



2025年度

「小型旅客船向け海難救助支援システムに関する技術開発」  
事業報告書

2026年3月

一般社団法人 日本船舶品質管理協会



## 1. 事業目的

小型旅客船で海難事故に遭った遭難者の位置情報を含む信号を小型無線機により自動的に発信し、救助船が受信することで、遭難者の早期発見を可能とする。

そのためには、遭難者の着水時に自動的に救命信号を出す機能を持つ救命胴衣に装着された小型無線発信機、救助側の船舶等に搭載する受信機と遭難者の位置を示す装置、遠距離通信を可能とする中継器及び発信機を組み込んだ救命胴衣により構成され、無線装置は LoRa 変調方式を利用し、遭難者の位置を QZSS（準天頂衛星）から取得・発信し、捜索側が受信することで、正確な位置情報を基に捜索活動を可能にする海難救助支援システムの開発を目的とする。

## 2. 事業の内容（計画）

### イ 発信機（子機）の開発

- 主要部品の選定
- 着水センサーの開発
- 基板の設計・試作
- 制御プログラムの開発
- 電池の選定

### ロ 受信機（親機）及び中継器（レピータ）の開発

- 主要部品の選定
- 基板の設計・試作
- アプリ・ソフトウェアの開発
- アンテナの選定
- 電池の選定
- 防水容器の改良設計・試作

### ハ 評価試験

- 実海上評価試験
- 製品特性の認識

## 3. 事業の実施結果及び成果

### 3. 1 実施結果（別紙「実施状況報告書(令和7年4月～令和8年3月)」参照）

#### イ 発信機（子機）の開発

着水を契機として自動的に信号を発信する発信機について、着水センサーの高信頼化設計、低消費電力制御回路の構築、通信モジュールの最適化を実施した。さらに、実運用を見据え、防水性・浮力・耐環境性を考慮した筐体設計の

検討及び海上での使用に適した仕様の検討を実施した。

また、複数の発信機からの信号を識別・処理するための通信プロトコル設計、ID 管理機能、可視化アプリケーションの開発を実施し、実運用を想定したシステム全体の統合を行った。

#### ロ 受信機（親機）及び中継器（レピータ）の開発

広域での受信および通信エリア拡張を実現するため、受信機および中継器の開発を行った。特に、中継器についてはドローン等への搭載を想定し、小型軽量化と電源効率の両立を図るとともに、安定した通信を実現するための制御技術を確立した。

#### ハ 評価試験

##### ○ 実海上評価試験

複数回の海上実験を通じて、通信距離、通信成功率、環境条件下での安定性について詳細な評価を実施した。特に通信パラメータの最適化により、従来想定を上回る通信性能が得られる条件を確認し、実用化に向けた重要な知見を獲得した。

##### ○ 製品特性の認識

評価結果を体系的に整理・分析し、技術的課題の明確化と改善方針の策定を行うとともに、関係機関への説明資料の作成および実用化・社会実装に向けた検討を実施した。

### 3. 2 事業成果（事業目標の達成状況）

2025年度の事業においては、海難救助支援システムの中核となる発信機・受信機・中継器の試作開発およびシステム統合を完了し、実海域における検証まで一貫して実施することができた。

実証試験の結果、海上という厳しい環境下においても安定した通信が成立することを確認するとともに、通信条件の最適化により、実用化に十分資する通信性能を達成した。これにより、本システムの技術的成立性および有効性が明確に示された。

また、本事業により得られた知見は以下の点で高く評価できる。

- ・実運用を想定したシステムとしての一体的な検証を完了
- ・通信性能に関する定量的データの蓄積
- ・海上環境特有の課題に対する具体的改善方針の確立

一方で、さらなる高度化に向けて以下の発展課題が明確となった。

- ・通信のさらなる長距離化および安定性向上
- ・防水・耐環境性能の強化
- ・運用性および実装性の向上（船舶・航空機搭載等）

これらの課題は、いずれも本事業により基盤技術が確立されたことにより、次段階での解決が十分可能な段階に到達している。

以上より、2025年度の事業は当初目標を達成するとともに、実用化に向けた技術基盤の確立という点において、当初計画を上回る成果を得たものと評価する。

さらに、本システムは小型旅客船のみならず、広く海難救助分野全体への応用が期待され、社会的意義の高い技術として今後の発展性が極めて高い。

#### 4. 事業成果物

2025年度技術開発報告書



実施状況 報告書 (令和7年4月～3月分)

別紙

名称「小型旅客船向け海難救助支援システムに関する技術開発」

会社名： 興亜化工株式会社

実施項目	2025年4月～2026年3月			
	1/4	2/4	3/4	4/4
1. 発信機(子機)の開発 1-1 主要部品の選定 1-2 着水センサーの開発 1-3 基板の設計・試作 1-4 制御プログラムの開発 1-5 電池の選定				
2. 受信機及び中継器の開発 2-1 主要部品の選定 2-2 基板の設計・試作 2-3 アプリ・ソフトウェアの開発 2-4 アンテナの選定 2-5 電池の設定 2-6 防水容器の改良設計・試作				
3. 評価試験 3-1 実海上評価試験 3-2 製品特性の把握				
4. 報告書作成 4-1 評価結果などの解析及びまとめ 4-2 問題点の抽出				

1. 開発進捗サマリー

実施項目	実施状況(4月～6月)	実施状況(7月～9月)
1. 発信機(子機)の開発		
1-1. 主要部品の選定	計画どおり完了	
1-2. 着水センサーの開発	回路設計、回路図、試作、性能確認完了	プログラム開発完了
1-3. 基板の設計・試作		設計・試作 完了
1-4. 制御プログラムの開発	プログラム開発着手	デバック完了
1-5. 電池の選定	計画どおり完了	閾値確認試験完了、再評価完了
2. 受信機及び中継器の開発		
2-1. 主要部品の選定	計画どおり完了	
2-2. 基板設計・試作		設計・試作 完了
2-3. アプリ・ソフトウェアの開発	設計に着手	画面レイアウトが完成し、電子海図との連携を進めている。
2-4. アンテナの選定	計画どおり完了	
2-5. 電池の選定	計画どおり完了	閾値確認試験完了
2-6. 防水容器の改良設計・試作		設計・試作進行中

# 1. 発信機(子機)の開発

## 1-1 主要部品の選定

主要電子部品調査 半導体メーカーのデータシートなどにより、調査及び選定。

LoRa Module及びGNSS Moduleについては、今回使用したいPrivate LoRa Module Vendorはそれぞれ各社独自のアプリケーションを開発している。その為、各社の評価ボードにより通信性能や扱いやすさ等を比較評価する方法を選択した。

- ① RF Link 社製 920MHz, 出力20mW, LoRa RF
- ② アイ・ツ(12) 社製 920MHz, 出力20mW, LoRa RF
- ③ サーキットデザイン 社製 150MHz, 出力500mW, LoRa RF

PAM(パルス振幅変調方式) 直流電流制御用部品

DC-DCコンバーター(CMOSベースPFMステップアップ) 安価で0.8Vというような低電圧から動作するワンチップで動作可能なDC-DCコンバーターIC、MCU(メモリーコントロールユニット)は、主に電池電源の制御を行い待ち受け時には限りなくゼロに近い消費電流。

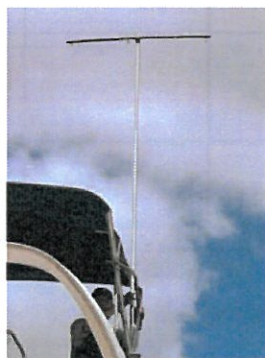
### LoRa Moduleの評価試験

上述の3種類のLoRa Moduleについて、次の同じ通信条件で海上実験を行った。

- ★ 1回目 海上実験は、強風のため出航できず延期とし、アンテナ設置方法や海面からアンテナまでの高さ計測等の準備を行った。
- ★ 2回目 発信機(海上班)のアンテナ高さ海面から7.0m、受信機(陸上班浦安電波塔)のアンテナ高さ海面から8.3mに3種類のアンテナを水平に設置し、海上班が浦安電波塔から木更津方面に船速10ノットで離れて行く。
- ★ 3回目 受信機(陸上班)のアンテナ高さは、8.3m、発信機(海上班)は、浮力体に3種類の発信機のアンテナ高さを海面から、10cmの位置に搭載して波が被らない程度の船速で曳航しながら、木更津方面に離れて行く。



海面から 7.0m



海面から 7.0m



海面から 8.3m



海面から 0.1m

### 評価試験結果(概要)

項目	Vendor	RF Link	アイ・ツ	サーキットデザイン	備考
2回目 最大通信距離 (m)		18,292	9,086	2,899 ※	海上 7.0m : 陸 8.3m
3回目 最大通信距離 (m)		5,802	5,591	- 1,748	海上 0.1m : 陸 8.3m
2回目 RSSI 閾値 (dBm)		-138	-141 (RF-131)	-122	RF1-122, (RF-110, I2 -115)
3回目 RSSI 閾値 (dBm)		-139	-134 (RF-140)	- -139	RF1-139, (RF-123, I2 -130)

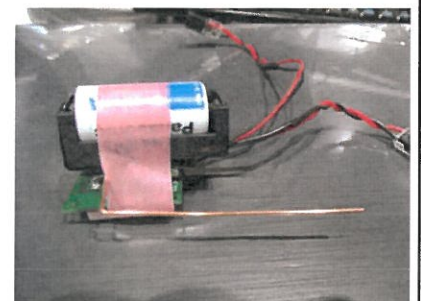
- ※ サーキットデザイン社のModuleは、2回目の試験結果から通信距離が期待できないことから、もう一つのRF Link社のModuleを使用して3回目の評価試験を実施した。

3回目の評価では、RF Link社製モジュール2種の相違点は「ワイヤーアンテナ」と「外付けアンテナ」である。

試験の結果、両者の通信距離に大きな差が生じ、その原因を調査したところ、ワイヤーアンテナと電池(導電性筒)の位置関係が大きく影響していることが判明した。

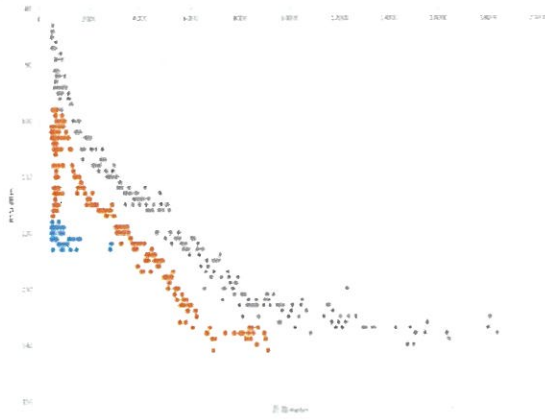
特に、ワイヤーアンテナと電池筒が重なっている箇所では電波が反射又は減衰しており、これが通信距離低下の要因となっていた。

