

第 137 回 日本航海学会 講演会 航空宇宙研究会
2017 年 10 月 21 日

無数のドローンが飛び交う状況になる前に考えたいこと

塩見 格一 (福井医療大学)

研究の背景（私の現状認識：1）

1) 2017年時点において、ドローンは一般的なニュースで取り上げられるようになった。

← 10月12日、カナダでドローンが飛行機に衝突した。

2) AI 関連技術と共に、21世紀の物流革命を予感させる技術的な成果としてマルチコプターが、政治家や投資家からも注目されている。

← 2020年の東京オリンピックまでには・・・。

技術者がどれ程に興味を持っていても、その中から起業家が出現しなければ、その技術的な成果が世に問われたり多くの人の役に立ったりすることはない。2017年時点では既に、マルチコプターとAIは、20世紀の黎明期に初期的な起業家が啓蒙と普及を目指していたパラダイムから、単純なものは子供の玩具になり、触ったこともなかった人々がビジネスモデルの提案をする程のパラダイムに移行している。

研究の背景（私の現状認識：2）

3) 2017年時点のドローンは、過去のラジオコントロールの飛行機やヘリコプターとは全く異なる飛翔体に進化している。

← 最初のラジコン機は 1930年代には既に存在していた。

← ラジコン機は航空写真の撮影や農薬散布等に利用されてきた。

→ 自律飛行のための AI を搭載し操縦が容易である。

→ 安全運航のための機能冗長性を有している。

(例えば、4～6のローターを有するマルチコプターは1つのローターが停止しても飛行を継続できる。)

→ その物流手段としての機能の割には安価である（?）。

※) ドローンと呼ばれる飛翔体としては、物流用のマルチコプターを想定しています。

研究の背景（私の現状認識：3）

4) 2017年時点、ドローンのハードウェアは実用性を示すレベルにあるが、オペレーション・ソフトウェアは未成熟で、関連法の整備は「法の整備は、技術の進歩に遅れる。」との過去の例に従っている。

← 実用性を支える技術：

- [1] モーターと電池の（驚く程の）性能向上,
- [2] 自律飛行に係る制御装置の性能向上,
- [3] 情報交換に係る社会基盤の整備, 等々。

→ 未成熟なソフトウェアと法整備：

- [1] 現状は、利用実績だけがニュースになるレベル,
- [2] 6/26 朝日新聞によれば NEDO/JAXA が規則作りに動き・・・

研究の背景（私の現状認識：4）

高性能な h/w と未成熟な s/w . . . ,

「h/w と s/w の成熟レベルが全く整合していない“お寒い”現状」があるのですが、

5) 運用規則が十分に整備されていない状況での運用は必ず破綻する。

→ 経験に学べば「起きるかもしれない事故は必ず起きる。」

事故が起これば、結果的に「誰かがツケを払うことになる。」のですが、誰かにツケを払わせても良いのですか？ あなたが払うことになるのかも知れないのですが、自覚や覚悟はありますか？

← 技術優先・性能優先では、中長期的に発展・普及させ、社会基盤として有効に活用されるための規則を作り上げることはできない。

← そもそも、一般市民にとって、ドローンは危険な飛翔体である。

自動車の普及によって馬車のための交通規則が自動車に対応するように発展しましたが、この場合も技術の進歩に法の整備は遅れていたのであって、技術が急速に高度化している現状において、歴史を繰り返しても良いのですか？

私たちの進めてきた関連研究の経緯

1) 受動型レーダーの研究開発・試作開発を続けてきました。

→ ADS-B では不十分な需要に対して供給しています。

2014 年頃からは、

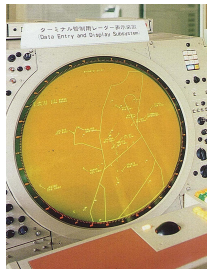
2) ドローンの監視手段の研究開発・試作開発を進めています。

← 「ドローンを開始したい。」 需要への対応を検討した。

- ・ PPSR でドローンの監視が可能であるか？ 否か？ 検証してみた。
- ・ 10 GHz 帯を利用して小型のレーダーを試作してみた。
- ・ スマートフォンとの小電力通信を利用して監視網を構築するためのトランシーバーを試作した。

現状の航空機監視システム ASR (SSR/PSR) と 受動型 SSR

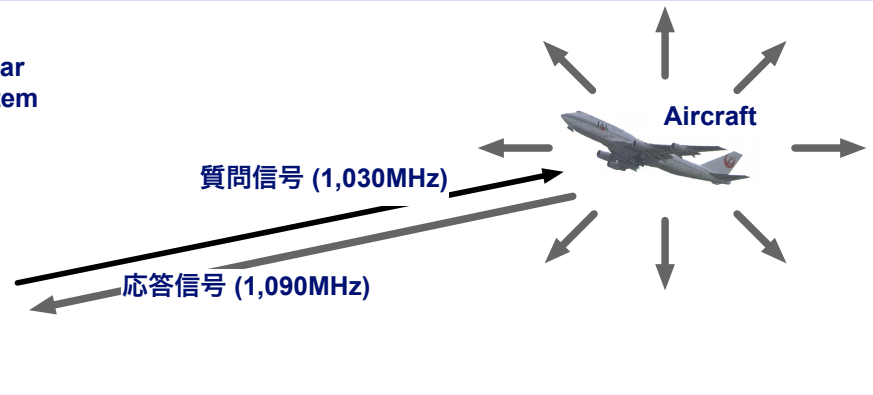
SSR: Secondary Surveillance Radar
 ASR: Primary Airport Surveillance Radar
 ARTS: Automated Radar Terminal System



ARTS-Display



SSR/ASR



私たちの進めてきた関連研究の経緯 - 2

↓ エトセトラの試行錯誤の結果として

一般的な航空機に比較して数桁小型で、自動車程度の速度で、数十分だけ低空を飛行する、多数のドローンを十分に実用的な精度で同時に観測するためには、現行の航空機用の ADS-B では対応し得ないが、

3) ADS-B に類する手法の併用が必要不可欠であると考えた。。

↓ エトセトラの試行錯誤の結果として

結論としては、

4) 階層構造を有する監視情報網の構築が必要不可欠である。

- ・ プロトコルとしては、AIS 及び ADS-B に類するものを発展させて実現する。

← 覆域が十分に狭ければ TDMA が技術的に容易である。

ドローンの運用管理システムの構成要素

1) ドローン監視用センサー・システム

- 第1フェーズは運用管理 と 衝突防止
- 第2フェーズは侵入検出

2) ドローン監視情報ネットワーク

- ビジネス・モデルに対応した監視機能要件は？
- 広域監視機能要件は？

センサー及び管理システムの構築の前提条件の設定

第1フェーズ：運用管理と衝突防止

近い将来の物流等サービスにおける運用を想定すれば、

- 1) 遵法運用されるドローンを管理する。
- 2) 社会基盤としての安全性・信頼性を確保する。
- 3) ドローン自身が識別情報・位置情報等を発出する。

第2フェーズ：侵入検出

悪意を持って運用されるドローンを検出するためには、

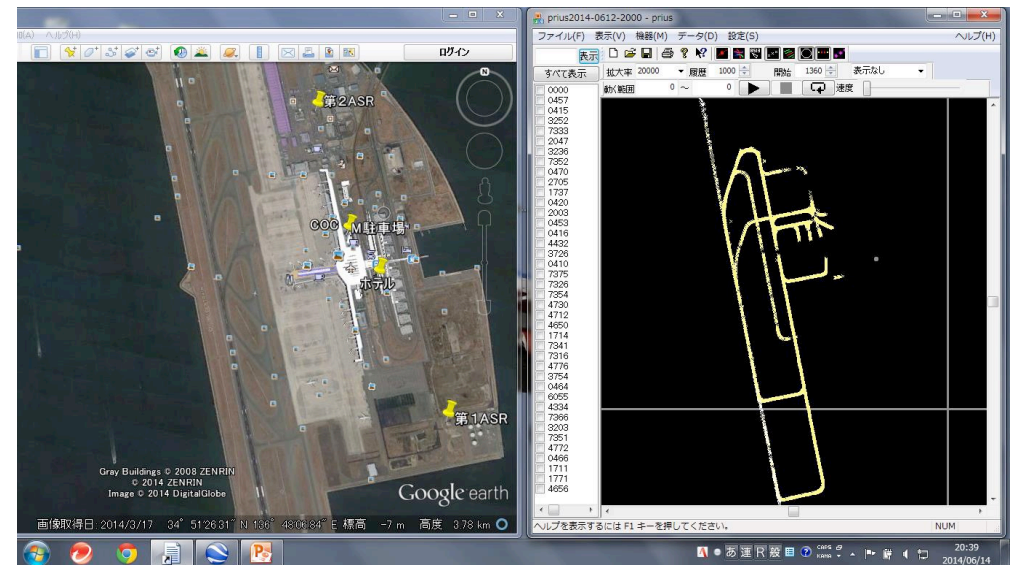
- 1) 全ての遵法運用されるドローンの管理が必要不可欠である。
- 2) ドローン自身が管理に有効な情報を発信することは期待できない。

