時間をいかに短縮出来るかが肝であり、今後の子機の稼働時間や小型化等の仕様に大きく響いてくる。

今回、処理フローの後半部分である演算処理方法について、多くの試行錯誤を行った。

一方、無線通信時間の短縮も低消費電力の観点からは対策が必要となる。今回、一般的な振動センサと異なり、実施者の機器監視の経験により、図4の様に機器診断を確実に行うことができる帯域に分割する試みを行った。

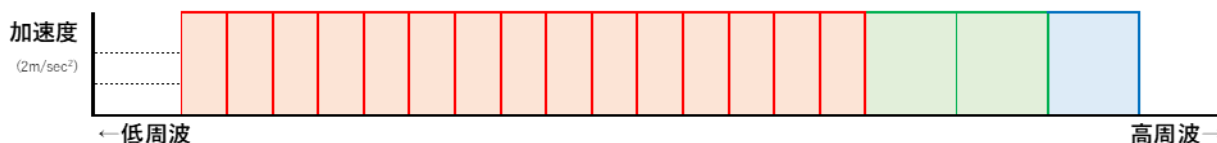


図4 周波数分割のイメージ

それぞれの帯域のピーク値を検出し、18点のアナログ値に変換する。3軸×18点に1点の温度データを加えた計55点を計測毎に親機に送る。もし、子機側での前処理をしない場合は、振動センサから得られた生データ（振動波形のデータ）を切り出して親機に送り、処理能力の高い親機側でFFT等の信号処理を行う事になるが、その場合は大きな容量のデータ転送が必要になる。子機側で前処理する場合は処理の重さと消費電力は比例し、最適化しないと電池が持たない。ここを試行錯誤し、大幅にデータ量を削減できるこの方法を選択し、無線通信時間の大幅削減を可能とし、目指す低消費電力化を実現できた。

今期の開発を通して、特に子機データの演算処理に関して、改善の必要性が大きい事が見えてきた。来期開発でもこの部分は超低消費電力化を目指し、効率が良く短時間で処理が終わる演算ロジックを開発継続する方針である。

次に、図5に示す内部構造について説明する。

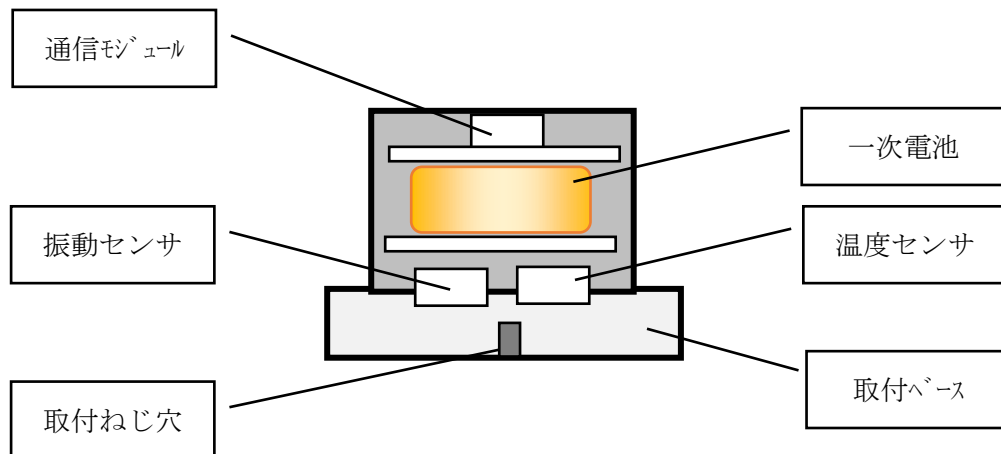


図5 IoT無線振動・温度センサの内部構造概要図

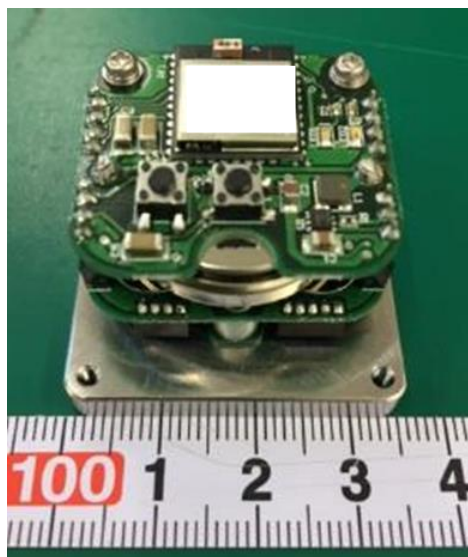


図6 IoT無線振動温度センサのケースを開けた状態

・取付ベース

アタッチメント取付用のネジ穴を中央に設けた。振動計測では基本的にはネジ等を利用して計測対象にしっかりと固定することが望ましいが、付け外しが発生する場合などは、ネジ付きの磁石アタッチメントを取り付けることで、設置が容易になる。

今回、実機への設置試験では、常設することが望ましいため瞬間接着剤を取付ベースに塗り、エンジン本体に直接取り付けた。

・振動センサ

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の3軸加速度振動センサを採用した。MEMS 振動センサはシリコン基板に回路構成を作り、振動検出部分を埋め込んだ IC である。昨今の大量生産により小型で性能がよく、低価格なものが複数リリースされている。一般に信頼性や精度を要求する場合は、圧電式センサ等を用いることが多いが、こちらは高価で取扱が難しい。

・温度センサ

IoT 無線振動・温度センサを機器に設置している部分の温度変化を検出することで、異常検知に温度の項目も追加する事を狙った。独立した温度センサをなるべく取付ベースに近づけることで伝熱効率を考慮した。

・通信モジュール

設計検討の結果、Bluetooth Low Energy (以下、BLE) を通信プロトコルとして採用した。技適承認済みの小型モジュールを適用することで、すぐの電波利用が可能となる。Bluetooth は 2.4GHz 帯の通信規格であり、一般的な 970MHz 帯に比べて波長が短く、電波の回り込みが少ないことが判っている。この特性が設置上の問題とならないか、船内の機器設置環境として、金属で囲まれた環境下で上手く電波が伝わるかについては後述する試験で検証していく。

・一次電池

電池はリチウム一次電池を採用した。IoT 無線振動・温度センサは、設計方針に基づき、可能な限り小型化を図る方針であるが、その外形寸法を決める要素として電池サイズは大きく影響する。一般に電池は大きければ大きいほど容量が大きく、IoT 無線振動・温度センサの長時間駆動が図れるが、大きな電池を納めるためにはセンサ自体も大きくなり、何処でも取り付けが可能という目的からは外れる可能性が有る。我々は、技術的に省電力化を突き詰めることで、可能な限り小さい容量の電池で長時間駆動させることを目指した。

以下、図 7～図 10 に、令和 2 年度に開発を行った試作品の写真を示す。



図 7 IoT 無線振動・温度センサ (子機)



図 8 子機 上から見たところ



図 9 子機 横からみたところ (YZ 方向) 図 10 子機 横からみたところ (X 方向)

5.3 機器状態監視診断システム／コントローラ的设计／試作

・親機について

親機は、IoT 無線振動・温度センサ（子機）と無線で接続し、子機からの定期的なデータ転送を受けてデータを収集し、Ethernet を通じて上位のコントローラにデータ転送する機能を持つ。いわゆる通信のアクセスポイントであり、最終的には小型軽量で防水構造とし、機関室の壁面等に設置されることを想定している。



図 11 親機の全体像

通信プロトコルは BLE を採用しており、子機の電波が届く範囲をセグメントと呼ぶが、そのセグメント内部に 1 台の親機を設置することになる。

現在の仕様では、各親機の接続には Ethernet での有線接続が信号伝達面から確実であることから図 12 で示すネットワークトポロジーで開発を進めている。将来的には親機間も Wi-Fi 等の無線通信を使えば更に設置容易になると考えており、引き続き可能性を検討していく。

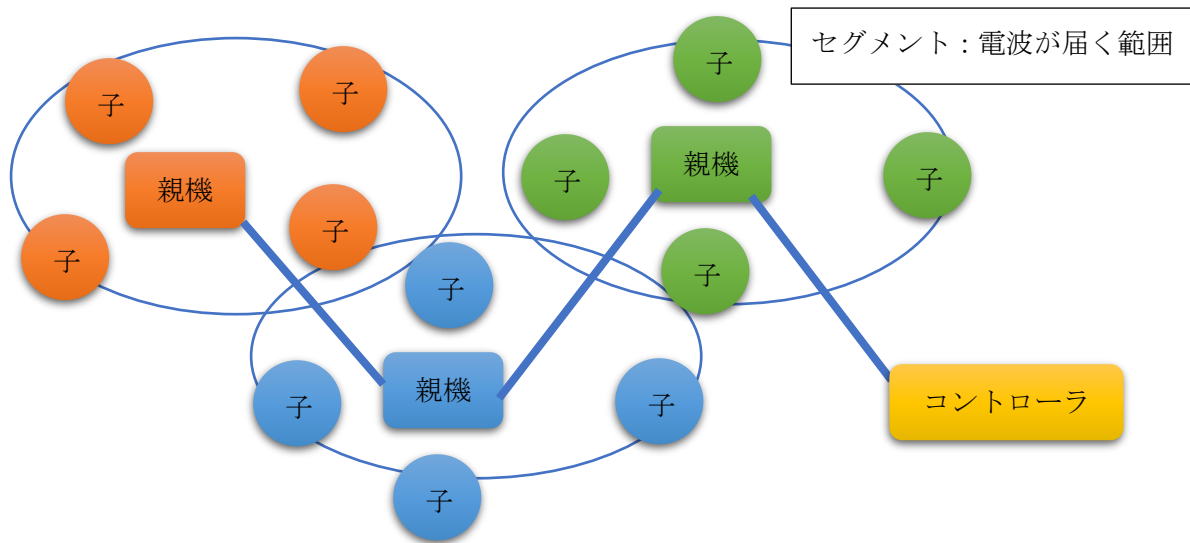


図 12 ネットワークトポロジーとセグメントの考え方

・コントローラについて

コントローラは汎用 PC を適用した。

最終的には機関監視室に設置出来る専用の筐体を用意する予定だが、令和 2 年度は開発のスピードを優先し、振動データの送受信や各種表示機能部分を Windows ベースで開発した。

