

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24241058

研究課題名(和文)鳥・航空機および鳥・鳥無線通信による鳥インフルエンザモニタ網の基礎研究

研究課題名(英文)Basic research on the network for monitoring of avian influenza structured by bird-to-bird and aircraft-to-bird telecommunications

研究代表者

中島 功 (NAKAJIMA, Isao)

東海大学・医学部・教授

研究者番号：00183509

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：時分割タブレット方式による同報型パケット無線通信を実装・開発し、鳥・鳥で自動的にファイル交換を行う技術、トポロジーを端末レベルで把握する技術、さらに航空機・鳥のデータ通信としてADS-Bの受信、航空機の窓枠パッチで鳥から同報信号を受信する双方向同報通信を確立した。試作した端末は技術基準適合認定を得ており、ハクチョウに搭載し、個々の日々の生体データや位置情報を相互に交換し、一羽でも日本に帰還すれば、体外から三軸角速度計で計測したそれぞれの個体の呼吸数、心拍数、骨格筋の状態が把握でき、鳥の健康状態を把握できるので、この技術は鳥インフルエンザのスクリーニングに役立ちパンデミックを未然に防げる。

研究成果の概要(英文)：The researchers have developed and implemented the technology of multicast wireless packet system assigning the token tablet by time sharing to support the bird-to-bird telecommunications that can perform automatic file exchange at each terminal with recognizing the network topology by itself and of aircraft-to-bird two-way multicast that can bring a new ID-data collecting system using with ADS-B on 1090MHz and with window patch antenna on the aircraft on 2450MHz. They expressed that this technique shall be extremely effective for screening of the avian influenza and for the pandemic prevention and has already confirmed the technical standard from the Japanese authority, intend to attach on wild swan to get daily vital signs and navigation data with exchanging files by each terminal to bring back all birds' health data such as respiratory rate, heart rate, strain of the skeletal muscle measured by 3-axial angle accelerometers when one could fly back to Japan.

研究分野：通信工学、生体医用工学、災害医療、感染症、鳥類学、遺伝子情報学

 キーワード：危機管理 情報通信工学 電子航法 ウイルス パケット通信 ネットワークトポロジー 生体情報  
ADS-B

## 1. 研究開始当初の背景

低病原性インフルエンザの「低」はヒトにとって時に猛毒

鳥に対する低病原性インフルエンザウイルスとは、感染させた 75%未満の個体が死に至ることで、75%以上が高病原性インフルエンザウイルスとなる。75%未満の死亡率であるので、低病原性であっても鳥に症状が出ないと妄信しているのは悪質な家禽業者か、知識の無い研究者だけである。H5N1 のヒトにおける死亡率(罹患率ではない点に注意)は 60%以上であるが、75%未満なので、鳥の定義からすれば H5N1 だって低病原性レベルとなる。これを定義している国際獣疫事務局(OIE)は、わが国で言えば農林水産省系の国際機関で、世界的に鳥を売りさばくための営利団体から強い圧力を受け、高病原性という語彙の定義を信じられないレベルに押し上げている点に留意して欲しい。低病原性鳥インフルエンザ H7N9 においては、PB2 上にある塩基が 1 つ置き換わっただけで、RNA ポリメラーゼのリリース温度が 41 度(鳥体温)から 37 度(ヒト体温)に下がり、ヒト感染が容易になっている。なお、鳥型シアル酸レセプターを消化管や肺胞 II 型細胞に有しているヒトが存在するので、そのような鳥型レセプターを有したヒトは PB2 の塩基が 1 つ置き換わった H7N9 が容易に感染する。中国ではスズメにすら H7N9 が感染しており、すでに死亡者が 370 名以上でている。もし季節性インフルエンザとハイブリッドを起せば、パンデミックになるリスクを抱えている。そのため渡り鳥の罹患する低病原性鳥インフルエンザ感染のスクリーニングが予防の鍵となる。

## 2. 研究の目的

### (1) 鳥・鳥通信

鳥・鳥通信のファイル管理 自立した鳥・鳥通信のため、ファイルのテーブル管理(ファイルマネージャ)を開発し、ファイルテ-

ブルを相互に交換し、所有していないファイルを相手から得る、あるいは先方に転送する仕組みを実装し、鳥・鳥通信を確立する。

### (2) 航空機・鳥通信

航空機窓用アレーパッチアンテナを設計、試作し利得、およびパターン計測を行う。NF を改善させるため各パッチアンテナに各 LNA 素子を実装し、増幅後に位相合成を行い、空間的に上下にスキャンするアンテナを開発し、地上のポケット端末からの信号を受信する。