可能な限り速やかに第1フェーズを実用化しなければ、第2フェーズへの対応は難しい。

第1フェーズ：運用管理と衝突防止に係る試作開発

ADS-B により航空機と同様な監視は可能か？

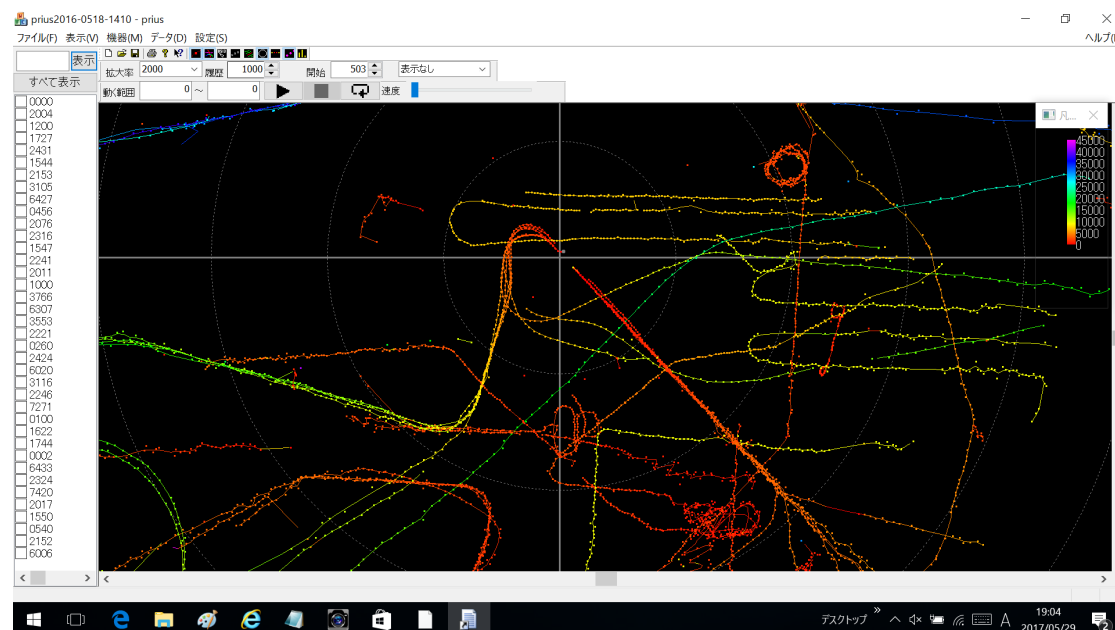
- 個々のドローンに低電力 ADS-B 送信機を搭載し，自身の識別情報と位置情報（GPS座標）を放送させ，マルチパス対応の ADS-B 受信機（+ホスト PC）により監視する。
- 放送周波数と信号形式は，航空機搭載の応答機に合わせ SSR 互換性を実現する。
- 右図は中部国際空港滑走路の航空写真であり，右は試作したマルチパス除去受信機により受信した ADS-B 情報によりプロットした航空機の航跡である。
- なお，ADS-B 形態による監視だけでは，“成り済まし”や“偽像妨害”を防ぐことは殆ど不可能であるから，並行してレーダー及び受動型レーダーによる監視は，社会基盤としての安全性の確保の観点から必要不可欠と考えられる。



第1フェーズ： 運用管理と衝突防止に係る試作開発 - 2

Mode-A/C 応答機搭載による PSSR 方式による監視は可能か？

- 個々のドローンに低電力 Mode-A/C 応答機を搭載し、近隣の SSR からの質問信号に応答させ、応答信号は、受動型SSR (+ホスト PC) により監視する。
- 応答周波数と信号形式は、航空機搭載の応答機に合わせ SSR 互換性を実現する。
- 低電力： 信号の到達距離を制限して、親局 SSR に妨害を与えない様に設定する。
- 右図は受動型 SSR により観測した航空機の航跡であり、航跡の色は航空機の高度に対応させている。
- 監視覆域は、ドローンの飛行高度に依存するが、低電力応答機の空中線出力を ~10W としても ~20km 程度の覆域は実現可能と考えられる。