したがって、最終回路ではアンテナと電池の配置を十分に考慮した上で、水密密封容器の設計を行う必要がある。

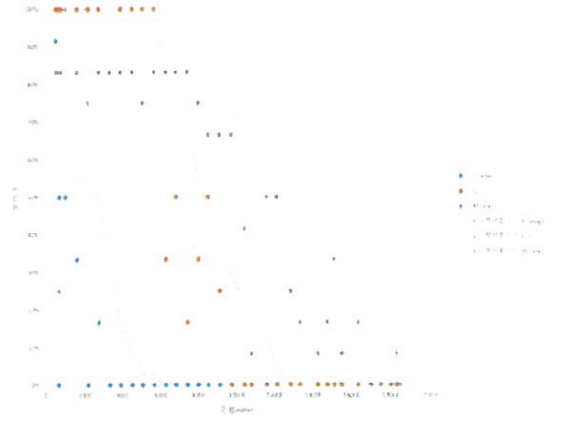


# 1. 実施状況

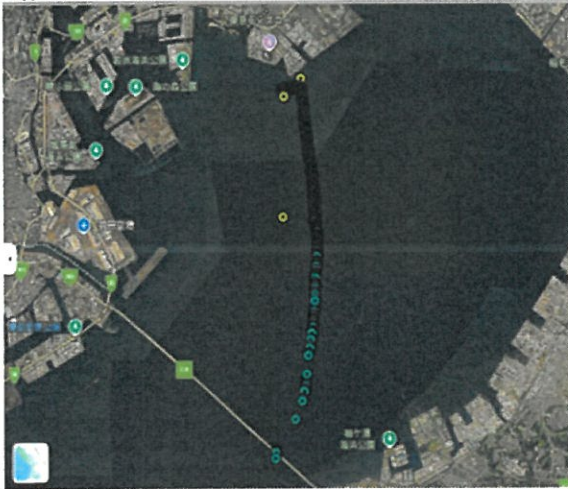
2回目 距離別受信感度(dBm) 8月8日実施



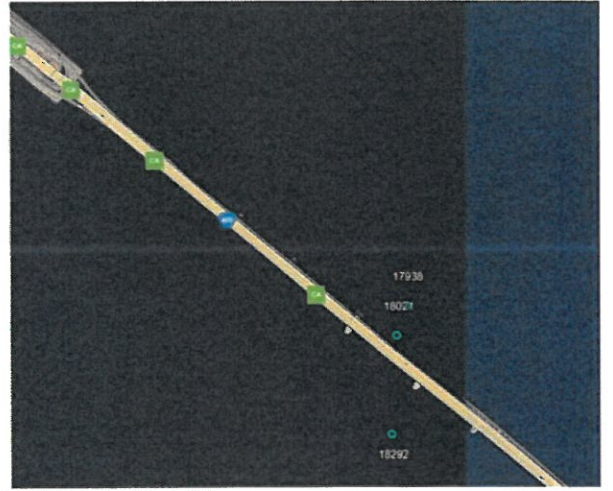
2回目 距離別受信率(%) 8月8日実施



全体地図

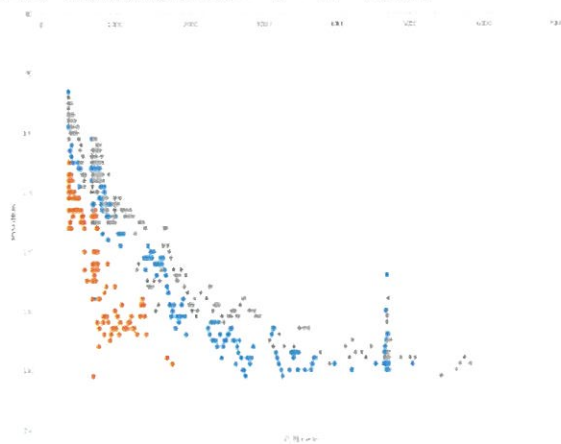


距離最大拡大

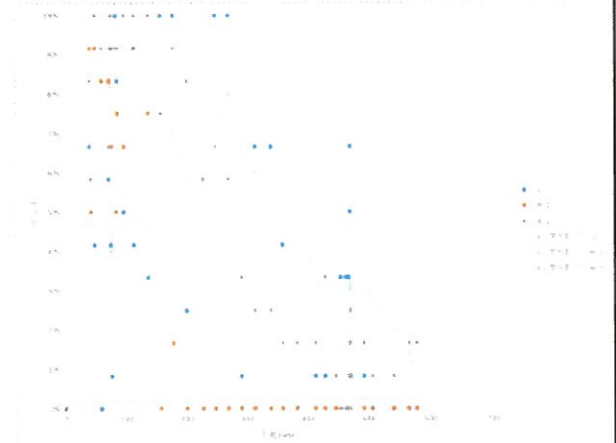


水色：RF Link社, 黄色：Cdesign社, 紫：I2社

3回目 距離別受信感度(dBm) 8月22日実施

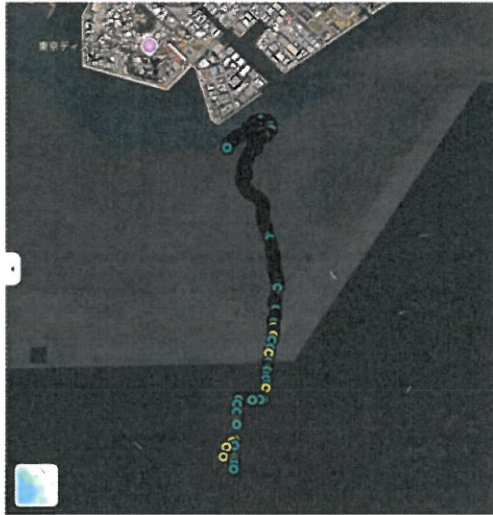


3回目 距離別受信率(%) 8月22日実施



## 1. 実施状況

全体地図



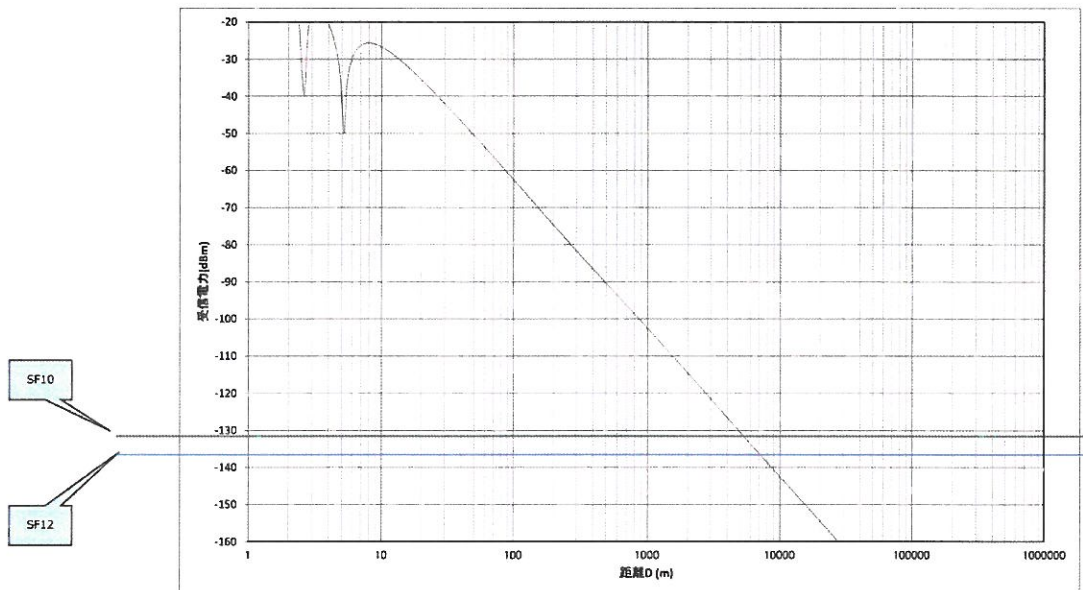
距離最大拡大



水色：RF Link社, 黄色：I2社

### 電波伝搬特性(第3回海上実験)

海面10cm ~ 受信機8.4m



### 結論

上記の評価結果から、3種類のLoRa Module Venderの中から、**RF Link社のModule**を選定することにした。

### 考察及び初見

- 今回選定したRF Linkの評価ボードは、必要不可欠な自局ID、日時及び位置情報の他に送付先ID、RSSI、加速度、高度、捕捉衛星数、電池電圧などの不要なデータを送信している。また、送信時間が4secほど掛かっている。
- LoRa 通信においては、遠距離通信を行うためには送信レートをできるだけ小さくし、送信時間を短く抑える必要があることが分かっている。
- 送信時間が短くなることで、発信機の電池容量を抑えることができ、さらに電波干渉し難くすることができる。
- また、帯域幅BW、拡散率SF及び送信データを最適化して最適な設定にすることで通信距離を延ばすことを目指す。

# 1. 実施状況

## LoRa Moduleの評価試験 2

### ★ 4回目 5th 海上実験に先立ち、事前調査を実施した。(別紙「5th 海上実験事前調査実施報告書」参照) 2025年12月9日実施

東京湾内は羽田空港の飛行禁止区域に該当するため、湾外の館山沖から南方約25km地点までの海域を実験対象とした。本調査では、当該海域における障害物の有無の確認、開始地点(警戒船)の確定、携帯電話等の通信状況の確認、ならびに航行時間の把握を目的として実施した。

#### 事前調査結果を踏まえて

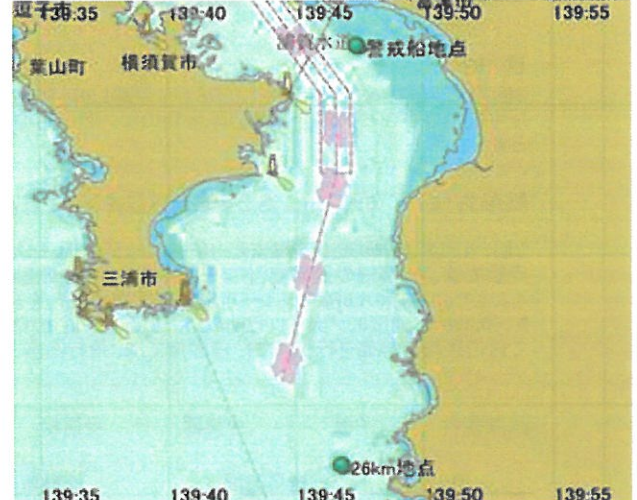
今回の調査の結果、実験海域の見直しを行いざるを得ないと判断した。

できるだけ風速及び波高が低く片道2時間以内がベストで理論値から直線距離が25km以上とれる場所の選定が必要。

候補海域としては、富津岬沖開始(警戒船)地点から南房総の大房岬沖の直線距離で約26kmの地点



飛行禁止区域



5th 海上実験予定海域

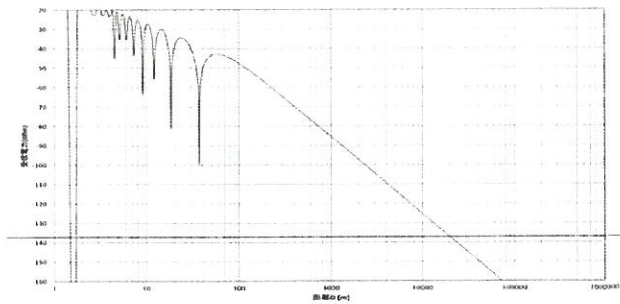
### ★ 5回目 海上実験計画(「5th LoRa 海上実験実施要領 Ver.4」参照) 2026年2月5日実施