航空機からの同報通信(ADS-B:Automatic Dependent Surveillance Broadcast)を検出する回路を試作し、ハクチョウに搭載するパッチアンテナで 1.09GHz 信号検出する。

### (3) 角速度計などセンサーによるバイタルサインの確保

## 3. 研究の方法

### (1) 鳥・鳥通信

#### 鳥・鳥通信

ハクチョウに搭載するポケット無線端末が多対多のファイル交換を効率良く行うための時分割タブレット方式による同報通信ポケット無線プロトコールを開発した。ハクチョウが夏季に繁殖のため訪問するロシアやモンゴルの原野やツンドラには人家もなければ携帯電話の中継器もない。仮に衛星通信を行うことを想定しても自由空間伝搬損失が地上波に比して極めて大きいので多量の情報を送り届ける事は難しい。そこで蓄積転送型の無線通信で、この悪環境を乗り切る方法を検討した。

無線通信は、周波数、変調方式、前方誤り訂正(Forward Error Correction, FEC)、マンチェスター符号化(Manchester code)などが決まっても、次の 2 つの時間軸の同期が成り立ち初め通信が成立する。

#### マクロ同期

何時何分から通信を開始するという取り決め、鳥・鳥通信では、太陽電池からの電力

の関係で現地時間の昼間、2時間ごとに0分00秒から通信を開始する。

#### マイクロ同期

受信した信号よりクロック成分を取り出し、符号化を求めていく。受信クロックの再生は、受信素子CC2500内部で行われる。

繁殖地であっても餌の取れる湿地帯に流れ込む河口は限られており、狭い範囲であることが現地調査（判っており、マクロの同期を決めれば、無線通信が成り立つ。2.4GHz出力10mW（0dBiアンテナ使用の場合）鳥・鳥間の通信距離は伝送速度250kbps（MSK）で200mを想定している。

パケット無線通信とはデータを小さなまとまりに分割して一つ一つ送受信する無線の通信方式で、分割されたデータは、送信先のアドレスやデータのフレーム番号、CRCなどを加えて送る方式で、アマチュア無線ではAX.25という通信プロトコルで1980年代から運用されている。携帯電話との違いは、子局同士（端末と端末）が通信をし、他のデータを持ち帰ることのできる点で、ハクチョウの場合、同一の通信端末を持った個体が居れば、すべての個体の生体データを1羽が持ち帰ることが論理的には可能となる。すでに総務省傘下の機関から無線局の技術基準適合認定書を13局（子局）、1局（センター局）を得ている。



図1. 技術基準適合認定を頂いた端末（子局）マルチキャスト通信（多対多通信）

時分割タレット方式による同報通信の概要とその効用を説明する。

周波数資源が限られ、限局した空間に多数の端末が存在する通信環境で、CS（キャリアセンス）が準備された受信機を使用すること

を想定する。全通信時間と参加局端末数（最大40局）の関係をパケット無線通信における1対1通信と本プロトコルとのシミュレーションを図2に示した。

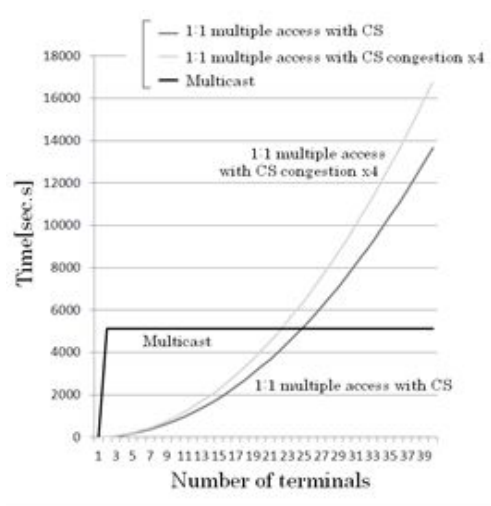


図2. 参加無線端末数と全通信所要時間の関係

250kbps マンチェスター符号化（+）、28KBの各局が保有する当日の生体ファイルを相互に持ち合うケースを想定し、それぞれのパケットでは誤り訂正が発生しないと仮定し、通信完了までの時間と局数を比較すると図3のごとくとなる。パケット衝突のまったく無い理想環境では参加無線端末数が25局以上、1回の対面通信で4回のパケット衝突がある場合は参加局が23局以上ならば、マルチキャストが有利となることが伺える。実際にはチャンネル数が極めて限られてくるので、1対1通信でパケット衝突が発生し、呼損率は大きくなり、相関曲線の傾きは起き上がってくるので、時分割タレット方式マルチキャストのプロトコルがパケットの衝突がないので極めて有利である。

