

2014 Winter No.31 冬

# IEICE Bplus

電子情報通信学会  
通信ソサイエティマガジン

小特集

## 今時のラジコン 無線技術

- 日本のラジコンの歴史と世界の現状
- ラジオコントロール技術における通信制御方式の移り変わり
- ラジコンヘリコプターを使ったアプリケーションの紹介
- 米国における無人航空機開発の現状と運用展望
- 日本ラジコン電波安全協会の事業内容  
—ラジコンを安全に楽しむために—

子どもに教えたい通信のしくみ  
道路交通情報提供の仕組み

私の研究者歴  
川上彰二郎

街plus探訪  
大阪梅田で進化を続ける  
「うめきた」地区

開発物語  
電子ブロック

若者よ！世界へよう！  
大学院生が見たアメリカ  
～その4：卒業と進路～

解説：技術と制度のおはなし  
多様化・複雑化する  
電気通信事故の防止について



Facebook, Twitter  
始めました！

電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン



IEICE  
Communications Society

# 電子情報通信学会知識ベース「知識の森」

一般公開中！

URL : <http://www.ieice-hbkb.org/portal/>

総合版ハンドブックの Web 化（知識ベース）は、本会が担うべき学術分野における知識の体系的な保持・記録、及びデータベース検索機能による知識活用を可能にしました。

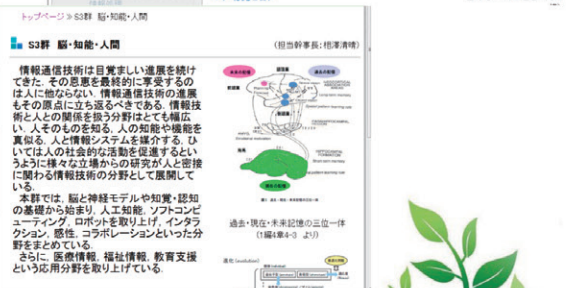
知識ベースは、第一線で活躍する多様な研究者及び技術者が執筆し、広く世の中で活用されて科学技術向上に資するとともに、学会として求められる社会貢献をより充実させるためにも、必要不可欠と考えられます。

本知識ベースは 2011 年 3 月から一般向けに公開を開始しております。コンテンツにつきましては会員限定β版公開後 2 か月を経過した内容の公開となりますが、今後更にコンテンツの充実を図り進化させていく予定です。

是非上記 URL にアクセスして頂き、体系化された知識を御活用下さい。

- S1 群 情報環境とメディア
- S2 群 ナノ・量子・バイオ
- S3 群 脳・知能・人間
- S4 群 宇宙・環境・社会
- 1 群 信号・システム
- 2 群 画像・音・言語
- 3 群 コンピュータネットワーク
- 4 群 モバイル・無線
- 5 群 通信・放送

- 6 群 コンピュータ-基礎理論とハードウェア
- 7 群 コンピュータ-ソフトウェア
- 8 群 情報入出力・記録装置と電源
- 9 群 電子材料・デバイス
- 10 群 集積回路
- 11 群 社会情報システム
- 12 群 電子情報通信基礎
- 13 群 標準・知財・法規
- 14 群 歴史・年表・資料





編集チームリーダー 辻 宏之  
Hiroyuki Tsuji

## 今時のラジコン無線技術

筆者が子供の頃、ラジオコントロールの模型、いわゆるラジコン模型は値段も高く、高嶺の花のおもちゃの一つでした。そのため当時は専ら有線でつながれた模型の車や戦車をリモコンで操縦する方式が多く、その後無線で左右の舵や発進と停止などの簡単な制御ができるものが登場したのを覚えています。一方、大人がエンジン付きの模型飛行機やバギータイプの模型の車を操縦しているのを見て、うらやましく思ったものでした。

現在はどうでしょう？ ラジコンの模型飛行機、ヘリコプター、車などなど、様々なラジコン模型が安価で購入できるようになっています。しかも制御できる機能は豊富です。最近ではスマホで操作する模型ヘリコプターまで登場しています。これは様々な技術の向上で、制御用デバイスや駆動用バッテリーが安価で高性能になり、安価で誰でも簡単に飛ばせるようになったこと、また、遠隔操作の無線通信技術も携帯電話や Wi-Fi 技術とともに進化した結果だと思われます。

これまでラジコンと言えば、一般的には趣味の模型分野としての認識が高いようですが、今日では、農薬散布用や資源探査などの用途にも利用されています。最近では、マルチロータ型の無人航空機を使った商品の宅配の構想や上空からの撮影に利用されるなど、ラジコン・無人機の利用が広がっています。また、本小特集でも解説しているように、ラジコン・無人機の技術は軍事用として発達しましたが、近年では無人機や無人航空機はますます高度化し、利用が進んでいます。

一方、ラジコンや無人機において、その無線通信技術は非常に重要な要素技術となっています。国際連合 (UN) の専門機関の一つである国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) においても、2012 年に 5 GHz 帯に無人航空機の遠隔操作の周波数の分配が行われ、現在でも追加分配が検討されています。特に無人航空機を遠隔で操作するための通信回線は、その特徴から高信頼性が要求されるため、今後の利用については十分な議論が必要です。

本小特集では、今後ますます広がりを見せるラジコン・無人機の利用を踏まえ、ラジコン・無人機の無線技術及び利用について取り上げました。

ラジコンを無線通信技術の面から、これまでのラジコンの歴史に始まり、最近の技術紹介、そして無人航空機への応用までを取り上げます。一方で、ラジコンや無人航空機の事故も実際に起こっており、運用方法にも十分配慮が必要となっています。このため運用面からも執筆をお願いしました。本小特集を通して、ラジコン・無人機の無線通信技術について皆さんの理解が深まれば幸いです。

最後に、執筆者の御紹介や原稿執筆を御快諾頂いた執筆者の皆様、編集作業に御協力を賜った通信ソサイエティマガジン編集委員、並びに学会事務局の皆様に感謝の意を表します。

\*「ラジコン」は (株) 増田屋コーポレーションの登録商標です。本小特集は、一般的なラジオコントロール技術について取り上げており、特定の商品若しくは技術を示すものではありません。

小特集編集チーム

辻 宏之、岩井誠人、田邊康彦、吉村直子

小特集

# 今時のラジコン 無線技術

編集チームリーダー

153 | 巻頭言 ..... 辻 宏之

158 | 日本のラジコンの歴史と世界の現状  
..... 長谷川 克

164 | ラジオコントロール技術における  
通信制御方式の移り変わり  
..... 姉齒 章

173 | ラジコンヘリコプターを使った  
アプリケーションの紹介  
..... 松本敬吾

176 | 米国における無人航空機開発の現状と  
運用展望 ..... 西 祐一郎

181 | 日本ラジコン電波安全協会の事業内容  
—ラジコンを安全に楽しむために—  
..... 一般財団法人  
日本ラジコン電波安全協会

VOICE  
B plus

電子情報通信学会  
通信ソサイエティマガジン

2014  
Winter  
No.31

冬





- 156 | 子供に教えたい通信のしくみ  
道路交通情報提供の仕組み…………… 泉 隆／高橋友彰
- 186 | 私の研究者歴  
私の中の古いものと新しいもの  
—師と友のことば—…………… 川上彰二郎
- 196 | 街plus探訪  
大阪梅田で進化を続ける  
「うめきた」地区…………… 神崎映光
- 200 | 開発物語  
電子ブロック…………… 大鹿正喜
- 206 | 若者よ！世界へでよう！  
大学院生が見たアメリカ  
～その4：卒業と進路～…………… 西田祐木
- 209 | 解説：技術と制度のおはなし  
多様化・複雑化する  
電気通信事故の防止について…………… 寺岡秀礼
- 215 | 巻末言  
世界の壁…………… 通信ソサイエティ和文論文誌編集委員長 佐波孝彦

通信ソサイエティからのお知らせ

I-Discoverシンポジウム2014開催報告  
論文ビッグデータを用いた研究動向分析と知識発見最前線  
～I-Discover：使ってみよう・やってみよう・創ってみよう～  
I-Discoverプロジェクト 普及推進チーム…………… 203

通信ソサイエティマガジン電子版無償化のお知らせ  
通信ソサイエティマガジン編集委員会…………… 214

編集後記…………… 216

# 道路交通情報提供の仕組み

日本大学 泉 隆, 高橋友彰 Takashi Izumi, Tomoaki Takahashi

## 1. まえがき

毎年5月のゴールデンウィークは季節も良く、比較的長い休暇になる人が多いので、観光地や各種イベント会場は大にぎわいです。すると、目的とする場所に移動する手段となる各種交通機関が混雑します。中でも高速道路や観光地周辺の道路は大混雑です。ここで重要となるのが交通情報です。交通情報があれば渋滞を避けることもできるし、避けられなくても情報をもらうことによって安心感が得られます。その交通情報には、混雑渋滞情報、旅行時間情報等いろいろなものがありますが、皆さんはどのようにして情報が提供されているのか御存じですか？

本稿では、まず渋滞発生のメカニズム、そして交通情報の収集から利用者（ドライバ）に提供されるまでの情報の流れについて解説します。

## 2. 交通渋滞はどうして起こるの？

交通渋滞のメカニズムについて考えてみましょう。

チューブ（管）の中を流れる水の量は、チューブの断面積と流速に比例します。したがって、断面積が小さくなったり、流速が下がったりすると流れる水量は減少します。交通の流れでも同じです。交通が混雑しているときに、道幅が狭くなったり、速度が低下したりするとすぐさま渋滞が発生してしまいます。これを発生要因で分類すると交通渋滞には、大きく三つの種類があります。

### 2.1 交通集中による渋滞

交通集中による渋滞には二つの種類があります。

一つ目は、ジャンクション合流や料金所など、交通のボトルネックに交通が集中して渋滞が発生するパターンです。瓶の首のように狭い部分があると水の流れが悪くなることから、交通でも流れが悪くなる場所をボトルネックと呼んでいます。例

えば行楽日に渋滞する、関越自動車道の練馬インターチェンジ付近がこれに当たります。

二つ目は、上り坂やサグ部（下り坂から上り坂に差し掛かる凹部の場所）、トンネル部などでドライバが無意識のうちに速度低下が起こり、後続の車との車間距離が縮まることにより、後続の車が次々とブレーキを踏み、渋滞に至るパターンです。東名高速道路の大和トンネル付近にも緩やかな下り坂から上り坂になるサグ部があり、ここがよく発生している渋滞はこの例です（図1）。

ゴールデンウィークなどの大型連休の渋滞は、ほとんどが交通集中による渋滞です。連休前に発表される渋滞予測は、この交通集中により発生が予測される渋滞を発表しています。

### 2.2 工事規制による渋滞

工事などによる車線規制や一時通行止めの実施により発生する渋滞です。車線規制が行われると、車線が少なくなるわけですから、そこがボトルネックになり渋滞が発生するわ



図1 大和トンネル付近（サグ部）での交通渋滞



けです。

### 2.3 交通事故による渋滞

交通事故が発生すると、事故の状況や原因を把握するため、調査が行われます。この調査が行われている間は、事故現場は使用できませんので、車線規制や通行止めが行われボトルネックになります。これによって、渋滞が発生することになります。

## 3. 交通情報を収集するには？

交通渋滞が発生するメカニズムを紹介しました。では、交通渋滞が発生したときにドライバに提供される渋滞情報はどのように作成されるのでしょうか？

渋滞情報を提供するためには、まず渋滞が発生していることを知る必要があります。渋滞が発生しているかを知るための設備を情報収集設備と呼んでいます。

情報収集設備には、車の台数カウントや速度を計測するための車両感知器や、道路交通状況を見るための監視カメラ（CCTV：Closed-Circuit TeleVision）などがあります。

車両感知器は、超音波や電磁誘導（電線をリング状に巻いたループコイルを使う）などの性質を利用して、車両の通過を検出する設備で、感知器の設置位置を通過した車の台数をカウントすることができます。また、車両感知器を二つペアで使用すると、その二つの車両感知器の間を通過するために必要な時間が計測でき、車両感知器の設置間隔（距離）が分かっているので、距離と時間の関係から速度を求めることができます。渋滞をしているということは、速度が低下しているわけですから、この速度から渋滞しているかどうかを判定することができます。

次に、監視カメラは、現在道路の至るところに、道路交通の状況を監視するために設置されています。道路が渋滞すれば、車の動きが遅くな

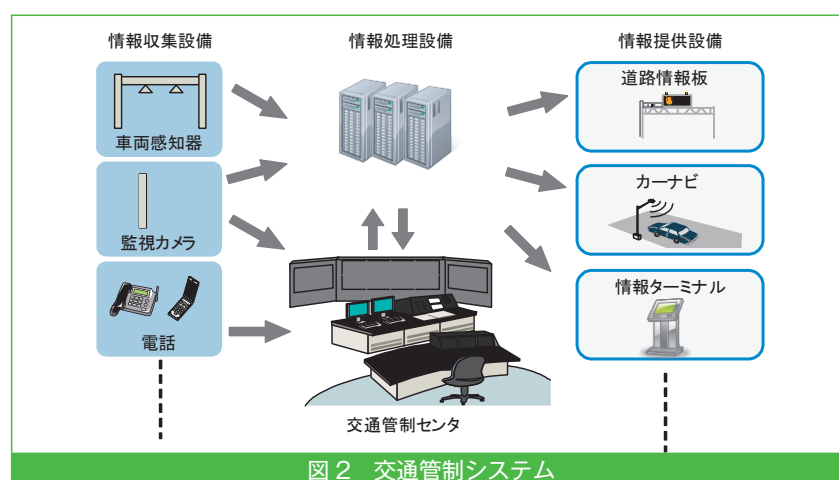


図2 交通管制システム

るわけですから、それを人間の目（交通管制センターの管制員）や機械の目（カメラ画像処理）で渋滞と判断します。また、監視カメラ映像からは、渋滞の原因（例えば、交通事故による渋滞）も知ることができます。

## 4. ドライバに提供される情報は？

交通情報を収集する方法を紹介しました。では、収集した情報をどのようにドライバへ提供しているのでしょうか？

情報収集設備から得られた情報は、設備が設置された場所ごとの情報です。情報収集設備の種類も幾つもあり、かつたくさんあるので、これらから得られた情報を統合する必要があります。この情報処理をするサーバ（コンピュータ）を情報処理設備と呼んでいます。情報処理設備では、たくさんの情報収集設備から集められた地点ごとの情報を統合処理して、「A 地点から B 地点まで渋滞」といった渋滞情報にしています。

次に、情報処理設備で統合された情報をドライバへ提供するための設備を情報提供設備と呼んでいます。

情報提供設備には、道路に設置され文字や図形で渋滞情報を提供する道路情報板、カーナビに渋滞情報を提供する VICS（道路交通情報通信システム：Vehicle Information

and Communication System）、道の駅や高速道路の SA・PA といった休憩設備に設置されている情報ターミナルなどがあります。このように、ドライバの利用形態に合わせて、様々な情報提供が行われています。

## 5. おまけ

交通情報の収集から利用者に提供される情報になるまでの情報の流れについて説明しました。説明した交通情報の提供は、図2に示すような交通管制システムが担っています<sup>(1)</sup>。交通管制システムも日々進化を遂げており、今後も提供される情報の精度向上や多様化が進むものと期待しています。ところで、ゴールデンウィークの高速道路の渋滞混雑予想が事前に提供されており、よく当たることも知られています。これは、蓄積した膨大なデータ群から導いたものであり、正にビッグデータ活用（膨大なデータから有益な情報を取り出すこと）のたまものです。今後の提供情報の作成に当たっては種々のビッグデータの活用が大いに注目を集めています。

## 文 献

- (1) 高羽禎雄, 泉 隆, 甲賀一宏, ほか, 高速道路交通管制技術ハンドブック, 電気書院, 東京, 2005.

# 日本のラジコンの歴史と世界の現状

長谷川 克 Masaru Hasegawa 日本 RC 模型グライダー協会

## 1 ラジオコントロールの進歩

筆者が模型飛行機を始めたのは 1942 年頃からで、ライトプレーンと呼ばれるゴム動力の模型飛行機だった。行き先は飛行機任せで、上昇気流に乗れば行方不明になることもあった。当時としては行方不明になるほどよく飛ぶ模型飛行機として喜んだが、この行方不明になる模型飛行機を、自分の足元に着陸させることができないかと思ったのは、模型飛行機を楽しんでいた人たちの願いだったと思う。

1945 年終戦となり、米軍から「模型飛行機の製作を禁止」するとのお達しがあった。模型飛行機愛好家にとっては大変なお達しであったが、後日これは実機飛行機を設計するための風洞実験に使用する模型飛行機が対象であり、趣味の模型飛行機の製作や飛行に関しては禁止されていないことが分かり、趣味としての模型飛行機が日本の空に飛び始めた。

また、米軍の軍人たちの中にも模型飛行機を趣味として楽しんでいる人たちが多く、この人たちから U コントロールと呼ばれる、操縦用ハンドルと飛行機の間を径 0.2 mm、長さ 20 m のワイヤ（ピアノ線）で接続して操縦用ハンドルを手に持ち、上昇と降下をコントロールできる模型飛行機を知ることができた（図 1）。

この U コントロール（略して U コンと呼んでいた）も日本全国に広がり、各地で競技会が開催されるようになった。しかし、この U コン機も、ワイヤにつながれて飛行する模型飛行機では、余りにも実機と違いすぎるため、無線操縦により自由に飛行する装置が考えられた。最初に無線操縦が考えられたのは飛行機ではなく船からで、1897 年英国人 E. Wilson が船の無線操縦について英国の特許を取っている。

実験については 1898 年米国の N. Tesla が成功しているようで、当時は兵器に使用するのが目的であったため船による実験であったようだ。

航空機での実験は、米国の Roberts が飛行船によっ

て行ったようで、当時の送信機は火花式発振機だったそうだ。受信機はコヒーラ（Coherer）で動作も不確実なものであり、期すべき成果は挙げられなかったようだ。火花式発振機とコヒーラ検波器の関係については大変古い時代のものであり、筆者も経験したことがなく十分な説明ができないが、簡単に説明すると図 2 のごとくガラス管に両側から電極を挿入し、間にニッケルの微粉を入れておく。微粉の接触抵抗により、比較的高い抵抗値を示すがこれに高周波電流を流すと、抵抗値は激減してリレーを働かすことができる。高周波電流を断つても減少した抵抗値は元へ戻らないから、叩くか振動を与える