令和 3 年度も開発するソフトウェア部分、例えば異常診断機能の実装や HMI (Human Machine Interface) 部分については Windows ベースの方が多数ある開発ツール等との親和性が高く、システムとしての構築が容易になるため、今期は PC での開発が優れると判断した。



図 13 コントローラ概要

6. 試作品の評価と考察

6.1 IoT 無線振動・温度センサ単体試験

センサ単体の評価試験を定量的に行う為、振動試験機を用いて様々な検証を実施している。

このセンサは、前述したように以下の様な周波数帯に分離し、それぞれのピーク値を計測するように設計されている。

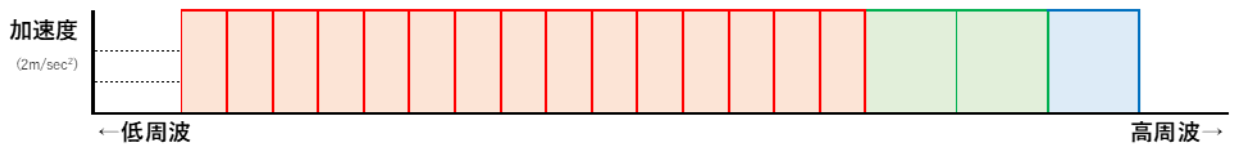


図 14 周波数分割のイメージ

このセンサが各周波数帯で正しく計測できているかを評価する必要があるため、正弦波にて試験を行った。

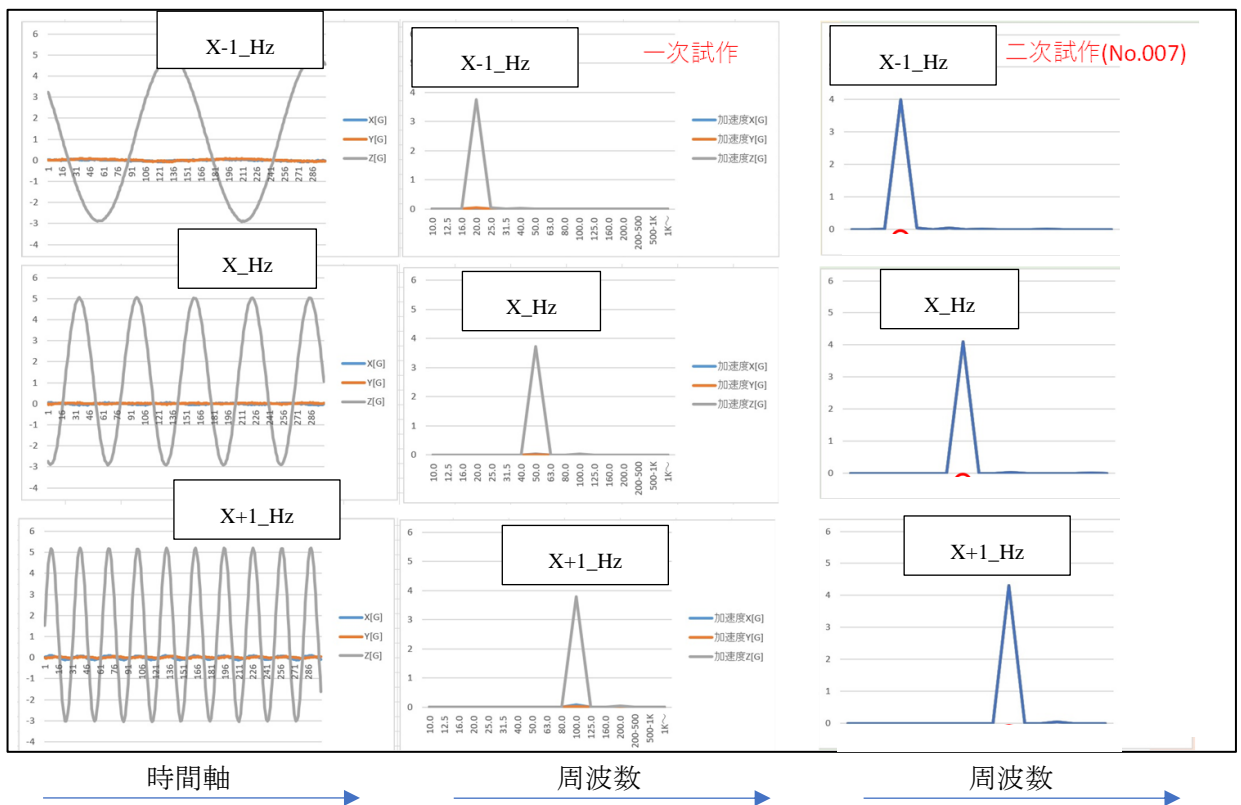


図 15 正弦波によるテスト結果 (抜粋)

図 15 は、試験結果の内、3 点の周波数 (X-1_Hz、X_Hz、X+1_Hz) について抜粋して示したものである。左側が子機に加えた振動波形の正弦波である。中央と右側は子機が検出した周波数とその加速度を示している。なお、真ん中の列は 1 次試作品、右側の列は 2 次試作品を示している。実際には 4G 加振のもと正弦波の周波数をスイープさせ、その時にどのような出力

となるかを計測して評価した。図 15 のように子機は、計測する周波数帯にマッチした周波数が入力されると、その周波数で 4G を計測していることが正しく表示されており、振動レベルが正常に計測され、内部演算も問題が無いことが判断できた。

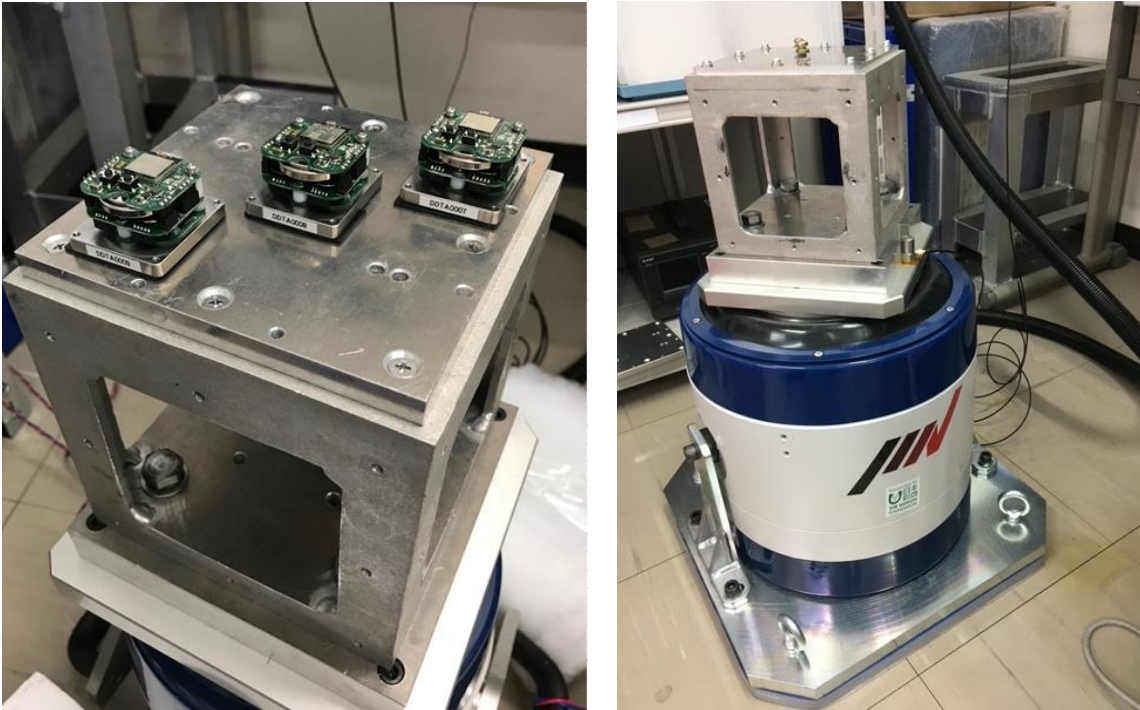


図 16 振動試験機による加振試験の状況

なお、これらの検証試験には、本事業の助成により購入した小型の振動試験機（図 16）を活用し、評価検証と改善・改良の間隔を大きく短縮することで、開発効率を著しく向上することができた。