東京湾内は羽田空港の飛行禁止区域に該当するため、湾外の館山沖から南方約25km地点までの海域を実験対象とした。

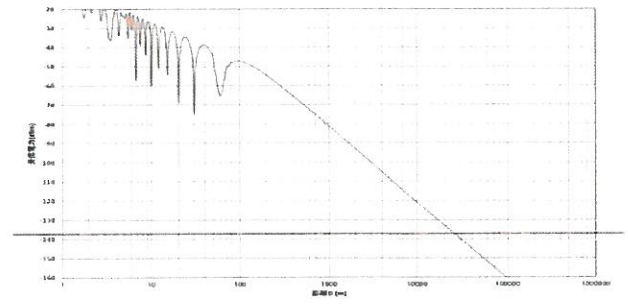
本調査では、当該海域における障害物の有無の確認、開始地点(警戒船)の確定、携帯電話等の通信状況の確認、ならびに航行時間等の把握を目的として実施した。

#### 電波伝搬特性(第5回海上実験)理論値 SF12 BW125

10cm~60m



0cm~100m



# 1. 実施状況



## 目的

3回の海上試験の結果、選定したRF Link社のLoRa Moduleを使用して、ヘリで捜索していることを想定して受信機(PC接続)、ドローンに搭載した中継器及びGPS内蔵発信機の障害物のない海上通信可能距離を実測して、次の3種類の発信機LoRa Moduleの性能を評価することを目的とする。

## 試験方法 (5th LoRa 海上実験実施要領 Ver.6 参照)

3回、4回海上試験結果を踏まえ、RF Link社製LoRaモジュールを使用し、ヘリコプターによる捜索を想定した通信評価を実施する。本実験では、PC接続の受信機、ドローンに搭載した中継器、およびGPS内蔵発信機を用い、障害物のない海上における通信可能距離を実測することで、3種類のLoRaモジュール搭載発信機の性能を評価する。ヘリコプターの捜索条件は、実際の捜索活動で行われている高度200フィート(60.96m)、速度60ノット(111.2km/h)とする。これらの条件を模擬するため、ドローンの飛行高度を60m及び100mとし、それぞれの高度において通信距離の評価を行う。なお、理論値では、飛行高度60mの場合で約20km、100mの場合で約25kmの通信距離が見込まれている。

## 試験条件 子機 → 中継器 → 受信機

ID	送信時間 ms	拡散率 SF	帯域幅 BW	Carrier Sense Retry	ANT
ID 1	4,000.0	SF12	125kHz	3 回	Wire
ID 5	1,106.8	SF10	125kHz	3 回	Wire
ID 6	1,106.8	SF10	125kHz	3 回	Mono

- > 送信タイミング10sec/回
- > ドローン及びK-8艇、速度5~15ノットで追尾
- > 発信機及び中継器の電源は、CR123A電池1本とする。
- > 発信機のアンテナは、海面から給電点まで、10cmの浮力体に垂直に設置し、浮遊させる。
- > 中継器のアンテナ高さは、60m及び100mとする。
- > 発信機と中継器の間は、通信に影響を与える障害物が極力存在しない航行ルートを選定する。
- > 発信機ID1、ID5、ID6の計3台の発信機を用い、同時に評価する。

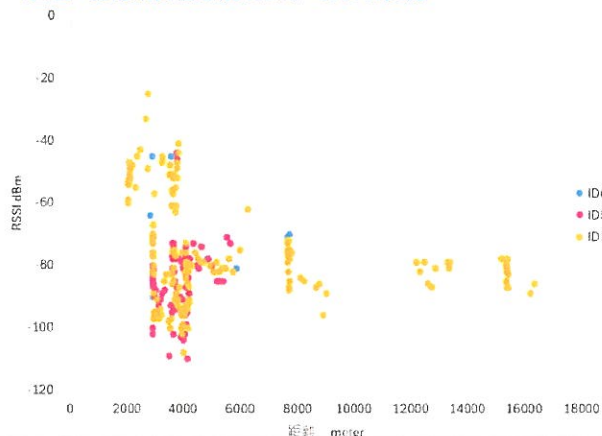
## 試験状況 10:48 計測開始

警戒船より、南房総沖26km地点に向けて22~24kt航行しながら実施。

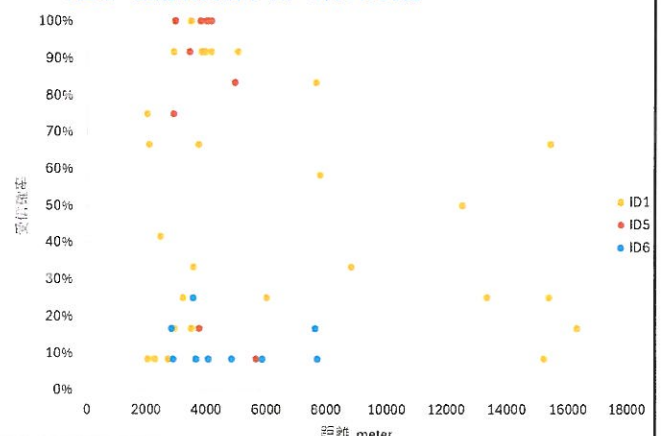
- ・ 約7.0km地点: 停船ドローン離船。高度60m、飛行速度5kt~15ktで追尾
- ・ 約12.5km地点: 着船/バッテリー交換再離船。高度60m、5knot~15knotの飛行速度で追尾
- ・ 約15km地点で高度を100mに上昇し追尾
- ・ 約20km地点で実験終了、撤収
- ・ 14:40 浦安マリーナ帰港 給油・上架・真水洗浄後、16:50 解散

## 試験結果

5回目 距離別受信感度(dBm) 2月5日実施

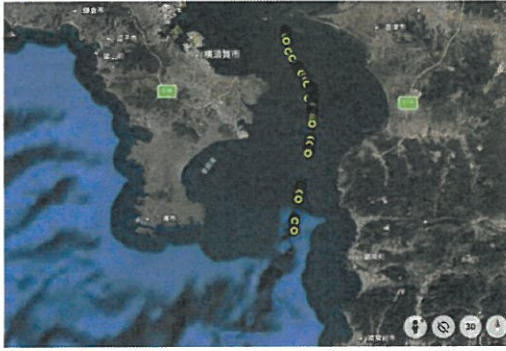


5回目 距離別受信率(%) 2月5日実施

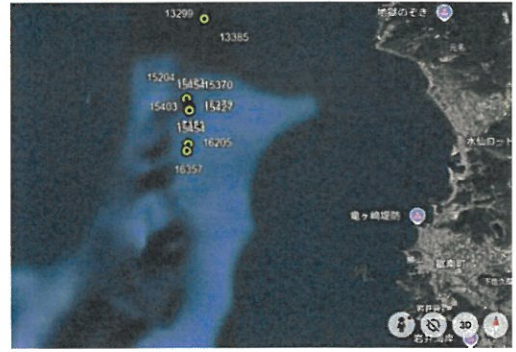


# 1. 実施状況

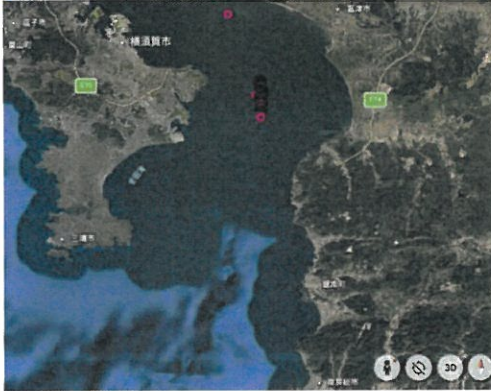
ID1 全体地図



ID1 距離最大拡大



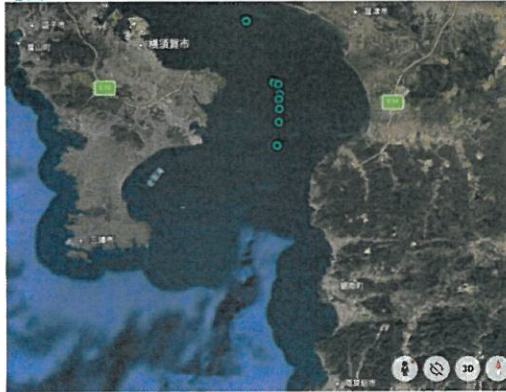
ID5 全体地図



ID5 距離最大拡大



ID6 全体地図



ID6 距離最大拡大



## 考察

- 拡散率(SF値)が通信距離に大きく影響することを確認した。
- 送信時間が長い設定では、電波衝突の影響により有効受信回数が顕著に減少する傾向が認められた。特にID1は通信時間が約4秒であり、発信機→中継器→受信機と通信が行われるため、合計で約8秒間電波を発信し続けることとなる。このため、電波衝突の影響により他の通信を明らかに妨げていることが確認された。
- 本試験で取得したRSSI値は、中継器→受信機間の測定値であり発信機→中継器(又は、受信機)の測定値ではない。発信機→中継器(又は、受信機)間の通信状況把握方法が今後の課題となる。
- ドローンの飛行可能時間(約30分)の制約により、連続測定には運用上の工夫が必要である。
- ドローンによるノイズで、電波強度が減衰したことが分かった。

# 1. 実施状況

## 今後の課題

1. ドローンの飛行時間を考慮した試験方法の再設計
2. バッテリー管理体制の強化(専任タイムキーパー配置)
3. 通信パラメーターの最適化に関する検討。
  - ・ Carrier Sense Timeout: 5msec → 2,000msec
  - ・ Retry Count: 3回 → 9回
  - ・ 次回通信速度を1sec前後又は、1sec以下に設定し、再評価
4. 搜索速度60knot(時速 111.2km/h) 想定送信間隔最適化
  - ・ 10秒間隔: 約309m
  - ・ 15秒間隔: 約463m
  - ・ 20秒間隔: 約618m
  - ・ 25秒間隔: 約772m
5. 送信時間の短縮化及び最適化
  - ・ カスタマイズ前のペイロードサイズは、MACヘッダ(27)+ペイロード(76)=104byte
  - ・ カスタマイズしたペイロードサイズは、MACヘッダ(27)+ペイロード(36)=63byte
  - ・ MACヘッダを含むペイロードサイズの短縮化を図るため、その方法論について検討を進めたい。
6. ドローンのノイズ対策
  - ・ ドローンのノイズ対策のため、今回はアンテナを垂直に下向きとする。

## ★ 6回目 海上実験計画(「6th LoRa 海上実験実施要領 Ver.3」参照) 2026年3月19日実施予定

### 目的

5回の海上実験の結果を踏まえると、ID1は子機から中継器まで約4秒、さらに中継器から受信機まで約4秒を要し、合計約8秒間電波を送信している。このため、電波衝突の影響により他の通信を妨げている状況が確認された。  
6回海上実験では、送信時間を短縮した条件のもとで各種パラメーター設定の最適化を図ることを目標とする。