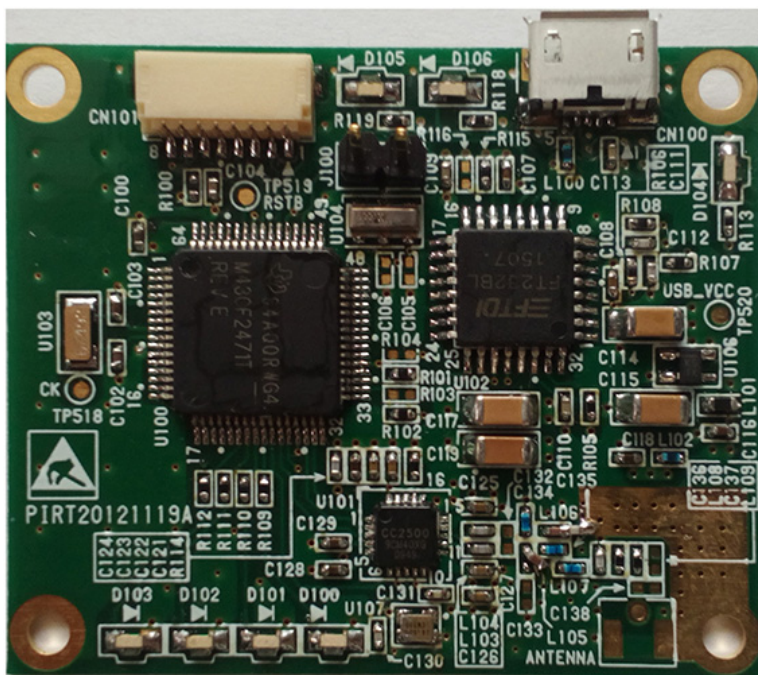
第1フェーズ：運用管理と衝突防止に係る試作開発 - 3.1

応答機搭載によるスマートフォン端末監視網は可能か？

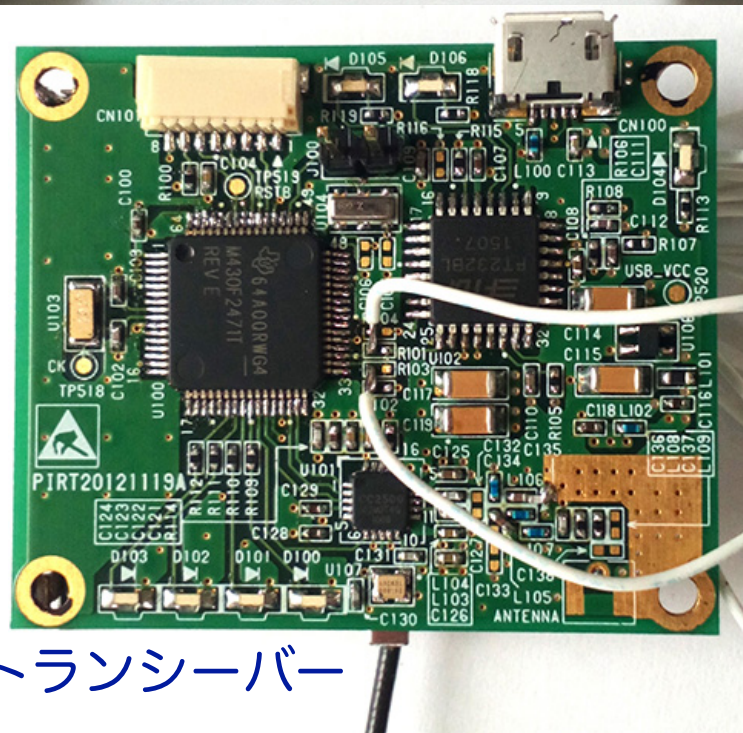
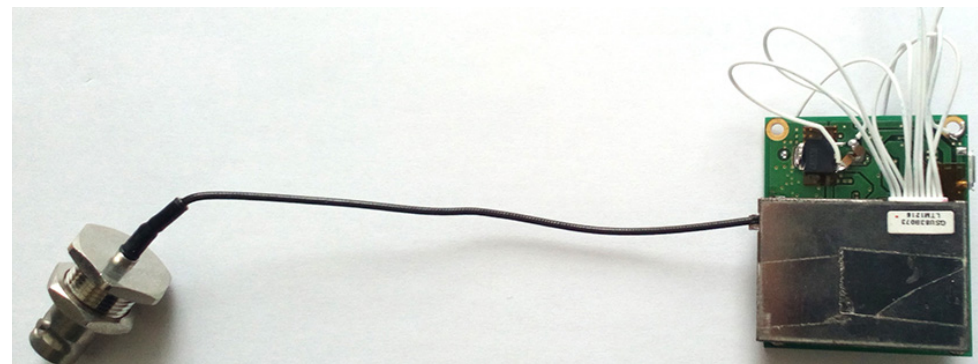
- ドローンに 2.4GHz あるいは 5.2GHz の発振器を搭載し、ID & 緯度経度高度情報を送信する。ドローン監視アプリを起動した（ボランティアのあるいはインセンティブを付与した）スマートフォンを地上に多数配置しておき、ドローンからの情報を受けた場合には、その受信時刻と自己位置を記録するとともにドローン監視センターに送出する。
- ドローン監視センターでは、全国あるいは、予め設定する監視覆域あるスマホからの情報を集めて、必要に応じてマルチラレーション測位もして、各ドローンの位置を確定し、必要に応じて配信等のサービスを行う。
- ドローンからの情報発信には 315MHz などの微小電力帯も利用可能と考えられるが、その場合には、半径数百メートルがコアセルとなるので、各コアセルに1台以上のスマートフォン端末が存在している必要がある。
- Docomo 提案による、“単に SIM 端末を各ドローンに積むだけ”方式では、ドローンの数が増えた時の輻湊を解消することはできない、と思われる。

第1フェーズ：運用管理と衝突防止に係る試作開発 - 3.2

応答機搭載によるスマートフォン端末監視網は可能か？



スマートフォン側トランシーバー



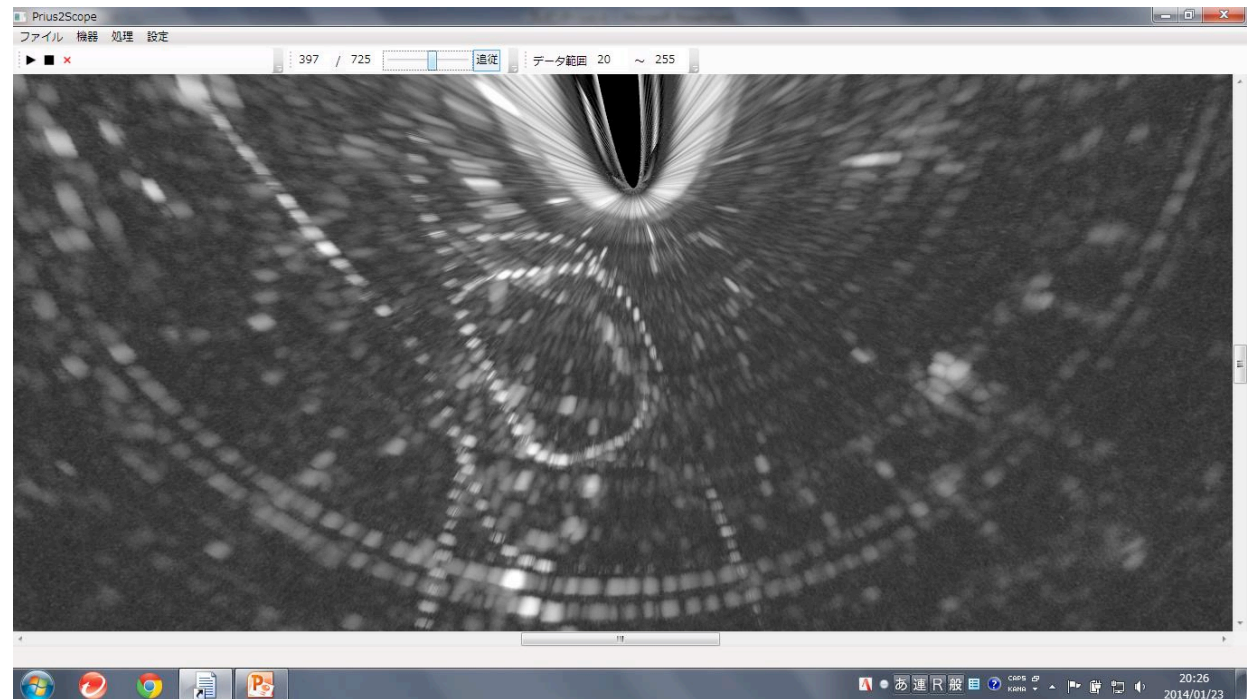
ドローン側トランシーバー

第2フェーズ： 侵入検出に係る試作開発

受動型レーダーによる検出は可能か？

- 最寄り PSR を親局とし、飛行体からの PSR 走査信号の反射を、受動型レーダー(+ホスト PC) により受信し、レーダー画像として表示する。
- ビルや鉄塔、地形等による固定物体のレーダー・エコーを識別除去し、また MTI (Moving Target Indicator) 技術により、移動体の確実な検出を可能とする。
- 受動型レーダーには、親局のプロファイリング機能を実現可能であり、既存の施設がそのまま利用可能である。

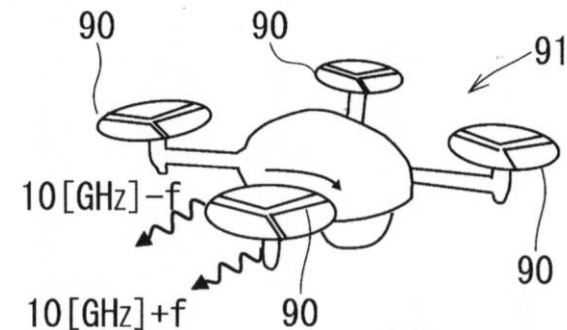
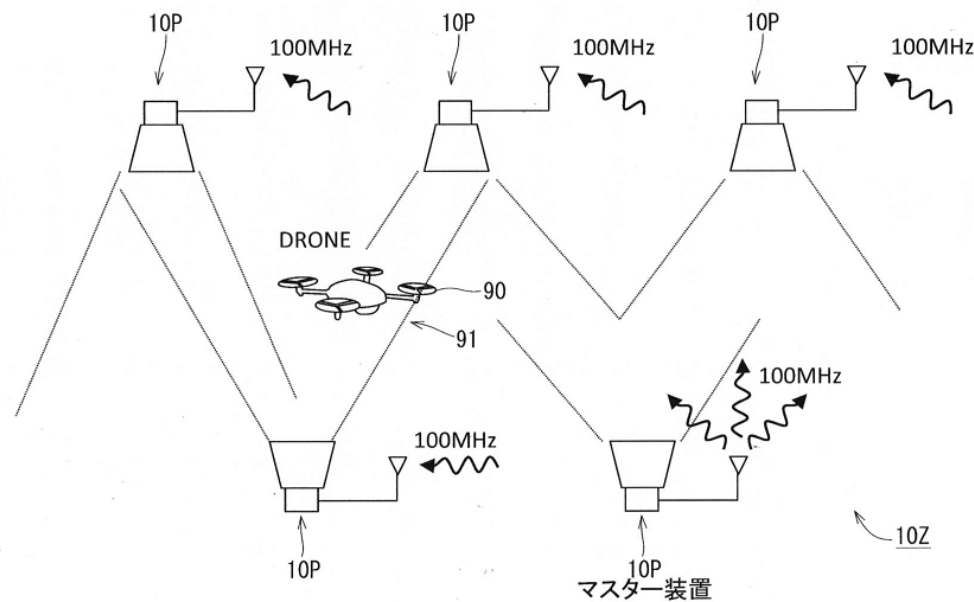
- 右図は、受動型 PSR により観測したレーダー・イメージを重ね合わせたものであり、一連の“白点”として小型ヘリコプターの飛行航跡が観測されている。