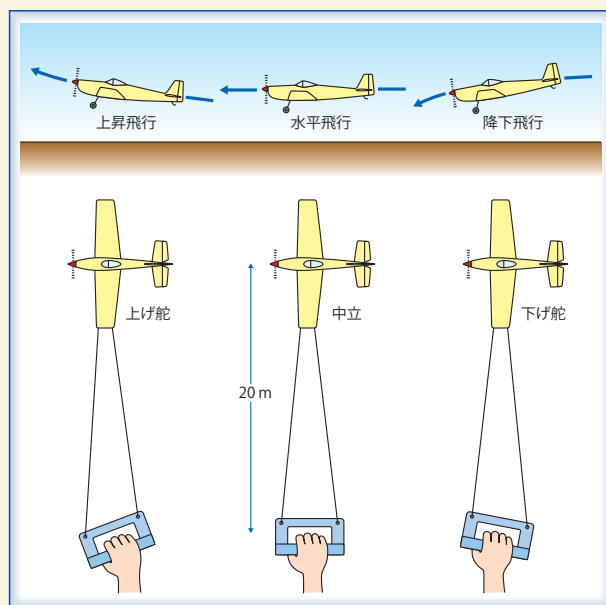


図 1 U コンの飛行

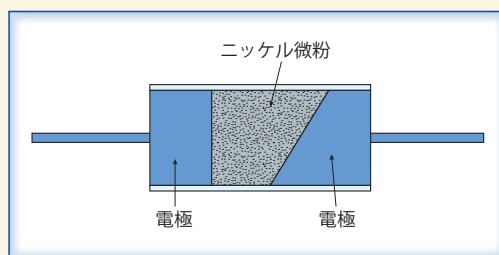


図 2 コヒーラ検波器



かしなければならない。

当時の回路には到来電波がなくなったとき、電磁石が働いてコヒーラをたたく装置が付いていたのではないが、いずれにしても極めて幼稚な装置だから、成功の可能性も少なかったのではないだろうか。

1914年に三極管が発明されてから、無線操縦の研究も急速に進み、我が国においても軍事用として無線操縦方式が研究されたようだ。その後は、軍事的または学術的研究は余りないように見受けられるが、米国では新型機を急速に量産するため無線操縦によって各種の実験が進められ、これが民間に広まって模型界においてラジオコントロール（ラジコン）全盛期を迎えたと言われている（図3）。

初期（1954年頃）の日本ではラジコンに使用されていた電波は27.12 MHz 1波であった。その後27 MHz帯で6波、40 MHz帯では2波認可されていたが、27 MHz帯は市民バンドの混信を受け墜落するトラブルが起こった。電波は国民生活に欠かせない貴重な財産であり、業務への利用拡大が予測される状況の中でのラ



図3 日本製ラジコン送信機  
「Super Teletrol」（1954年発売）

ジコンへの周波数割当は困難を極めた。しかしながら、関係団体の尽力により、ラジコンは青少年の育成と、国民の豊かな文化生活に貢献する健全なホビーとして理解が得られ、1984年（昭和59年）にラジコン専用電波として、40 MHz帯13波が認可された。

その後1985年（昭和60年）ラジコン専用電波の自主規制業務を適正に実施する組織として郵政大臣の認可を受け、（財）日本ラジコン電波安全協会が設立され、ラジコン送信機の標準規格適合証明書、ラジコン操縦士登録、ラジコン専用電波に関する調査研究等、事業を通じてラジコン電波の健全な普及発展に努めている。日本ラジコン電波安全協会の尽力により、1992年（平成4年）には72 MHz帯10波が認可された。

また、2007年（平成19年）には待望の2.4 GHz帯が認可され、従来の周波数帯を使用する際に必要であった故意の混信から逃れることや、競技会における周波数管理の煩わしさから解放され、ラジコンの飛行機も安定して飛行するようになった。

初期ではラジコンは送受信機共に真空管方式で、周波数は27.12 MHzを使用しており、送受信機のほかラダーとエンジンコントロールを行うエスケープメントがセットになっていた。エスケープメントには旋回時にラダーを左右に動作させるエスケープメントと、エンジンの回転を高回転と低回転に変化させるエスケープメントの2種類があり、2個1組で使用していた。

図4を用いてエスケープメントの動作を説明する。マグネットに電流が流れていないオフの状態では、アマチュアはスプリングで引かれてアーム及びラダーは中立となっている。アームはゴムによって常に矢印の方向に回ろうとする力が働いている。今マグネットのコイルに電流が流れるとアマチュアは吸引されて、アームは90°回転する。アームにあるクランクピンとリングによってラダーは動作する。電流が断となると、スプリングによ

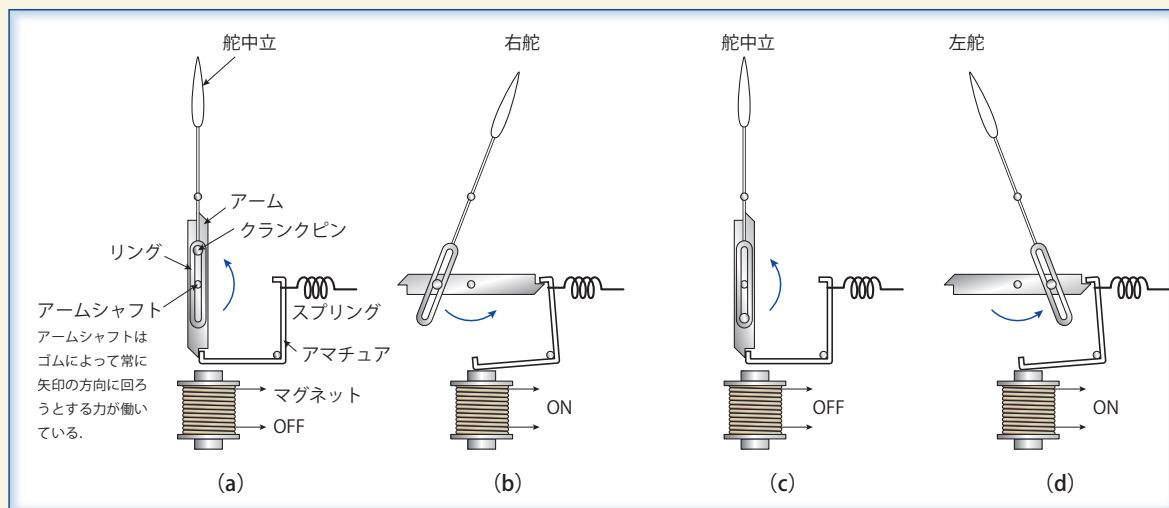


図4 エスケープメントの動作



図5 1954年製作のラジコン機 第1号. 送信機, 受信機共真空管を使用

てアマチュアは元の位置に戻るがこのときアームは更に90°回転してラダーは再び中立となる。もう一度コイルに電流を流してやれば、同様のことを繰り返すが今度はラダーは前と反対の方向に動作する。

マグネットのコイルに電流を流すには、受信機のリレーによって行うのであるが、このリレーは電波が受信されたときに動作するようになっていいるから、送信機の押ボタンを押して電波を出してやれば図4(b)の状態となって方向転換をすることができる。押ボタンを離して電波を止めればラダーは中立に戻る。つまり押ボタンを押すことによって交互に中立→右、中立→左とラダーを動かすことができる。

受信機は超再生方式で飛行前に受信機の調整が必要のため、無線の知識がなければ超再生受信機を安定良く働かせるのは大変な作業であった。なお、受信機はエンジンや着陸時の振動から守るため、機体内にゴム等によって吊り下げる方法で振動防止を行っていた。また、現在のトランジスタ方式の送受信機と違って電源もA電池とB電池が必要のため、これらの重量も大きく送信機にA電池として真空管のヒータ用の1.5V単2電池、B電池として真空管の高圧電源用の67.5Vの大形電池2個を直列接続して135Vを得ていた。

この時代にはトランジスタも存在していたが、27MHz帯の高周波用として使用可能なトランジスタは存在しておらず、真空管を使用した受信機の電源は、真空管のヒータ用として1.5V単2電池1個と操舵用に4個の計5個、真空管のB電源として45Vの電池1個を搭載していた。図5の機体は1954年に筆者が製作したラジコン1号機で、送受信機共真空管を使用しており、電池などの重量も重く、現在のラジコン機と比較すると、これらの装置で操舵できるのは、方向舵による右旋回と左旋回、エンジンコントロールによるエンジンの高回転と低回転で上昇と降下の飛行であった。



図6 マルチチャネル送信機

## 2 マルチチャネル送信機

1961年、従来のラダーコントロールとエンジンコントロールのみの単純なラジコンから、実機と同じ操舵が可能なマルチチャネルラジコンが考案された。

マルチチャネル装置では、昇降舵（エレベータ）、方向舵（ラダー）、補助翼（エルロン）、エンジンコントロール、フラップ（高揚力装置）、引込脚のコントロールをすることができる（図6）。

これらを動作させるために初期においては各機能に1個のリレーが付いており、このリレー回路の調整が必要であった。そのため、調整を必要としない現在のラジコンと比較すると当時のラジコンは非常に不安定なセットであったと言える。

このマルチチャネルのラジコン装置も後半ではリレーレスマルチチャネル装置が設計され、初期のマルチチャネル装置と比較すれば取扱いの容易なものとなった。このコントロールは送信機の各機能に1個のスイッチが付いており、合計6個のスイッチが付いている。これらのスイッチを両手で操作して飛行機を操縦するのだが、このスイッチ操作こそ神技だった。

## 3 プロポーションナル送信機

1965年マルチチャネルからプロポーションナルに変わり、現在に至っている。

飛行機、ヘリコプター、グライダーを操縦する送信機は、正確な名称をデジタルプロポーションナルシステム（デジタル比例制御方式）と言い、略してプロポと呼んでいる。プロポの内容は送信機、受信機、サーボモータ、電源用電池となっている。

このプロポーションナルに変わってから送信機のスイッチ類もスティック方式となった。スティック方式にはモード1とモード2があり、日本ではモード1が主



として使用されている。

モード1では、送信機の左スティックを上下に動作させると飛行機のエレベータが上下に動作し、飛行機は機首上げまたは機首下げとなる。同じ左スティックを左右に動作させると、飛行機のラダーは左右に動作し飛行機は機首を左または右に振る。送信機の右スティックを上倒すとエンジンは高速回転に、下に倒すと低速回転となる。同じく右スティックを左右に動作させると、飛行機のエルロンは交互に動作し、飛行機は右または左に傾く。

左右のスティックにはトリム調整(微調整)が付いており、スティックの動作方向と同じ方向のトリム調整ができるようになっていて、水平飛行の微調整をすることが可能である。また、エンジントリムはエンジンのアイドリング調整と、エンジンを停止させることが可能である。

以上が送信機の基本的な機能で、5チャンネル送信機と呼んでいる(図7, 8)。

脚の引込やフラップ等の作動については、引込脚の作動はギヤスイッチ(引込脚スイッチ)、フラップの作動はフラップレバーまたはフラップスイッチで行う。引込脚とフラップが追加された送信機を6チャンネル送信機と呼ぶ。

以上は飛行機を操縦するための基本的な機能であるが、高級な送信機になれば飛行機用、ヘリコプター用、グライダー用等の専用送信機があり、これらはコンピュータが普及してから設計された送信機で、ディスプレイを見ながら簡単に機能設定できるコンピュータ方式であり、飛行機、ヘリコプター、グライダー用の優れた機能を装備している(図9)。1975年には従来使用されていたAM変調方式(振幅変調方式)からFM変調方式(周波数変調方式)に変更された。これは、FM変調方式の方が雑音から受ける妨害が少なくなり、すなわち誤作動が減少することが理由である。

2007年(平成19年)には2.4GHz帯の使用が始まったが、この周波数帯はスペクトル拡散方式となっており、従来の送信機より大幅なダイレクトレスポンス向上が得

られている。

また送信機は固有のID(固体識別)番号を持っており、その番号を受信機に記憶させることで、その送信機と受信機のセットでしか動作しないようになっている。

このため、従来のラジコンのような混信によるトラブルが減少した。

## 4 車用プロポ送信機

ラジコンは模型飛行機用として開発されたが、プロポが開発されてから模型車用ラジコンの開発が進んだ。模型車用としてはステアリングのコントロールとエンジンまたは電動モータのコントロールができれば目的を達することが可能であるため、送受信機は2チャンネルとなっている。

右スティックを左右に操作するとステアリングはスティックに比例して左右に動作する。左スティックを上下に操作すると、スティックを上げたときエンジンまたは電動モータが高回転となり、スティックを下げたときエンジンの場合はアイドリング回転となり、電動モータの場合は停止状態となる。また、ステアリングの左右の微調整はトリムにより可能であり、エンジンのアイドリング回転数等の微調整が可能となっている。

なお、電動モータのコントロールは受信機と電動モータとの間にスピードコントローラを接続している。エンジンの場合は、受信機に接続されたサーボモータによりエンジンのスロットルをコントロールして回転数をコントロールする。

送信機の初期はスティック方式であったが、コントロールを実車に近づけるためホイール式送信機が開発され、現在ではスティックユーザのためのスティック方式の送信機とホイール方式の2種類が存在する(図10)。

初期の送信機にはステアリングとエンジンコント



図7 樹脂ケースのプロポ送信機



図8 金属ケースのプロポ送信機



図9 10チャンネルコンピュータプロポ送信機



図 10 ホイール式車用送信機



図 11 2.4 GHz ホイール式車用送信機

ロール，または電動モータのみコントロールが可能であったが，現在のコンピュータプロポには車専用の特殊機能が装備されている。先駆機能のうち，テレメトリー機能とロガー機能について説明すると，テレメトリー機能は車両に搭載した温度センサ，回転センサと受信機に入力される電圧などの各種データを受信機から送ることによって送信機のディスプレイパネルでリアルタイムに数値を確認することができる（図 11）。

ロガー機能は車両に搭載したセンサにより，バッテリーやエンジンモータなどの温度 2 系統，エンジンやモータの回転数や受信機に入力されている電圧データを送信機にログ（記録）することができる。

ここでお気付きと思うが，空用プロポと車用プロポは存在するが，船舶用プロポが存在しない。船舶の場合は，空用プロポまたは車用プロポを代用することで船舶用として使用することが可能であるため，船舶用プロポの開発は行われていない。

## 5 世界の現状

世界の現状としては，初期の頃，模型エンジンや送受

信機のほか模型飛行機等，アメリカやドイツ等ヨーロッパのメーカ製品が大変優れていた。特にドイツでは送信機が 2 種類存在し，日本で使用されている手に持って使用する小形の送信機と，肩バンドを使用して送信機をつり下げる方式使用する大形の送信機があり，後者の大形送信機が使用されている。1960 年頃になると，ラジコン装置やエンジン等，日本製品の性能がアメリカ製品やヨーロッパ製品と比較して向上し，イギリスにおいて開催された世界選手権で日本製エンジンが優勝するといった成績を収め，海外のエンジンより性能が優れていることを証明した。

この頃から，ラジコンの送受信機も海外の製品よりも優れたものが発表され，現在では日本製品が世界各国に輸出され，世界中の模型店で日本製品を見ることができるよう。輸出用の送信機はモード 2 送信機で，スティック配置は実機の操縦桿とエンジンスロットルの配置と同じである。送信機の右スティックを前後に操作すると模型飛行機は前後，すなわち機首上げと，機首下げとなり，左右の操作では飛行機は左右の傾きとして操縦される。送信機の左スティックを左右に操作すると模型飛行機は左右に機首を振る動作をし，前後に操作すると，スティックを前方に倒したときはエンジン回転が高速となり，手前に倒したときは低速となる。

このようなモード 2 タイプの送信機が主として輸出されており，受信機，サーボモータ電池等に関しては日本国内で使用されているものと同じ製品が輸出されている。

中国製品も最近は低価格で製造されており，少数だが輸出されている。

## 6 ラジコンの歴史を振り返って

ラジコンの飛行機やグライダーが日本の空を飛び始めた 1954 年当時のラジコン装置は安定性も悪く，特に受信機は超再生方式であったため飛行前の調整も非常に大切な作業として技術も必要とされた。

現在ではラジコンも AM 方式から FM 方式となり，雑音に対しても非常に強くなった。また，筆者らラジコンファンが望んでいたラジコン専用電波が許可され（表 1），ラジコンを楽しむには一番必要とされる周波数の問題も解決，残るは現在使用中の飛行場や走行場の確保が一番大きな問題ではないかと思われる。

筆者が模型飛行機の製作やフライトを楽しんでいた頃は，小学校の工作の時間でも必ず模型飛行機を作る時間があり，工作の時間がとても楽しい授業だった。

戦後になって U コンが流行し，筆者も当時は高価なエンジンを購入し夢中になって U コン機の製作や飛行を楽しんだ。当時模型エンジン用燃料の入手も困難で葉



表 1 ラジコン進歩の年表

西暦年	主な出来事
1897	英国人 E. Wilson が船の無線操縦について英国の特許を取る。
1898	米国の N. Tesla が兵器に使用する目的で船による実験を行う。
1899	航空機の実験は米国の Roberts が飛行船の実験を行う。
1914	三極管が発明される。
1929	日本海軍では駆逐艦「卯月」を無線操縦して成功。
1931	日本陸軍では戦車の無線操縦に成功。
1942	日本のアマチュアとして、東京日日新聞の横田氏が RC-1 型機の飛行を行った。
1954	日本にもラジコン時代来る。周波数は 27.12 MHz 1 波のみ。
1955	ラジコン専用電波として 27 MHz 6 波、40 MHz 2 波許可される。
1961	マルチチャンネル送受信機が考案される。
1965	プロボ送受信機が考案される。
1975	AM 変調方式から FM 変調方式に変更。
1984	ラジコン専用電波として 40 MHz 13 波認可される。
1985	(財) 日本ラジコン電波安全協会設立される。
1992	ラジコン専用電波として 72 MHz 10 波認可される。
2007	ラジコン専用電波として 2.4 GHz 認可される。

局で燃料用アルコールやヒマシ油、ニトロベンゾール等を入手し、模型エンジン用燃料を自作したときもあったが、ヘリコプターは金属製のため、自作ができず筆者のような自作派にはヘリコプターは向かないと思いグライダーに転向し、グライダーでは4年連続日本選手権を獲得し、世界選手権ではビックグライダー部門で銀メダルを獲得した。

現在までに模型飛行機の製作や飛行を楽しんできたが、思い返せばフリーフライト、Uコン、ラジコンの各時代を楽しむことができたことを、とても幸せに思っている。

## 7 最後に

筆者は空にあこがれ、職業、趣味共に飛行機の道に進んだが、模型の世界には飛行機のほか、鉄道模型や船舶

模型等も存在している。これらの模型も大変楽しいものであり、現在でも私は模型を趣味としていることを誇りに思う。

理由としては、第1に模型を楽しんでいるときは気持ち非常に若返り、第2には手先を使うこと、第3には頭を使い考えることが多く、仕事を終えた現在でも毎日を楽しみのある人生を送っている。

### 長谷川克

1957産経新聞航空部入社、1962日本国内航空株式会社入社、1974三和電子機器株式会社入社、RC開発に従事。1980日本RC模型グライダー協会会長、現在に至る。2002三和電子機器株式会社定年退社。主な著書「ラジコン・グライダー」「ラジコン機の飛行を科学する」。



# ラジオコントロール技術における 通信制御方式の移り変わり

姉齒 章 Akira Aneha 双葉電子工業電子機器事業センター企画開発グループ

## 1 ラジオコントロール技術の 動作説明

一般に普及しているラジコンはラジオコントロール (Radio Control) の略称で、(株) 増田屋コーポレーションの商標名である。

ラジオコントロール装置とは、一般的に電波を用いて遠隔制御する装置を指している。リモコンと比較されるが、リモコンはリモートコントロールの略称で、通信の媒体は有線・電波・音・光などがあり、ラジオコントロールも含まれている。