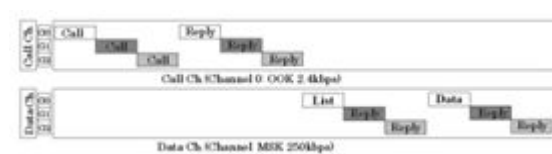


図3. 時分割タレット方式のパケット送信のタイミング（n=3の場合）

主な手順

## 送信モードの動作

1. 設定時刻まで待機
2. CC2500初期化
3. 周波数設定
4. 変調方式設定
5. エラーコレクション設定
6. データ速度設定
7. 送信出力設定
8. 送信FIFOのクリア
9. パケット長設定
10. 送信FIFOへのデータ書き込み
11. 送信周波数の空き確認
12. パケット送信
13. データ終了まで8からの動作繰り返し
14. 受信モードに移行

生体データは28KB(固定フォーマット・固定長)の日報に書き込む。なおRAMは8MBと32GB(microSD)の2つが搭載されている。

### 1対1通信

マルチキャストではどうしても成り立たないファイル交換が生じた場合、直接、相手をコールできるフラグを使用する。これは一般的なCS(キャリアセンス)マルチプルアクセスとなる。つぎのプログラムをC言語で準備している。

**最短距離 ルートの検出(ダイクストラ法 Dijkstra's Algorithm)**

最短経路問題を効率的に解くグラフ理論におけるアルゴリズムで、スタート端末からゴール端末までの最短距離とその経路を求めることができる。無向グラフだとして扱った場合のハクチョウの基板上での処理する。

```
int a[N+1][N+1]={ { 0,0,0,0,0,0,0,0},
                  { 0,0,1,0,0,0,0,0},
                  { 0,1,0,1,0,0,0,0},
                  { 0,0,3,1,0,0,1,0},
                  { 0,0,2,0,0,1,0,0},
                  { 0,0,0,0,2,0,1,1},
                  { 0,0,0,5,0,1,0,1},
                  { 0,0,0,0,0,2,1,0}};
```

```
int v[N+1]; void lkerutokoro(int);
{ int i; for (i=1;i<=N;i++) v[i]=0
lkerutokoro(1); }
```

ネットワークトポロジーの把握するための関数

### Degree Centrality

相互に通信の対象性が保たれている端末をスコア1、受信だけ、送信だけの状態をスコア0とし、一つの端末と隣接している別の端末の合計数を Degree Centrality とする。この値は構造的なネットワークの形状は考慮せず、端末が周囲に多く居る局は集団の中心に居るということで、このスコアで送信権が順に優先的に与えられる。

### Closeness

送信出力、アンテナ利得が同一ならば、端末の受信電力と自由空間伝搬損失の式から各端末のそれぞれの距離  $r$  が得られる。これはそれぞれがどれだけ空間的なトポロジー関係にあるのかを  $r$  でスコア化する。NET という拡張子のファイルにはそれぞれの受信電力と距離  $r$  が記載されているので、このスコアから1対1通信でのファイル転送ルートをゲートウェイさせる最短距離を算出するのにも使われる。

また Closeness がある閾値を越している端末を最初から排除してしまい、再送要求を頻繁に出させないなどネットワーク全体への負担を軽減させる。

### Betweenness

端末がどれだけの数ゲートウェイとして自局を利用するかをスコアとして表す。この値が高い局はパケットの衝突が多く、無駄な輻輳が増加することがシミュレーションより判っているので、1対1通信のファイル転送では、閾値を越した端末に関して別なバイパスルートを設定する。鳥の場合、むしろ端末が自由に動く事が多いので、次の時間帯にファイル転送を延期させる対処、つまりネッ