第2フェーズ： 侵入検出に係る試作開発 - 2

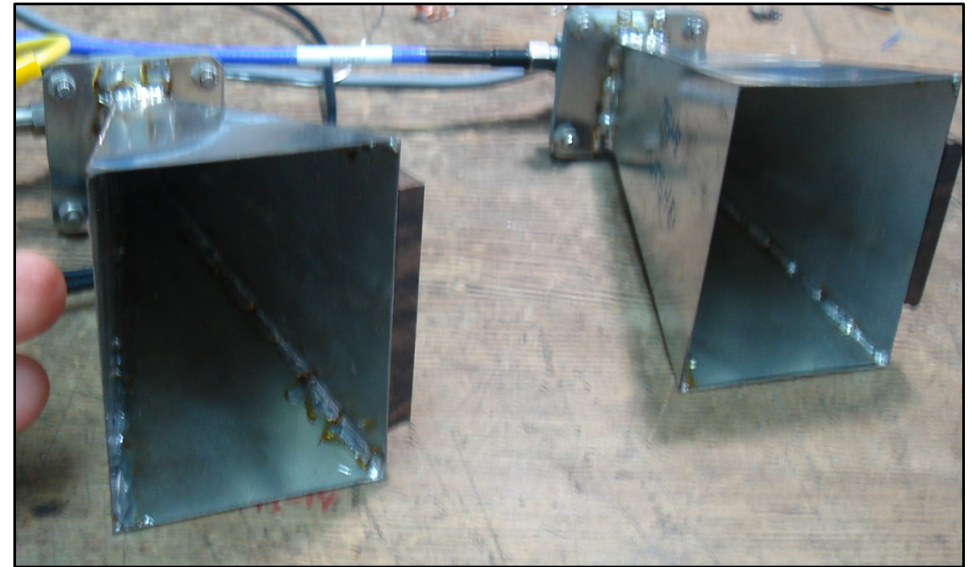
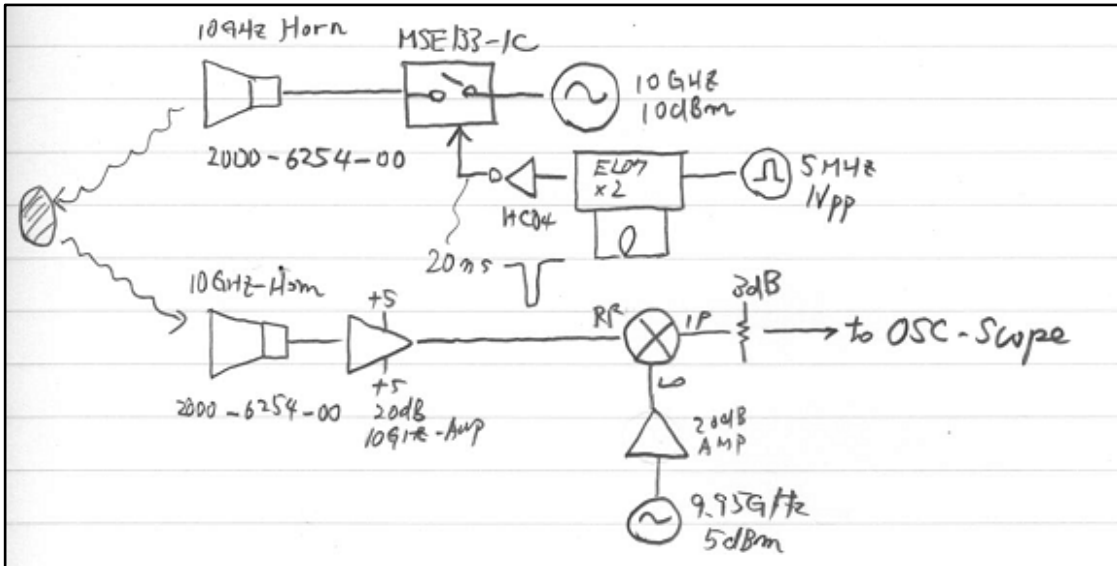
ドップラー・エコーによるドローンの自動検出は可能か？

- ・ マイクロ波を照射し、その反射波（エコー）において、ドローンのプロペラの回転によるドップラーシフトを検出する。
- ・ プロペラ回転は正負の両方が存在するので、ドップラーシフトも $+\Delta f$ と $-\Delta f$ の両方が同量対称に存在することから、この特徴を以ってドローンを識別することが可能となる。（プロペラが高速で回転していることを認識できるので、鳥や大型の虫との区別ができる。）