### (1) 模型飛行機におけるラジオコントロール操作

図1は模型飛行機用のラジオコントロールの送信機で実際の飛行機のコクピットに当たる。

- **エルロン**：操縦桿を左右に動かして主翼の補助翼を制御して機体を回転方向に制御する。
- **エレベータ**：操縦桿を前後に動かして尾翼の昇降舵を制御して機体を上下に制御する。
- **エンジン出力調整 (エンジンコントロール)**：操縦桿

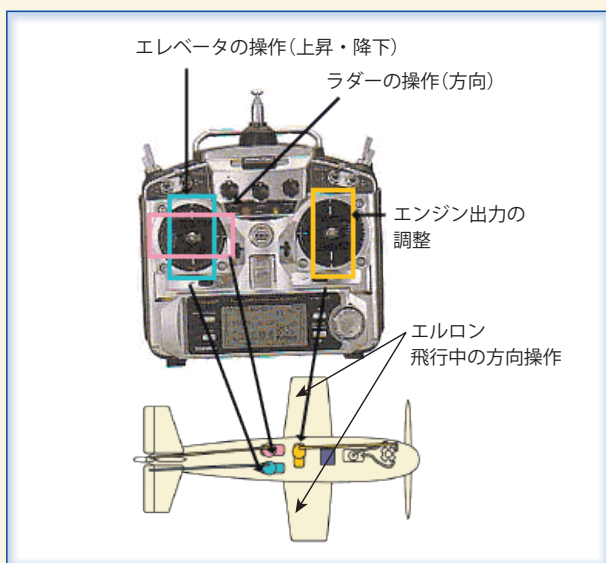


図1 飛行機の操作

とは別のレバーでエンジンの出力を制御して機体のスピードを制御する。

- **ラダー**：実機はペダル操作で行う。尾翼の方向舵を左右に動かして機体の方向を制御する。

### (2) 模型自動車におけるラジオコントロール操作

図2は模型自動車用のラジオコントロール用の送信機で実際の車の運転席に当たる。

- **ホイール**：左右に回転させることで車のステアリングを左右に動かして方向制御をする。
- **トリガ**：車のアクセル制御のようにスピードを制御する。

## 2 動作制御方式と 無線通信方式の流れ<sup>(1)~(3)</sup>

表1に示すようにラジオコントロールの制御方式の進化は無線通信方式の進化と密接な関係にある。ラジオコントロールの制御技術の流れは、トランジスタ回路を用いたアナログ処理から高速CPUを用いた高精度デジタル処理へと変遷している。無線通信方式も、27 MHz AM 変調方式から 5.7 GHz のスペクトル拡散通信へマイクロ波通信と高度な符号通信へと進化してきた。

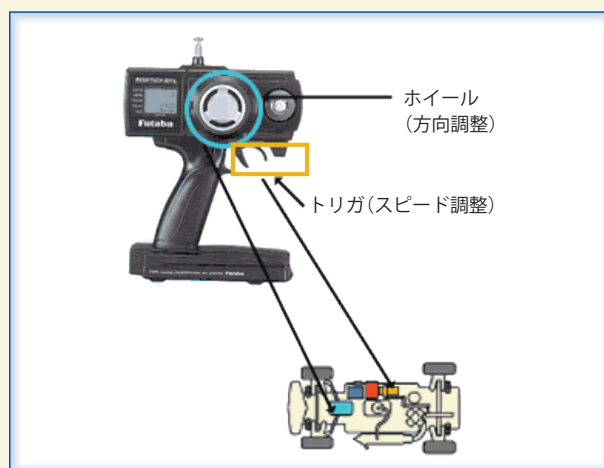


図2 車の操作

表 1 動作制御方式と無線通信方式の関係

動作制御方式	無線通信方式
シングル方式： 単一のオンオフ動作制御	AM 変調 キャリアオンオフ 超再生受信 27 MHz 40 MHz
マルチ方式： 複数のオンオフ動作制御	AM トーン変調 超再生受信、 スーパーヘテロダイン受信 27 MHz 40 MHz
パルスプロポーションナル： 複数の多段階動作制御	AM トーン変調 間欠送信 スーパーヘテロダイン受信 27 MHz 40 MHz
アナログプロポーションナル： 複数の無段階動作制御	AM アナログ変調 スーパーヘテロダイン受信 27 MHz 40 MHz
デジタルプロポーションナル： 複数の無段階動作制御	AM / FM PWM 変調 FM PCM 変調 位相 PCM 変調 27~75 MHz 2.4 GHz, 5.7 GHz

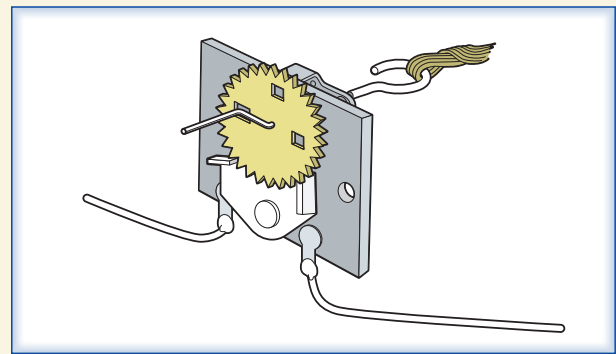
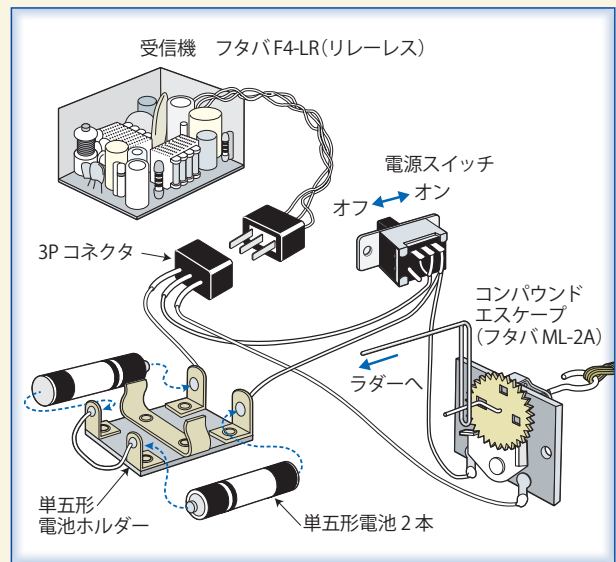
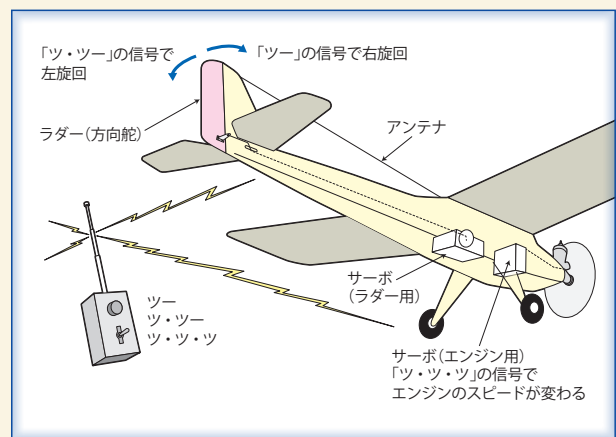
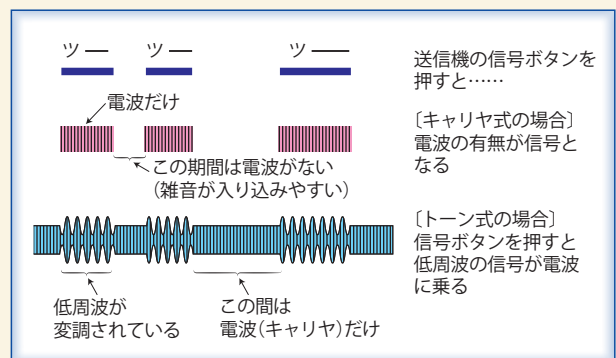
歴史的な流れは、「電波科学」(1993 年創刊)で軍事技術として紹介されていたと聞いている。技術の進化と年代については正確な情報が得られないので、ここでは割愛する。

### 3 動作制御方式による分類

#### (1) シングル方式 <sup>(1)~(3)</sup>

初期のラジオコントロールの送信機は複雑な情報を伝送する技術がなかったことから、送信機に実装されたボタンにより電波(キャリア)をオンオフし、姿勢制御等に用いられるサーボの動作を制御していた。搬送周波数を LC 発振回路で 27 MHz を発振していたため温度による周波数安定性は悪かった。そのため、搬送周波数が大きくずれると通信距離が短くなり飛行制御が不安定となった。その後クリスタル発振方式が採用され約  $\pm 20$  ppm ほどの安定した 27 MHz, 40 MHz の周波数が用いられた。電波型式としては A1D(電波型式は表 3 参照)で電波を断続して送信する方式であった。受信機は超再生回路でオンオフ信号を復調して、リレーをオンオフしてモータを動作させたり、電磁石をオンオフさせて順序式のエスケープメント(図 3)を制御して使用していた。エスケープメントとは機械式時計のガングリ車構成を呼び、ねじの代わりにゴムを巻いて回転動力にしている。歯車の外周部分にピンを取り付けることで歯車が回転するとピンの位置が左右または前後に変化する。その変化を方向舵の制御変化にすることで、進行方向の制御が可能になる。図 4 は受信機系の配線仕様を、図 5 は模型飛行機に搭載して使用した場合を示す。

図 6 に示すように、AM 変調方式は電波の強弱で信号

図 3 エスケープメントの構造 <sup>(3)</sup>図 4 受信機側配線仕様 <sup>(3)</sup>図 5 シングルの操縦方法 <sup>(3)</sup>図 6 信号と送信電波 <sup>(3)</sup>



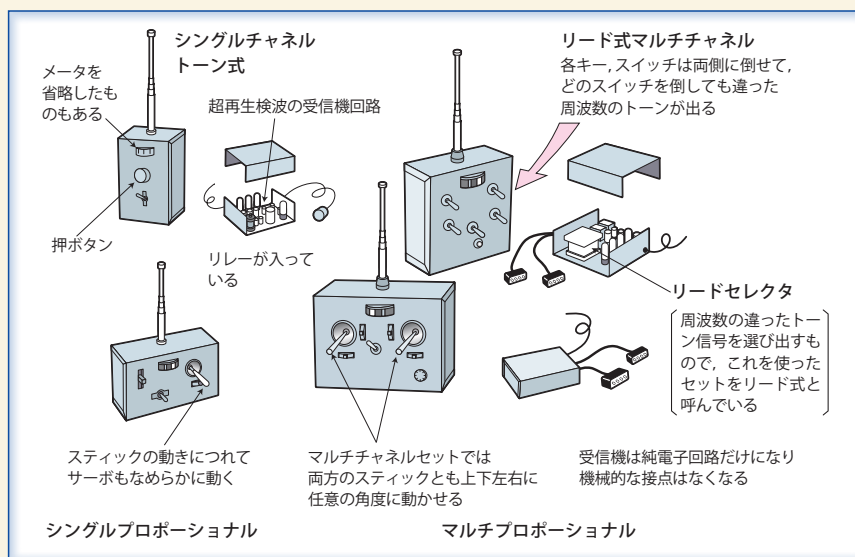


図 7 各種方式<sup>(3)</sup>

を伝達するため、外来雑音に対して影響を受けやすい方式である。特に受信していない状態は外来雑音の影響を受けやすい。更に超再生方式自体も雑音に弱い受信回路構成であり受信不能になることがしばしばあった。

シングル方式は1系統の操作制御しかできず、複数制御ができない方式だった。

初期のラジオコントロール送信機及び受信機は、トランジスタではなく、真空管で回路構成されており出力1Wの送信機もあった。

## (2) マルチ方式<sup>(3)</sup>

AM受信機とりわけ超再生受信機は搬送波を受信している状態であれば動作は安定しているが、送信機のオンオフのオフ時は復調信号が不安定出力であった。そこで、図6にあるように送信機側でキャリアを常に出しトーン変調で信号を伝達する方式が考案された。これにより、外来雑音で誤作動する問題が減少した。

更に、制御方式を改善して電波を変調するときのトーン周波数を複数用意し、受信機にトーンデコーダを設けて複数のトーン信号を分離して各サーボを制御する方法が考案された。いわゆる固定電話で用いられているピ・ポ・パと同じ方式(DTMF: Dual-Tone Multi-Frequency)に近い方法である。このトーン復調に機械式のリードリレーを用いたものがリード式であった(図7)。リードリレーは電磁石の上に長さの異なる振動板が多数付いていて、各振動板は特定の周波数に共振するように設定されており、所定のトーン信号を電磁石に入れるとそれに共振した振動板が振動する。振動板が大きく振動すると電気接点に接触するので電気接点から信号の断続を取り出し、対応したサーボモータが動作する仕組みだった。

リード式ではこの変調トーン数(リードリレーの振動

板数)を制御チャネル数としていた。飛行機ならばエンジンコントロール、エレベータ、ラダー、エルロンに各二つ。エレベータトリム調整用に二つで、合計10チャネル制御となり当時の最高級品であった。

リード式になって各舵を独立して操作できるようにはなったが、各舵は中立と最大舵しかなく、こまめにスイッチを操作して微妙な姿勢制御をするため飛行機の操縦はかなり難しかった。

リード式は複数の操作ができたが、最初は全てが同時に操作できなかった。そこで、トーン信号の周波数分離を受信側で行い、2操作を同時に制御できる無線機が登場した。

模型飛行機では縦と横方向の2方向の操縦が同時にできればかなりの曲技演技ができる。縦方向のエンジンコントロール、エレベータ、エレベータトリムと、エルロン、ラダーを分けて、この2種類の各1操作のみは同時に操作できるようにした。例えば、エルロンで傾けて、エレベータを引くといった旋回時に必要な同時操作ができるようになった。

リードリレーを用いずフィルタで分離する方式も考案されたが、フィルタの分離度が良くなく実用化されなかった。

## (3) パルスプロポーショナル方式<sup>(3)</sup>

シングルのトーンを間欠送信してそのトーンの長さと間隔を変化させることで、比例制御(プロポーショナル)に似たりニア的な動作を実現した。間欠送信が数回/秒だったので模型飛行機がプルプルと振動した動作が特徴的だった。

小形軽量が可能なことから、マイクロプレーンの制御に利用されている。

#### (4) アナログプロポーショナル方式<sup>(3)</sup>

数 Hz の低周波信号を搬送波に乗せて、受信側で復調後低周波信号を電圧変換してリニアな比例制御を実現した。連続受信しているので外来雑音に対して強かった。ただし、スティックの振り幅やニュートラル調整が難しく普及しなかった。

#### (5) デジタルプロポーショナル方式<sup>(3)</sup>

現在プロポと呼ばれる方式で、主流の制御方式である。スティックの角度をパルス幅数値に変換して送信データとして伝送し、受信側でパルス幅数値を処理してサーボを比例制御する。この制御方式をデジタルプロポーショナルと呼び、それまでの方式に比べ動作の安定性が優れている。具体的には送信機のスティックに連動したポテンショメータやスイッチにより制御データが生成され、無線でデータを受信機に送り受信機で比例制御データをサーボに送るシステムが考案された。その方式は PPM (Pulse Position Modulation, パルス位置変調) 方式, PCM (Pulse Code Modulation, パルス符号変調) 方式となり今日に至っている。

##### ① PPM 方式

図 8 は PPM 方式を用いる無線機のブロック図である。パルスとパルスの位置間隔で情報を送る方式でアナログ信号をアナログ伝達する方式である。高周波に AM 変調や FM 変調して通信する。

今日でも低価格なラジオコントロールシステムで利用されている。

図 9 は受信したパルス位置間隔をサーボチャンネルごとにパルス幅として出力するブロック図である。受信側のデコード処理で一定時間信号がない状態をリセット信号として利用して、1ch から信号を割り当てる。その信

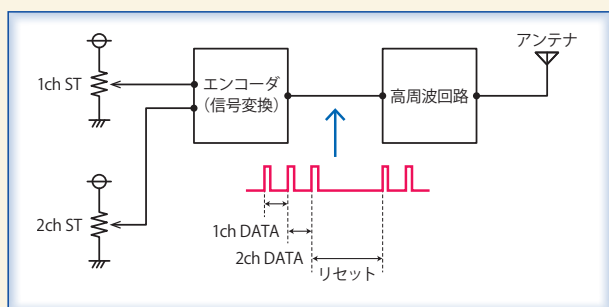


図 8 PPM 方式 送信機 (変調)

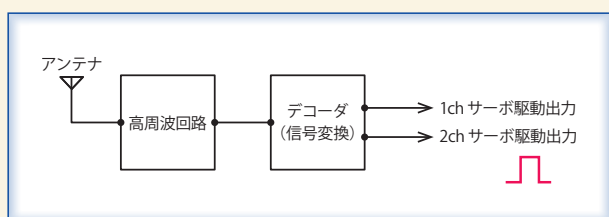


図 9 PPM 方式 受信機 (復調)

号処理を繰り返して時系列的に入ってきた信号をチャンネルごとに振り分け各サーボに送っている。

図 10 はサーボ信号処理のブロック図で、受信機からの入力パルス幅とサーボの舵角に応じたワンショットパルス幅を比較してパルス幅が等しくなるようにサーボを制御する方式である。

PPM 方式はアナログ的に情報伝達していることから信号の途中に雑音などが入った場合、復調波形が本来と違った波形になる。結果として、サーボ動作に影響する。動作的には、サーボがガシャガシャというように雑音的な不安定な動作をする。

##### ② PCM 方式

PCM 方式は、パルスの位置でサーボの角度情報を送るそれまでの PPM 方式とは異なり、スティックの角度情報 (電圧値) を一度 A-D 変換器でサーボのパルス幅に数値変換 (量子化と呼ぶ) してから送信する。受信機では、受信信号をサーボの動作パルスに変換する。PCM 方式は現在の主流となっている。

PCM 方式は、今日の主流である 2.4 GHz スペクトル拡散通信でも同様な方式が使われている。ラジオコントロール通信方式で用いているスペクトル拡散通信は主に周波数ホッピングスペクトル拡散 (FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) 通信方式である。この方式は、ある周波数からほかの周波数へと短時間のうちに搬送周波数を切り換えて通信する方式である。

図 11 は無線データパケットの一例である。通信パケットのデータの部分にサーボチャンネル番号や位置データ等を入れて送信する。

近年は、サーボをコントロールする信号もパルスではなく、制御データを送る方式が開発されている。当社では S. BUS 方式と呼ばれている。

サーボが 150 度回転動作するとして、量子化のプロセスでサーボの振り幅の分解能を細かくすることで、

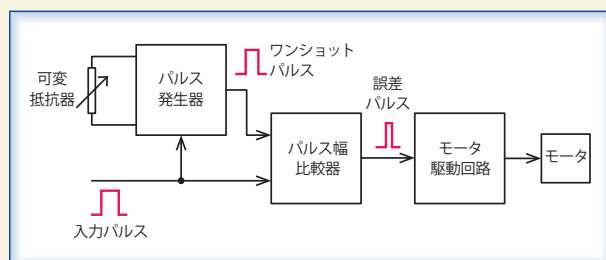


図 10 サーボ信号処理ブロック図



図 11 通信プロトコル例 (通信パケット)