### 試験方法 (6th LoRa 海上実験実施要領 Ver.3 参照)

試験方法については、5回海上実験と同様の方法で試験を行うが送信時間を短縮した条件のもとで、各種パラメーター設定の最適化を得るための比較試験を実施する。

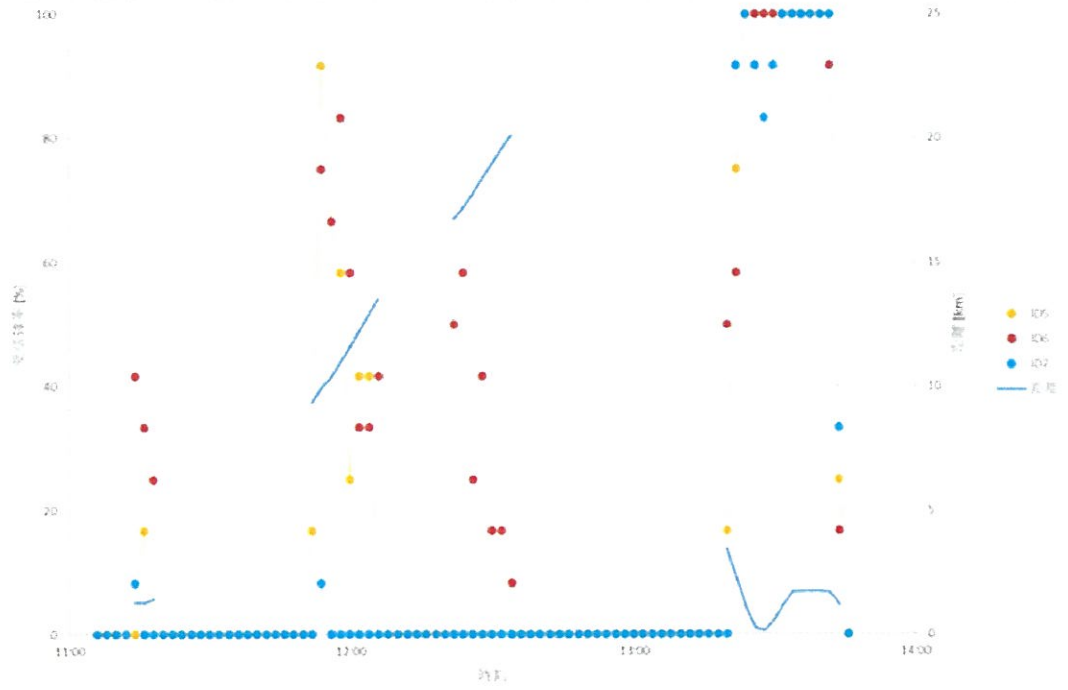
### 試験条件 発信機 → 中継器 → 受信機

子機	AT	中継器	AT	親機	AT	CH	SF	BW	CDR	送信時間 (msec)	備考
ID 5	Wire	中 1	Dai	親 2	Dai	24	SF11	250KHz	=1, ON	1,006.09	
ID 6	Mono	中 2	Dai	親 3	Dai	26	SF10	125KHz	=1, ON	1,106.80	
ID 7	Dai	中 3	Dai	親 4	Dai	28	SF10	500KHz	=1, ON	276.70	

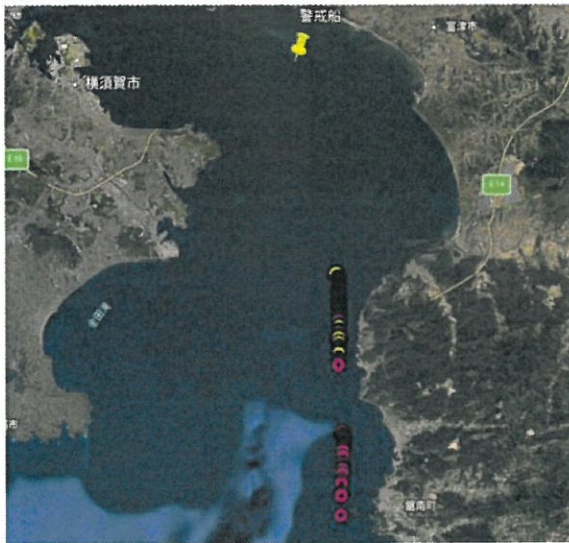
- 送信タイミング10sec/回
- ドローン及びK-8艇、速度5~15ノットで追尾
- 発信機及び中継器の電源は、CR123A電池1本とする。
- 発信機のアンテナは、海面から給電点まで、10cmの浮力体に垂直に設置し、浮遊させる。
- 中継器のアンテナ高さは、60m及び100mとする。
- 中継器のアンテナの向きは、垂直に下向きとする。
- 発信機と中継器の間は、通信に影響を与える障害物が極力存在しない航行ルートを選定する。
- 発信機ID5、ID6、ID7の計3台の発信機を用い、同時に評価する。

1. 実施状況

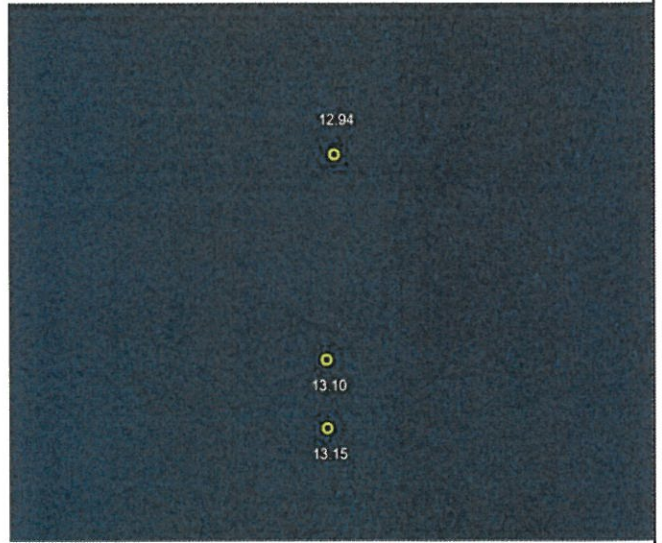
試験結果 6回目時刻vs距離・受信確率(%) 3月19日実施



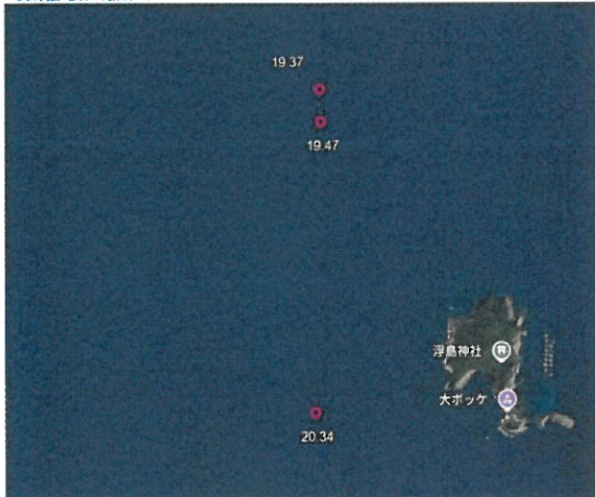
警戒船から全体



ID5 距離最大拡大



ID6 距離最大拡大



ID7 距離最大拡大



# 1. 実施状況

## まとめ

本年度に実施した各海上実験(6月、9月、12月、3月)の結果を総合的に評価すると、通信パラメータの設定、とりわけ拡散率(SF)および送信時間が通信品質に大きく影響することが確認された。

特に、SF12設定においては通信距離の優位性が顕著である一方、送信時間(エアタイム)が長くなることにより、電波占有時間が増加し、結果として電波衝突の発生頻度が高まる傾向が認められた。これにより、有効受信回数の低下および他通信への干渉が発生している。

また、中継器を介した通信では、子機→中継器→受信機の2ホップ構成となるため、単純計算で送信時間が倍増し、電波占有時間の長期化がより顕著となる。この影響により、複数IDが同時運用される環境下では、キャリアセンスによる送信待機や送信機会損失が増加していることが確認された。

一方、SFを低く設定した場合(例:SF10)は送信時間の短縮により電波干渉の影響は軽減されるものの、通信距離および受信安定性の面でSF12に劣る結果となった。

以上の結果から、通信距離と通信効率(干渉回避)のトレードオフ関係が明確となり、実運用においては単一パラメータの最適化ではなく、帯域幅(BW)、Coding Rate、送信間隔、キャリアセンス制御等を含めた総合的なパラメータ設計が必要であると考えられる。

今後は、送信時間の短縮を前提としたうえで、各種通信パラメータの組み合わせによる最適化検討を進め、通信距離と通信安定性の両立を図ることが重要な課題である。

## 1-2 着水センサーの開発

### 水感知センサー制御の仕様(目標)

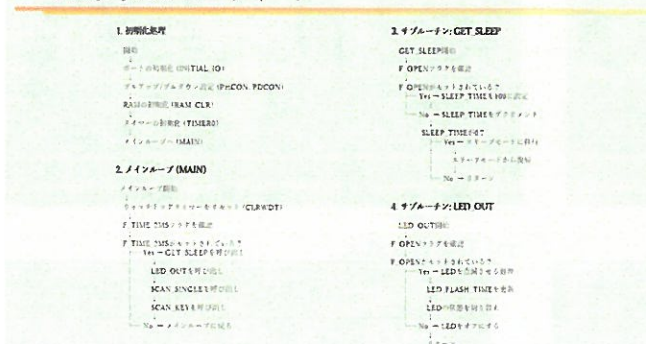
- 待機時に電力の消費を限りなくゼロに近づけ、3年間電池交換不要とする。
- 出力電力を一定にし、電流を変化させることで効率的な電源供給とする。
- 水感知時にMOS FET SWをONにして外付け回路を作動させ、作動中基板のLEDを1秒点灯2秒休止を繰り返す。  
(遭難者が発信状態を認識可能な機能)
- SWを2秒間長押しで、外付け回路をOFFとし、さらに2秒間長押しで、ONとする。これを繰り返かえす。(手動でON/OFF機能)
- 水感知回路及び外付け回路の電源は、スパイラル構造のCR123A(3V)とする。
- 外付け回路の定格電流(電力)は、300mA(900mW)とする。(他の機器にも応用できる。)

電池駆動で長時間の運転を実現するため、放電(作動)開始から24時間以上の連続放電においては、消費電力を一定に制御することで全体の消費を抑制した。さらに、遭難者が発信状態を容易に認識できるよう、発信中はLEDが点滅する機能を付加した。この仕様により、連続点灯ではなく点滅とすることで電池寿命の延長も図っている。

今回開発する水感知センサー制御回路は、発信機専用にとどまらず他機器への応用も可能とするため、独立した回路として試作を行った。なお、量産時には一つの基板上に組み込んだ回路設計とすることが可能である。

水感知センサー制御回路の回路設計が完了し、回路図及び制御プログラムが出来上がり試作品を製作した。今後、水感知センサー制御回路及びピンの距離別治具を用いてそれぞれの評価を進めることにしている。