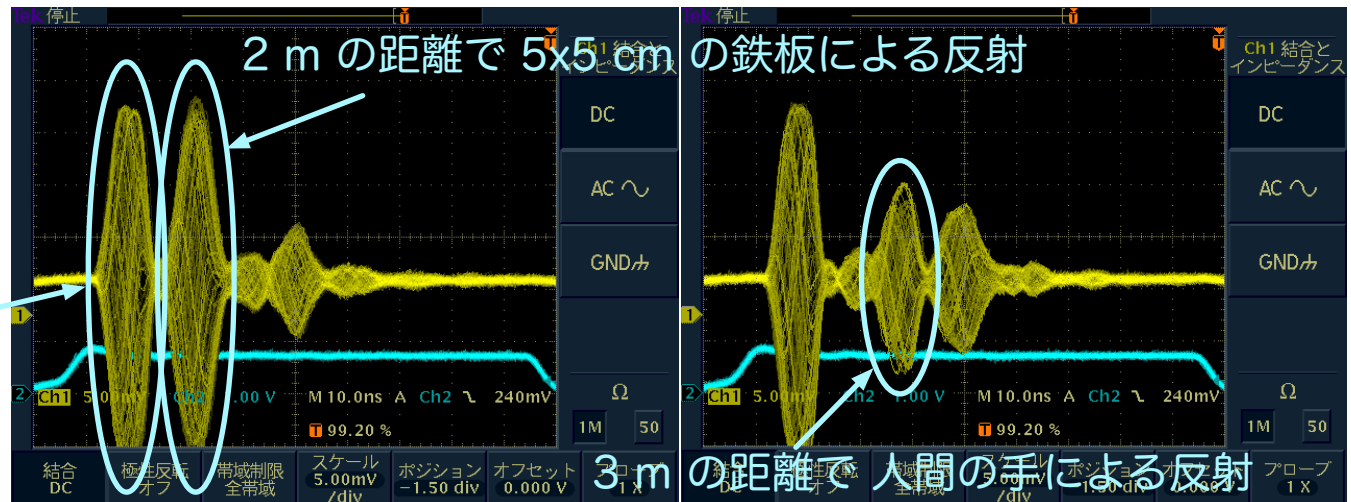


第2フェーズ： 侵入検出に係る試作開発 - 3

10GHz の省電力レーダーを試作し、ドップラーシフトの観測を試みた。

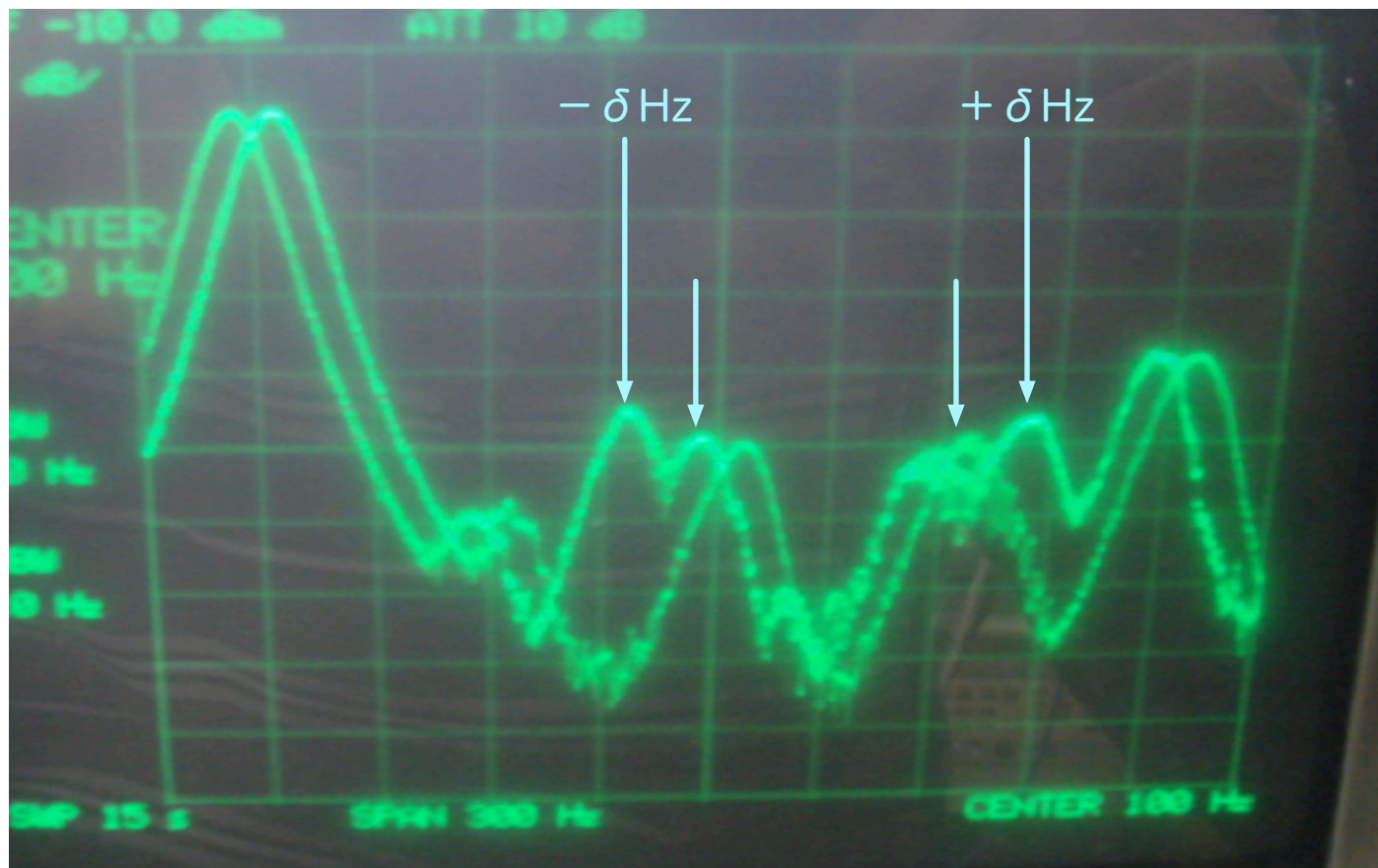


探査パルス



第2フェーズ： 侵入検出に係る試作開発 - 4

試作した10GHz レーダーにより観測したドップラーシフト。



1つのローターのみを回転させてローターによる反射波の周波数を観測した。送信周波数に対して $\pm\delta$ Hz のドップラー・シフトによる反射波のスペクトルが観測されるので、ローターの識別が可能と期待される。

ドローン監視情報ネットワークに係る考察

1) ドローンの運用に関する現状

→ 日本における現状と、世界のビジネス・モデル

2) ドローン監視情報ネットワーク

→ ビジネス・モデルに対応した監視機能要件は？

ドローン監視情報ネットワークに係る考察

日本における、ドローンを活用するビジネス・モデルはどのようなものか？

1) 2017年時点で日本には、20以上の関連協議会が存在し、・・・

- ・ JDC：一般社団法人 日本ドローンコンソーシアム
- ・ JUTM：一般財団法人 日本無人機運行管理コンソーシアム
- ・ JDA：一般社団法人 日本ドローン協会
- ・ SDC：一般社団法人 セキュアドローン協議会
- ・ JMSA：一般社団法人 日本無人航空機安全協会　・・・・・・・・

ドローンによる競技を楽しむことを目的とした協会等も多いが、将来的な社会基盤としての可能性をビジネスに繋げようとする協議会は、「新たな産業・市場の創造支援とその健全な発展への貢献」と「国際活動や地方創生活動への貢献」を目的として掲げ、「運航規則等安全ガイドラインの策定」や「操縦技能証明等の認証ビジネス」における主導権の獲得を目指している。

Zipline 社によるビジネス・モデル

2017年時点において、先進国や開発途上国を問わず、世界では、毎年数百万人の人々が、医薬品が間に合わない事により命を落としており、医薬品を迅速に遠隔地に送り届ける需要が存在する。

米国 カリフォルニアに本拠を置く Zipline 社は、2016年10月からルワンダで輸血用の血液を運ぶプロジェクトを開始した。同社は、2017年8月24日、タンザニアに100機以上のドローンを運用し1,000ヶ所以上の医療施設に約2,000回毎日のドローン輸送を行う世界最大のドローンによる医薬品（血液、抗毒血清、狂犬病ワクチン、等々）の物流網を構築する計画を発表した。また同社は「同国内に4ヶ所の物流拠点を開設し、それぞれ30機程度のドローンを運用し、医療機関からの依頼に対して30分以内に医薬品を届けられるようにする。」としている。なお Zipline 社は、現状でのドローンの1配送にかかる経費は、自動車を用いた場合とほぼ同等と見積もっている。

Zipline 社によるビジネス・モデルを日本に適用させれば・・・

タンザニアは国土面積 945k km₂、人口 46M人で、日本は 377k km₂、人口 126M人である。

先のタンザニアにおけるビジネスを日本で行うとすれば、タンザニアでは 100 機のドローンを運用して1日の総便数は 2k (1kヶ所に 1日 2便) なので、日本では人口は3倍なのでドローンの機数は 300 機、総便数は 6k とし、国土の面積は 1/2.5くらいなので目的地の数を 400 ヶ所とすれば、個々の目的地に毎日 15便 (?) となる。

毎回の飛行時間を仮に1時間とすれば、また 24 時間運用とすれば、いつも 200 機程度は運用されていることになり、平均的な飛行時間が 1.5 時間を越えれば、300 機全ては殆ど常時運用されていることになる。

ドローン監視システムとして SSR, ADS-B, AIS は有効か？

日本の国土面積に対して 300機のドローンとすれば、単純には 1k km² 強に1機であり、平均的に半径 10 kmの円内に1機のドローンがいるとすれば、この程度の交通量であれば、

- 1) 各ドローンに現用の SSR応答器を搭載すれば、航空機と同様に SSRによる監視は十分に可能と考えられる。
- 2) 現用の ADS-Bも有効と考えられ、MLAT/WAM も有効と考えられる。
- 3) AIS は、船名、船種、等を発信する VHF帯 (25kHz-W, 9.6kbps, 256 bits/slot, 2,250 slots/m) SOTDMA 無線機器によるシステムで、海上では覆域半径 20km が想定されており、ドローンの監視に有効と考えられる。

しかし、歴史が教えるように、便利なものの普及は急激であって、例えば LANの通信速度は10年程度で3桁くらいは速くなっている。ドローンによる物流についても、仮に2桁機数が増えれば、