サーボの微細な動作が可能になる。分解能としては 9 bit (512 分解能), 10 bit (1,024 分解能), 更に 11 bit (2,048 分解能) などがあり, これ以上の分解能もあるが, サーボの機構的な問題で対応していない。

PCM 方式は情報データを符号として伝達している。雑音が入り込んで、通信パケットをエラーと判定した場合、誤パケットとして処理してサーボ信号には反映しないので、前述①の PPM 方式のようにガシャガシャというような雑音的な動作はしない。非常に安定した動作となる。

## 4 ラジオコントロール 無線通信の変調方式

ラジオコントロールでは変調方式として主に、振幅変調方式、周波数変調方式、位相変調方式が利用されている。また、2 値による変調が主となっている。理由としては、回路コスト、移動体通信、通信半導体の制限などによる。

### (1) 振幅変調方式

#### (AM : Amplitude Modulation) <sup>(4)</sup>

情報を電波（キャリアまたは搬送波）の強弱で伝達する変調方式である。電波型式で表すと A1D・A2D・A3D が利用された。近年では A1D 変調度 100% の製品が販売されている。

送信側は発振回路にベースバンドの信号で発振制御して変調を掛ける。

図 12 は 3 チャネル制御の送信機の AM 電波をオシロスコープで観測した例である。

復調回路は包絡線検波（ダイオード 1 個でも復調可能）となっている。特徴として、受信機が移動体であることから、受信における電界強度が変化する。それに伴い振幅も変化するため復調データ（パルス幅）の変化が現れる。AM 復調においては振幅波形を一定にするための AGC 回路（Auto Gain Control）が必要であり、利得コントロールのフィードバック時定数がサーボ動作の品質の鍵となっていた。

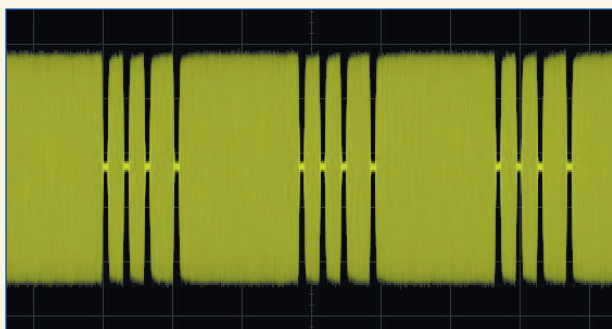


図 12 3ch AM 送信機 A1D PPM 方式

AM 変調方式では PPM 方式が主流であった。AM 方式の PCM 方式は電波法の設備規則の帯域制限規定において 8 bit (256 分解能) までしか送信することができなかったため、サーボの分解能が悪く普及しなかった。

ラジオコントロールで用いている振幅変調方式は正確な呼び方をすると振幅偏移変調（ASK : Amplitude Shift Keying）となる。更に、電波法の設備規則にある帯域制限規定に収めるために、ベースバンド波形は方形波ではなく角が丸まった波形になっている。ガウスフィルタで整形した波形に近似していることから GASK（Gaussian-filtered ASK）とも呼ばれている。

### (2) 周波数変調方式

#### (FM : Frequency Modulation) <sup>(4)</sup>

情報を電波の周波数の変化で伝達する変調方式である。電波型式で表すと F1D となる。ラジオコントロールでは最もよく利用されている変調方式である。送信は発振回路の電圧制御発振器の制御電圧に変調信号を加えることで FM 変調ができる。復調方法は AM より複雑で周波数弁別器（ディスクリミネータ）を用いた復調方法であり通常専用 IC を用いている。FM 方式の特長は、周波数の変化で情報伝達している、つまり振幅変動で情報伝達していないことから、受信機は AGC 回路が不要で増幅器はリミッタ増幅が可能となる。つまり、前述した AM での問題はなくなった。また、FM の特長として強い信号は弱い信号に影響されることがない特性があり、外来雑音に強い変調方式である。また、振幅成分の情報が不要なことから、移動体における受信電界強度の激しい変化や、マルチパスフェージングなどが発生する環境下における制御に向いている。更に、他局との共存性を図るために、受信回路においてダブルスーパーヘテロダイン受信方式を用いることで、周波数の狭帯域化が可能となり、同時に飛行できる数が増えた。ASK 同様に、正式には周波数偏移変調（FSK : Frequency Shift Keying）と呼ぶ。更に、電波の帯域制限を考慮して GFSK（Gaussian-filtered FSK）とも呼ばれる。

FSK 方式では、2 値 FSK と 4 値 FSK が利用されていた。それぞれ 2GFSK、4GFSK と呼ばれる。ただし電波型式はいずれも F1D である。同じ帯域幅で通信する場合 4GFSK の方が 6 dB だけ受信感度は悪い。ただし、伝送可能なデータ量は 2 倍である。制御動作のレスポンスを半分に速くすると、通信距離（通信エリア）が半分に小さくなる。

### (3) 位相偏移変調方式（OQPSK : Offset Quadrature Phase Shift Keying) <sup>(4)</sup>

位相変調方式は種類が多いが、ラジオコントロール無



線通信方式で利用されている方式を紹介する。

2.4 GHz を利用するにあたり、ZigBee 規格用のデバイスを用いており、その変調方式は OQPSK が使用されている。OQPSK は I 軸と Q 軸とを時間的に 1/2 シンボルずらして変調した QPSK である。振幅変動が小さく、増幅器の線形性の要求が緩和される。ただし、高速移動体や振幅変動を受けた場合 FM 変調方式に比べて耐性は低い。

## 5

ラジオコントロール  
無線通信の復調方式(1) 超再生方式<sup>(4)</sup>

一つの真空管（またはトランジスタ）で構成され、周期的に発振と非発振状態を作り、そのぎりぎりの状態が一番感度の良い状態となっている。その状態を間欠発振制御して検波する方式である。このときの制御発振がケンチング発振と呼ばれている。欠点は受信周波数の帯域幅が広く同じエリアで複数のラジオコントロールを操作することができないことである。

(2) スーパーヘテロダイン方式<sup>(3), (4)</sup>

1970 年頃から受信回路においてスーパーヘテロダイン方式がラジオコントロールの世界でも利用されるようになってきた。これにより電波法設備規則で定められた 50 kHz 間隔での周波数チャンネル（ラジオコントロール用語ではバンド）が確保できるようになった。つまり同じフィールドで複数の飛行機が飛ばせるようになった。

アンテナにより受信した電波は初段のトランジスタにより局部発振回路の発振出力と周波数混合され、中間周波数（455 kHz）に変換される。その中間周波数帯の信号を増幅して検波器でベースバンドデータに復調する（図 13）。

各段に帯域制限フィルタを入れ、他局信号を排除することで、複数同時利用できるようになった。また受信感度も非常に良くなったことで遠くまで飛行機を飛ばせるようになった。

中間周波数を 2 段にしたダブルスーパーヘテロダイン

方式も用いられた。ダブルスーパーヘテロダイン受信方式は高出力の他局や隣接する不要な電波を排除するには、周波数を段階的に下げて、周波数ごとにフィルタを入れることで良好な特性が得られている。

(3) ダイレクトコンバージョン方式及びロー IF 方式<sup>(4)</sup>

ダイレクトコンバージョン方式は中間周波数に変換せずに直接ベースバンドデータに変換する方式で、ローカル発振器やフィルタが不要なので LSI 化して小形で安価な受信機ができるようになった。ロー IF 方式はダイレクトコンバージョン方式の種々の欠点を改善した方式である。

どちらも、受信回路を IC 化しやすくスーパーヘテロダイン方式より部品点数を減らすことができ、小形・安価なデバイスがリリースされている。

## 6

現在の主流 2.4 GHz —  
ラジオコントロール方式

日本においては、2000 年（平成 12 年）北海道有珠山噴火後の観測用無人ヘリコプターの飛行制御用のために当社の製品（FDA01TJ）が初めて 2.4 GHz として実用化された。最大送信電力 200 mW の DS / FH 方式の無線機で数 km の通信距離を確保した。ただし、重量・価格において通常の模型に使用できるものではなかった。また、観測用ヘリコプターは低速飛行体なので、当時の無線機でも利用できたが、高速で飛行する飛行機やヘリコプターや競技用模型自動車などでは動作レスポンスが重要であり、このような高速レスポンス競技で利用できるものではなかった。

それまでのラジオコントロールは、周波数が固定なので利用者が第三者に利用周波数が分かるように送信機のアンテナ先端に周波数を表すフラグを付ける義務があった。この煩わしさや誤って同じ周波数を出してしまった場合の同波混信妨害などの問題があったため、2.4 GHz 帯の設計においては上記問題を解消することが求められた。

2.4 GHz を用いたラジオコントロール方式のほとんどがスペクトル拡散技術を用いている。スペクトル拡散

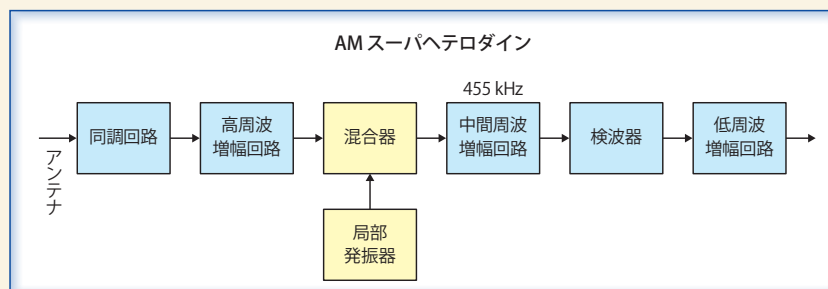


図 13 スーパーヘテロダイン方式

技術については、様々な書物で紹介されているので、読者は各自で検索して読んで頂きたい。ここでは、なぜ 2.4 GHz でラジオコントロールが利用できたかを紹介する。

### (1) 国際共通周波数

2,400 ~ 2,483.5 MHz は国際的に通信における用途規定がない周波数帯である。国際的に多く利用されているのは、Wi-Fi (Wireless Fidelity), Bluetooth, ワイヤレスマウス、キーレスなどである。

電波法規定については各国で定められている。大別すると日本・欧州・米国の規格に分けられる。その中で欧州規格が一番厳しい規定なので、欧州電波法規格 EN300 328 の規定に適合する設計であれば各国の認可は取得可能となる。現在、Wi-Fi 利用国ならばラジオコントロール 2.4 GHz の申請も可能となる。メーカーとしては、単一仕様で高周波設計での設計対応でよくなり設計負荷が軽くなった。

### (2) デバイスが安価

前述 (1) の製品が爆発的に量産されていることで、2.4 GHz 関連のデバイスが安価になった。また、RF 入りマイコンで 1 ドル前後のデバイスもあることから製品化されやすくなった。

### (3) 高周波設計が簡単

高周波モデム IC の進化により、デバイスメーカーの推奨設計に従って回路や基板配線を作成すると、各種規格に沿った電波出力・受信感度及び不要ふく射等が実現される。マイクロ帯の設計を行うために必要知識である分布定数やマイクロストリップ理論を、設計者が分からなくともある程度の設計ができることが、参入メーカーが増えている要因でもあると推測する。

### (4) 高速レスポンスが可能

従来周波数のデジタル通信では占有周波数帯幅が 8.5 kHz 以下であり、データレートが約 5 kbit/s (2 値 FSK) の場合データフレーム周期が 28 ms だったものが、2.4 GHz 帯ではデータレートは約 130 kbit/s (2 値 FSK) でデータフレーム周期が 3~15 ms となった。20 倍のデータ量と 1/9 のデータ伝送時間により、俊敏なラジオコントロールの動作が可能になった。模型自動車や競技用模型ヘリコプターにおいては高次元の動作が実現している。

インターネットで「3D フライト」で検索して動画像を参照するとよく理解できる。

### (5) 周波数ホッピング方式の利用

約 30 波 (メーカーや機器によって異なる) を決められたシーケンスで周波数を切り換えて通信するので、FH 方式同士であれば、衝突確率が小さくなり、同時に利用する台数が増える。

利用帯域幅 83 MHz の中で周波数ホッピングをしているので、周波数ダイバーシチ効果によりマルチパスフェージングの抑制が可能となる。

### (6) 電磁雑音に強い

ラジオコントロールは、エンジン・ギヤ・モータ・モータコントローラなどから、約 1 GHz 以下の帯域において雑音が発生している。従来の周波数ではその影響が大きくサーボ動作に現れていたが、2.4 GHz 帯ではその影響がサーボ動作にほとんど現れないので、安定した飛行が楽しめるようになった。

### (7) 双方向通信

従来のラジオコントロール周波数では、設備規則においてラジオコントロール用途と単向通信方式が規定されていたことから、同じ周波数で、電圧・位置情報のデータを返信するテレメトリー動作をすることはできなかった。

2.4 GHz では用途規定がないこと、データレートが高速に設計できることから時分割複信「TDD (Time Division Duplex)」通信が容易になったことにより、機体の位置・速度・電池または燃料の残量などの諸データをプロポ側で把握することが可能となった。最近では画像伝送と同時にコントロールする製品も出現した。

## 7 電波法

電波を利用する上で電波法を理解していなければ無線機の商品化は不可能と言えるので原文に近い形で紹介する。

### (1) 日本国内においてラジオコントロールに関する法規制

#### ①電波法第 4 条<sup>(5), (8)</sup>

- 一、発射する電波が著しく微弱な無線局で総務省令で定めるもの。
- 二、市民ラジオの無線局 (26.9 MHz から 27.2 MHz までの周波数の電波を使用し、かつ空中線電力が 0.5 ワット以下である無線局のうち総務省令で定めるものであって、第三十八条の二第一項の技術基準適合 証明を受けた無線設備のみを使用するもの)

ラジオコントロールも利用できる周波数となっている。

②電波法施工規則第6条の二<sup>(5), (8)</sup>

送信機から500m離れたところで電界強度が200 V/m以下で、総務大臣が用途並びに電波の型式及び周波数を定めて告示するもの(表2)。

ラジオコントロールに関する技術基準は、郵政省告示第895号により規定されていたが、平成13年3月に廃止された。

しかし、安全運用の確保のために一般財団法人日本ラジコン電波安全協会規程として推奨規格として規定し、適合証明を実施している。

③ラジオコントロール用発振器の推奨規格(27, 40, 72, 73 MHz)<sup>(5)</sup>

- ・通信方式：単向通信方式
- ・送信設備に使用する電波の周波数の許容偏差：40 ppm以下
- ・発振方式：水晶発振方式、又は、水晶発振により制御する周波数シンセサイザ方式(PLL方式等)であること。
- ・変調方式：振幅変調又は周波数変調
- ・周波数偏移：変調のないときの搬送波より $\pm 2$  KHz

以内

- ・変調された電波のスペクトル分布の包絡線波形において、搬送波の周波数から10 KHz離れた周波数における減衰量は50 dB以上であること。

(2) 2.4 GHzの法規<sup>(6)~(8)</sup>

施行規則第6条第4項第4号平成元年郵政省告示42号

小電力データ通信：2.4 GHz帯無線局

## ①通信方式(設備・第49条の20)

デジタル信号を伝送するもの(スペクトル拡散方式を含む。)であって、単向通信方式、単信方式、半複信方式又は複信方式であること。

## ②使用周波数帯(施行・第6条)

使用する周波数帯は、2,400 MHz以上、2,483.5 MHz以下の周波数とする。

## ③使用環境条件

使用環境条件は、特に規定しない。

上記の規定により、用途規定がなく、利用場所の規定もないことから、飛しょう体における双方向通信が可能となった。逆の例ではあるが、携帯電話は陸上移動通信局という規定であるので携帯電話システム(3G, LTE

表2 ラジオコントロール専用周波数<sup>(8)</sup>

電波の型式	周波数	用途
A1D A2D F1D F2D F3D	40.61 MHz, 40.63 MHz, 40.65 MHz, 40.67 MHz, 40.69 MHz, 40.71 MHz, 40.73 MHz, 40.75 MHz	模型飛行機以外の無線操縦用発振器(産業の用に供するものを除く。)
	40.77 MHz, 40.79 MHz, 40.81 MHz, 40.83 MHz, 40.85 MHz, 72.13 MHz, 72.15 MHz, 72.17 MHz, 72.19 MHz, 72.21 MHz, 72.79 MHz, 72.81 MHz, 72.83 MHz, 72.85 MHz, 72.87 MHz	模型飛行機の無線操縦用発振器(産業の用に供するものを除く。)
	73.22 MHz, 73.23 MHz, 73.24 MHz,	模型飛行機以外の無線操縦用発振器に使用する場合であって産業の用に供するものに限る。
	73.26 MHz, 73.27 MHz, 73.28 MHz, 73.29 MHz, 73.30 MHz, 73.31 MHz, 73.32 MHz	模型飛行機の無線操縦用発振器に使用する場合であって産業の用に供するものに限る。

表3 電波型式

第1文字		第2文字		第3文字	
主搬送波の変調形式		主搬送波を変調する信号の性質		伝送情報	
無変調		N	変調信号なし	0	無情報
振幅変調	両側波帯	A	副搬送波を使用しないデジタル信号の単一チャネル	1	電信(聴覚受信)
	単側波帯・全搬送波	H			A
	単側波帯・低減搬送波	R		2	電信(自動受信)・印刷電信(RTTY)
	単側波帯・抑圧搬送波	J			B
	独立側波帯	B			C
	残留側波帯	C			D
角度変調	周波数変調	F	副搬送波を使用するデジタル信号の単一チャネル	3	データ伝送, 遠隔測定, 遠隔指令
	位相変調	G			E
振幅変調及び角度変調であって、同時に、または一定の順序で変調するもの		D	アナログ信号の単一チャネル	7	電話(音響の放送を含む。)
パルス変調	無変調	P	デジタル信号の2以上のチャネル	8	テレビジョン(映像)
	振幅変調	K			
	幅変調または時間変調	L			
	位置変調または位相変調	M	アナログ信号の2以上のチャネル	9	上記の組合せ
	パルス期間中に角度変調	Q			
	上記の組合せ、または他の方法	V			
上記に該当しないもので、振幅、角度またはパルスのうち二以上を組み合わせて、同時に、または一定の順序で変調するもの		W	1以上のアナログ信号チャネルと、1以上のデジタル信号チャネルの複合方式	9	上記の組合せ
その他		X	その他	X	その他



など)で飛しょう体のコントロールは注意が必要である(利用する場合は総務省に問合せが必要)。

### (3) 電波型式<sup>(8)</sup>

無線機を設計し申請する場合、電波型式を記載する必要がある。電波型式は変調方式や利用用途が記載されている。電波型式は、「アルファベット・数字(例外あり)・アルファベット」の3文字で構成され、それぞれの文字の意味は、表3に示す。

## 5 むすび

一般にラジオコントロールが普及し始めたのは、「ラジコン技術」(1961年)創刊の頃と思われる。約50年間にける進化はゆっくりしたものであった。2007年から2.4GHzのマイクロ波帯が利用されたことにより、双方向通信が可能となり急激な進歩を遂げた。また、センサデバイスの普及により自動航行システムも普及してきている。更には、5.7GHzを利用したラジオコントロールシステムも販売されている。今後、高度な設計を行うには、高周波理論・通信理論・電波伝搬理論・アンテナ理論、自動制御技術など更なる理論設計が必要となると推測する。

電波法に関しても複雑な法律文書を読み切れること

が、新しい方式を生むための重要技術でもある。

従来周波数の再利用、更なる高い周波数の利用、高度な変復調技術の利用、通信方式進化による新たな制御の提供となるであろう。

### ■ 文献

- (1) ラジオコントロール技術, 1969年11月号, ラジオコントロール技術社.
- (2) ラジオコントロール技術, 1970年2月号, 電波実験社.
- (3) ラジオコントロール技術, 1970年4月号臨時増刊, 電波実験社.
- (4) 萩野芳造, 小滝国雄, 無線機器システム, 東京電機大学出版局, 東京, 1994.
- (5) 一般財団法人 日本ラジオコントロール電波安全協会 ホームページ, [http://www.rck.or.jp/contents/rc\\_denpa/rc\\_denpa0109.html](http://www.rck.or.jp/contents/rc_denpa/rc_denpa0109.html)
- (6) 第二世代小電力データ通信システム/ワイヤレスLANシステム標準規格, ARIB STD-T66 3.6版, 一般社団法人電波産業会, 平成24年12月.
- (7) 小電力無線局解説書 技術資料, ARIB TR-T18 1.0版, 一般社団法人電波産業会, 平成21年12月.
- (8) 電波法, 総務省ホームページ, [http://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki\\_honbun/72001000001.html](http://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki_honbun/72001000001.html)

## 姉齒 章

双葉電子工業電子機器事業センター企画開発グループ.