6.2 温度センサ評価試験

子機には、振動だけでなく温度についても異常検知に使えるようセンサを装備している。その温度センサの特性評価試験を行った。

温度特性試験は、二種類の視点から行っている。1つは与えた温度が正しく出るか、精度の試験と与えた温度まで到達するまでどのくらいの時間が掛かるかの過渡応答である。

当該試験は、ホットプレートを用意し、アルミ板を置いて 70 度に温めた定盤を作り、その上に子機を載せて温度計測を行った。

温度の定盤であるアルミ板には、子機のすぐ近くに熱電対を設置し、同じタイミングで温度計測を行った。



図 17 温度センサ応答評価試験

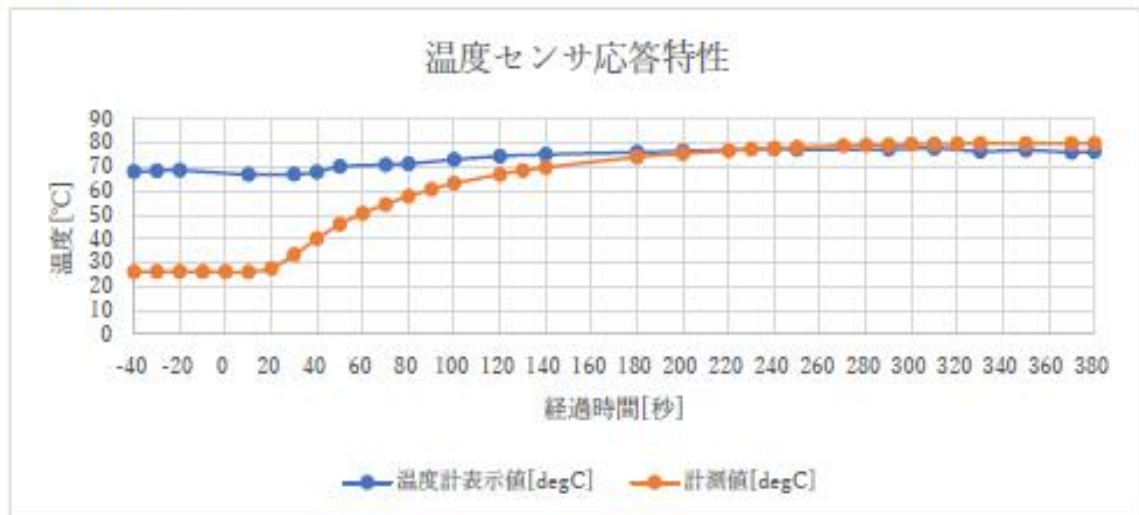


図 18 温度センサの応答特性

図 17 に示す装置で、アルミ板は 70 度に加熱されており、時間軸の 0 秒のポイントで子機をアルミ板の上に置いた。設置後、すぐに温度上昇が始まり 180 秒でほぼ同じ値になり 240 秒後には安定した。

子機の設置面にはアルミベースが存在する。そのアルミベースと、熱を持つアルミ板の間の隙間があることによる伝熱特性、アルミベースの体積から来る熱容量の影響により、温度静定までの時間が 180 秒ほど掛かったと考えられる。ただし、実運用時には、対象機械に常設となり、その中長期的な温度トレンドを取得するので、この特性であれば問題無いと判断している。

6.3 子機の動的消費電流測定

子機へ安定化電源から 3V を供給し、起動/計測/スリープ時の消費電力（電流）を調査した。

試験結果

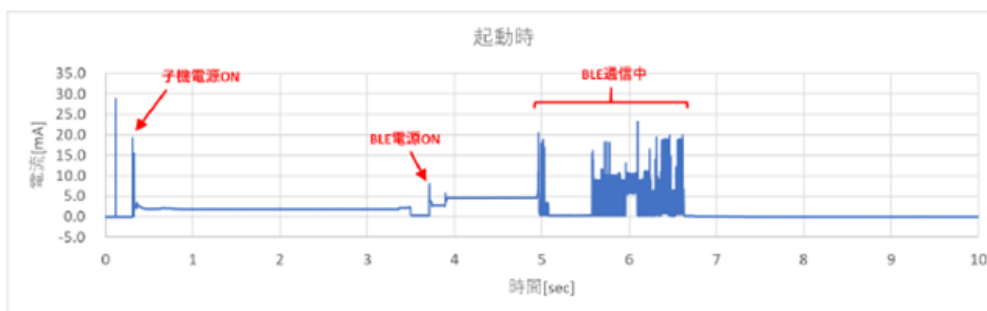


図 19 子機起動時の電流計測

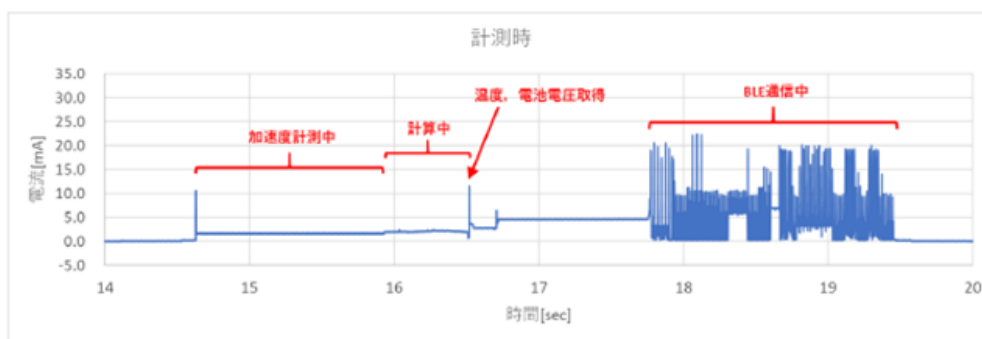


図 20 計測中の電流計測

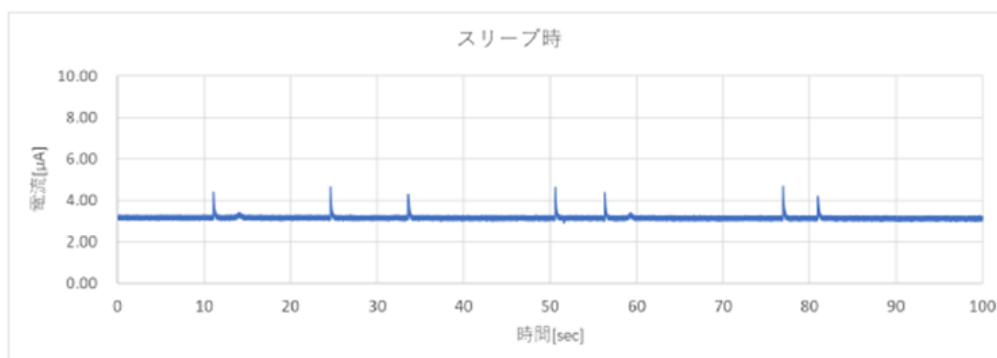


図 21 スリープ時の電流計測

【結果】

- 1 回の計測でデータ送信まで 5 秒程度かかる
 - Bluetooth Low Energy プロトコル通信は、ピーク 23mA の電流を必要とする
 - 6 秒間の平均消費電流は 2.64mA であった。
 - 計測時のデータ取得は 2mA 程度の消費電力である。
 - スリープ時の消費電流の平均値は $3.16 \mu A$ である。
- 今後、この数字をベンチマークとして更なる削減を目指していく。

6.4 子機の連続駆動時間の推定

子機の動的消費電流測定の結果より、当該センサの計測時平均消費電流は約 2.64mA（計測中 6 秒間の平均）となった。これらの実測特性値より、子機の駆動時間を推定した。

条件は、

- ・スリープ時の平均消費電流は $3.16 \mu A$
- ・電池は村田製作所製 CR2450R（公称容量 500mAh）、安全率を 0.5 とした。

計測周期	連続駆動時間
10 秒/回	6.5 日
2 分/回	77 日
30 分/回	2.3 年
1 時間/回	3.7 年
2 時間/回	5.3 年
4 時間/回	6.7 年

計算例) 計算例 計測周期 1 時間/回の場合

計測周期 = 1 時間/回 = 3600 秒/回

電池公称容量 = 500mAh = 1800000mAh

1 回の測定の平均消費電流 = 2.64mA

1 回の測定時間 = 6sec

スリープ時の平均消費電流 = $3.16 \mu A = 0.00316mA$

計測周期内のスリープ時間 = $3600sec - 6sec = 3594sec$

連続駆動時間 = $1800000 / ((2.64*6)+(0.00316*3594)) * 3600 * 0.5$

= 119130611 秒

= 3.77 年

なお、動的消費電力の測定には、微弱電流を計測する特殊な計測装置が必要となる。

今回導入したバッテリーシミュレータ、ソースメータを利用することで今回のように定量的に計測が可能となった。

6.5 子機の連続駆動時間の実測

次に、実測での連続駆動試験を行い、推定値の妥当性を確認した。

計測周期を 10 秒/回とし、2021 年 1 月 25 日～計測不能になるまで、連続駆動試験を行った。

実施期間（計測の終了までの期間）	2021 年 1 月 25 日 21 時 03 分 ～2021 年 2 月 2 日 0 時 48 分 ※約 7 日間の計測が可能であった。
計測周期	10 秒/回
データ送信回数	約 56000 回
データ取得率	99.8%（計測周期が早い事による欠損有）