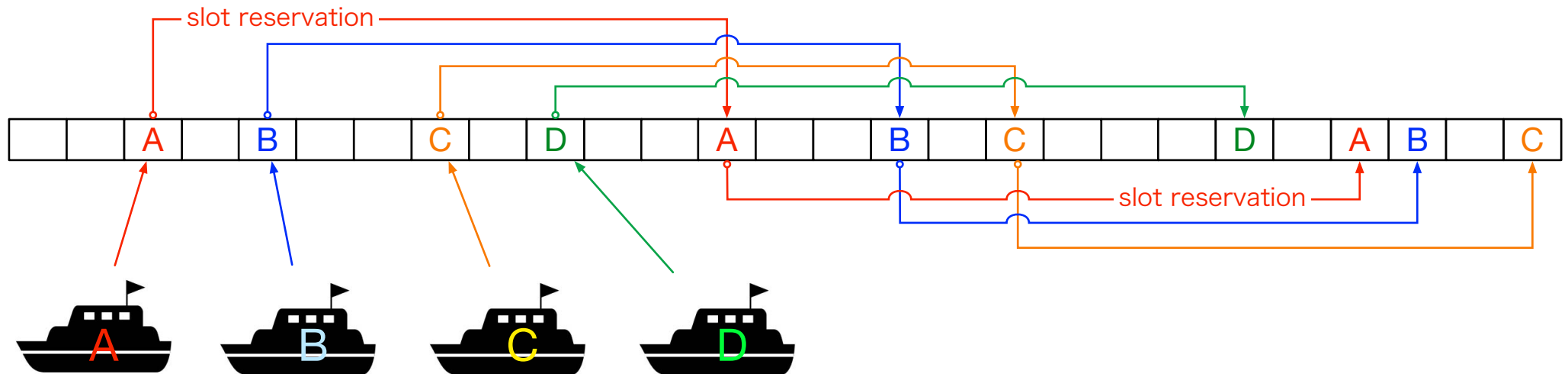
ドローン監視システムとして SSR, ADS-B, AIS は有効か？

「平均的に半径 10 kmの円内に1機のドローンが運用されているとすれば、SSR, ADS-B, MLAT/WAM, AIS と現用の監視・通信システムは、それぞれ有効と考えられた。」が、歴史が教えるように、便利なものの普及は急激であって、例えばLANの通信速度は10年程度で3桁くらいは速くなっている。「ドローンによる物流においても、2桁機数が増えれば、ドローン間の平均的なセパレーションは 2km程度になり、現用のシステムによる監視は不可能になる。」と考えられる。

当然のことながら「ドローンが集中する空域も発生して、必然的な帰結として渋滞も発生する。」と考えられる。

AIS (船舶自動識別システム : Automatic Identification System)

- 1) 装置としてのAISは、識別符号 (MMSI: 海上移動業務識別コード) , 船名, 船種, 位置, 針路, 速力, 目的地, 積載物などのデータを発信する SOTDMA (Self Organized Time Division Multiple Access) 方式のVHF帯デジタル無線機器です。
- 2) 利用周波数は AIS-1: CH87B 161.975 MHz, AIS-2: H88B 162.025 MHzの 2波であり, 各帯域幅は 25 kHzです。

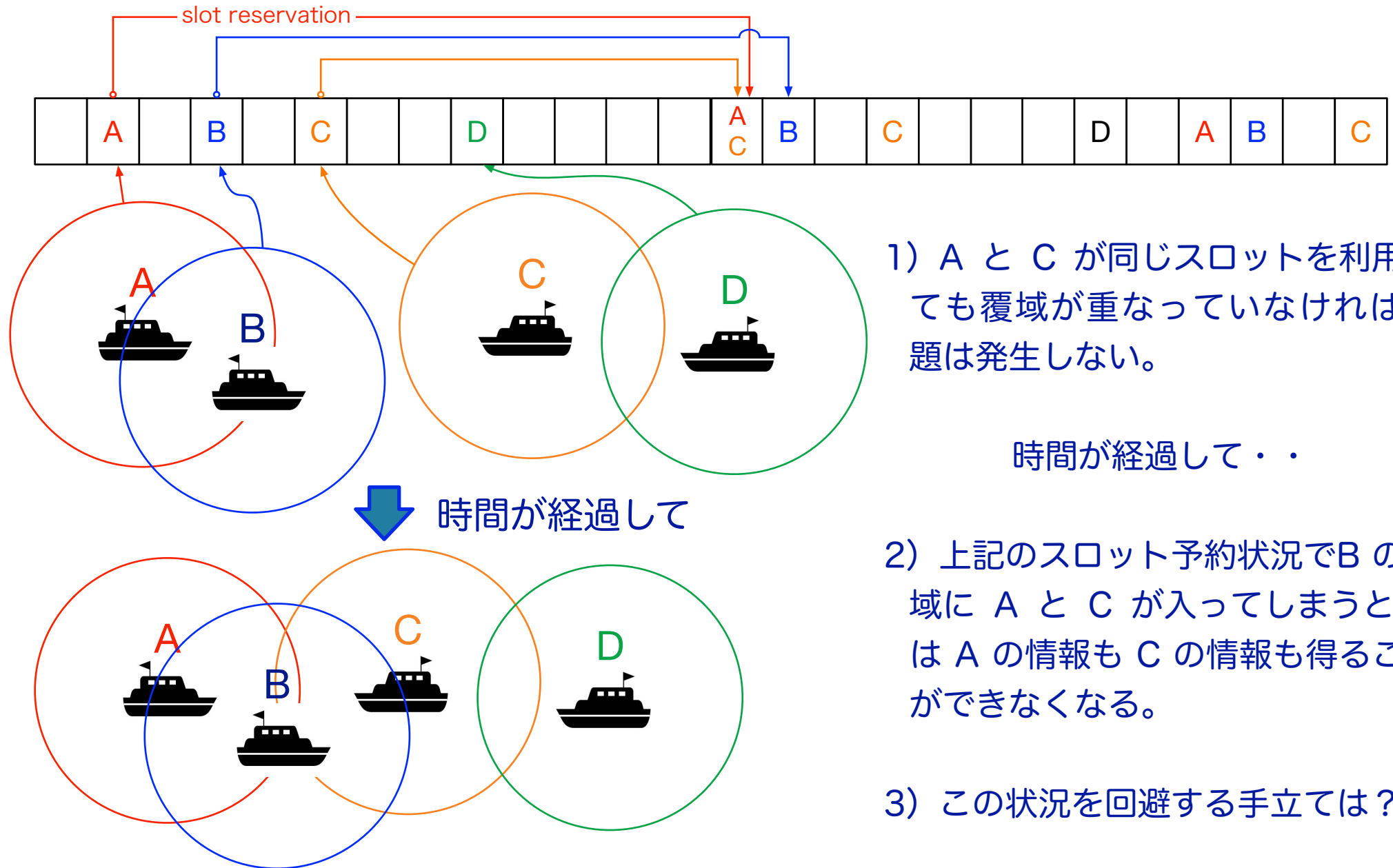


AIS の情報配信方式とフォーマット

2) SOTDMA, 9,600 bps, 256 bits/slot, 2,250 slots/m

パラメーター	ビット数	説明
信号文 ID	6	通信文の識別子： 1, 2 または 3
DTE	1	データ・ターミナル・レディ (0: 利用可, 1: 利用不可)
データ表示子	1	伝送データ有無の表示 (0: 無し, 1: 有り)
利用者 ID	30	MMSI 番号
航海状況	2	0: 航海中, 1: 錨泊, 2: 支配下でない, 3: 操船不自由
回頭率	8	±127 度/分, (-128 は利用不可を示す), 外部センサ
SOG	10	1/10 kt 刻みの対地速力 (0-102.4 kt)
位置精度	1	1: 高 (<10 m), 0: 低 (> 10 m)
経度	28	1/10,000 分刻みの経度 (180 度, 東: 正, 西: 負)
緯度	27	1/10,000 分刻みの緯度 (90 度, 北: 正, 南: 負)
COG	12	1/10 度 刻みの対地針路 (0-3599)
船首方位	9	度 (0-359) (511 は利用不可を表示), 外部センサ
タイム・スタンプ	6	報告生成 UTC 秒 (0~59, 又は測位システムが非動作なら 63)
予備	9	未使用
通信の状態	18	同期状態, スロット・タイムアウト, 副通信文
全ビット数	168	