トワークト構造を「カラガラポン」させる対処をとる。

#### Eigenvector

各端末の中心性スコアは隣接する行列の中心性スコアに比例し、隣接する端末の中心性を加算する。中心性が高い端末の隣にいる端末は、他に比して情報を得やすいというスコアである。Eigenvector が高いスコアの渡り鳥が一羽だけ日本に帰還しても、群れ全体のファイルの多くを持ち返ったと判断することができる。

#### (2) 航空機・鳥通信

##### 航空機・鳥通信

これには GPS より受信電力が約 80dB 強い航空機が 1090MHz, 500W, 00K で平均 6.1 回/秒送信する ADS-B 信号を使う。直交する 2 つのパラメーター、ドップラーシフトと受信電力より航空機と鳥との相対的な位置関係がそれぞれ最小二乗法で算出できる。

##### 鳥・航空機通信

日本国内では出力が限定されており、航空機の窓枠に付けた 10dBi のアンテナでは半径 10km 程度、出力が大きなロシアなどでは半径約 50km 圏内に航空機が飛来すれば、端末から ID や位置情報を伝送できる事を野外実験で確認している。

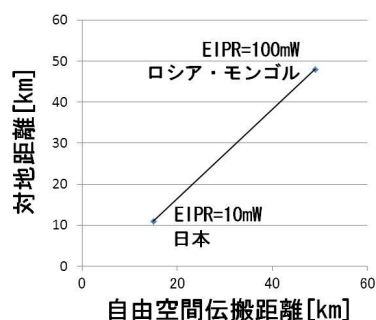


図 4 . 出力と通信距離の関係

#### (3) 角速度計などセンサーによるバイタルサインの確保

体外に搭載した 3 軸の角速度計より羽ばたき、歩行、呼吸、心拍、骨格筋の動きをモニタした。これらのデータと心電図、気嚢圧などとの相関を記録し、分析した。

#### 4 . 研究成果

鳥・鳥通信のプロトコルを確立し、さらに航空機・鳥のデータ通信(相互に同報通信)が成り立つことを検証した。試作した端末はすでに山階鳥類研究所に納品されており、実際にハクチョウに搭載して、生体データや位置情報の確保の検証が行われる。渡り鳥の健康状態を ICT でモニタする一助になれば幸いである。

#### 5 . 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 9 件)

北野利彦, 中田薫, 中島功, 猪口貞樹, レオニド アンドロチコ. ダイクストラ法によるパケットネットワークのトポロジー管理. 日本遠隔医療学会雑誌. 査読有. 10:226 - 228, 2014. 10. ISSN1880 - 800X

猪口貞樹, 北野利彦, 中田薫, 中島功, レオニド アンドロチコ. 生物学的な特徴を有する自立分散パケット通信 多数決の原理に基づいた符号復元の効用. 日本遠隔医療学会雑誌. 査読有. 10:229 - 231, 2014. 10. ISSN1880 - 800X

中田薫, 中島功, 北野利彦, 猪口貞樹, レオニド アンドロチコ. 日本産キジにおける生体データ・角速度の計測. 日本遠隔医療学会雑誌 10:232 - 233, 2014. 10. ISSN1880 - 800X

Isao Nakajima, Kaoru Nakada, Sadaki Inokuchi. Mathematical Study on Possibility of Pandemics < Avian Influenza in the Jomon Period based on the SIR Model >. Indian Journal of Medical Informatics. 査読有. vol.8:103-104. 2014. ISSN0973-0379

Isao Nakajima, Toshihiko Kitano, Kaoru Nakada, Masaaki Katayama. Research and development on an ultra-compact bird-borne S-band transceiver. The 9th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications (MITA2013) 査読有: 119-123, 2013, ISSN 1975-4736

Takaaki Kinoue, Syed Muhammad Baqui Billah, AHM Shafiqur Rahman, Kaoru Nakada, Toshihiko Kitano, Isao Nakajima. Country Specificity of Occurrence of Avian Influenza -Cases from Bangladesh, and ICT use for surveillance-. The 9th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications (MITA2013) . 査読有.:111-114. 2013. ISSN 1975-4736

中島功, 北野利彦, 中田薫, レオニド アンドロチコ, 猪口貞樹. 鳥搭載超小型 4ch 心電計データロガーの開発. 日本遠隔医療学会雑誌. 査読有. 9:185 - 186, 2013. 10.