10 秒/回での推定連続稼働時間は 6.5 日であり、安全率 (0.5) を加味して、計算値とほぼ同じ結果となった。

6.6 無線通信の受信成功率の計測

IoT 無線振動/温度センサ（子機）について、無線による通信評価を行った。
 試験条件は、子機 12 台を 15m 離れた場所に設置した。また床からの高さは約 50cm とした。
 2 分間隔で子機 12 台からの計測データを取得する様に親機を設置している。なお、データ取得
 タイミングは、各子機で 10 秒ずつずらし、送信時刻が重ならないようにしている。

実施期間	2021 年 1 月 28 日 11 時～29 日 20 時
実施場所	製造メーカー、2F 北西側廊下
供試体（発信器/子機）	S/N DDTA0021 ～DDTA0032 12 台
供試体（受信機/親機）	S/N DDTA0001
計測間隔	2 分/回
送信機-受信機間の距離	15m
送信機及び、受信機の床からの設置高さ	50cm

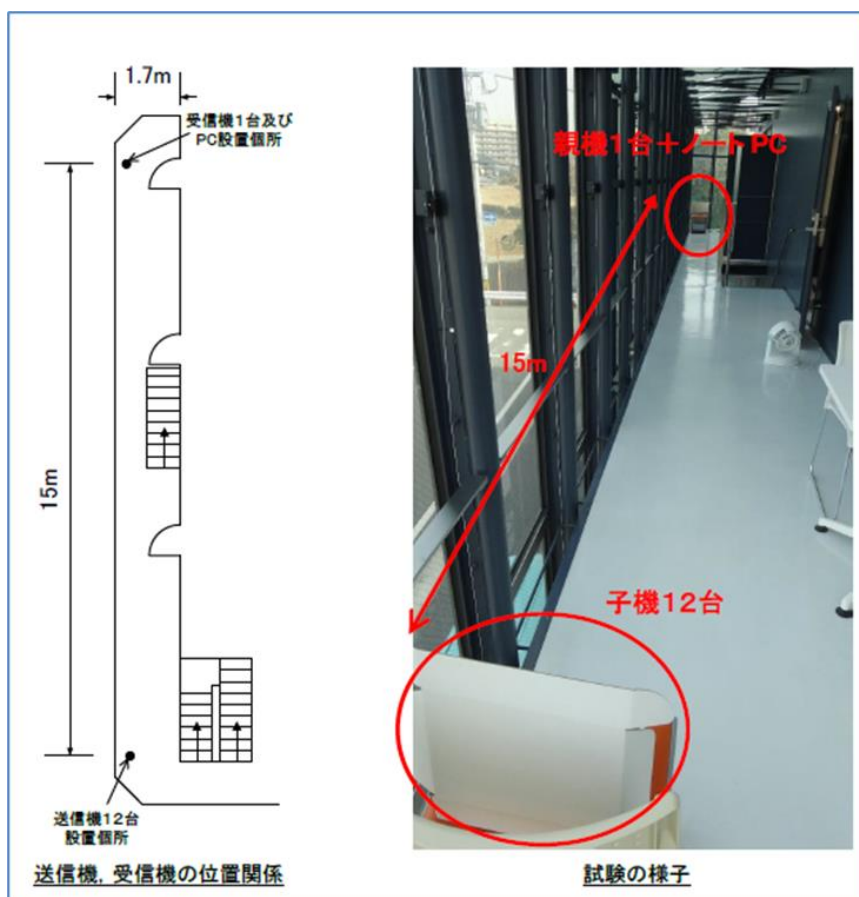


図 22 計測場所

試験結果

S/N	受信成功率[%]	RSSI[dBm]	S/N	受信成功率[%]	RSSI[dBm]
DDTA0021	100	-65.5	DDTA0027	100	-59.0
DDTA0022	100	-59.6	DDTA0028	100	-57.1
DDTA0023	100	-58.6	DDTA0029	100	-62.7
DDTA0024	100	-58.3	DDTA0030	100	-64.3
DDTA0025	100	-61.5	DDTA0031	100	-58.6
DDTA0026	100	-64.8	DDTA0032	100	-60.9

図 23 試験結果一覧

【試験結果】

実施期間の1月28日11時～1月29日20時（33時間）

全ての子機について受信成功率は100%となり、目標とする15mの距離では全く問題無く、無線通信による計測が可能であった。

6.7 無線通信距離の評価

今回、子機と親機の無線通信にはBLEを採用している。センサ向けの省電力無線を謳うこの無線通信プロトコルの実力として、実際に距離を離していったとき、どの程度の距離まで通信が可能かの評価が必要である。計測できなくなる距離を測るために、今回は野外で計測を行った。

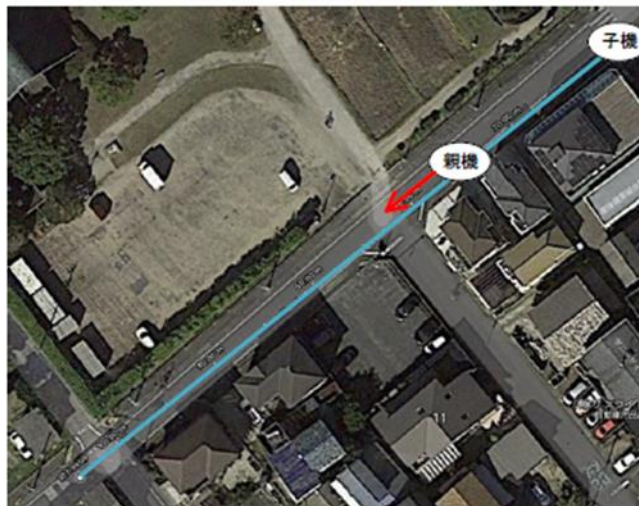


図 24 試験場所の航空写真

子機の位置を固定し、子機と親機の距離を離した状態で測定を行う。子機と親機の距離は10m毎に離していく。一つの地点で10回の計測を行い、BLE通信の成功回数と無線強度を計測。通信可能な距離を調査した。なお、子機、親機の地上面からの高さは1m程度とした。

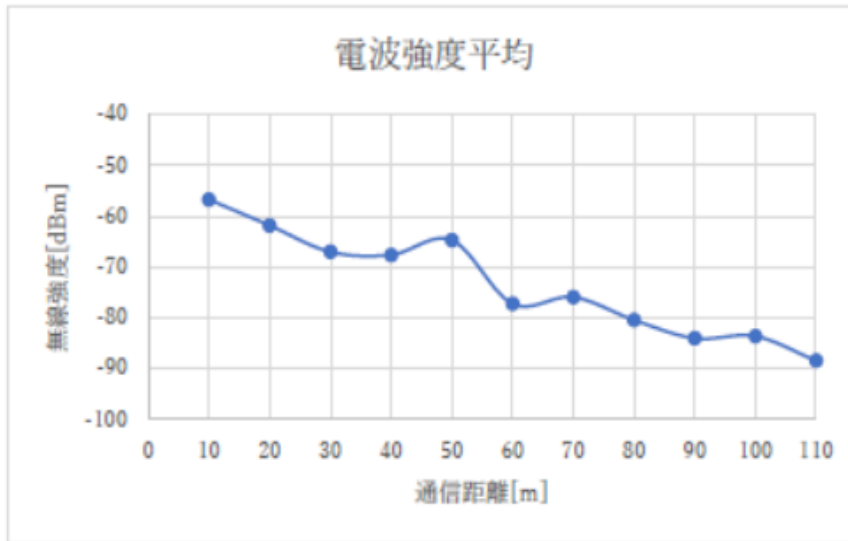


図 25 無線電波強度の平均値

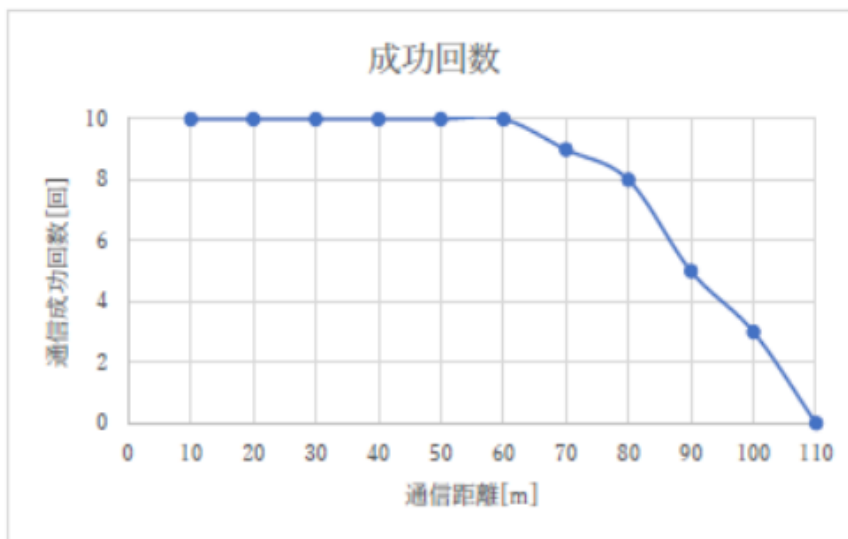


図 26 通信成功回数

【試験結果】

図 25、図 26 に無線強度の平均と通信の成功回数をグラフで示す。

無線強度 [dBm] は距離に比例して下がっていく。

成功回数は 60m を超えた時点で下がっていき、110m で 0% の成功率となった。

なお、本試験は見通しの良い野外での試験であり、船舶の機関室内とは条件が異なることに注意が必要である。

7. 実船調査

7.1 実船（模擬）試験の設備とセンサの設置

試作した IoT 無線振動・温度センサと機器状態監視診断システム／コントローラは、コロナ環境下のため就航船に搭載することは叶わなかった。

その為、実船の機関室と同等環境として、実施者内のコージェネレーション設備（ガスエンジン2台）を用意し、実船試験を模擬して試験を実施した。本船同等としている理由は、機関室に設置される実施者の標準的な中速ディーゼル機関と基本部分は同じ仕様の機関であること、設置環境は機関室と同様の狭い閉塞したスペースに二台の発電機関が近接して並び、各種補機類が周囲に設置されること、日中は常にエンジンが稼働され、発電しているという稼働状況が担保できる事から同等と判断している。