# ラジコンヘリコプターを使ったアプリケーションの紹介

松本敬吾 Keigo Matsumoto プラムシステム有限会社

## 1 まえがき

無線操縦（以下、ラジコンと記述）で飛行するヘリコプターの発展は電子ジャイロの普及や強力なサーボモータ（姿勢を制御する機構部品）のなどをマイコンで制御する方法が主流となりホビーマの世界から産業界で使うことが多くなってきた、その中でも農業散布、TVドラマやコマーシャル撮影、建造物の撮影など実機（本物のヘリコプター）では飛行できない被災地現場上空からの撮影などに使われている。表1に実際に農業散布で利用されている産業用無人ヘリコプターの特徴を例として示す<sup>(1)</sup>。

ラジコンによるヘリコプターと実機のヘリコプターを比較した場合の大きな違いは、ラジコンヘリコプターの場合は機体が小さいので目的地まで自動車で運搬できるが、実機は離れた飛行場から目的地まで飛行して作業を終えたら飛行場へ戻らなければならないため燃料費や人件費が掛かることである。

形で電動（モータ）駆動であった。また、ペイロードは9 kg 程度まで搭載可能である。操縦は無線機（プロポ）により熟練した操縦者が遠隔操作で行った。

最近シングルロータ（図2）から進化し、電子制御技

表1 ヤマハの農業散布ヘリコプター 産業用無人ヘリコプター FAZER の特徴。

性能	実用距離（目視範囲）150 m まで
操作寸法	メインロータ径 3,115 mm
全長・全幅・全高	3,665 mm・770 mm・1,078 mm
取扱重量	70 kg オイル・燃料満タンの機体に24 ℓ 散布装置本体（散布タンクは含まず）を取り付けた状態での重量
散布装置	最大 24 ℓ（薬剤）、20 kg（粒剤）を搭載可能
エンジン	4 サイクル・2 気筒水平対向
排気量	390 cc
燃料	レギュラーガソリン

## 2 ラジコンを使った新しいアプリケーション

### 2.1 シングルロータ型とマルチロータ型のラジコンヘリコプター

弊社では、本物のヘリコプターの代わりにラジコンヘリコプターを使う提案を行っている。例えば、独立行政法人電子航法研究所では、ヘリコプターの実機を使った送電線回避システムの研究が行われており、この場合、実際のヘリコプターにミリ波レーダや赤外線カメラ、無線 LAN システムなどを搭載している<sup>(2)</sup>。

しかし、実機をチャータしての繰り返し実験を行うには、研究費が膨大になるという問題があり、それを解決する手段としてラジコンヘリによる上空実験プラットフォームを提案した<sup>(3)</sup>。

図1のラジコンヘリコプターは、そのとき提案したシングルロータ型であり、プロペラが直径約2 m と大



図1 提案のシングルロータヘリコプター（下側は搭載したペイロード）



図2 シングルロータ型ヘリコプターの例

術によりモータコントロールで安定して飛行できるマルチコプター（図3）が空撮業務やホビーの間では主流になった。ただし、農業散布の場合など大きいペイロードが必要な場合は、ロータ径を大きくする必要があり、結果としてシングルロータ型のヘリコプターが選択となる。

また、従来のシングルロータヘリコプターは複雑なメカ（図4）によるピッチ制御により傾きを変えるため、ロータヘッドの調整が難しく、安定して飛行させるためには高度な技術が必要であったが、マルチコプター型は図5のようにモータに直結されたロータの回転方向の異なるロータの差動推力を調整して、安定した飛行を可能にしている。メカニカルな機構が少なく調整が簡単であるため、ここ数年はマルチロータ型のヘリコプターが注目され、空撮などに利用されるようになってきた。

マルチコプターにはロータの数によりクアッドコプター（4枚ロータ）、ヘキサコプター（6枚ロータ）、オクトコプター（8枚ロータ）の3種類がある。

ロータの枚数による違いは、ペイロードや飛行時間などの目的に合わせて選択している。

例えば、2 kg 程度の重いカメラを搭載するときはペイロードの高いオクトコプター（8枚ロータ）を採用し、



図3 マルチロータ型ヘリコプターの例



図4 シングルロータのロータヘッド部



図5 プロペラとモータが直結されたマルチロータ型のロータブレード部

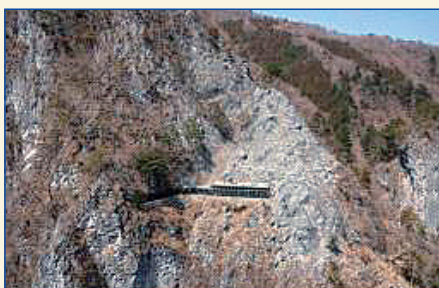


図6 東京都奥多摩町日原付近の岩山



図7 リアルタイムな動画像を見る地上のモニター



図8 使用したジンバル付カメラの概観

また、最近流行の小形で高性能な GoPro カメラを搭載するときはクアッドコプター（4枚ロータ）を採用することで、本体も軽量で飛行（撮影）時間もある程度長くなる。

## 2.2 ラジコンヘリコプターを使った山林崩壊現場の上空撮影

ここ数年の異常気象などによる大雨での大規模な山林崩壊や崩落により人的被害が発生していることから、崩落の可能性のある山林や岩山を事前に撮影し、治山計画（崩壊現場の改修）を立てることや、治山中の状況や治山後の完了確認のための撮影を行うことを目的とした空撮業務を行っている。

図6は、東京都奥多摩町日原付近の岩山山頂約800 mの写真である。ここでは修復工事現場の上空撮影を行うことが目的である。

このシステムを利用することにより、マルチコプターの操縦者とクライアント（撮影依頼主）は、上空から送られてくるリアルタイムな動画像を地上のモニター（図7）を見て飛行ルート及び空撮ポジションを決め撮影することで、短時間で必要な画像を撮ることができる。ここでは画像伝送装置は認定を受けた機材を使用し、取扱者は無線従事者の免許を取得している。

更に電子ジャイロやGPS機能を搭載し、地図情報を入力することでウェイポイントを設定することができ、目的の場所まで飛行し撮影をして着陸することも可能となる。

また、安定した画像を取得することが重要となるが、近年のデジタルカメラの手振れ防止機能などの進化とあいまって「画像振れの少ない」高画質な映像を撮ることができる。

このプロジェクトで使用した図3のマルチコプターの仕様を表2に示す。また図8に搭載したジンバル付カメラの概観を示し、主な仕様を表3に示す。

この空撮では、岩山の崩壊現場の作業前の動画像や静止画像を基に治山（改修）計画を立て、治山作業中の空撮、そして治山完了後の空撮と3回撮影した。

【撮影話】 今回の撮影は谷間からの離陸でGPS衛星



表 2 山林崩壊現場の上空撮影で使用したシステムの仕様

ヘリコプターのタイプ	ヘキサコプター S800
全長	800 mm
全備重量	約 6.0 kg
ペイロード重量	約 2 kg
可動時間	約 8 分



図 9 地上約 300 m 上空からの撮影例

表 3 使用したカメラの主な仕様

カメラジンバル	ZENMUSE 社製 Z15
サイズ	220 × 220 × 230 mm (本体)
重量	約 880 g
搭載カメラ	ミラーレス一眼カメラ (SONY NEX-5/7N)
全備重量	2,830 g
パン	80 度 (± 40 度)
チルト	360 度
カメラマウント	110 mm

からの電波受信が地上では不可能なため、地上高数十 m 程度飛行させ衛星から電波受信するまでホバリング（静止）して GPS 信号を受信したことを確認し、上空約 300 m まで飛行し撮影を行った。また、山頂付近の撮影場所は治山担当者も上空から見たことがないため、地上モニターや等高線地図を見ながらの操縦で目的の撮影ポイントを見付けるのには多少の時間が必要であった。

2 回目、3 回目は改修現場の機材などがマーカ（目印）になるので短時間での撮影が可能であった。

図 9 は、地上約 300 m 上空から撮影したものである。

### 3 今後のラジコン(無人機)を使ったアプリケーションの方向性

弊社のラジコンを利用した撮影は、主に防災・減災を目的とした撮影業務を行うことを目的としている。

山林（岩山）などで大雨や地震により崩落する可能性がある危険な箇所を自治体が把握することで、住民に敏

速な避難を促すことができると考えている。

そのためには多くの岩山などの山林を事前に撮影し治山計画をすることが大切と考え、各自治体が管理する海岸、護岸、河川、岩山などの危険性のある場所をあらかじめ撮影しビッグデータとして蓄積することで、災害発生時の避難、改修計画などのための提案をしている。また、前述の研究機関や大学への上空実験の提案として今後も行っていく予定である。

今後期待される技術として高精度 GPS や長寿命で軽量の電池の開発により、長時間の飛行ができることで安全な遠距離への無人空撮が可能となると思う。

## 4 まとめ

マルチコプターは、これからも発展を続け多くの場面で活躍すると思われる。しかし、GPS やジャイロセンサによる高性能な自立飛行機能を搭載していても、思わぬ強風や機器のメンテナンス不足による誤動作などで飛行バランスを崩し落下する事故も実際にある。このため、空撮業務を行う場合は、十分な経験と知識が必要であるとともに、飛行周辺の事前の確認や騒音などの環境にも配慮が必要と思う。

写真提供：(独)電子航法研究所(米本研究員)、東京都森林事務所(治山係)、(株)エアーカムジャパン、(株)田屋エンジニアリング

### ■ 文献

- (1) ヤマハ産業用無人ヘリコプター, <http://www.yamaha-motor.co.jp/sky/> から一部抜粋
- (2) ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人, 小林啓二, 奥野善則, 桂 信夫, “76 GHz 帯小電力ミリ波レーダシステムを用いた有人ヘリコプタの前方障害物探知試験,” 信学技報, SANE2012-45, pp.25-30, July 2012.
- (3) S. Futatsumori, A. Kohmura, and N. Yonemoto, “Performance measurement of compact and high-range resolution 76 GHz millimeter-wave radar system for autonomous unmanned helicopters,” IEICE Trans. Electron., vol.E96-C, no.4, pp.586-594, April 2013.

### 松本敬吾

佐賀県生まれ。1973 年からマイコン応用開発支援装置のベンチャー企業でハードウェアエンジニア及びフィールドエンジニア、マイクロコンピュータ・アクセラレーターシステム企画開発。1994 プラムシステム(有)を設立、FPGA デジタル信号処理ボードシステムをソフトウェア無線研究を行う大学や企業に提案販売する。現在は騒音環境作業者の安全装置の開発を行うとともに、ラジコンヘリコプターによる上空実験や山林崩壊現場の空撮企画を行う、多くのネットワーク企業と連携している。



# 米国における無人航空機開発の現状と運用展望

西 祐一郎 Yuichiro Nishi 日本成層圏通信株式会社

## 1 UAV概況

米軍における無人航空機 (UAV) 調達は年間 37 億ドル (約 3,700 億円) レベルで推移している。また、今後 10 年間、開発予算として 100 億ドル (約 1 兆円) の投資が見込まれている<sup>(1)</sup>。アフガニスタンからの兵力撤退及び連邦予算の大幅な削減の影響から軍事予算が大幅に削減される中、UAV 関連予算の減少傾向はそれほど高くない。開発の重点は、米軍が制空権を有する「permissive (飛行が許容された)」空域や、アフガニスタンやイラクのような散発的な抵抗因子が存在する「contested (対抗勢力が存在する)」空域で作戦飛行を行う RQ1 / MQ1「ブレイダー」や MQ9「リーパー」等のシステムから、より高度なステルス性能を装備することにより、米軍が制空権を有さない他国上空の「denied (拒否された)」空域でも作戦遂行能力を有する新型システムに移行している。作戦ミッションも、従来重視されてきた情報収集作戦 (ISR : Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) の枠を越え、戦闘攻撃能力も含めたより複合性の高い機能、また空中給油や航空母艦離着陸等、より高度な機動性により、その範囲を広げている。

米国内における UAV の民生利用は従来どおり FAA (連邦航空局) より引き続き商用運用が規制されており、また警察や消防向けの公的利用についても FAA の「COA (Certificate of Authorization : 許可証明書)」制度による慎重な対応が続いている。しかし FAA からの型式証明が 2 機種に交付され、民間空域での商用運用も徐々に認められつつある。UAV の個人利用に関しては、国立公園内での運用を禁止するケースなど徐々に規制の輪が広がってきている。その一方で、Amazon 社やドミノピザ社による UAV を利用した商品配達構想や、Google 社や Facebook 社による UAV を利用したインターネット網の整備構想実現に向けた UAV 開発会社買収など、民間企業による UAV 利用の可能性がマスコミをにぎわせている。これらの構想実現には FAA の規制

が障壁となっており、規制緩和に向けた政治的働き掛けも活発化している。

## 2 マイクロ UAVs

機体の大きさが 15 cm 以下の UAV はマイクロ UAV あるいは MAV として分類されている。2011 年に AeroVironment 社が DARPA 予算で開発した Nano Hummingbird の発表後、特に革新的な動きは見られていない。この分野をリードするのは主に DARPA からの助成を受けた大学研究機関であり、近年、屋内で複数のマイクロ UAV がセンサでお互いを感知しながら編隊飛行をするための複合的航行ロジックの開発に主眼が置かれている。また玩具メーカーによる製品開発も進んでおり、その技術が大学研究機関等の基礎研究的枠を越え、具体的な商品開発フェーズへと移行したことがうかがえる。

## 3 小形 UAV 及び歩兵携帯型システム

MAV よりも大形で、特に兵士が携帯して運用するサイズの無人航空機システムを小形 UAV と分類する。主に小形無人偵察機が地上パトロールに従事する兵士による探索／捜査ミッションで広く活用されている。このセグメントで支配的地位を占めているのは AeroVironment 社で、図 1 に示す RQ-11 Raven は 2 万機以上が製造され、米軍、その他世界 20 か国に納入された。2012 年 11 月時点で、5,394 機が作戦行動に組み込まれて運用されている。現在、Raven は大きさや航行距離によって異なる Wasp 及び Puma AE を姉妹機として取りそろえ、制御システムのデジタル通信化や防水性能の完備、そして電源強化による航続時間の延長 (Puma AE で 3 時間) など、進化を続けている。AeroVironment 社 UAV の特徴として、電気モータによる静音飛行、手投げ式離陸、ストール式ピンポイント着陸、数百回の離着陸に耐えられる高耐久性、操作員 1~2 名の簡素なオペレーション





図1 AeroVironment製 RQ-11 Raven

などが挙げられ、高く評価されている。ちなみに、現在3機のPuma AEが日本国内でも災害時通信中継ミッション用に導入されている<sup>(2)</sup>。

AeroVironment社の対抗勢力として米軍への納入実績があるのはPrioria社のMavericでこれまで36機が陸軍に納入された。またLockheed Martin社のDesert Hawkは2007年に空軍による調達を終了した。その後英国陸軍が222機購入している。

内燃機関型エンジンを採用した小形UAVとして普及が進んでいるのがBoeing／Insitu社のRQ-21A ScanEagle。現在、FAAの型式証明を取得することで、政府機関以外の法人や研究機関による運用が可能なUAVはこのScanEagleと前述のAeroVironment社Puma AEのみである。2014年6月、BP社によるアラスカ州での陸上の油田開発作業支援のためPuma AEを飛行させることが発表になった。今後陸上での民間事業者による無人航空機の運用が活発化することが期待される。

## 4 中高度偵察／攻撃プラットフォーム

図2のGeneral Atomics社製R/MQ-1 PredatorそしてMQ-9 Reaperによって開拓場セグメントであり、1994年以降、その支配的地位は揺らいでいない。これまで360機のMQ-1、152機のMQ-1C、そして200機近いMQ-9が配備された。これらは、地上のパイロットが衛星通信回線等を通じて機体のシステムを制御している。米軍が制空権を有する「Permissive」あるいは「Contested」空域での作戦行動が主な飛行ミッションとなっている。2013年6月には空軍が2003年に調達したRQ-1が2万時間の飛行記録を樹立した。現在MQ-1はMQ-1Cに発展しており、エンジンが航空用ガソリンからディーゼル燃料型に変更された。MQ-9ターボプロップエンジンを搭載している。Predator／



図2 General Atomics社製MQ-9 Reaper

Reaperはカメラやレーダによる偵察ミッションのみならず、攻撃用ミサイルを装備することでより多岐にわたる作戦ミッションを展開できるのが特徴である。最新型のMQ-1Cは飛行時間が45時間となり、またプログラム全体で2013年10月までに2万回の自動離着陸が実施されたことをGeneral Atomics社は発表している。

一方、より高性能なGeneral Atomics Avenger (Predator-C)の開発プログラムは保留になっており、Northrop Grumman社の新型ステルス機であるRQ-180へと引き継がれる可能性が高い。

## 5 戦闘型無人機(UCAV)

UCAVはいわゆる戦闘型無人機の総称で、ステルス性能を有し、多目的攻撃性能及び作戦能力を主眼に設計されている。海軍は2013年、Northrop Grumman社のX-47B ペガサス(図3)の航空母艦からの離発着を成功させた。現在、X-47Bに空中給油機能を搭載するための実証実験が予算の承認待ちとなっている。