ISSN1880 - 800X

北野利彦, 中田 薫, 中島功, 猪口貞樹. 日本産キジに背負わせた三軸加速度計による飛翔の検出と評価. 日本遠隔医療学会雑誌. 査読有 .9:180 - 181,2013.10. ISSN1880 - 800X

レオニド アンドロチコ, 中島功, 北野利彦, 中田薫, 猪口貞樹. 鳥装着用S帯受信OOK変調方式とスペクトラム分析に関する研究. 日本遠隔医療学会雑誌. 査読有.9:182 - 184,2013.10. ISSN1880 - 800X [学会発表](計5件)

Isao Nakajima, Jun-Ichi Hata, Naoru Nakada, Gregory Domond, Noritaka Ichida. The Mitochondrial DNA of People Who Brought Shirotori Worship to Japan, 26th International Ornithological Congress, 2014.8.18-24, 立教大学(東京都・豊島区)

Isao Nakajima, Jun-Ichi Hata, Yoshiko Itoh, Gregory Domond, Naoru Nakada. Establishment of double-contrast radiography of the air sac and simultaneous measurement of intratracheal pressure and air sac pressure in chickens, 26th International Ornithological Congress, 2014.8.18-24, 立教大学(東京都・豊島区)

Kaoru Nakada, Isao Nakajima, Jun-Ichi Hata, Toshihiko Kitano, Sachie Tanaka, Katsuko Naito. Systolic and diastolic measurement of the avian heart using an esophageal catheter, 26th International Ornithological Congress, 2014.8.18-24, 立教大学(東京都・豊島区)

中島功, 中田薫, 北野利彦, 伊東良子, 田中幸恵, 内藤佳津子, 秦順一. 食道カテーテルによる循環動態(収縮期・拡張期)の把握. 日本鳥学会 2013年度大会, 2013.13-16.名城大学(愛知県・名古屋市)

Isao Nakajima, Leonid Androuchko, Kaoru Nakada, Sadaki Inokuchi, Sachie Tanaka, Katsuko Naito. ADVANCED TRACKING SYSTEM FOR LOW PATHOGENIC AVIAN INFLUENZA. ACEM2013 The 7th Asian Conference on Emergency Medicine. 2013. 10.23 - 25. 東京国際フォーラム(東京都・千代田区) [図書](計1件)

Isao Nakajima, Leonid Androuchko, Toshihiko Kitano, Kaoru Nakada, Masaaki Katayama. IEEE . 2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Application & Services(Healthcom 2013), 2013. :471-475. IEEE catalog number CFP13545-USB, ISBN978-1-4673-5800-2 [産業財産権]

出願状況(計3件)

名称: 上部消化管カテーテルおよびカテ

ーテルシステム

発明者: 中島 功、桑平 一郎

権利者: 中島 功、桑平 一郎

種類: 特許

番号: 特願 2013 - 050177

出願年月日: 2013年03月13日

国内外の別: 国内

名称: 渡り鳥観察システムおよびシステム用送信機

発明者: 中島 功

権利者: 中島 功

種類: 特許

番号: 特願 2013-056689

出願年月日: 2013年03月19日

国内外の別: 国内

名称: 航空機からの信号を用いた測位方法及び測位装置

発明者: 中島 功、林 輝彦

権利者: 中島 功、林 輝彦

種類: 特許

番号: 特願 2013-155216

出願年月日: 2013年07月26日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 功 (NAKAJIMA, Isao)

東海大学・医学部・教授

研究者番号: 00183509

(2) 研究分担者

猪口 貞樹 (INOKUCHI, Sadaki)

東海大学・医学部・教授

研究者番号: 60160008

桑平 一郎 (KUWAHIRA, Ichiro)

東海大学・医学部・教授

研究者番号: 60186567

木ノ上 高章 (KINOUE, Takaaki)

東海大学・医学部・准教授

研究者番号: 30234313

黒川 清 (KINOUE, Takaaki)

政策研究大学院大学・政策研究科・アカデミックフェロー

研究者番号: 30167390

片山 正昭 (KATAYAMA, Masaaki)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授

研究者番号: 60185816

尾崎 清明 (OZAKI, Kiyooki)

山階鳥類研究所・保全室・副所長

研究者番号: 40106729

秦 順一 (HATA, Jun-Ichi)

常盤大学・人間科学部・教授

研究者番号: 90051614