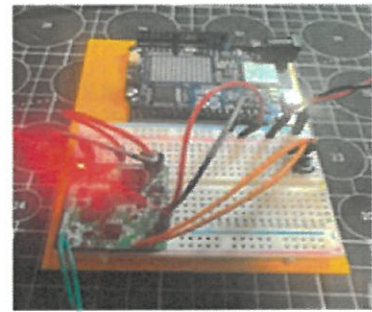
### プログラムフローチャート



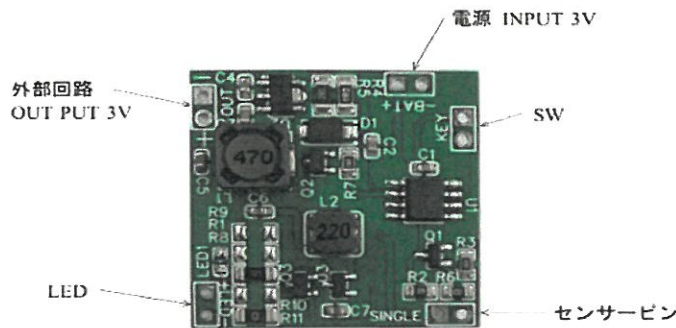
# 1. 実施状況

## プログラムフローチャート

```
7. 測り込み処理 (TD_INT)  
測り込み開始  
↓  
TIME フラグをクリア  
↓  
TIME 0に初期値を付与  
↓  
TIME 2MSをカウント  
↓  
TIME 2MSに達したか？  
Yes → F TIME 2MS フラグをセット  
No → TIME 2MSをクリア  
↓  
TIME 2MSに達したか？  
Yes → F TIME 2MS フラグをセット  
No → 測り込み終了
```



作動確認



制御回路



### 着水センサーの設計、試作及び評価

水感知センサーの回路設計、回路図の作成及び制御プログラムを作成し、制御回路の試作を行った。  
試作した回路を使用して評価試験を実施した結果、上述の設計仕様のとおり動作することを確認した。

- 待ち受け時の消費電流測定 : 0.01~0.02  $\mu$ A (測定器の分解能が0.01  $\mu$ A) であったため、**0.015  $\mu$ A**前後と推察できる。
- 性能確認 : 出力負荷にLED (赤) を用いて、水感知、出力、LED (白) の点滅、手動でのON-OFF、定格電流 (電力) を計測し、設計どおりの性能であることを確認した。
- 発信機への影響 : 最終出力用DC-DCコンバーターICのノイズが発信機に及ぼす影響 (性能) が大きいことが分かり、この部分のコンバーターICの仕様を見直すことにした。

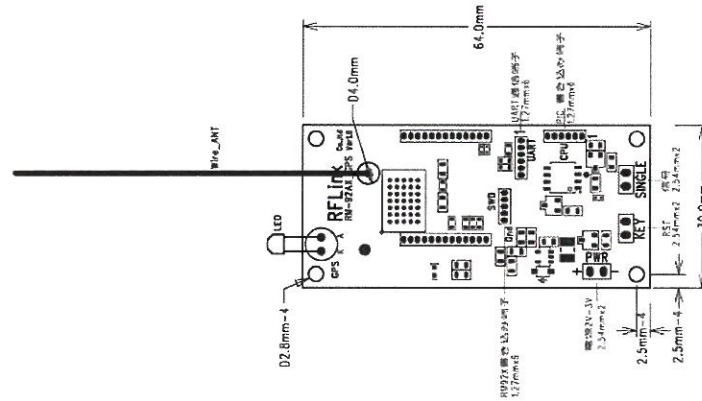
# 1. 実施状況

## 1-3 基板の設計・試作

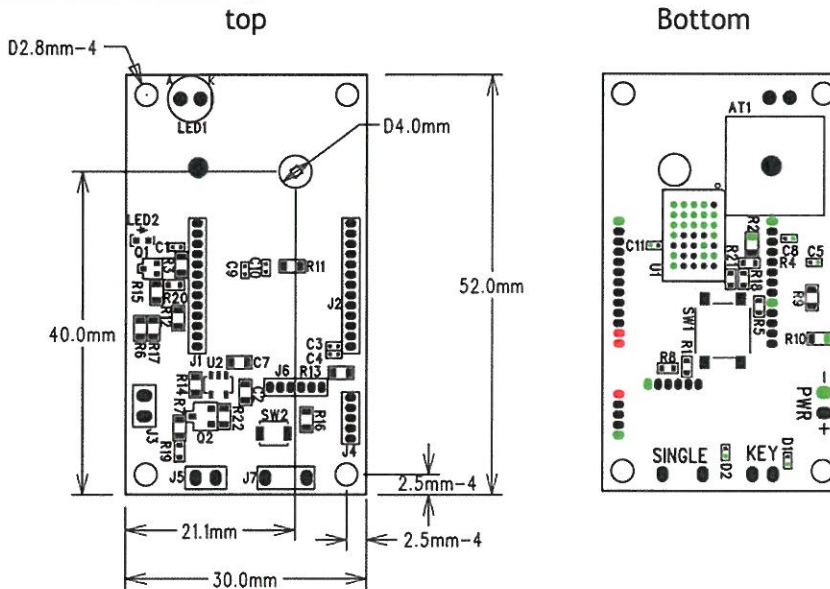
### 子機回路基板の仕様の検討

- 電池を装填した段階で待受モード(電源 ON)に入り、水面に着水しない限りこの待受状態で5年間以上電池を持たせる。電池の自己放電率や低温環境下(-1°C)での電池容量を含める。
- 短時間の作動確認(手動または自動による LED 点灯確認など)を除き、実使用として一度作動させた場合(30分以上連続動作)は、必ず新品の電池へ交換する必要がある。
- 定期メンテナンス時に、装置から微弱な試験電波を送信し、近距離で受信して動作確認できる機能を設けることを念頭に開発を進める。なお、本体スイッチは、1カ所に集約する。(マイクロモーメンタリプッシュボタンスイッチ)
- 入手性やノイズ特性、国内完全生産の可否などを総合的に考慮し、DC-DCコンバータをはじめとする一部チップの選定を見直した上で、回路を再構築する。あわせて、量産時のコスト低減を目的として、回路全体の構成についても最適化を図る。

### 子機回路基板イメージ図



### 最終的に試作した子機回路基板



# 1. 実施状況

## 1-4 制御プログラムの開発

RF Link社製のModuleをベースに次の仕様で制御プログラムの開発に着手する。

- 送信レートを短くするため、送信データを自局 ID(250IDまで1 byte)、位置情報(4 byte)及び送信時間(4 byte)(年月日時分秒/ユニックス時間)の3つに絞り、さらにこれらのデータを圧縮して、全体のデータ量を10byte以下にして送信時間を400ms以下とする。
- ① 電源投入時、最初に衛星を4つ以上見つけるための動作を行う。  
② 衛星を4つ以上捕捉完了したら、位置情報を送信して、10秒間スリープさせる。(省電力化)  
③ 10秒間経過したら自動的に起床して位置情報を送信し、スリープ状態に入る。  
以降は、②と③を繰り返す。
- 現行評価ボードは、拡散率 sf 12, 帯域幅 bw 125の設定で、送信時間が4,000msほど掛かっている。これを送信レートを短縮し、最適化することで拡散率 sf 12, 帯域幅 bw 125の設定で1,200ms, -137dbとすることができる。さらに、拡散率 sf 10, 帯域幅 bw 125の設定で354ms, -132dbと大幅な送信時間の短縮が可能となる。発信機のアンテナ高さを10cm, 受信機のアンテナ高さを8.3mとして電波伝搬特性を解析したグラフを示す。

以上の制御プログラムをカスタマイズすることで、送信時間を大幅に短縮し、電波干渉の影響を抑えることが可能となる。さらに、電池寿命の延長にもつながる。

### 制御プログラムの仕様を再検討した結果

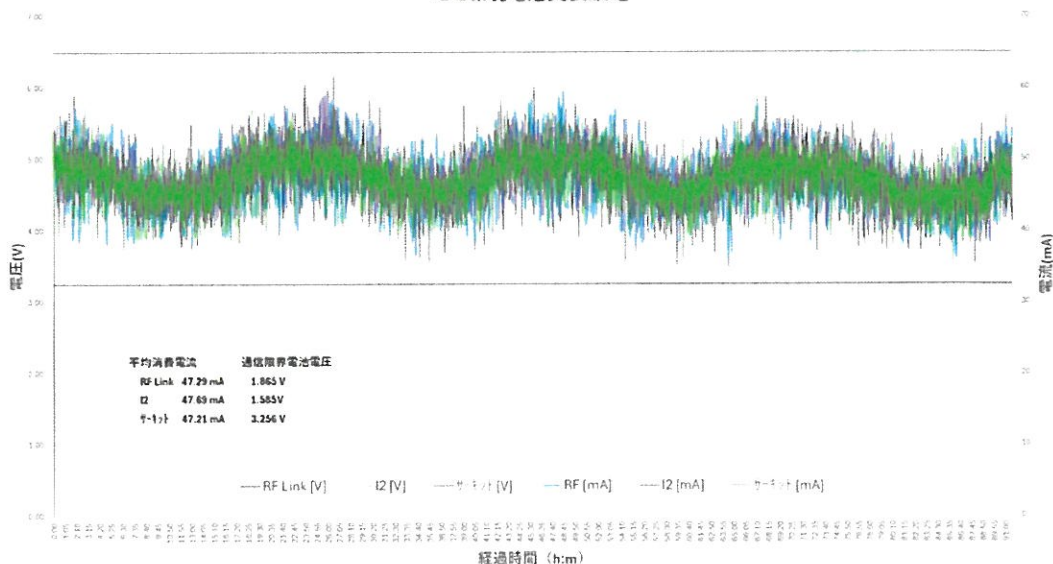
- 送信レートをできるだけ小さくする為、子機のID及び最適化した位置情報のみ(5 byte)を発信する。時間については、受信機側の受信時間を活用できるため、子機からは送信しない仕様に変更した。
- 発信のタイミング**
  - ① 電源投入時、まず衛星を4基以上捕捉するための探索動作を行う。
  - ② 衛星を4基以上捕捉完了後、位置情報を送信し、消費電力低減のため10秒間スリープ状態に移行する。
  - ③ 10秒経過後に自動的に起床し、再度位置情報を送信したのちスリープ状態に入る。以降、②および③の動作を繰り返す  
本仕様では、衛星捕捉完了後に初回送信を行うため、電源投入から最初の発信までに数分を要する。そこで、落水検知の即時性を重視し、電源投入時には衛星捕捉の有無に関わらず発信を行う仕様へ変更した。
- 子機の評価ボードをカスタマイズして送信時間を測定した結果  
SF 9+BW125設定時 で 約350ms // 受信感度点 -133dBm  
SF10+BW125設定時 で 約690ms // 受信感度点 -137.2dBm

## 1-5 電池の選定

電池容量は低温環境下で著しく低下することが知られている。そこで、本評価では候補として検討していたカメラ用リチウム一次電池 CR123A (Panasonic 製)を用い、低温環境における性能を確認した。試験には、市場からランダムに入手した電池を使用した。まず内部抵抗を測定し、比較的高い抵抗値を示した電池を選定した。これを -1 °C の環境下に 1 時間放置した後、発信機を接続して電波発信状態とし、環境温度(°C)、電池電圧(V)、および消費電流(mA)を測定・記録した。なお、発信機は前述の 3 種類について評価を実施した。