なお、当該試験設備はダイハツディーゼル株式会社の守山事業所の発電所内にあり、工場の稼働日に必要な所内電力を供給するために一日中運転をしている環境である。ここには、2台の都市ガスによるガスエンジンが設置されている。運転時間の長い、向かって右側のエンジン側に IoT 無線振動/温度センサを多数設置した。

コージェネレーション設備の全体像を図 27～図 30 に示す。



図 27 部屋の左端からガスエンジン 2 号機



図 28 ガスエンジン 1 号機と部屋の右端



図 29 ガスエンジンと発電機全景



図 30 センサ設置施工の状況

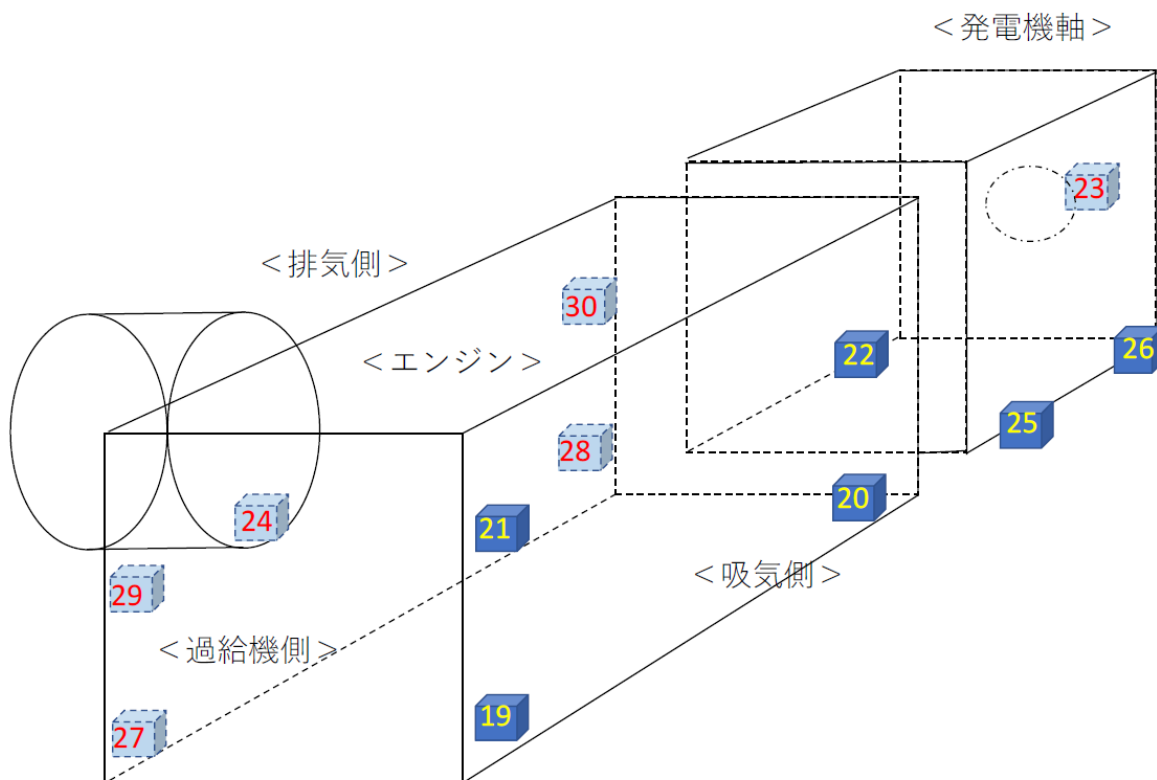


図 31 センサ設置場所 (センサ 19~30)

略番号	シリアル番号	設置位置	計測周期	計測シフト
19	DDTA0019	過給機側の吸気側下	2分毎	0 秒
20	DDTA0020	発電機側の吸気側下	2分毎	10 秒
21	DDTA0021	過給機側の吸気側上	2分毎	20 秒
22	DDTA0022	発電機側の吸気側上	2分毎	30 秒
23	DDTA0023	発電機軸端	2分毎	40 秒
24	DDTA0024	過給機近傍	2分毎	50 秒
25	DDTA0025	発電機側下部のエンジン側近傍	2分毎	60 秒
26	DDTA0026	発電機側下部のエンジン側遠方	2分毎	70 秒
27	DDTA0027	過給機側の排気側下	2分毎	80 秒
28	DDTA0028	発電機側の排気側下	2分毎	90 秒
29	DDTA0029	過給機側の排気側上	2分毎	100 秒
30	DDTA0030	発電機側の排気側上	2分毎	110 秒