一方、空軍主導で進められてきたBoeing X-45の開発は2006年に休止した後いまだ再開されていない。また2011年、CIAによる秘密偵察ミッション中イラン軍に拿捕されたRQ-170 Sentinelのその後の配備・開発状況についても、その後発表等はない。一つの可能性としては、より大形な翼幅と航行距離を持つRQ-180に統合されたのではないかと、この見方が優勢。

## 6 高高度長時間偵察／通信中継プラットフォーム

高高度長時間飛行(HALE: High Altitude Long Endurance) UAVとも分類されるこのカテゴリーは、1990年代から人工衛星に代わる通信及びリモートセンシングプラットフォームとして、主に飛行船による実現を目指して開発が続けられた。現在、主な開発投資は固定翼型の航空機開発のみとなっている。





図3 Northrop Grumman 社製 X 47B UCAS

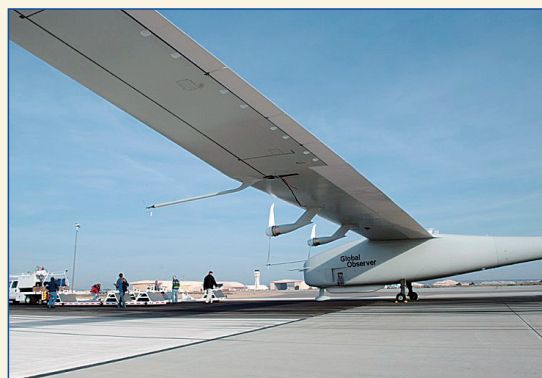


図4 AeroVironment 社製 Global Observer

高高度偵察機として1999年まで活躍したロッキード SR-71 Blackbird の後継機の位置付けで空軍によって開発されているのが Northrop Grumman RQ-180。高高度を長時間航行し、またステルス性に優れた性能により、制空権外の空域での ISR ミッションの遂行を設計目的としている。航続距離は2,200 km、航行時間は約24時間。性能的には Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk に類似する。

この Global Hawk は、現在飛行可能な機体は42機であり、そのうち32機を空軍が運用している。元タスパイ用高高度偵察機 Lockheed U-2 の後継として開発されたが、目標性能実証の遅延から、現在も U-2 と並行して運用されている。RQ-180 への集約の必要性から Global Hawk の追加調達は今後行わず、また U-2 も2016年から退役を進める、との方向性が空軍から示されている。

一方、通信中継プラットフォームとしての機能をフィーチャーした液体水素を燃料とする機体として開発中なのが、Boeing 社の「Phantom Eye」と AeroVironment 社の「Global Observer」である。

Phantom Eye は翼長45 mで、滞空高度20 kmで4日間、200 kg のペイロードを搭載した飛行を目指している。2012年6月に初飛行が実現し、現在までに6回、合計6時間の試験飛行を行っている。ただ、飛行高度はまだ28,000 フィートを超えていない。

図4の Global Observer は翼長53 mで、滞空高度20 kmで5日間、あるいは高度17 kmで7日間、180 kg のペイロードを搭載した飛行を目指している。プロトタイプは2機製造され、2011年に1号機が高高度試験中破損してしまった。現在2号機による継続運用に向けての開発資金待ちの状態。2014年、AeroVironment 社は Lockheed Martin 社と Global Observer 開発の再開に向け協力することを発表した。現在 U-2 に搭載されている ISR 用機器の Global Observer へのインテグレーションを行う、とのこと。

## 7 無人航空機用垂直離着陸 (VTOL) システム

無人型垂直離着陸システムは海軍や海兵隊によって、主として有人ヘリコプターへの無人操縦機能の付加という形で開発が継続されている。海軍は2014年中に合計96機の Northrop Grumman MQ-8C Fire Scout 無人ヘリコプターの導入を予定している。この機体は既に1万時間の試験飛行を積み上げており、航行時間14時間、320 kg のペイロード搭載能力を持っている。

一方、海兵隊はアフガニスタンでの夜間の貨物運搬ミッション用に Lockheed Martin / Kaman K-Max を2011年12月に実戦配備。これまで1,700回のミッションを遂行している。運行コストが毎時1,700ドル程度と大変安価であることが高い評価につながっている。

## 8 NASA主導の無人航空機開発

2014年3月、NASA ドライデン飛行研究センターが、「Armstrong Flight Research Center」への名称を変更した。2003年にNASA全体の6%だった予算が2007年以降3%台で推移する中、航空関連予算の先細りの潮流に歯止めをかけるための政治的な対応策であると考えられる。全翼型ブレンデッドウイングボディー (BWB) のコンセプト機である X-48C プロジェクトが終了した現在、NASA が取り組んでいる「X-plane」は空軍から引き継いだ HALE、すなわち高高度長時間飛行の実証試験プロジェクト機である X-56 を残すのみとなっている。今後5年程度の間に、Lockheed Martin 社のフライトコントロールソフトウェアを NASA が自前で開発したコードに置き換え、またフラッタ抑制を実現し、主翼の重量を25%削減することによる、より高い高度をより長く飛行することを目指している。

## 9 FAA連邦航空局動向

2007年にFAAは模型ラジコン機サイズのUAVの商用運用をCOA制度によって完全な統制を実施した。それ以降、米国内での商用UAV開発飛行の実施は困難になっている。更に2010年、FAAはCOA申請資格を消防や警察などの公的機関に限定するとともに、商用UAVメーカーに対して個々の機体に特別耐空証明の取得を義務付けた。現在この特別耐空証明を得ているのはAeroVironment社のPuma AEとBoeing/Insitu社のScanEagleのみ。General Atomics社はPredator-Bの特別耐空証明取得に向けて動いている。認証手続きには大きな手間とコストが掛かるため、ほかのUAVメーカーにとって、この障壁はかなり高いものとなっている。

一方、このような規制の壁に多くの民間UAVユーザーやメーカーは強く反発している。テキサスのボランティアグループはUAVによる人命救助活動は非営利であり、FAAによる「商用飛行」規制の適用外に当たる、と連邦裁判所に提訴している。またこれまでFAAによって1万ドルの罰金を課せられたRaphael Pirker氏は2014年3月にFAAにはホビー用ラジコン飛行機をそもそも規制する権限はないと主張して提訴した。今後の司法の判断が注目される。

米国議会はUAVの民間空域での運用を可能にする航空管制システムの導入を2015年9月30日までにFAA

が配備することを義務付けている。しかし、航空法上必要とされる「See-and-avoid（視認による回避）」機能をUAVに満足な形で装備することが困難なため、民間空域でのUAV運用の規制は当面続くと思われる。

## 10 COA認可を受けて飛行しているUAV

連邦情報公開制度を利用して開示された2006～2012年にCOA認可を受けた主なUAVのリストは表1のとおり。

## 11 IT関連企業等によるUAV開発動向

2013年から今年にかけて、米国のIT関連会社によるUAV開発関連の報道発表がマスコミで広く取り上げられた。例えばAmazon社は2.3 kg以下の商品を配送センチから16 km以内の配送先に30分以内に8枚羽のオクトコプターで空から宅配する構想を発表。またGoogle社はTitan Aerospace社を60億円相当で買収した。高度20 km上空に15 kgのペイロードを搭載して5年間飛行を続けることが可能な「成層圏プラットフォーム」実現に向けて2014年夏からテスト飛行を開始するとのこと。また「Google Loon 構想」においては、

表1 COA認可を受けた主なUAV

Manufacturer	Model	Configuration	Comments
AeroVironment	Wasp	Flying wing	Most popular
AeroVironment	Raven	Conventional airplane	
AeroVironment	Puma AE	Conventional airplane	
Arcturus	T15/T16	Conventional airplane	
Boeing Insitu	Insight A-20 (ScanEagle)	Flying wing	
MLB	SuperBat	Conventional airplane	
Prioria	Maveric	Conventional airplane	
RP Flight Systems	Spectra AP	Flying wing	
senseFly	Swinglet CAM	Flying wing	
Utah State University	AggieAir	Flying wing	
UTC Aerospace Systems	Vireo	Flying wing	
Manufacturer	Model	Configuration	Comments
Adaptive Flight	Hornet Micro	Helicopter	Most popular for local police
AeroVironment	Qube	Quadcopter	
Aeryon Labs	Aeryon Scout	Quadcopter	
Airrobot	AR-100	Quadcopter	
Draganfly	Draganflyer X6	Tricopter	
Honeywell	RQ-16C T-Hawk	Hovering ducted fan	
Leptron	Avenger	Helicopter	
Minicopter Canada	Maxi-Joker 2	Helicopter	
Rotomotion	SR30	Helicopter	
Yamaha	RMAX	Helicopter	

ニュージーランドから飛び立った気球を 26 日間南極外周を高度 18 km で航行させた。気球からのインターネット接続の可能性に期待が集まっている。一方、Facebook 社は英国 QinetiQ Zephyr ソーラープレーンプロジェクトに参画したエンジニアが起こした Ascenta 社を 20 億円で買収、エリクソン社と提携して、「空からのインターネット」構想実現に向けて動き出している。

## 12 今後の課題と展望

2001 年のアメリカ同時多発テロ事件後のイラク及びアフガニスタンでの戦線拡大によって米国の無人航空機開発及び実戦配備が急ピッチで進んだ。その後 13 年が経過した今日、イラクからの撤兵が完了し、またアフガニスタンからの撤収も進んでいる。これまで右肩上がりで成長してきた無人航空機メーカ各社は今後の拡大の可能性を民間／商業市場に見いだそうとしている。

一方、連邦航空局は有人航空機との衝突回避や地上の一般市民の安全確保の重要性を強く主張し続けている。例えば、自動車は、衝突回避のための道路標識や信号、そして昼夜及び天候を問わず安全に走行できる道路の整備によって広く民間に普及した。同様に、今日の旅客機普及の背景には連邦航空局が整備し全米に張り巡らせた管制システムがある。

無人航空機が今後広く普及するために不可欠なインフラとして GPS 精度の向上及び障害物回避機能の装備の重要性がクローズアップされている。遮蔽やマルチパスによる GPS 位置精度の劣化や GPS 装置が故障した場合のバックアップ航行システムの搭載が求められており、有人航空機では一般化している冗長性による安全確保が無人航空機にはより一層求められている。また、既存の超短波全方向式無線標識施設 (VOR: VHF Omnidirectional Range) 感知システムの搭載や

ADS-B ネットワーク上での機体認識についてもその必要性がしばしば唱えられている。更に、現在個々の無人航空機メーカに委ねられている航行制御用無線プロトコール及び無線周波数割当に関する取決めと標準化についても待ったなしの状況となっている。今後、Amazon 社や Google 社など潤沢な開発資金を投入できる企業が率先してこれらの課題を解決し、その過程で培われた技術が標準化されることで、無人航空機の米国内での運用が広がることに期待が集まっている。

ただ、連邦航空局としては当面、陸上及び海上での無人航空機の運用については、原則として人口密集地を避けた空域においてのみ許可し、無人航空機の安全性がより一層進化するのを 10 年スパンで検討する必要がある、とのスタンスがうかがえる。「無人航空機先進国」である米国の今後の動向をより細密にフォローしていきたい。

### ■文献

- (1) Forecast International/Aviation Week, 6, pp.67-71, Jan. 2014.
- (2) 三浦 龍, 滝沢賢一, 小野文枝, 鈴木幹雄, 香川敏規, 越川三保, 金子 恵, 浜口 清, 井上真杉, 大和田康伯, 辻 宏之, 単 麟, “空飛ぶ電波タワーを実現! 大災害で孤立した地域を上空からつなぐ~小型無人飛行機を活用した無線 LAN 中継システムの研究開発~, ” 電波技術協会報 FORN, no.300, Sept. 2014.

### 西祐一郎

日本成層圏通信株式会社代表取締役。大学院修士課程了後、1993 からハーバード大公衆衛生学部研究員。遠隔地医療支援衛星通信プロジェクトに参画。2001 に帰国し、米国 AeroVironment 社と協力して日本成層圏通信株式会社を設立し現職。無人航空機の開発、運用、UAV を活用した無線通信網及びセンサネットワーク開発に従事。修士 (公衆衛生学)。





# 日本ラジコン電波安全協会の事業内容

—ラジコンを安全に楽しむために—

一般財団法人日本ラジコン電波安全協会

## 1 はじめに

近年、電波利用技術の発展とともに、ラジコンも高性能化・高機能化が進み、健全なホビーとして多くの人たちに楽しまれている。また、農業散布や航空写真撮影などに産業用ラジコンが活躍している。

また、安価なトイラジコンも数多く販売されており、子供から大人まで楽しめるホビーとして、今や1,000万人を超えるまでに普及している。

「ラジコン」はラジオコントロール (Radio Control) の略であるが、1956年に玩具メーカーによって商標登録されている。現在のような無線操縦模型がラジコンと一般に呼ばれるようになったのは1960年頃からのことである。

ラジコンが本格的に普及するきっかけとなったラジコン専用電波の周波数割当が行われたのは、今からほんの30年ほど前のこと。その昔、ラジコン用電波は、周波数も少なく、他業務と共用で大変使いづらいものであった。しかし、1984年11月、関係団体の尽力により、念願だったラジコン用専用電波の周波数割当 (40 MHz 帯13波) とともに、ラジコン用発振器の推奨規格と推奨規格適合証明事業認定規程が郵政省告示として定められた。

これに合わせて、推奨規格適合証明制度とラジコン利用者の登録制度によるラジコン電波の自主管理体制を確立するため、1985年1月に財団法人日本ラジコン模型安全協会が設立された。

これが、当協会の前身であり、その後、ラジコン操縦士の登録数の増加に伴って、72 MHz 帯周波数の追加割当を受け、ラジコン模型も普及発展してきた。1995年に産業用ラジコン専用周波数 (73 MHz 帯) の割当を受けたのを機に、財団法人日本ラジコン電波安全協会と改称し、2011年には一般財団法人日本ラジコン電波安全協会として生まれ変わって現在に至っている。

## 2 一般財団法人日本ラジコン電波安全協会の事業

ラジコンの送信機は一般に「プロポ」と呼ばれている。これは、ラジコンの制御方式であるプロポーションアル方式 (proportional, 比例制御方式) から来ており、送信機のスティックの操作角度に比例して、模型のスピードやサーボ (舵角) を制御することで、自在にその模型を操縦することができる。

「ラジコン用発振器」(プロポ) も電波法でいう無線設備であり、無線設備を使用する場合は、原則として無線局の免許が必要と規定されている。

1984年のラジコン専用電波の割当に際して、ラジコンの普及発展のために免許制度の負担軽減を国に要請し、①ラジコン用発振器の適合証明試験を行って管理すること、②ラジコン操縦士登録によりラジコンの利用状況の把握と電波の正しい知識や安全な運用に関する周知指導を行うこと、という自主規制の実施を条件に、免許を要しない無線局として認められた。

現在、当協会の事業の柱として、①40 MHz 帯、72・73 MHz 帯プロポの標準規格適合証明事業 (認定事業)、②2.4 GHz 帯プロポの登録事業、③ラジコン操縦士登録事業があり、もう一方の柱として④安全環境対策事業がある。

## 3 ラジコン用発振器(プロポ)の認定事業

当協会では、ホビー用の40 MHz 帯、72 MHz 帯プロポ及び産業用の73 MHz 帯プロポの認定事業を行っている。

これは、プロポの運用による混信妨害の未然防止を図るため、電波法の規定や当協会が定めた標準規格に基づいて適合証明試験を実施し、ラジコン用電波の適正かつ安全な運用の確保を目的とするものである。合格したプ

ロボには適合証明シールを発行しており、プロポに貼付される。

当協会の標準規格は、当初、郵政省告示の推奨規格として定められていたものである。

当協会は、1984年の郵政省告示「ラジコン用発振器の推奨規格適合証明事業認定規程」に基づく認定を受け、1985年2月からプロポの認定事業を開始した。初年度（1984年度）の推奨規格適合証明の認定を行ったプロポは1,267台であった。

その後、ラジコンの普及に伴い、1992年8月に72 MHz 帯周波数10波の新規割当が行われたほか、1995年2月に産業用ラジコンに対する専用周波数として73 MHz 帯6波の新規割当が行われた（その後4波増波して現在10波）ことにより、ラジコンは急速に普及してきた。

2001年4月には、ラジコン業界におけるラジコン用発振器の技術・性能の向上、当協会の認定事業による推奨規格の浸透など、良好な環境が整ってきたことなどから、国の制度としての役割は達成されたとして、「ラジコン用発振器の推奨規格適合証明事業認定規程」告示が廃止され、今後はラジコン業界の自主的な取組みにより良好な環境を維持していくこととなった。

当協会では、それまで告示に規定されていた推奨規格を協会の標準規格として規程を定め、良好なラジコン電波環境の維持のために認定事業を継続して実施している（各年度のプロポの認定台数を図1に示す）。

なお、ラジコン用周波数には従来から27 MHz 帯も使われている。27 MHz 帯プロポの認定事業は「日本ラジコン模型工業会」が実施しているが、近年、27 MHz 帯プロポの新規認定はほとんどないのが実情である。

また、2.4 GHz 帯プロポの導入と爆発的な普及により、40 MHz 帯や72 MHz 帯プロポの認定数は激減している。

しかし、2.4 GHz 帯は電波の直進性が強く、障害物の裏側に回ったときに操縦できなくなることやマルチパ

ス対策が必要であるのに対し、陸上用の車や水上用ボートなどで使用する27 MHz 帯や40 MHz 帯、上空用の40 MHz 帯や72 MHz 帯は、周辺の障害物や水面に立つ波しぶき等の影響を受けにくいことなどから、一定の需要がある。また、ラジコン愛好家の間で、2.4 GHz 帯プロポと比べて操作性に微妙な違いがあるとの声もあり、根強い人気がある。

産業用では、専用周波数帯である73 MHz 帯を使用する農業散布用ラジコンヘリや建造物の陰になっているところを撮影調査する場合などで必要とされており、今後は、防災用としての活躍も期待されている。

## 4 2.4 GHz帯ラジコン用装置の登録事業

2008年頃から急速に普及してきたのが、2.4 GHz 帯を使用するプロポである。

2.4 GHz 帯は元々世界的にISM（産業科学医療用）バンドとして電子レンジや無線LANなど、様々な用途に利用されており、ラジコンで使用した場合、もし混信を受けても容認しなければならないものとされている。

しかし、従来の27 MHz 帯、40 MHz 帯や72 MHz 帯の場合、故意の混信妨害から逃げるのが困難であり、競技会等におけるバンド管理が煩わしいことなどから、比較的混信に強く、バンド管理が不要な2.4 GHz 帯は、あっという間に愛好家の支持を得て普及した。

電波法では、無線設備規則第49条の20に「小電力データ通信システム」として技術基準が定められている。そして、電波法第38条の2の2の登録証明機関による認証を受ければ、免許不要で運用できる。

当協会としては、発射される電波の技術基準への適合性以外に、ラジコン用装置（2.4 GHz 帯プロポ）全体としての操作性や動作の確認と、良好なラジコン利用環境の維持のために当協会に登録したプロポを当協会の推奨品として国内普及を図っている。