AIS における情報喪失問題



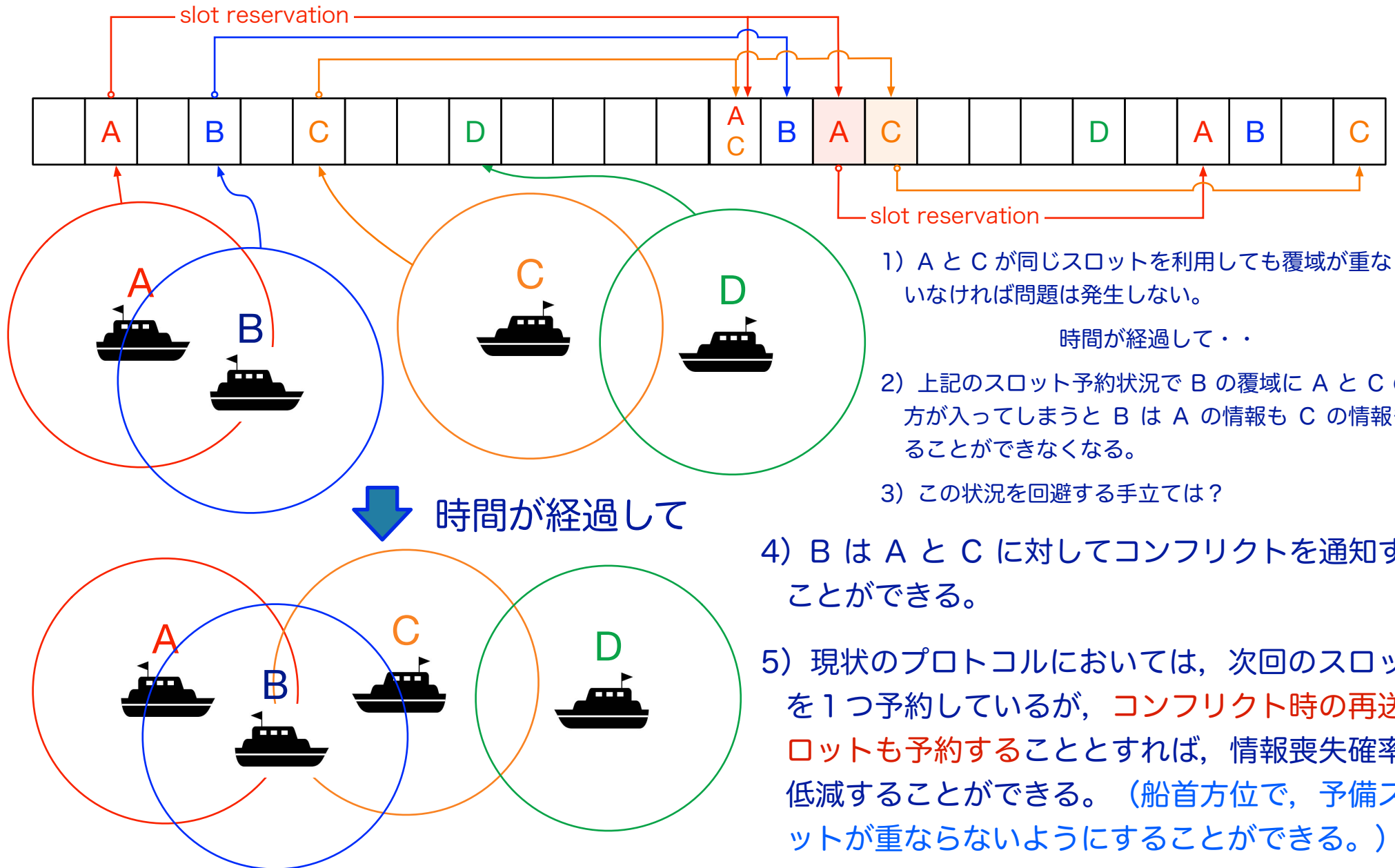
1) A と C が同じスロットを利用しても覆域が重なっていないければ問題は発生しない。

時間が経過して・・・

2) 上記のスロット予約状況でB の覆域に A と C が入ってしまうと B は A の情報も C の情報も得ることができなくなる。

3) この状況を回避する手立ては？

AIS における情報喪失問題



ドローン監視システムとして SSR, ADS-B, AIS 技術の活用を考える！

- 1) SSR Mode-A/C 応答は、先頭フレーム・パルスから末尾フレーム・パルスまで約 $20\mu\text{s}$ もあり、高密度にドローンが存在する場合、空間占有時間が長過ぎる。
 - 現用 SSR へ妨害を与えない様に 1,090 MHz での応答はやめる？
 - ガーブルを防ぐために空間占有時間を短くする？
(セパレーションが 500 m であれば $1\mu\text{s}$ 程度に抑える。データは乗るのか？)
- 2) SSR Mode-S で全てのドローンに個別質問を行うことは、ドローンの機数が多過ぎて不可能であり、ADS-B であっても発出信号の空間占有時間は 56 bits の場合に $64\mu\text{s}$ (112 bits の場合には $120\mu\text{s}$) であり、発出信号の到達距離を短く制限しない限りは、ガーブルは避けられそうもない。
- 3) AIS をそのまま利用することは、その処理容量において全く不可能と考えられるが、ドローンの監視空域の基本単位を AIS と同程度 (覆域半径として 10 km 程度) と想定すれば、SOTDMA に要するガード・タイムは 0.1 ms 程度で十分であり、SSR 応答信号と同程度の帯域を確保すれば、0.4 ms で 300 bits 程度の情報は十分に伝送可能であり、毎秒 2k slots のシステムが可能と考えられる。

ドローン監視システムとして SSR, ADS-B, AIS 技術の活用を考える！

- 4) 監視空域の基本単位として覆域半径 10 km を想定し、5 MHz の通信帯域を確保できれば、毎秒 2k slots (～400 bits/slot) の TDMA 方式による相互通信監視システムが実現可能と考えられる。(AIS の 200 倍程度の処理容量を想定する。)
- 5) ドローンの監視頻度を 0.1 秒とすれば「200 の TDMA 通信スロットを上手く利用して、隣接する監視覆域内のドローンとの調整も付けながら、監視覆域内の全てのドローンの監視情報を配信する。」スロット内のデータ構造と、スロットを相互に利用するプロトコルを構築できれば、有効な監視システムが実現される。

当然のことながら、通信帯域が 1 MHz しか確保できなければ、処理容量は 1/5 になり、利用できるスロット数も 1/5 になるが、システム・デザインは同じだから、・・・

- 6) 監視空域・時間単位内に存在するドローンの機数がスロット数以下の場合には AIS と同程度のデータ構造とプロトコルで対応可能と思われるので、存在するドローンの機数がスロット数以上の場合について検討する必要がある。

ドローン監視システムとして SSR, ADS-B, AIS 技術の活用を考える！

- 7) 監視空域・時間単位内に設定可能なスロット数よりも多くドローンが存在する場合、戦闘機等の編隊飛行と同様に、近接する複数のドローンを1つのグループとして、共通の通信スロットで、グループを構成するドローン全てに係る必要情報を発信しなければならない。
- 8) グローバルな情報交換システムと並行して、ローカルで付加的なグループを管理する情報交換システムを階層的に実現することが必要と考えられる。
- 9) 4色で地図が塗り分けられるので、上位階層のグローバルな情報交換システムにおいて隣接する監視単位内のアドホック・ネットワークは個々の通信覆域を十分に小さく設定し、4つの異なる周波数、あるいは相互に干渉しない通信手段を利用することで、並存が可能となる。
- 10) 相互監視のネットワークの多段階層化は、各階層における覆域を適正に設定することで十分に可能と考えられ、また最上位の階層において監視単位相互のデータ交換プロトコルを適正に設定できれば、FIR 規模、更には地球規模まで、共通監視覆域を拡大することも可能と思われる。

更なる発展を考える： 監視単位相互のデータ交換プロトコル

空域に A, B, C, D, E, ……., X, Y, Z と、隣接するオブジェクト間で通信が可能な距離をおいて存在している状況を想定し、各オブジェクトはAとZへ向けてデータをリレーすることを考える。



TDMA を想定して、データ・リレー・プロトコルを検討する。

TDMA のスロットとして a, b, c, d, ……., x, y, z を設定する。通常の FATDMA では、スロット a の利用者はいつも A であって、スロット b の利用者はいつも B であって・・・であるが、データ・リレーでは、スロット a はオブジェクト A を起源とする情報を配信するために、スロット b はオブジェクト B を起源とする情報を配信するために・・・利用することとする。