図 32 設置センサの設置場所と設定一覧



図 33 センサ 7, 19



図 34 センサ 8, 20



図 35 センサ 9, 21



図 36 センサ 10, 22



図 37 センサ 11, 23

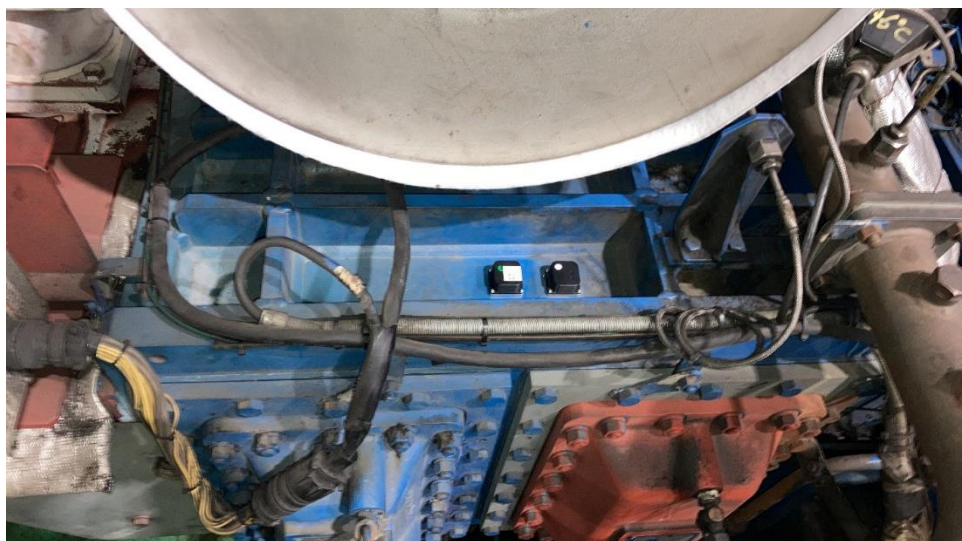


図 38 センサ 12, 24



図 39 センサ 13, 25



図 40 センサ 14, 26



図 41 センサ 15, 27



図 42 センサ 16、28



図 43 センサ 17、29



図 44 センサ 18、30

7.2 実船（模擬）試験による振動計測

コージェネレーション設備に設置したセンサを使って振動の計測を行った。
以下の3箇所を抜粋して紹介する。

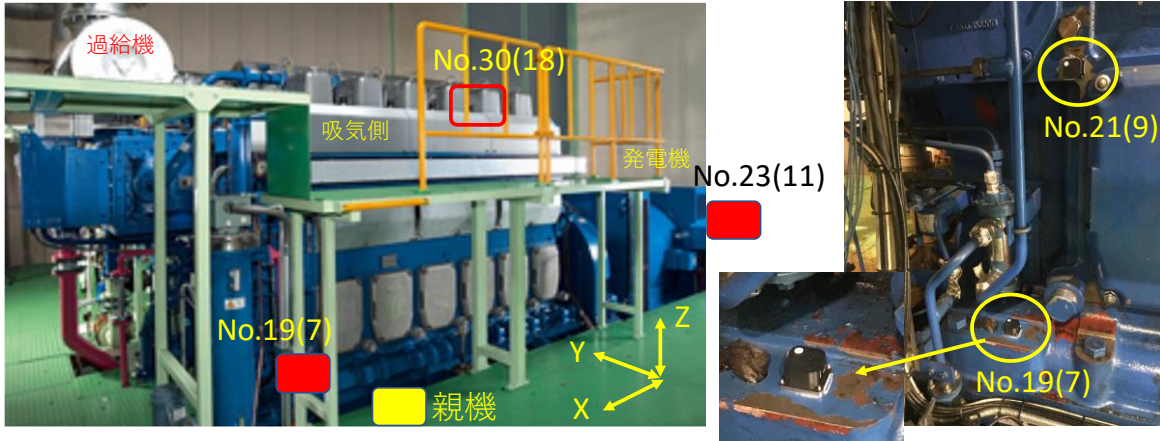


図 45 検証センサの設置場所



図 46 検証センサの設置場所（発電機）

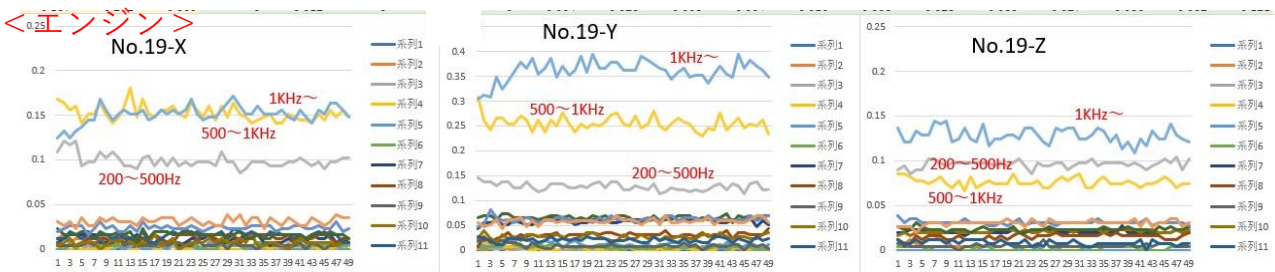


図 47 No19 センサ エンジン前側（過給器側）、下部センサの計測値

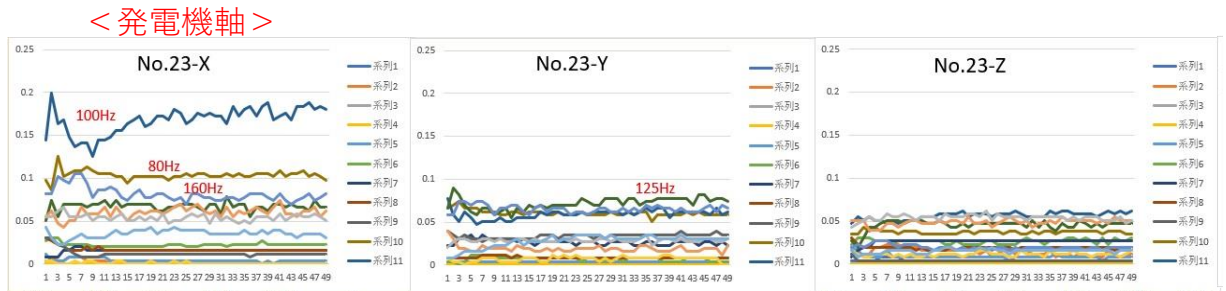


図 48 No23 センサ 発電機軸（反直結側）センサの計測値

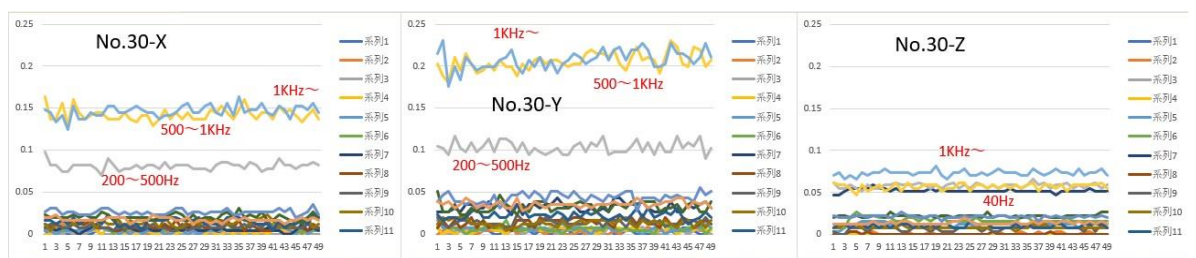


図 49 No30 センサ エンジン上部後端側（発電機側）センサの計測値

IoT 無線振動・温度センサからは、周波数帯毎にピーク値がアナログ値として出力されるため、計測データをトレンドグラフで示すことで、各周波数帯での値の変化が良く分かる。また、その機械が発生する振動の特徴が明確に現れている。

コージェネレーションのガスエンジンは、発電機を廻すために回転数一定で負荷だけが変化する仕様となっている。回転数の変化はなく、回転数の計測値への影響は少ないと考えられることから、振動計測値が比較的一定のレベル内に収まっているといえる。

実機でも問題無く計測ができることが判ったため、このまま機関へ設置したまま計測を継続し、来期も引き続き計測を継続する。設備に不具合が発生した際には、不具合時のデータを取得して分析し、今後の異常検出ロジックの開発や精度向上に活用する予定である。

7.3 実船（模擬）試験環境下での電波環境の確認

実機試験環境下での BLE 無線への影響を確認するため、スペクトラムアナライザを使用して電波環境を調査した。なお、IoT 無線振動・温度センサの運用は行っていない状況で計測を行っている。

【計測器】

- ・スペクトラムアナライザ：MICRONIX 製 MSA338
- ・アンテナ：MICRONIX 製 M305

センター周波数	2.44GHz
周波数スパン	100MHz
分解能帯域幅	1MHz
ビデオバンド帯域幅	1MHz
基準レベル	-30dBm
掃引時間	0.1sec
演算	MAX(最大値測定)