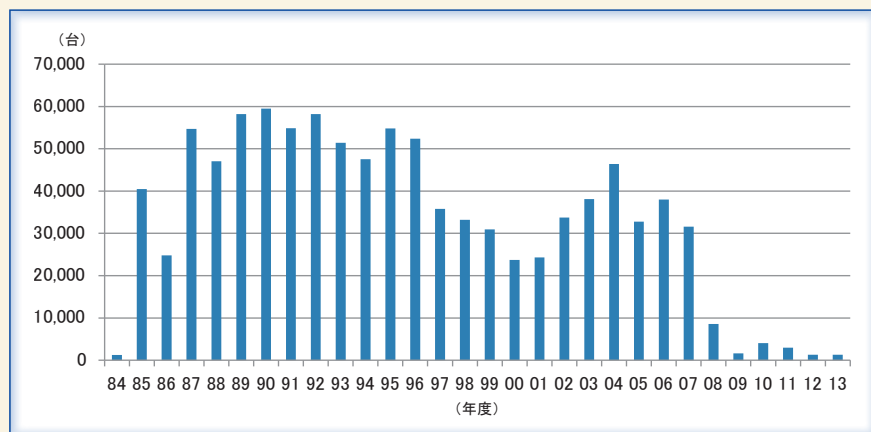


図1 40 MHz 帯、72・73 MHz 帯プロポの認定台数

その登録事業の一環として実施しているのが共存調査である。

一概に 2.4 GHz 帯プロポといっても、各メーカー、各機種によって制御チャンネル数や変調方式が異なることがある。無線設備規則の規定に基づき、多くはスペクトル拡散方式の直接拡散方式や周波数ホッピング方式、あるいはその複合方式が採用されているが、それ以外のデジタル変調方式のものもあり、今後も新しい方式のものも開発される可能性がある。

そこで、各メーカーの協力の下、各メーカーから 10 台ずつのプロポを提供してもらって一か所に集め、1 台ずつ電波を発射していった相互に干渉がないかどうかを調査する共存調査を行っている。初めの頃は、ある機種の電源が入らなくなったり、ホールド（動作が止まったり遅れが出る）などの現象が起きたことから、各メーカーからも共存調査に対する理解が得られ、プロポの改良も進められてきたところである。

共存調査において、飛行機、グライダー、ヘリコプターといった上空用プロポの場合は 30 台以上、自動車、船舶など上空以外用（陸上用、水上用）のプロポの場合は 40 台以上が同時に電波を発射しても、相互の干渉が認められないことを目安に合格としている。最近のプロポは驚くほど性能も向上し、各メーカーのプロポが合計で 50 台同時に電波を発射しても、相互の干渉が認められないほどになっている。

この共存調査の合格を含め、当協会に登録された 2.4 GHz 帯プロポには登録シールが発行される。技適認証番号と協会登録番号を示す、このシールが裏側に貼付されたプロポは、当協会の推奨品として使って頂ける。

当協会の登録事業は、2008 年 4 月から行っているが、40 MHz 帯や 72 MHz 帯の認定事業と台数ベースで比較すると、2014～2015 年度は、認定・登録台数全体のうち 98 % 以上が 2.4 GHz 帯プロポになっている（2.4 GHz 帯プロポの登録台数を図 2 に示す）。

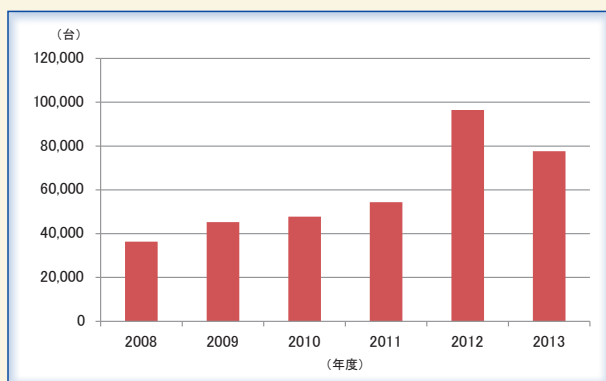


図 2 2.4 GHz 帯プロポの登録台数

## 5 ラジコン操縦士登録事業

良好なラジコン電波環境の維持を目的としたプロポの認定・登録事業とともに、当協会の事業のもう一つの柱がラジコン操縦士登録事業である。

電波は有限希少な資源であり国民共有の財産である。電波を利用する者は原則免許を受け、電波利用料を払って無線局を運用している。

ラジコン電波は、諸先輩方の尽力により、専用電波の割当を受け、認証を受ければ免許不要で運用できる。

それは、ラジコン愛好家の皆様が、ラジコン電波を適正に運用する責任を自覚し、ラジコン電波の正しい知識と操縦技術の習得・向上に努め、ラジコンの健全な普及発展を図ることが求められているということである。

ラジコン操縦士登録制度は、ラジコン用電波の利用状況を把握管理するとともに、有限希少な電波資源を免許不要で利用できることを強く認識し、ラジコン運用者としての責任を自覚して、ルールにのっとりモラルをもって適正にラジコンを運用して頂くことを目的としている。

また、ホビー用のラジコン操縦士登録者は、低廉なラジコン保険に加入できる。個人賠償責任保険で対人、対物損害最大 1 億円を補償するものである（免責 5 万円）。ラジコンの運用にあたって安全の確保は必須のことだが、それでも万一の事態に備えるのがラジコン保険である。近くの家や住宅にぶつけた事例は少なからずあるし、死亡や傷害事例もあり、万一運用を間違えたりした場合や機器が故障した場合などにおけるラジコンの危険性を認識して頂く必要がある。ラジコンの競技会では、保険の加入が参加条件となっている場合がほとんどである。

ラジコン操縦士登録は、当協会の設立当初から取り組んできた。操縦士登録管理用システムの開発導入を行い、導入初年度（1985 年度）は、5,962 名の登録があった。登録は 2 年更新となるが、現在、新規・更新合わせて約 2 万名の登録を頂いている（図 3）。

長い不景気の間に減少傾向だったラジコン操縦士登録件数も、景気の回復に合わせて、ここ数年少しずつ増加に転じており、今後ともラジコンを楽しむ人が増えることを期待している。

## 6 安全環境対策事業

当協会の事業のもう一つの柱が、安全環境対策事業である。

安全環境対策事業は、ラジコンの安全な運用や電波秩序の維持などを確保するために、ラジコン愛好家に対して、ラジコン模型の基礎知識やルール・マナーなど、ラジコン愛好家として守って頂くための必要最低限の支援



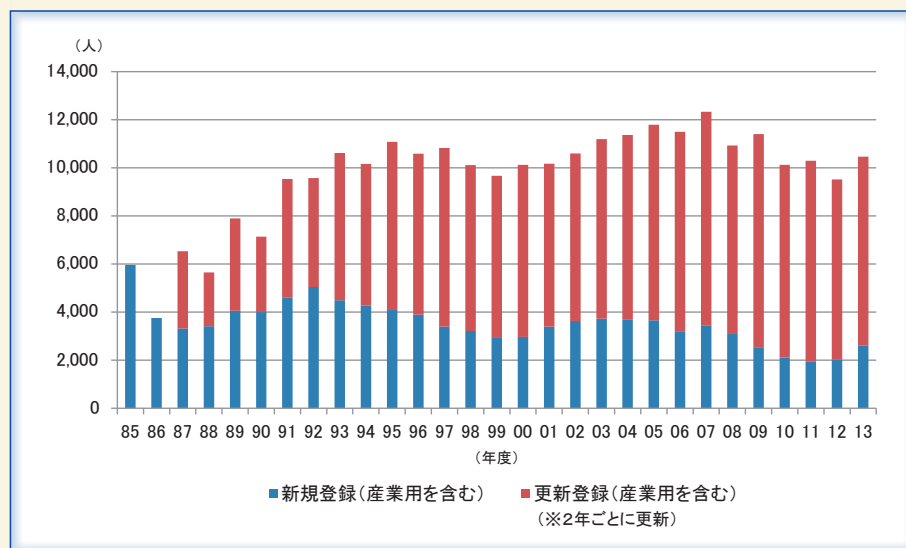


図3 ラジコン操縦士登録者数

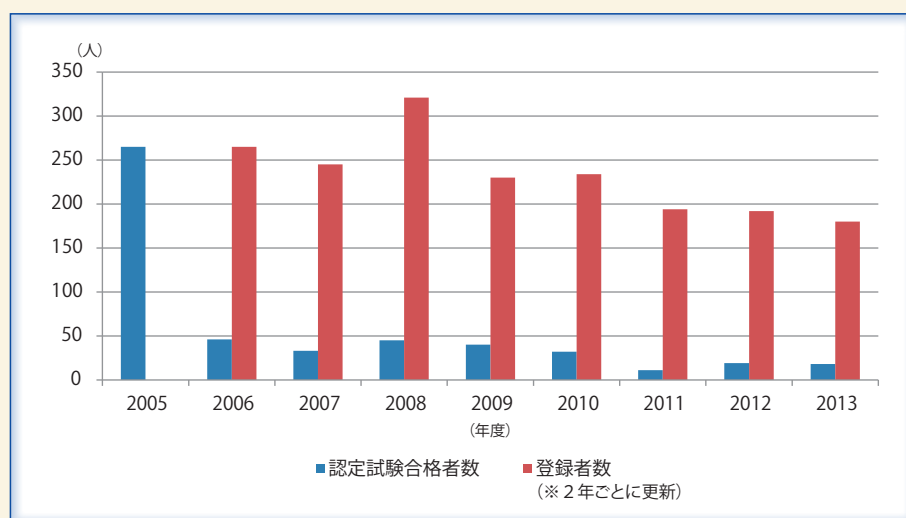


図4 ラジコンインストラクター合格者数と登録者数

を行い、ラジコンの健全な普及・発展に役立てることを目的としたものだ。

その第1が、ラジコンインストラクター制度である。

この制度は、ラジコン初心者の方に、ラジコンの基礎知識やルール、マナーなどラジコン操縦に最低限必要な技量、知識を身に付けて頂くために、当協会が認定したラジコンインストラクターが指導するシステムとして、2005年度から導入されたもので、ラジコンインストラクターに認定されるには、当協会が毎年全国で実施するラジコンインストラクター認定試験に合格する必要がある。

ラジコンインストラクターは、現在、飛行機、グライダー、ヘリコプターの3種目に分かれており、種目ごとに筆記試験と実技試験がある。筆記試験は電波に関する基礎知識やラジコン運用の知識について出題している。実技試験は、受験者の操縦技術を見て、協会が専任するインストラクター判定員が可否を判定している。

一人の受験者が複数種目に合格することもあり、これまで、毎年全国8~9か所で認定試験を実施し、2014

年3月末までに延べ514名の合格者が出ている。

また、2014年3月末現在、延べ180名のインストラクター認定登録者が、各地の模型店に登録配置され、これまでに247名のラジコン入門者の指導を行っている。(ラジコンインストラクター認定試験合格者数及び認定登録者数を図4に示す。)

更に、インストラクター認定登録者は、当協会からラジコン安全指導員に指定され、ラジコンクラブ内における安全指導、ラジコンのトラブルに関する調整や混信・妨害調査など、近隣住民を含め対外的な安全運用対策に活躍している。

そのほかにも、安全環境対策事業として、次のようなことを行っている。

#### ①電波周知説明会

毎年、秋のホビーショー開催時に、地域の模型店やラジコン関係者を対象に、ラジコンの安全運用や電波に関するトピック的な内容でセミナーを開催している。

## ②こども模型飛行機教室への支援

「こども模型飛行機教室」は、一般財団法人日本航空協会が主宰するイベントで、子供たちに模型飛行機の楽しさを知ってもらうため、全国各地で開催されているものだが、それに当協会からも支援を行っている。

## ③公共的な競技場等に対する支援

ラジコンの安全運用のために、各地の模型店やラジコンクラブなどが、河川敷等にラジコン専用飛行場を整備するなどしているが、河川敷の占用許可申請に関する情報提供等の支援やラジコン飛行場に設置する安全運用のための看板の作成費等の助成を行っている。

## ④日本科学模型安全委員会への業務委託

ラジコン関係団体の一つに日本科学模型安全委員会がある。本委員会は、ラジコン飛行場などが使用する河川敷地の占用許可等に対する指導や行政への働き掛け、安全な環境での運用などの周知啓発活動、万が一事故が発生した場合の事故・故障等の原因究明等の業務を行っているが、当協会もラジコン用プロポの認証を行っている立場から、本委員会へこれらの業務を委託して実施している。

## ⑤その他

以上のほか、ラジコンの安全運用、電波秩序の維持等に関する周知のため、当協会のホームページの活用やラジコン誌への広報活動を行っている。

## 7 最後に

最近、ヘリコプターのロータが四つ、六つなど複数付いているマルチロータヘリコプター（マルチコプター）が急速に普及している。3軸ジャイロによる自動姿勢制御やGPSによるプログラム制御とプロポからの電波途絶時に自動的に出発場所に戻るゴーホーム機能など初心者でも容易に飛行させられる機能、カメラを搭載して空撮ができる機能などもあることから、それまでラジコンをやったことがない人たちが関心を持ってきている。

インターネットの動画投稿サイトには、マルチコプターを使って撮影したと思われる動画画像が数多く投稿されているが、都市の建物上空や群衆の上空を飛行させているシーンを見ると、もし操縦不能になって墜落したら、大きな事故につながりかねないと不安になるものがある。恐らく、電波の特性や混信によって操縦不能になる可能性、航空法に基づく高度制限、墜落した場合の危険性などは思いもせず、一般的なラジコン愛好家が守っているルールやマナーも知らずに運用していると思われる。今後、これらの人たちに対する安全運用の周知啓発が必要と思われる。

皆様には、ラジコンの危険性を認識し、ルールやマナーを守り、モラルを持って、ラジコンを楽しんで頂きたいと思っている。

# 私の中の古いものと 新しいもの —師と友のことば—

川上彰二郎 (名誉員)

東北大名誉教授、(株)フォトリニクスファウンダー、(公財)仙台応用研理事、東大・工・電気卒、東北大学教授を経て2002から(株)フォトリニクス、ミリ波、光ファイバ、マイクロブティクス、フォトリニクス結晶の研究開発と実用化に従事。本会功績賞など受賞。最近の活動に対し今年井上春成賞を受賞。本会元副会長、IEEE Life Fellow。



川上彰二郎  
Shojiro Kawakami



## 1. はじめに

私のキャリアでは幾つかの転機がありながらもずっと道なりに技術の追求をやってきた。道の分かれ目はそれぞれ皆技術的な発見と結び付いているので技術的な説明を交えながらお話しする。

本稿は主に三つの部分でできている。

### (1) 修業時代 [大学院学生の頃]

私が大学院の博士課程を修了したのは1965年である。第2次世界大戦中に小学校に入り(1943年)、戦後の復興期から池田内閣の所得倍増計画に代表される高度成長期にかけて大学生・大学院生の時期を過ごした。日本はまだまだ貧しかったが、周りの社会や電子工業は急速にキャッチアップ中だった。(カラーTVの本放送、東海道新幹線の開通、東京オリンピックなど皆その頃。)その頃の大学の雰囲気、大学院学生の成長を記す。

### (2) 光ファイバ時代 [東北大学]

1965年春に東北大学に採用されてから定年退職するまでずっと、光ファイバ、光部品の研究開発を仕事としてきた。自分の働き盛りに光エレクトロニクスの技術と産業が大きく飛躍する時期と巡り会うことができた。

### (3) フォトリニクス結晶時代 [東北大学から会社のスタートアップへ]

東北大で数十年たって大学教師生活の終わりが近づくと、三次元フォトリニクス結晶作製の工業的なプロセス技術を見つけた。それにほれ込み、技術を

実用化する会社を作って技術開発と経営に努めた。大学教師がビジネスに当たるとするのは珍しいケースかもしれないが、応用がいろいろあつて産業展開の本命を絞れない以上、技術は自分で育てるほかはないと思い、会社を作って12年になる。今は企業経営の肩の荷を半分下ろしてもう一度基礎的な開発、研究に力を入れている。

以上の三つが具体的な主題となる。むすびでは、科学や技術には元々古典的な取組み方を好み、発見の喜びや、賢い人たちがびっくりしてくれる快さを報いと考えたい自分が、技術を利益の源泉としている今の社会、実利実益を飛び切り重視するこの世の中でどう学習し適応してきたのか振り返る。



## 2. 大学院学生の頃

東京大学の大学院学生だった頃(1960~1965年)指導下だった岡村総吾先生(1918~2013年)はマイクロ波、ミリ波、電子管を専攻されていた。当時の岡村研究室では電子ビームとホモダイン検出方式を応用したマイクロ波計測技術が二本柱だった。研究指導の面では、大学院学生、特に博士課程の学生は自分でテーマを見つけて道を切り開くのがベストというお考えだったと思われる。学生を使って御自分の研究成果を上げようというのではなく、学生が自力で伸びるのを喜んで下さった。その意味で大越孝敬先生(1932~1994年)は模範だった。私が岡村研究室の卒論を経て大学院に進んだ頃大越先生は博士



課程を終えて助教授になられたので、私からは半年だけ「大越さん」だった。その博士論文は電子ビームの陰極前面の電位最小面が雑音低減に及ぼす効果に関するもので、岡村先生はこの仕事について「ほとんど指導らしい指導はしていないような気がする」と書いておられる。卒業研究の後、修士課程、博士課程では研究室の計測技術のうち、ホモダイン変調復調によってミリ波の高感度な測定系を作ることを研究した。その枠組みの中で変調・復調に自分のアイデアを盛り込んだ新機軸を着想、実証した（中身は省く）。一応のオリジナリティは認め得るが、クレバーなアイデア以上ではないかもしれない。

研究室の関連の活動では電子ビーム懇談会<sup>\*1</sup>が月1回くらいのペースで開かれていた。電子ビームは専攻外だったが、会に出席して独り立ちの研究者が電子ビームやパラメトリック増幅などを討論されている空気に触れていた。大越先生に倣って岡村先生の羽根の下の特マから自力の特マに踏み出したいと願っていたが、博士課程の最後の年にそれが少し実現できた。

博士課程の研究の中でホモダイン変調復調の実験をするとき、ミリ波（34 GHz, 68 GHz）変調に使っていた素子の性能が当時の技術水準では不十分だった（バイアス電圧によるインピーダンスの変化幅が狭いなど）。具体的にはマイクロ波ではバラクタ接合ダイオード（可変容量ダイオード）、ミリ波では半導体と金属針ウィスカの点接触ダイオードが可変インピーダンス変調用素子だった。点接触ダイオードの不安定さはもう一つの難物だった。変調能率を高める目的で、可変素子の前後の回路の設計で素子性能をどこまで引き出せるかをゼロから考え始めたが、手元に見付かる文献は皆つぎはぎ的、散発的、紀行文的だった。そもそも私の問に答える一般的な理論はなさそうだ、自分で作るほかはないという状況が見えてきた。図1(a)において、「与えられた周波数において、手持ちの可変素子を二つの複素インピーダンスの値（ $Z_1$ ,  $Z_2$ ）を往復するものと表す。そのような（ $Z_1$ ,  $Z_2$ ）の『良さ』を定義できるだろうか？」という問を立て、答が見付かったのがひよこにかえる端緒だった。