監視単位相互のデータ交換プロトコル

→ Z → A → B → C → D → → → → X → Y → Z → A →

- 1) TDMA の全スロットを1巡する時間を1単位時間とする。
- 2) 時刻1において、A がスロット a において情報 a1 を発信して、B が a1 を受信する。B はスロット b において情報 b1 を発信して、A と C が b1 を受信する。C はスロットcにおいて情報 c1 を発信して、B と D が c1 を受信する。
- 3) 時刻2において、A は、a において B が (A の発信した情報) a1 を C に対して中継する状況をモニターする。B は、a において a1 を C に対して発信し、且つ、b において C が (B の発信した情報) b1 を D に対して中継する状況をモニターする。C は、b において b1 を D に対して発信し、且つ、c において D が (C の発信した情報) c1 を E に対して中継する状況をモニターする。
- 4) 時刻3において、A は、a において B が「C が a1 を D に中継する状況をモニターする。」のを妨害しないように、次に発信する情報 a4 を準備して待機する。
- 5) 時刻4において、A が a において情報 a4 を発信して、B が a4 を受信する。またa において a1 は E から F に中継される。

監視単位相互のデータ交換プロトコル

1) A を起源とする情報をリレーする場合： スロット (A) を使用する。



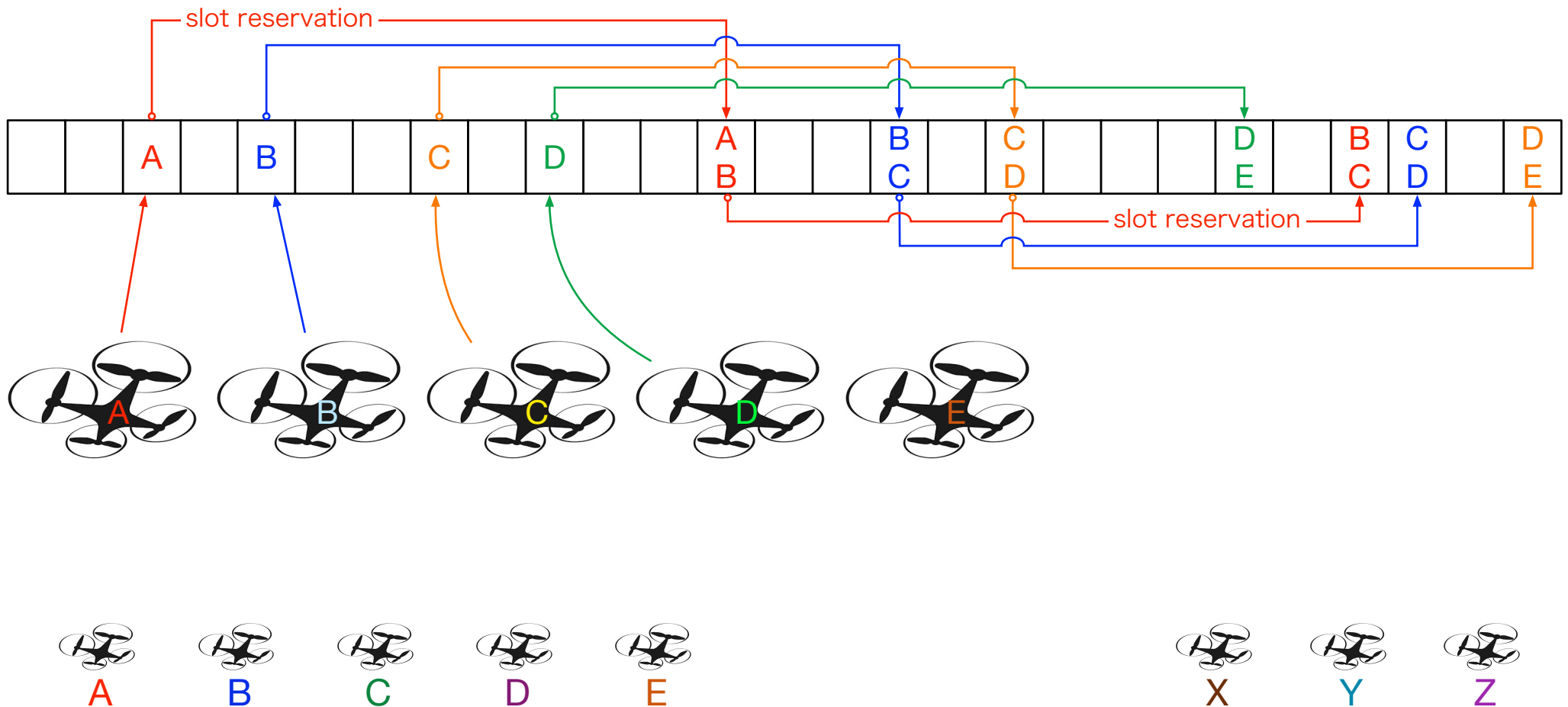
監視単位相互のデータ交換プロトコル

$A \rightleftharpoons B \rightleftharpoons C \rightleftharpoons D \rightleftharpoons \rightleftharpoons \rightleftharpoons \rightleftharpoons \rightleftharpoons X \rightleftharpoons Y \rightleftharpoons Z$

- 6) スロット p はオブジェクト P を起源とする情報の中継に使われており、各オブジェクト (M) は各スロットにおいて時刻 $n-1$ に情報を受信したら、時刻 n で同じスロットで情報を発信 (中継) し、時刻 $n+1$ では中継先のオブジェクト (N) が情報を中継する状況を監視し、時刻 $n+2$ では中継先のオブジェクト (N) における監視を妨害しないように待機 (同時に次の情報を受信) する。「発信」「監視」「受信 (発信する情報の準備/待機)」を繰り返すことで、3単位の時間を1情報発信周期として、システム全体に情報を伝播させていくことが可能となる。各オブジェクトは近隣のオブジェクトについては新しい情報を有しており、遠くのオブジェクトについては、少し前の時間の情報を有していることになる。
- 7) 上記プロトコルの説明においては、情報は A から Z に向かって伝送されることを想定したが、受信と監視は同等な機能であるから、情報を A から Z に向かって伝えると同時に、 Z から A に向かって伝えることも可能である。
- 8) 上記プロトコルにおいては、AIS のような“割込み”による自律的な通信スロットの獲得を想定していないので、システムとしてはスロットの管理者を要する。管理者を要さない自律的なシステムとするためには、更に一工夫が必要である。

AIS にデータ・リレー・プロトコルを組み込んで・・・

- 1) 情報の発信においては、その情報の中継に使用するスロットと、その中継を依頼する中継局を予約することにする。



おわりに

- 1) ドローンの監視において有効性の期待される幾つかの方式について、現状の技術状況を確認し、ドローンの監視への適用に必要なと考えられる要件や特性を検討した。
- 2) センサー技術に関して試作開発の成果を紹介した。
- 3) スマートフォンをセンサーとして利用する監視網のコンセプトを提案しました。
 - コンセプトを評価するためのトランシーバーも試作しました。
 - スマートフォン側のサービス・アプリは年内の試作を目指しています。

物流ネットワークの維持に要する監視システムの処理容量を見積もり、

- 4) 階層構造有する監視情報の集配信ネットワークの必要性を述べた。

実は、“親”ドローンが多数の“子”ドローンを統制した形態での運用が好ましい。

おわりに

提供されるシステムが便利であれば、経常的な処理容量不足は歴史的な真実であるから、

5) 多様性と拡張性の確保を常に心懸ける必要がある。

現状のドローンが未だ発展途上であることは明らかで、現状における技術優先・性能優先では中長期的に社会基盤として有効なものに発展・普及させることは難しい。現在、将来的な社会基盤とし有効なものとするためには、その活用に係る公平・適正な規則・枠組みが必要である。

6) 「ドローン検出用の 10 GHz 帯のレーダー」、また「ドローンとスマートフォンとを結ぶトランシーバー」、他にご興味のある方はご連絡ください。

to kakuichishiomi@me.com