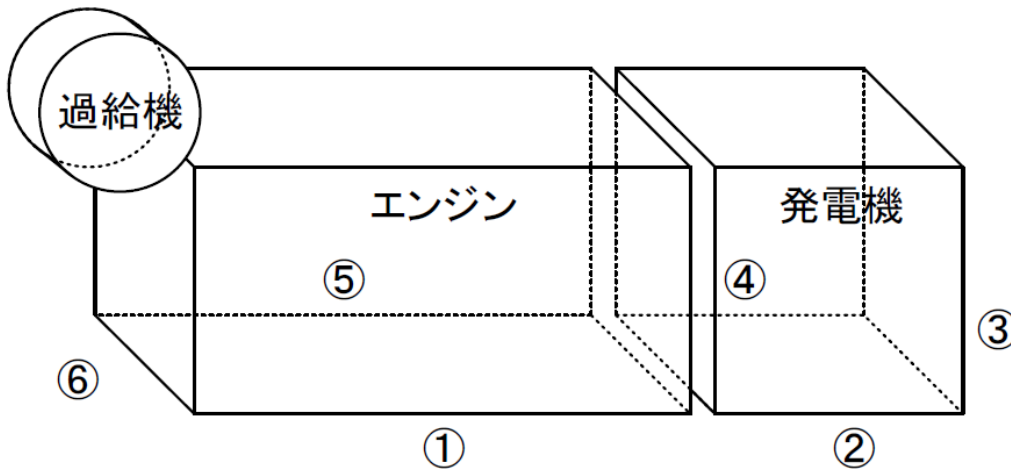


図 50 スペクトラムアナライザによる測定位置

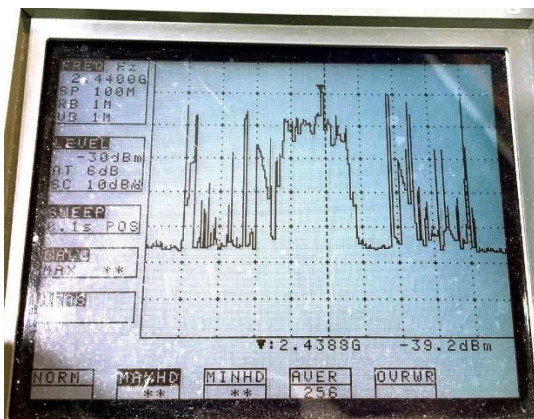


図 51 エンジン燃料ポンプ前（おもて側）

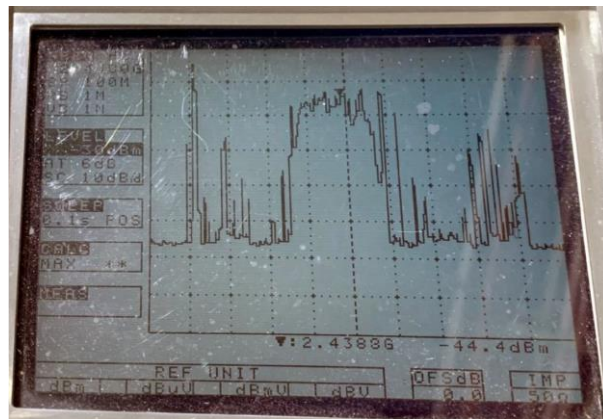


図 52 発電機（おもて側）

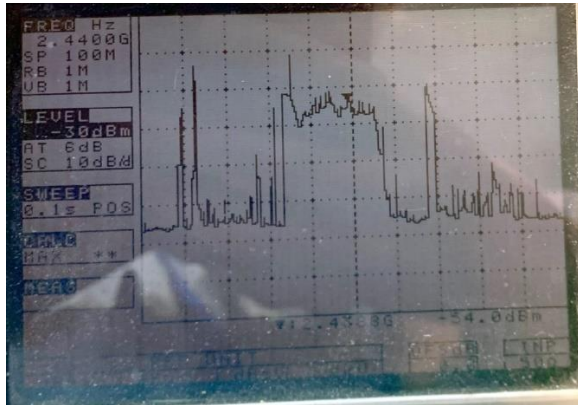


図 53 発電機軸端（反直結側）



図 54 発電機排気側（うら側）

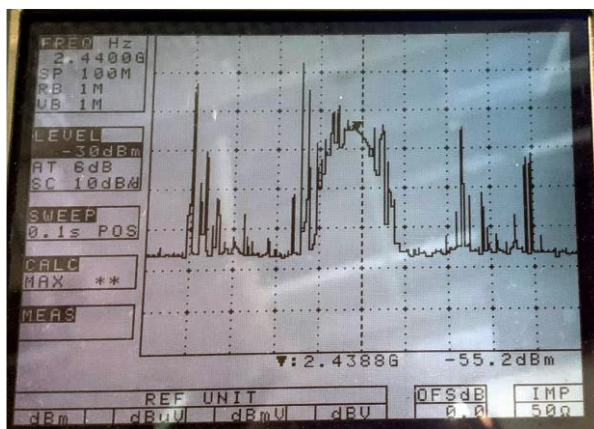


図 55 エンジン排気側（うら側）

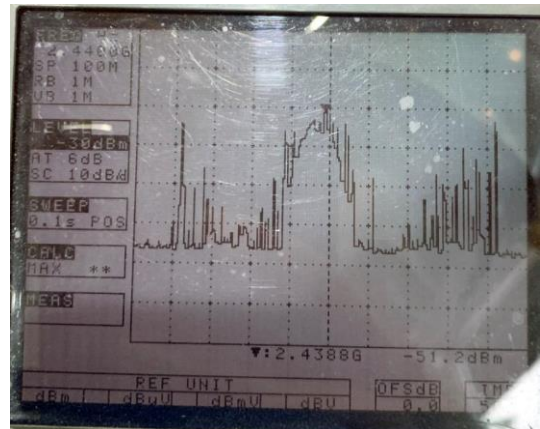


図 56 エンジン前端側（過給器）

電波環境測定を行った 2.4GHz 帯は子機と親機の通信を行う BLE 通信の他に、アマチュア無線、電子レンジ、Wi-Fi 等にも利用される周波数帯である。スペクトラムアナライザに現れる波形の山やパルス状の波形は、Wi-Fi の電波を受信していると考えられる。（工場内に Wi-Fi を利用する場所がある）。

ただし、BLE 通信への影響は、試験の過程では特段の影響はなかった。

海上を航行する船舶では、陸上のように Wi-Fi や携帯電話網が無い場合、今回の計測結果のように様々な電波が飛び交い混雑している状況では無いと考えられる。

つまり、電磁波環境的には今回計測した陸上での環境の方が悪い環境と言える。

本データは、本船で同様の計測を行った際の、ベンチマークとして活用するものとする。

7.4 実船（模擬）試験環境下での子機と親機の理想的位置関係の確認

BLE 通信は、2.4GHz 帯と周波数が高く、電波が回り込みにくい性質を持つ。

今回、エンジンに多数のセンサを設置し、親機 1 台で全てのセンサとの通信が問題無くおこなわれるのか、親機を何処に置くのが設置場所として適しているのかを判断するため、親機の位置を変えながら計測を行った。

最初に、親機をエンジンの燃料ポンプ側（おもて側）に設置、全センサの電波強度をトレンドグラフに表した結果を示す。トレンドグラフには指標として電波強度 -70dBm のレベルに赤字点線を示した。ちょうどエンジンの対角でエンジンの陰に隠れる No28、No30 と発電機の陰に隠れる No23 のレベルが他に比べて大きく下がることが見て取れる。ただしセンサとの通信は問題無くできている。

ワイヤレス振動センサ、実機評価／電波強度測定 8:30～16:30

210215

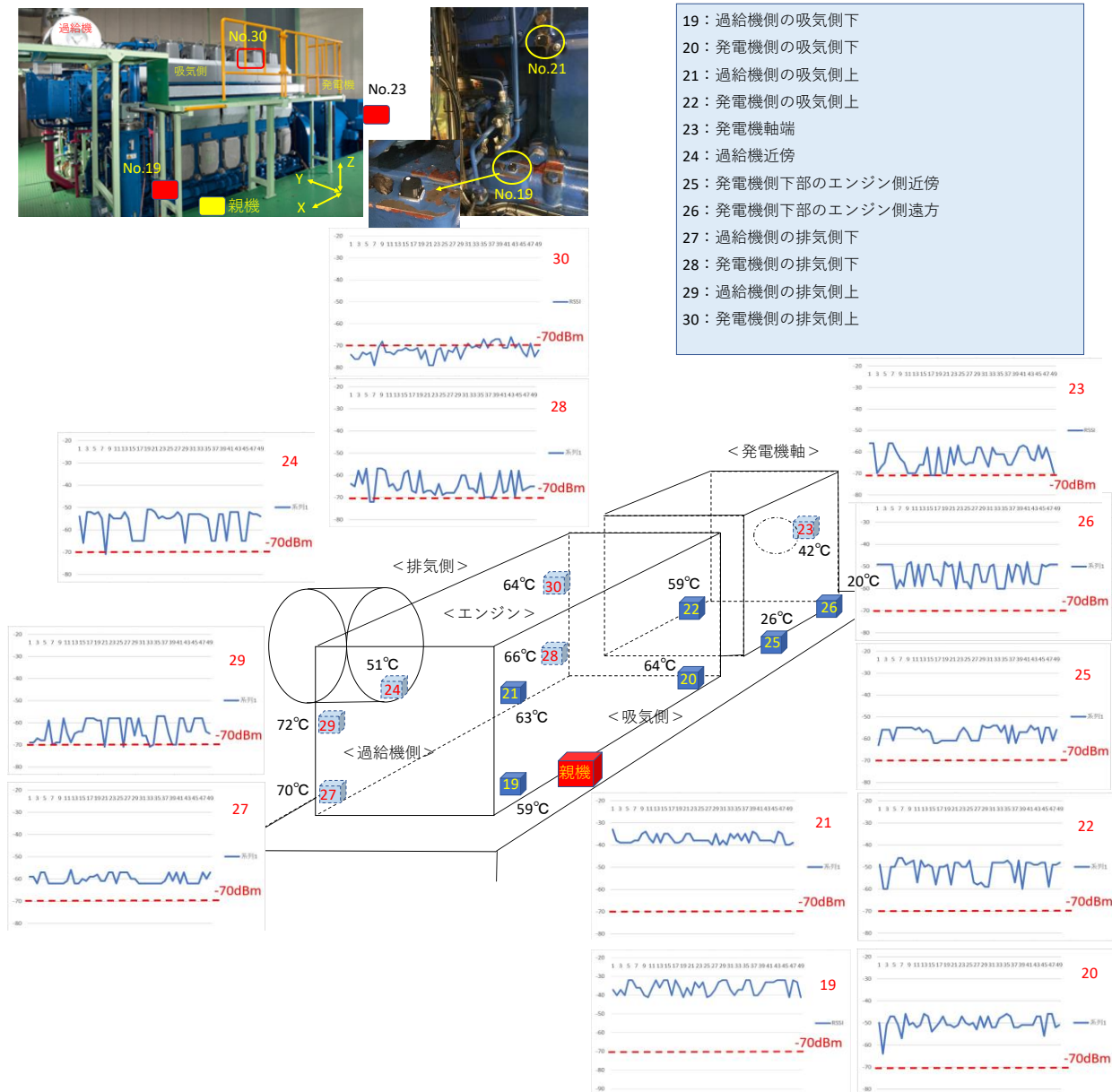


図 57 各センサの電波強度の差の比較（設置場所①）

次に親機を動かしてどの位置が設置場所として適しているか調査を行った。

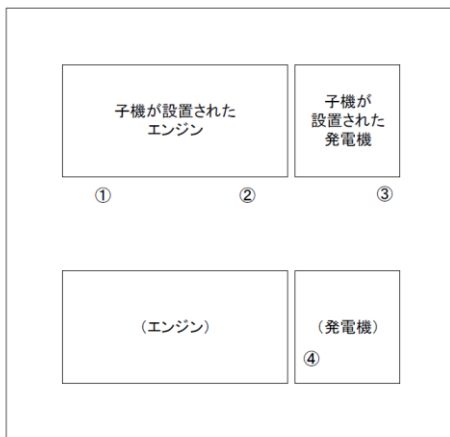


図 58 親機の設置場所

略番号	シリアル番号	設置位置	計測周期	計測シフト
19	DDTA0019	過給機側の吸気側下	2分毎	0 秒
20	DDTA0020	発電機側の吸気側下	2分毎	10 秒
21	DDTA0021	過給機側の吸気側上	2分毎	20 秒
22	DDTA0022	発電機側の吸気側上	2分毎	30 秒
23	DDTA0023	発電機軸端	2分毎	40 秒
24	DDTA0024	過給機近傍	2分毎	50 秒
25	DDTA0025	発電機側下部のエンジン側近傍	2分毎	60 秒
26	DDTA0026	発電機側下部のエンジン側遠方	2分毎	70 秒
27	DDTA0027	過給機側の排気側下	2分毎	80 秒
28	DDTA0028	発電機側の排気側下	2分毎	90 秒
29	DDTA0029	過給機側の排気側上	2分毎	100 秒
30	DDTA0030	発電機側の排気側上	2分毎	110 秒

図 59 設置センサの設置場所と設定一覧 (再掲)