### 試験結果

-1°C環境電池実装放電



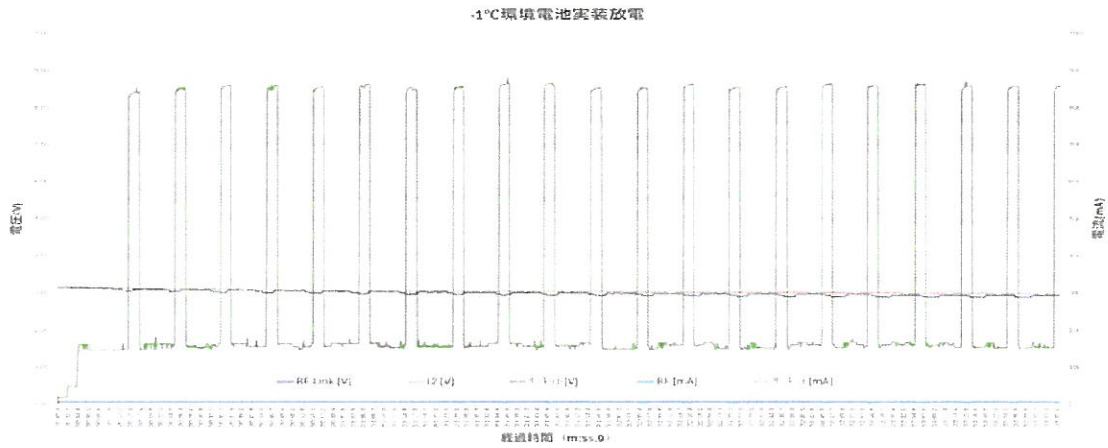
サンプルレート: 100msで計測

# 1. 実施状況

	RF Link		I 2		S design		温度	備 考
	電圧(V)	電流(mA)	電圧(V)	電流(mA)	電圧(V)	電流(mA)	°C	
開始時	3.247	30.500	3.249	34.600	6.498	35.500	-0.200	
終了時	3.244	43.800	3.246	49.800	6.491	51.500	-0.100	91:41(91時間41分)
最小値	3.244	30.500	3.246	34.600	35.500	35.500	-1.500	
平均値	3.245	47.290	3.247	47.290	47.211	47.211	-0.272	
最大値	3.247	59.400	3.249	61.600	57.800	57.800	0.400	
閾 値	1.865	-	1.585	-	3.256	-	-	作動電圧閾値 (V)

サンプルレート: 60,000msで計測

試験結果 (送信時間参考)



サンプルレート: 100msで計測

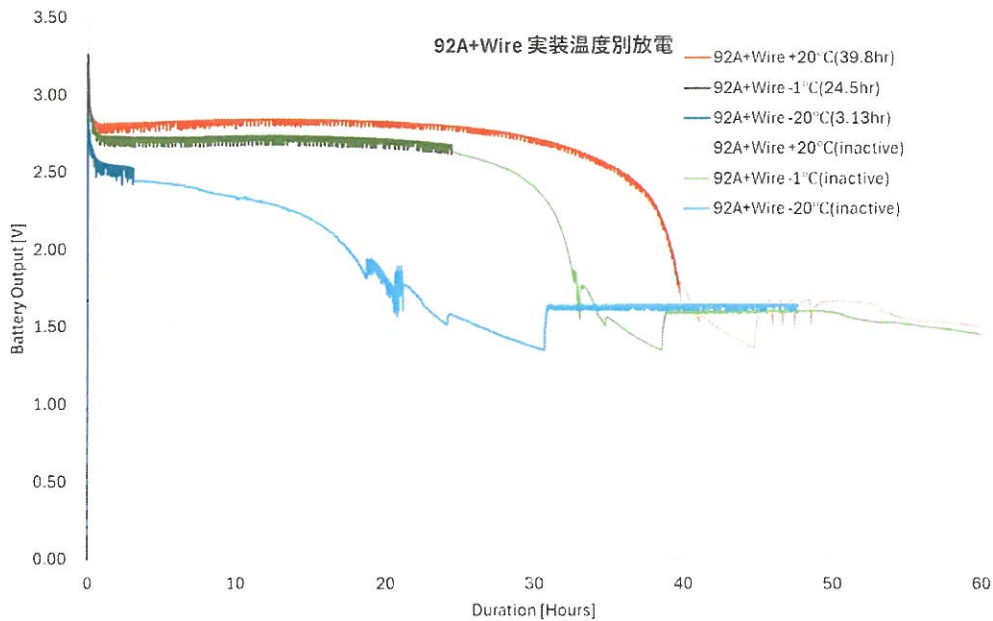
## 1-5 電池の選定 (再評価)

前回実施した評価では、低温(-1°C)環境下における電池電圧(V)および消費電流(mA)を測定・記録する方法を採用した。一方、今回は低温環境をそれぞれ20°C、-1°C、-20°Cの3条件とし、発信機を実装したうえで、RF Link社製モジュール下記3種類について評価を実施した。測定条件としては、電池電圧(V)を測定するとともに、受信機をPCに接続して受信状態を記録し、正常に送受信が行われているかを確認する方法を採用した。

評価対象は以下のとおりである。

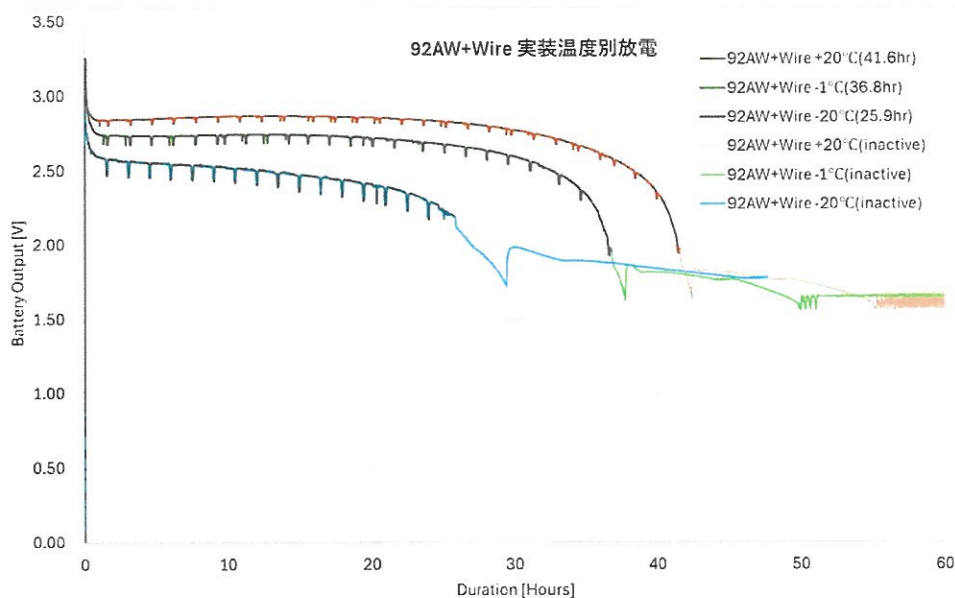
- ① RF Link 92A+Wire 評価ボード
- ② RF Link 92AW+Wire 評価ボード(カスタマイズ)
- ③ RF Link 92AW+外部 評価ボード(カスタマイズ)

試験結果

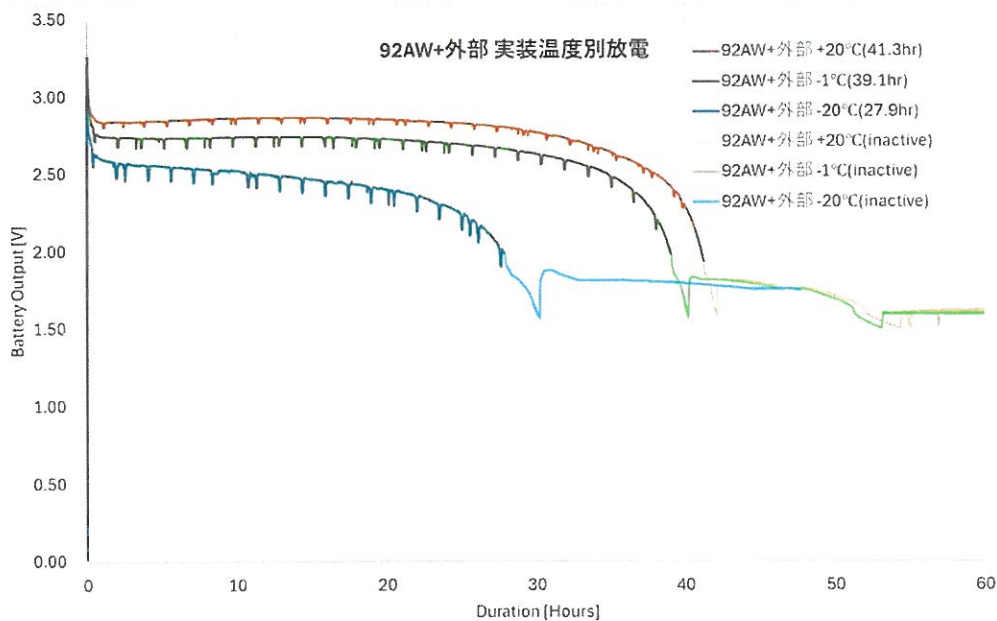


# 1. 実施状況

## 試験結果



## 試験結果



## まとめ

目標としていたカメラ用リチウム一次電池の容量は、 $-1^{\circ}\text{C}$ の環境下で24時間以上と設定していた。

しかし測定の結果、予想を大きく上回る91時間41分以上という優れた性能を示した。

この電池は、入手性・安全性・性能のいずれにおいても非常に優れている。

さらに、前述の制御プログラムをカスタマイズすることで、電池寿命を一層延ばせる可能性がある。

今後は今回の試験結果のデバッグ及び閾値確認のため、再度子機を実装して放電試験を実施する予定である。

再試験の結果を踏まえると、今回の再試験では、目標値である $-1^{\circ}\text{C}$ 環境下において、すべてのモジュールで24時間以上の動作を達成できた。しかしながら、電池電圧および消費電力のみを指標として閾値を設定することは困難であることが判明した。

そのため、各温度環境下において送受信が正常に行われているかを確認することが極めて重要である。

なお、今回 $-20^{\circ}\text{C}$ 環境で実施した試験は、船技協において進められている標準化の策定に資するものとして、有意義であると判断した。

## 1. 実施状況

### 2. 受信機及び中継器の開発

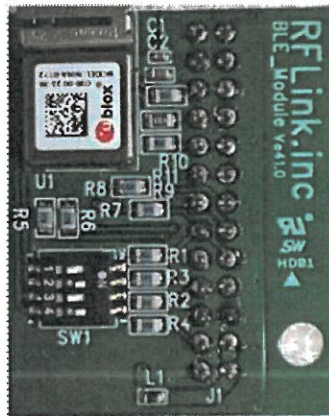
#### 2-1 主要部品の選定

基本的には、発信機と同様の主要部品を選定し、受信機及び中継器には、GNSS Moduleは使用しない。  
受信機については、他の機器地図などの接続に必要なインターフェイス (IO) USB、Wifi、Bluetooth®など必要に応じて組み込む必要がある。  
(試作品は、USB-type C)

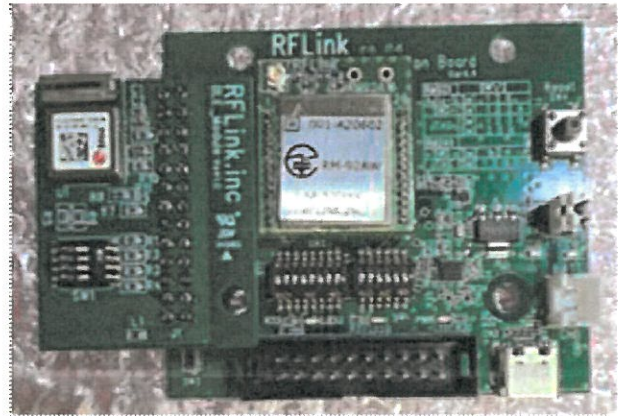
#### 2-2 基板設計・試作 (発信機装置/BLEデータ基板・開発仕様書参照)

受信機と他の機器地図などの接続方法について検討した結果、USBは有線であること、Wifiは消費電力が大きいことなどの理由により、Bluetooth®を組み込むことにした。

#### 最終的に試作したBluetoothを組み込んだ受信機回路基板



BLE Module



受信機+BLE Module

#### 2-3 アプリ・ソフトウェアの開発

##### 2-3-1 海難救助支援システムの構成

海難救助支援システムの構成を図1に示す。発信機をライフジャケットに装備したものが落水した際に自動的に無線を発信し、受信器でこれをとらえ、Windows PC上にその情報と位置を表示し、さらに音声で警報を鳴らす一連のシステムを想定し、本アプリケーションはPCで動作する表示・音声鳴動の部分を構成する。

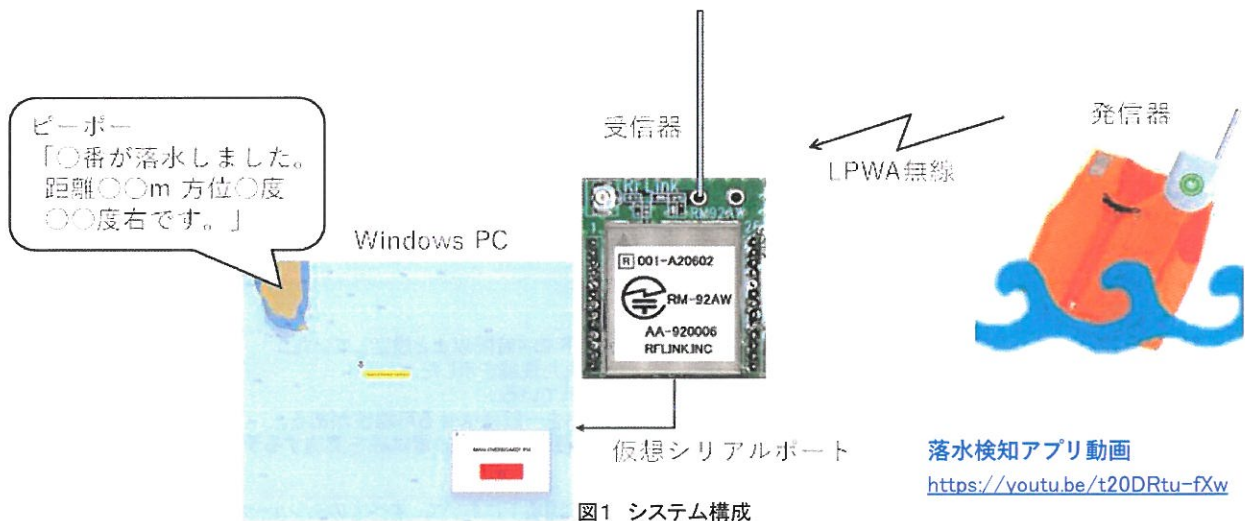


図1 システム構成

## 1. 実施状況

### 2-3-2 海難救助支援システムの親機アプリケーションの機能

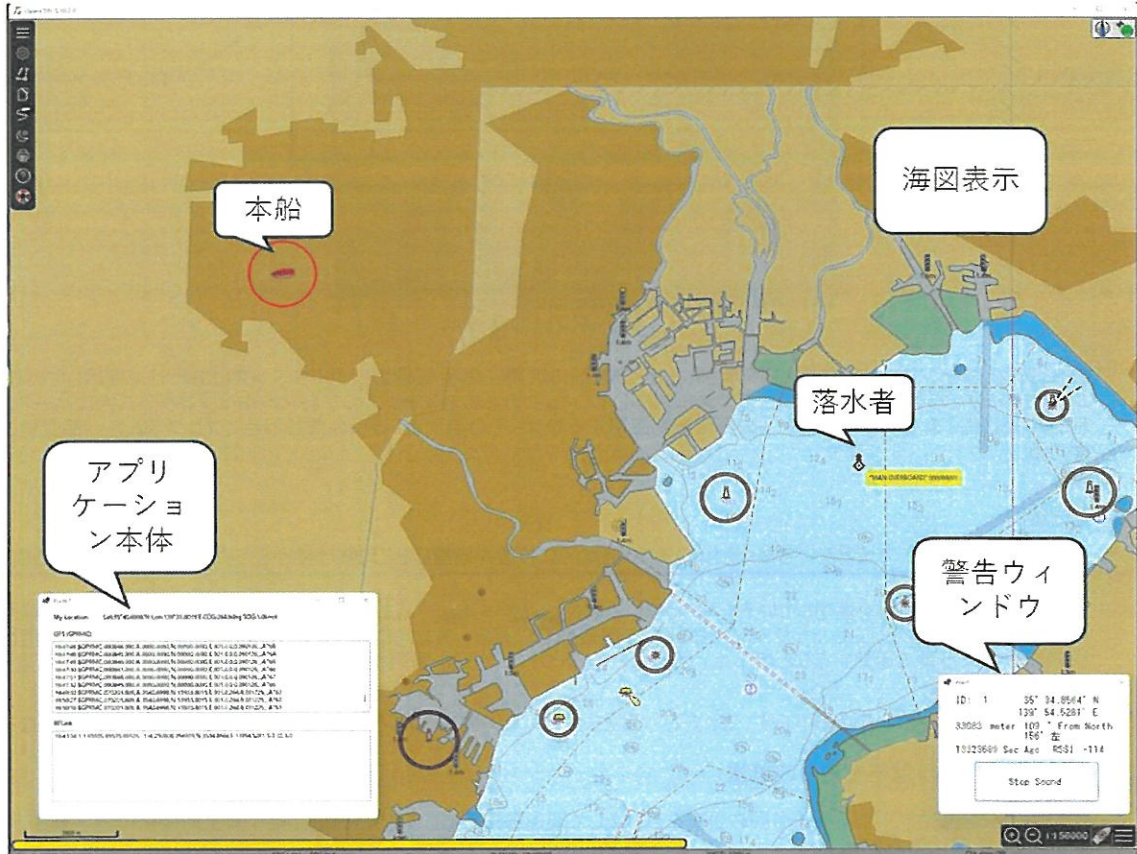
本アプリケーションの実行画面を図2に示す。海図表示はフリーウェアであるOpenCPNの表示機能を利用した。本船は、PCIに接続したGNSS受信機から受信した自身の位置を表示している。

アプリケーション本体は、GNSS受信センテンスおよびLoRa受信機によって受信した落水者発信機からの受信センテンスをリアルタイムに表示している。このウィンドウは普段は表示する必要はなく、バックグラウンドで動作する。

落水者からのセンテンスを受信すると、海図上には落水者のアイコンが表示される。また、マウスをその上にかざすと発信機のIDが表示される。

警告ウィンドウは、発信機のIDや緯度経度、本船からの距離や方位、それがいつの情報か、また電波強度を表示する。下部にStop Soundのボタンが赤で明滅表示し、これを押すまで警報と落水した旨と距離・方位の音声を流し続ける。これは受信電波が途切れても、ボタンを押すまで最終位置を表示し続ける。

警告ウィンドウのボタンを1回押すと音がやみ、2回目に押すとウィンドウが消え、落水者アイコンの表示指示が停止する(表示指示が停止してから実際に表示されなくなるまでの秒数は海図表示プログラムの設定による)。ただし、落水者からの受信が続く場合はまた警告ウィンドウが表示される。



### 2-3-3 アプリケーションのソフトウェア構成

本アプリケーションおよび周辺のソフトウェア構成を図3に示す。LoRa受信機やGNSS受信機のセンテンスはシリアルポート(COMポート)から受信できるものと想定し、これを変換プログラムによってUDPパケットに変換して本アプリケーションや海図表示プログラムに送っている。また本アプリケーションから海図表示ソフトウェアに対してもUDPパケットで落水者位置等のデータをAISセンテンス(AIVDM)の形で送っている。変換部分を外せば、UDPで提供されるGNSSパケットにも対応することができる。

UDPパケットはLANを通じて他のPCIに送ることができるばかりでなく、船舶に搭載されたECDISに対しても送ることができることから、落水者を示すアイコンはPC上だけでなくECDISでも表示することができ、またインターネット回線を経て遠隔地にある海図表示装置や本アプリケーションなどに送って同様の表示をすることもできる。

# 1. 実施状況

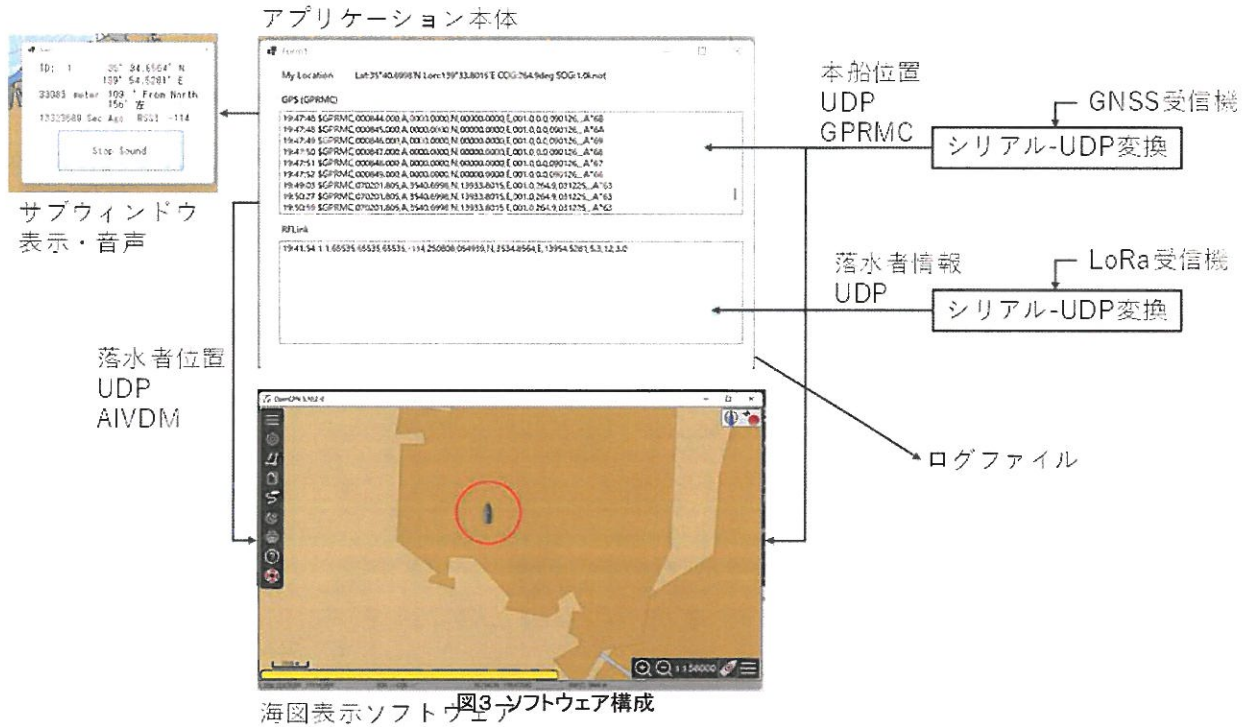


図3 ソフトウェア構成

LoRa受信センテンスは、発注元より提示されたRFLINK社の汎用LoRa受信機の出カセンテンスにあわせて構成している。またGNSS受信センテンスはNMEA0183準拠のGPRMCセンテンスに対応している。これらのセンテンスのフォーマットはプログラム内にハードコードされているため、他社の受信機、またはカスタムメイドの受信機を使用する際は、その出カセンテンスにあわせてプログラムを一部変更し再コンパイルする必要がある。