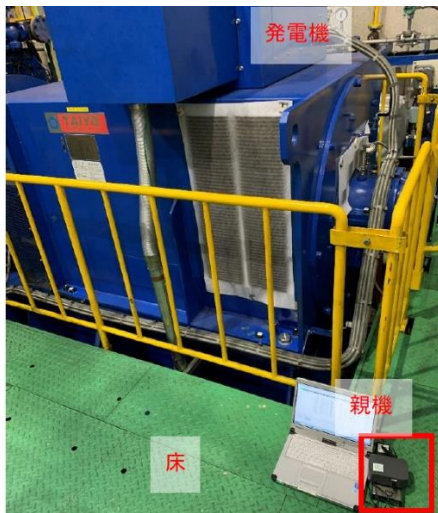


図 60 ③の位置 (発電機後端側)



図 61 隣の2号機発電機上 (全体を見通せる場所)

	地点①		地点②		地点③		地点④	
	受信強度 [dBm]	受信失敗回数	受信強度 [dBm]	受信失敗回数	受信強度 [dBm]	受信失敗回数	受信強度 [dBm]	受信失敗回数
DDTA0019	-39	0	-45	0	-61	0	-76	0
DDTA0020	-64	1	-34	0	-71	1	-56	0
DDTA0021	-46	0	-56	1	-68	0	-59	0
DDTA0022	-53	0	-37	0	-63	0	-57	1
DDTA0023	-69	0	-70	0	-47	2	-72	0
DDTA0024	-65	0	-63	0	-57	0	-69	0
DDTA0025	-63	0	-63	0	-58	0	-63	0
DDTA0026	-61	1	-57	0	-59	0	-59	1
DDTA0027	-	-	-59	1	-69	1	-70	0
DDTA0028	-69	0	-56	1	-63	0	-69	0
DDTA0029	-61	2	-74	1	-65	2	-68	0
DDTA0030	-77	1	-68	0	-66	2	-81	0

図 62 ①～④の場所に親機を設置したときの受信強度と受信失敗回数

試験結果より、受信強度と子機と親機の距離は、相関があり、距離が近ければそれだけ受信強度は大きくなった。ただし、受信失敗回数と受信強度は一致しない結果になった。

地点④（隣のエンジンの発電機の上）は全体的に距離が遠く受信強度は①～③より低くなるが、受信の失敗回数は最も少ない結果となった。④の位置は、他の設置場所①～③と比べて設置場所が高い位置にあり、センサ設置場所を見通せる位置にあること、まわりに金属の壁や床がないことから電波の送受信に影響が少なくなったと考えられる。

実際に親機を設置する場合に考慮するポイントとして、親機と子機の距離や受信強度だけでなく、周囲の金属体の障害物やその距離等、位置関係が想定より影響があることがわかった。

その影響度合いについては、さらに実船検証等で定量的に調査を行っていく必要がある。

8. 成果について

令和2年度に実施した当該、新製品開発に関する研究開発では、船舶の機関室で利用する事を前提としたIoT無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの技術開発を行った。機関士のタッチングの代わりになるセンサの開発、及び、そのデータを中継し、収集するシステムの開発と諸試験を実施することができた。令和2年度の開発では、当初の目的を達成し、製品化までの課題が明確になった。来期である令和3年度の研究開発では、本年の成果を繋げていくことで、最終的に目標とする製品試作品の開発を完遂する所存である。

8.1 令和2年度の実施内容

事業内容

1. 事業内容：IoT無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの技術開発

(1) IoT無線振動・温度センサ及び機器状態監視診断システムの調査

本センサの要素技術を開発した。開発中の要素を纏めた技術検証用試作品を開発するために必要な仕様や要件定義の為の調査を行った。

1) 本船での設置手法や電波の拡散や受信等の技術調査

調査の結果、今回採用した通信プロトコルであるBluetooth Low Energyは、消費電力優先のため、電波強度が低く設定され、かつ回り込みが少ない2.4MHz帯であることが判っている。特に、金属の多い機関室内で電波が十分に回り込みや反射が十分に行われ、全てのセンサが確実に無線通信出来るかについては十分に評価する必要がある。その為、無線に関する試験を三つ用意し、オープンな環境、目標とする距離15mの環境、機関室の環境を用意して確認した。機関室の環境下ではエンジンの四方、背面にまでセンサを配置し、BLE無線で確実にデータ取得が行えることを確認した。

2) 船社へのセンサ及びシステムの具体的な仕様の要望ヒアリング等

現在、船社に対してヒアリング等を行いながら進めている。将来の自律化船、無人化船の世界が来る時のために、当該研究課題のターゲットも機関室の監視強化や無人化に資する監視分野の技術開発としており、その内容についても強い興味を持って頂いている。エンジン限定でなく、あらゆる機器を機関士の代わりにワッチするシステムの可能性にご理解頂き、今後の製品開発と評価時には協力いただけるとコメントを頂いた。

(2) IoT無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムの技術検証用試作品の設計/試作

1) IoT無線振動・温度センサの設計

電池駆動が可能な超低消費電力回路設計を行うことを前提に、MEMS振動素子を採用し、3軸の振動と1点の温度を同時計測できるセンサの設計を完了させた。

無線伝送距離は15m以上が目標であり、実現できる通信プロトコルとしてBLEを選定した。振

動は1方向18点のアナログ信号に分解し、その周波数帯ごとのレベルを出力できるようにできた点でも目標を達成している。

2) IoT無線振動・温度センサの試作

今回設計試作したセンサは、同時駆動することが前提であることから40個を試作した。

3) 機器状態監視診断システム/コントローラ的设计

目標とする12個以上のIoT無線振動・温度センサを同時接続し、各センサを制御しつつ計測データを収集し、対象機器の状態変化を視認性が良く、判りやすいHMI (Human Machine Interface) で表示するコントローラの試作品を設計した。

令和2年度は10センサ以上の同時接続が目標であるが、問題無く接続できることを確認済みである。

4) 機器状態監視診断システム/コントローラの試作

試作品は実船調査にも適用できる仕様とし、実船搭載と社内検証の為に3個試作した。

最終的にセンサと親機とコントローラという構成となっている。

(3) 実船調査

試作したIoT無線振動・温度センサと機器状態監視診断システム/コントローラは、コロナの影響を受けて就航船に搭載することは叶わなかった。

そのかわり、機関室内部の環境と同等の環境として、ダイハツディーゼル(株)守山事業所内にあるコージェネレーション設備(常用ガスエンジンが2台設置され運用中の機場)を代替設備と設定し、そこで実運用を行い評価(実際の運用環境下での電波状況の確認やセンサとコントローラ間のデータ取得等)を行った。

本船と同等とした理由は、コージェネレーション設備の機関は、実施者が販売し、機関室に設置される標準的な中速ディーゼル機関と基本部分は同じ仕様の機関であること、設置環境は機関室と同様の狭い閉塞したスペースに二台の発電機関が近接して並び、各種補機類が周囲に設置されること、日中は常にエンジンが稼働され、発電しているという稼働状況が担保できる事から同等と判断している。

(4) 報告書作成

令和2年度の事業内容を取り纏め、報告書を作成した。来期への課題も含めて報告した。

9. 事業目標の達成状況：

9.1 2020 年度の目標

IoT 無線振動・温度センサ及び状態監視診断システムとしてのコントローラの技術検証用試作品を開発する。

(1) IoT 無線振動・温度センサの開発

- 1) センサは、振動 X, Y, Z 方向 3 軸、温度 1 点計測出来る振動センサとする。
- 2) 振動信号は FFT (Fast Fourier Transform/高速フーリエ変換) 等を用い、周波数成分に変換。1 方向 18 点のアナログ信号に分解して出力する。
- 3) 無線電送距離は 15m 以上とする。

(2) 状態監視診断システムの開発

システムのセンサ同時接続数は 10 センサ以上とする。

9.2 目標の達成状況

・2020 年度の目標の (1) の達成状況：

目標仕様を満たす試作品の開発は完了し、40 個を製造した。

- 1) 振動は 3 軸 (X、Y、Z 方向) 計測可能な MEMS 振動センサ、温度センサを搭載したセンサとして開発完了し、試作した。
- 2) 計測した振動データは FFT 等を用いて周波数成分に変換、1 方向 18 点 (18 周波数帯域) の周波数帯に分解し、そのピーク値をアナログ値として出力することを実現している。
- 3) 無線は BLE を採用することで、安定的に無線伝送距離 15m 以上を実現した。またオープンで直線的な環境下に於いて、60m 程度の距離を通信できることが確認できた。

・2020 年度の目標の (2) の達成状況：

目標仕様を満たす試作品の開発は完了した。

センサの同時接続数は 10 センサ以上も満足しており、全く問題は無い。
試験等では、センサを同時 12 個使った運用評価を実施した。

9.3 事業実施によって得られた成果

令和二年度の事業により、IoT 無線振動・温度センサに関する基本技術を開発完了することができた。また、データを計測し、表示を行うコントローラ側も開発できた。来期も事業継続となるが、今期事業を経て抽出した課題と当初目標を実現するべく開発を引き続き進める。来期は商品の一步手前の製品試作まで行う予定であり、現在のシステムを更にブラッシュアップする。主にコントローラ側の開発にて振動データの異常診断等のロジック開発にも注力する予定である。