## まとめ

落水者が発生した際の情報をいち早く通知し、かつ視覚的に位置を把握しそこに駆け付けるために有用と考えられる機能を組み込み、アプリケーションを作成した。

汎用的なUDP等の通信を使用しているため、いろいろな付加機能を追加することもできる。例えば漁業者が落水した際に自動で主機を停止させたり、パトライトを点灯させたりサイレンを鳴らして周辺他船に視覚・聴覚的に知らせたり、Starlinkや汎用回線を利用して周辺他船や陸上の漁業無線局に自動で通知するなどの応用が考えられる。一方で、手軽な利用を考えるとAndroid端末などへの展開も重要であり、今後の課題となる。

本アプリケーションの利用のみならず、これをひな形として様々な方向に展開し、水難事故を少しでも軽減する一助となることを強く望む。

## 既存船舶搭載の電子海図との連携

タグボートに搭載されている電子海図の調査を目的として関係各所を通じ見学を依頼したが、対象船舶には電子海図が搭載されていないことが判明し、見学は断念した。

その後の調査により、日本水路協会の「New Pec(PC版)」およびマッフル・オン社の「New Pec Smart(タブレット版)」を確認し、いずれも大型船舶用電子海図とほぼ同等の機能を有することが分かった。

特に「New Pec Smart」は操作性に優れ、小型船舶向けの法定船舶用参考図として広く利用されている。

また、マッフル・オン社に本開発品との連携可能性を打診したところ、前向きな反応が得られたため、当社とのNDA締結を進めている。

## 今後の進め方

マッフル・オン社との連携が実現した場合、「New Pec Smart」側のアプリをバージョンアップすることにより、参考図上にAIS機能を活用した落水検知機能を追加することが可能となる。

その後、日本水路協会の「New Pec」との連携についても、段階的に検討・推進していきたい。

## 1. 実施状況

### 2-4 アンテナの選定

アンテナの大きさ、無指向性及び利得(dbm)の高い外付けアンテナを選定した。

### 2-5 電池の選定

発信機と同じカメラ用リチウム一次電池を選定した。既存の電源を使用する場合は必要に応じて、DC-DCコンバーター昇降圧を組み込み定電圧にする必要がある。

また、自然エネルギー(風力発電や太陽電池)を電源とする場合は、リチウム二次電池に変更する必要がある。

### 2-6 防水容器の改良設計・試作

中継器及び受信機兼用の防水性の高い容器の改良設計・試作を行うにあたり、容器内にどんなものを収めるかを事前に決めておく必要がある。また、特に中継器を船舶の高所の場所に設置する場合、電源の問題がある。その為、自然エネルギーを利用した電源を構築する必要がある。簡易で安全性の高い二次電池とソーラーパネルを利用して、電源を確保することにした。

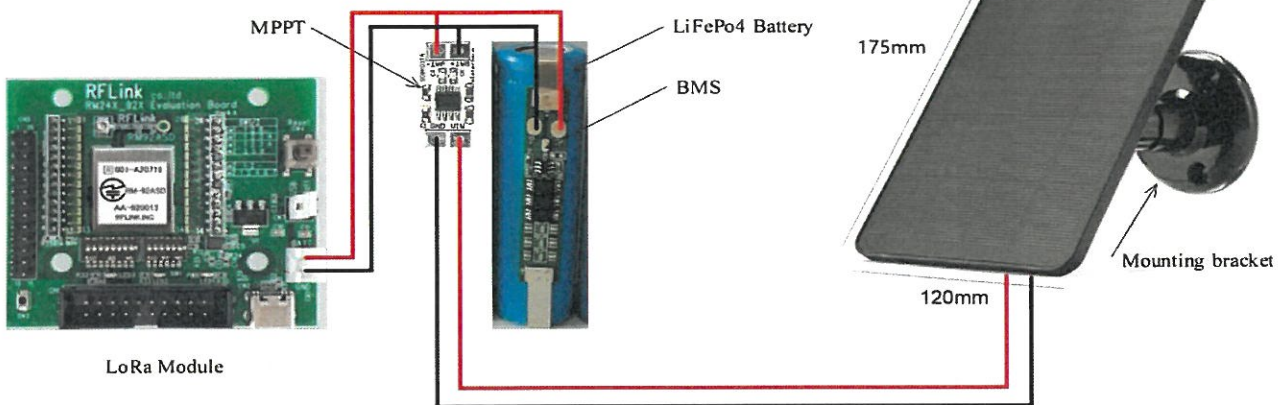
#### 中継器

- ・ LoRa Module(容器内)
- ・ 外付けアンテナ同軸ケーブル付き アンテナ(容器外)
- ・ リン酸鉄リチウム二次電池(容器内)  
正極にリン酸鉄を使用した長寿命で安全性の高い蓄電池で、熱安定性が極めて高く発火リスクが低い上、約2,000~6,000回以上の充放電サイクルが可能で、ポータブル電源や電気自動車(EV)向けに普及している二次電池(3.2V)
- ・ BMS: Battery Management System(容器内)  
リチウムイオン電池などの充電式電池の安全管理を行う「バッテリーマネジメントシステム」を指し、過充電・過熱・過放電を防ぎ、電気自動車(EV)や機器の安全性と寿命を確保するシステム
- ・ MPPT: Maximum Power Point Tracking(容器内)  
太陽光パネルの日射量や温度変化に合わせて、発電電力が最大となる「電圧×電流」の組み合わせ(動作点)をリアルタイムに自動計算し、常に最大限の電力を取り出すシステム
- ・ ソーラーパネル(容器外)  
10W 5V ソーラーパネル サイズ175mm×120mmのパネル 出力電圧5V、ノイズの原因となるDC-DCコンバーター不要
- ・ 回路等の固定用樹脂板+ねじ
- ・ 電源供給用電線防水ゴム部品
- ・ 容器内内外圧調整弁

#### 受信機

- ・ LoRa Module With Bluetooth(容器内)
- ・ 外付けアンテナ同軸ケーブル付き アンテナ(容器外)
- ・ 回路等の固定用樹脂板+ねじ
- ・ USB用電線防水ゴム部品
- ・ 容器内内外圧調整弁

#### 配線のイメージ

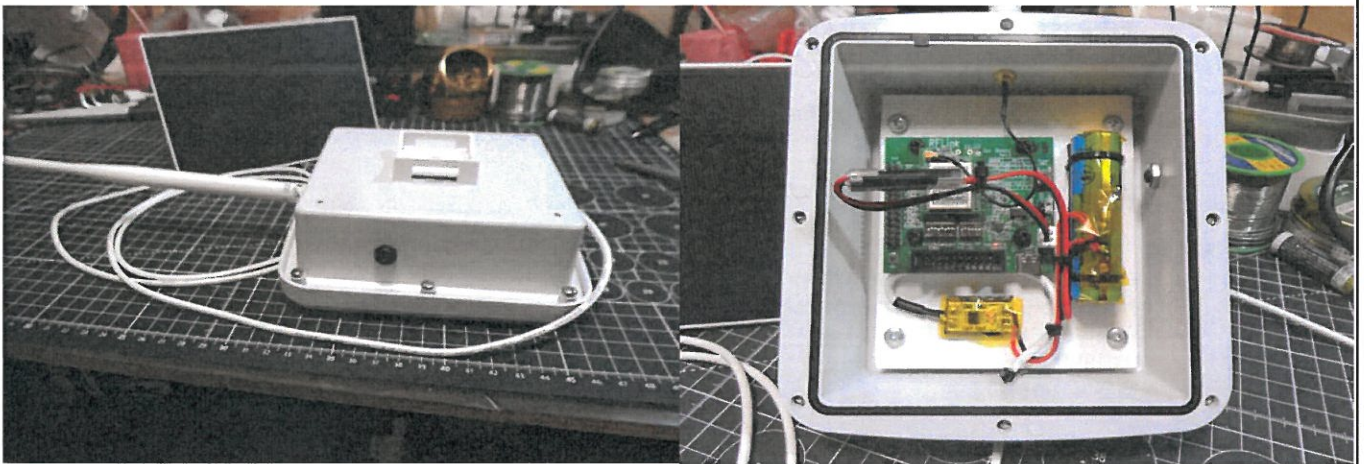


## 1. 実施状況

### 2-6 防水容器の改良設計・試作

設計・試作にあたり、次の事項を考慮した。

- 野外に設置した場合、太陽光の影響により防水容器内部の温度が上昇し、内圧の増加に伴って容器が膨張する。一方、冬季の低温環境下では内部圧力が低下し、容器が収縮・変形する場合がある。  
このような温度変化に起因する筐体内圧の変動に対応するため、通気性を有しつつ水分や粉塵の侵入を防止可能なメンブレンフィルターを用いたプロテクティブベントを採用した。  
本構造により、筐体内外の圧力差を適切に緩和するとともに、水蒸気の排出を促進し、結露の発生抑制にも有効である。
- 大型船舶のマスト部や電柱等への設置を想定し、取付対象への穴加工を必要としない構造とした。これにより、既設設備への影響を最小限に抑えつつ、施工性の向上を図った。  
また、屋外での長期使用を考慮し、耐候性に優れたASA樹脂製のポールマウントブラケットを採用した。本材質は紫外線による劣化が生じにくく、過酷な環境下においても安定した性能維持が可能である。
- 上述のソーラーパネルと蓄電池を組み合わせ、自然エネルギーを活用した自立型電源システムを構築した。
- 防水性能は、IP68完全防水PC/ASA樹脂ボックス  
水深1M・24時間水没に耐える完全防水ボックス、耐熱性・難燃性に優れたPC/ASA樹脂製  
用途：屋外通信器、IoTゲートウェイ、接続箱
- 防水容器内部には極力樹脂製のスペーサーや樹脂製ネジを使用して、電波の反射を抑える設計とした。
- ソーラーパネルには、出力電圧5V、出力電力10Wの仕様を採用し、船上において水平設置とする構成とした。  
また、本電源容量は本システムの運用に対して十分な余裕を有している。



ソーラーパネルと中継器防水容器

自立型電源システム構築した中継器内部

以上