答は次のようになる。任意の無損失リアクタンス

<sup>\*1</sup> 私が大学院でミリ波計測技術の研究をしている頃、岡村先生、大越先生や東大生研の齋藤成文先生、浜崎襄二先生、東工大・日電公社・東芝・日立など諸大学諸企業のエース級の研究者が齋藤先生と岡村先生が設立された「電子ビーム懇談会」でマイクロ波電子管やマイクロ波パラメトリック増幅器を勉強していた。メンバーの研究成果、新着の重要論文やプレプリントの紹介・検討などが主だった。運営費・名簿・記録・会則は多分なし、各組織の会議室や時には保養所を会場に時間外や休日集まっていた。

2 開口回路（4 端子回路、2 端子対回路とも言う）の二次側を（ $Z_1$ ,  $Z_2$ ）で終端し、一次側から見たインピーダンスを（ $W_1$ ,  $W_2$ ）とすると、変換するリアクタンス回路がどんなものであろうと

$$M = \left| \frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2^*} \right| = \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2^*} \right| \quad (1)$$

という関係があることを見付けて、不変量  $M$  を「良さの指数」と定義した。（記号  $*$  は複素共役を表す。なお、リアクタンス回路による変換には、いつでも逆変換リアクタンス回路がある。） $M$  は 0 と 1 との間の量で、大きいほど「良い」。例えば、常に 1 ( $\Omega$ ) で可変度ゼロの素子の良さの指数はゼロである。

例えば、次のクイズを考えて下さい。

問：第 1 の可変素子は、1 ( $\Omega$ ), 10 ( $\Omega$ ) を往復し、第 2 の素子は、 $1 + j1$  ( $\Omega$ ),  $1 - j1$  ( $\Omega$ ) を往復する。どちらの素子が「優れて」いるだろうか？

答：1 ( $\Omega$ ), 10 ( $\Omega$ ) のペアなら  $M = 9/11 = 0.8181\dots$  となる。 $1 + j1$  ( $\Omega$ ),  $1 - j1$  ( $\Omega$ ) のペアなら  $2/2\sqrt{2} = 0.717\dots$  となる。よって 1 ( $\Omega$ ), 10 ( $\Omega$ ) のペアの方が優れている。

この発見を手掛かりに、一般の 2 状態可変回路の理論を作ることに努力した。博士課程 3 年次は普通それまでの研究の仕上げに使うのに、大幅に路線違いの特マに春から秋までの半年をつぎ込んで、数理をしっかりした体系にまとめることができた。体系とは、例えば、次のような問があるとして、それに答えられる、できるだけ一般的な命題を予想し証明しておくことである（図 1 (b) を参照）。

「作りたい回路の『良さ』を何らかの方法で定義できて、手持ちの可変素子（複数）の良さの指数と見比べて合成の可能不可能を判定できたら便利だろう。そのような計算は可能だろうか？」

答は肯定的で、ポイントは概略次のとおり：作り

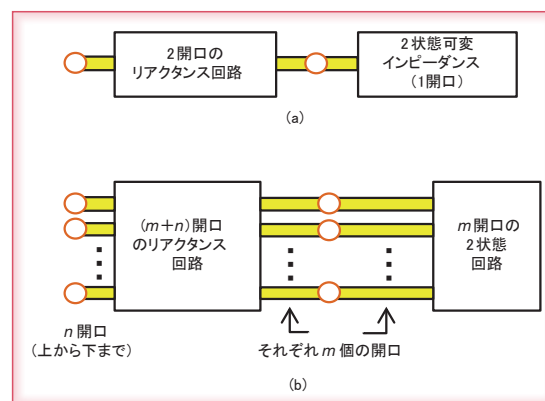


図 1 2 状態可変インピーダンス（例えば可変容量ダイオード）や可変回路と外界との間に無損失変換回路（L, C など）でできた回路）を入れて別物に変換する操作 (a) 変換の一番シンプルな例. (b) 一般的な変換の形.

たい回路のインピーダンス行列を  $(Z_1 - Z_2)$  とし  
て (ただし太字は行列を表す), それから式 (1)  
によく似た行列

$$M = (Z_1 - Z_2)(Z_1 + Z_2^*)^{-1}(Z_1^* - Z_2^*)(Z_1^* + Z_2)^{-1} \quad (2)$$

の固有値を求め, その平方根  $m_1, m_2, \dots$  を手持ち  
の素子の良さの指数と比べれば, 回路合成が達成可  
能か不能か判定できる. 繰り返すと

「合成の可能不可能を判定したい」→そのために  
はどういう定理が必要か予想する→予想は正しいか  
検証する

という作業が必要になる. 要するに,  $n$  開口の可変  
回路を  $(m + n)$  開口のリアクタンス回路に埋め込  
んで新たに  $m$  開口の可変回路を作るという変換に  
ついて言える命題を予想し証明することに帰着す  
る. その間は数理解析に明け暮れた. その後, 今日  
までの長年の研究者暮らしを通じて, 大仕掛な数理  
解析をするための私の (力量+気力+体力) のピー  
クはこの頃だった. その集中を支えるメンタルなよ  
りどころは岡潔語録<sup>(1), (2)</sup> と岡先生の気迫だっ  
た\*2. 我ながら大変な張り切りようでおかしいが,  
戦争の 10 年, 15 年後の活気があり, 混んとし  
ていた世の中で, 大学院学生はみな背伸びをしてい  
たのです. 身の程知らずの元気を持つことは進歩の  
原動力になることもある.

「良さの指数」の理論が大体できかかった頃, 岡  
村先生はその概要を電子ビーム懇談会で発表する  
よう勧めて下さった. 論理の一環が未完成だったの  
で, 恐る恐る発表したが, 予期以上の好評で, 齋藤  
先生は, 「ここまでで既に価値がある, 未完成部分  
は『予想』でよい, すぐ発表しなさい. 証明は誰か  
ほかの人がやってくれるよ」と熱した口調で激励し  
て下さった. (未完成の部分とは次のことである.

\*2 多変数解析関数理論で時代を画する業績を上げた数学者岡潔<sup>(3)</sup> の  
エッセイ集がその頃(1963年以後)次々に出版され広く読まれた. 数学,  
芸術, 人生を論じ, 研究を行う自己の心理解剖が豊富に盛られていた.  
若い読者に奨めたい. 本誌で私の回想記に許されるページ数のうち, 本  
当なら私の執筆分のページ数をうんと圧縮し, 残りを全部岡先生の文章  
の再録にしたいくらいだが, それは現実的でない. 代わりに私が最も  
感銘を受けたところと, 做って実益があった, 研究が進んだ部分を 2,  
3抄録する.

・「数学なんかをして人類にどういう利益があるのだと問う人に対して  
は『スマレはただスマレのように咲けば良いのだ, 春の野に影響があ  
ろうとなかろうと』と答えてきた」  
・「すべて学習は早すぎるより遅すぎる方がよい. これが教育の根本原  
理だと思う」  
・「前頭葉の画布に情緒が無形の総合像に描かれてゆく有様は, 朝霧の  
うしろの山の姿がだんだんあらわれてくるのに似ている. そこが少し  
あらわれ, かしこがすこしあらわれ, そこかしこが少しずつあらわれ,  
そこが少しはつきりし, かしこが少しはつきりし, そうしている中に  
だんだん全山容が浮き出してくるのである」  
・「机に向かって, 本を見ながら, 演算しながら勉強するのをやめて,  
散歩しながら心の入り口でやると良いのである」

「 $n$  開口 2 状態回路が二つあって, それぞれの式 (2)  
に相当する行列の固有値  $a_1^2, a_2^2, \dots, a_n^2$  と  $b_1^2,$   
 $b_2^2, \dots, b_n^2$  とが一致するとき, その二つの 2 状態回  
路は適切な  $2n$  開口リアクタンス回路を選んで必ず  
相互変換できる」という予想を証明すること.)

この研究を進めている途中で, 誰かが先にやって  
いるかもしれない, 知らないのは自分だけかもしれ  
ないと不安も感じていたので, この会で認められて  
安心感を味わった. この研究を翌年 IEEE の回路理  
論 Transaction に発表できた<sup>(4)</sup>. この研究は独力で  
やった研究には違いないが, 電子ビーム懇談会の研  
究者の議論に何年も耳を傾けるうちに研究のセンス  
やノウハウを空気伝染的に吸収していたのが大きい.

これが私の学界へのデビュー論文と言ってよいだ  
ろう. 文学者の第一作は作家の全貌を萌芽の形で示  
していることが多い. 同様に, その頃の博士論文に  
はそれだけの重みを私たちは意識していた. 1990  
年頃からだろうか, 大学院後期課程の定員が増えて  
博士号取得者が大いに増えているが, 質は低下して  
いないか検討を要する. 今の大学で, 博士論文を提  
出するには「学会誌論文が 3 編以上必要」とかの基  
準があるとよく聞く. 余り楽しくない話である. 第  
二列の研究者を量産するには適しているがゆくゆく  
第一列に加わるべき研究者の卵を第二列に促成栽培  
してしまうことが心配になる. 私自身教師をしてい  
たので立派なことは言えないが, 博士課程の学生  
が, 結果が予測できるテーマで, 簡単に言えば水道  
の蛇口からバケツに水をくむ労働を教授に命じられ  
ているのでなければ幸いだし, 学会誌論文採録の水  
準が下がっているのではないことを願う.

博士 3 年の夏はこのように過ぎたが, 大学院修  
了後の勤めを決める時期でもあった. 東北大学の喜  
安善市先生が岡村先生を訪問され, 電気通信研究所  
の西澤潤一先生の下で働く人はいないかと打診され  
た. 証明の未完成の部分はどうアタックするかで頭  
が一杯という状態だった. ほかの就職の話もあった  
ので迷ったが, 岡村先生は「君は半導体の知識が乏  
しいことが不安のようだが, 何とかなるよ. 学問的  
に力のある先生のところへ就くチャンスを生かすの  
がよいんじゃないですか」とおっしゃられ, 決心し  
た. マイクロ波からは遠い研究室に決まったので,  
この研究は手土産にならなかったが, 「何でも一所  
懸命やればそのうち何とかなるだろう」という楽観  
主義を土産に東北大の門をたたいた.

余談ながら, この研究は何年かたって思わぬと  
ころで私が尊敬する何人かの方々が評価して下さい  
ました. 例えば内藤喜之さん (私と同世代, 東工大教

授、後に学長、故人）は大のサポーターになって下さり、仕事に注目し様々な機会に話題にして下さった。はるか後年、あるマイクロ波の国際会議の基調講演で、この研究論文を“one of my most favorite papers”と紹介されたことなど、私などは仲間に対してつい競争心を抱いてしまうのに、内藤さんは心の広い方だと敬服している。



### 3. 東北大学に移って…… 光ファイバとの縁

西澤潤一先生が東北大学を卒業された1948年はちょうどトランジスタがベル研で発明された年でもある。先生は半導体を専攻され、直ちに半導体の全分野でたくさんの研究、特許出願をされた。並行してその特許を生かした財団法人半導体研究振興会と付属の半導体研究所を設立し活躍されていた。卓越した業績と半導体の将来への産業界の大きな期待とが相伴ったものであろう。

私が東北大に移った頃、先生は38歳か39歳の若さでありながら東北大の研究室と半導体研究所のメンバー合わせて50人強の大所帯を経営しておられた。岡村研究室ではメンバー全員で10人内外であり、研究は「君子の知恵比べ」的、時には「真剣な遊び」の要素さえあったが、西澤研究室では戦いとしての研究という雰囲気を感じた。グループは産業界に対して研究成果を挙げ続けることを義務付けられていたのではなかろうか。その研究室の助手には戦力になることが職務だったという印象を持っている。

その頃の鮮明な記憶がある。ある日、西澤先生から何の研究がやりたいかのお尋ねがあり、たまたまその頃興味を持っていたことを挙げて、かくかくしかじかに興味がある、何よりも研究として面白そうだから、という意味のことを御返事した。直ちに厳しく「君はアインシュタインか？ アインシュタインなら自分の興味に従って研究すれば世の中の役に立つ。凡人は何よりも“役に立つ”ことを考えるべきだ。世の中は君に好き勝手な道楽をさせなければならぬ義理はない。君の提案はどう世の中に役に立つのかははっきり言えるのか」と言われ、出直す羽目になった<sup>\*3</sup>。よく考えたが、悔しいけれどこの集団ではこれは論破できない、世の中に役立つことが第一

\*3 原稿を読んで頂いた高瀬正仁教授（九州大学）から次のコメントを頂いた。

（1955年頃来日し、若い数学者たちから“神のごとく”（岡先生の表現）尊敬された数学者）アンドレ・ヴェイユは、日本のワンダーボーイたちに、数学の研究について「まずガウスのように始めなさい。すると自分はガウスでないとすぐに悟るだろう。それでいいのだ、とにかくガウスのように研究しなさい」といった由。

だと宗旨替えした。というより、工学系ならばどこでもこれは否定し難い。そして、自分のような性向の人間が産業社会で研究を仕事として、しかも元気に生きるためには、産業的に有益で同時に自分には十分面白いことを見付けるほかはないと悟った。

その頃、ガラスの光学繊維（光ファイバ）を研究するように、との指示を頂いた。その少し前に西澤先生が発案し、佐々木市右エ門さんが書いた（のだろう）特許出願（1964-11-12）の請求範囲は「比較的屈折率の大きな材料と、比較的屈折率の小さい材料を組み合わせる部分を少なくともその一部として含み、その部分に光を集めて表面における光の損失を減少させることを特徴とする光の伝送・変換方式及び装置」で、境界をなだらかにしたのがその分割出願（1965年）である。

久し振りに明細書を読み返したが、この特許は問題解決より提起に比重のある出願であることが感知される。コア・クラッドからなる多モード光ファイバでコアとクラッドの境界をばかせば新しい有用な特性が得られるという見通しと、有用な特性を見付けるのだ、という強い意志がある。そこで提起された問題を発展させることが私のミッションであろうと理解して研究を始めた。とはいえ手掛かりがなく、IEEE や BSTJ (Bell System Technical Journal) の論文、喜安先生から頂いた英国 STL (Standard Telecom. Labs) の論文を読んだり自分で解析したりしていた。そのうち西澤先生、喜安先生のお力で大阪工業試験所から直径1mmの光ファイバ（ロッド）の試作品を頂き光を通して見るなど、実質的な研究が少しずつできるようになった。

私が光の研究に入った1965年前後の光エレクトロニクスの情勢を振り返ってみると、その前には

- ・1960年 ルビーレーザ（最初のレーザ）
- ・1962年 半導体レーザの低温・パルス動作
- ・共焦点共振器とガウシアンビーム理論

などがあり、5年後の1970年には半導体レーザの常温CW動作＋低損失光ファイバ出現、という大きな出来事があった。1965年頃は今の目で見て光ファイバ伝送路の研究開発が水面上・水面下で繰り広げられていた。水面上ではノーベル賞をもたらした低損失光ファイバの提唱（Kao, 1966年 英国 STL）が著名である。

重要なものには、手持ちの手段が十分であろうとなかろうとまず着手し文字に残さないと何事も始まらない。岡潔先生は、十中八、九は解けないが不可能とは言いきれない問題にこそやる気が生まれるという<sup>(2)</sup>。



同じ頃、電子ビーム懇談会を少し大がかりでフォーマルにしたような集まりに、西澤先生が主宰された科研費総合研究「固体による光の超高速制御—光計算機の基礎研究—」がある。半導体レーザと光通信の応用を、現状技術の制約に余りとられないで広く検討する集まりだった。西澤、喜安、後藤英一（東京大学、パラメترون計算機で有名）の先生たちが活発に議論をリードされていた。その集まりで、光学ガラスを原料に二重るつぼ法で作った前述の光ファイバの損失（約1 dB/m という大きさ、吸収も大きく散乱も大きかった）を私から報告したことがある。作製下だった大阪工業試験所の方も同席しておられたが、損失が大きいことについて「低損失化のために材料の精製スペックを極端なものにすることはあり得ない。ガラスを溶かす耐火レンがは不純物だらけ、高価な白金るつぼを使ってもガラスに白金が溶け込む、高純度化には限度がある。そもそもガラスには重さ当りの常識的な価格もあるし」との御意見だった。後藤先生が即座にいわく「半導体プロセス用のシリコン有機化合物を燃やせば純粋な石英ガラスができる。世界一損失の小さいファイバを作れば光ファイバが同じ重さの純金の値段で売れますよ」。感服した。喜安先生は戦時中の国内の通信システムの不安定さに悩まされた経験をお持ちで、「世の中では光伝送路としてレンズ列が損失の小ささから有望候補とされている。しかしレンズ列は安定性という根幹的性質に欠けていて可能性はゼロである。ガラスファイバは損失は大きいですが、研究でどれだけ低損失化できるかは可能性 $x$ （エックス）である。ゼロを研究する意味はなく、 $x$ は研究に値する」という判断をお持ちだった。世の中は数年後そのとおりになった。

前記の特許が主張するように、コアとクラッドの界面をなだらかにすると光の伝送損（散乱損）が本当に減少するか確認する計算は複雑になってしまい2年くらい難航していたが、あるとき、損失うんぬんを大きく離れてパルス波形伝送の観点から考え始めた。多モード光ファイバで軸上を伝わる光線と、端面に入射する角が大きくファイバ内をジグザグ進行する光とを考えると軸上の光線の方が速く、ジグザグ光は遅く、パルス状の光は波形が広がり劣化することは知られていた。コアとクラッドの界面をなだらかにすると状況はどうなるだろうかという疑問である。

図2(a)、(b)を参照して下さい。多モード光ファイバでは波動方程式を解かなくても幾何光学で現象の見通しをつけることができる。2層ステップ構造

では、端面に角度 $\theta$ で入射する光は角度ゼロで入射する光に比べて光路が $1/\cos\theta$ 倍長くなるので信号の伝搬時間も $1/\cos\theta$ （ $=1+\theta^2/2$ ）倍大きくなり、光パルスに入射角の広がりがあるとパルス伝送特性が劣化する。一方、屈折率が半径 $r$ の緩やかな関数であるとき（ただし集光するため中心で最大）光線はジグザグでなく蛇行するようになる。蛇行する光線が軸と角度 $\theta$ で交差するとき交点付近では前と同じく光線の局所的速度の軸方向成分は $\cos\theta$ 倍になる、つまり遅くなる。問題は光線が軸から離れて軸とほぼ平行に進むときである。その点で屈折率は中心軸の値より小さくなる（ $\cos\theta$ 倍になる）ので、光線の軸方向の局所的速度は $1/\cos\theta$ 倍になる、速くなる！ うまくすれば軸に沿う光線と走行時間を同じにできるかもしれない、と気付いた。

具体例として屈折率の二乗が半径 $r$ の二次関数になる光ファイバではどうなるか計算すると、蛇行する光線の単位長さ当り遅延は、

$$\frac{\text{蛇行光の遅延}}{\text{軸上直進光の遅延}} = \frac{\cos\theta + 1/\cos\theta}{2} \\ = 1 + \theta^4/8 \quad (3)$$

となり1に非常に近いことが分かった。 $\theta$ は普通0.1以下なので、ステップ状の2層構造を持つ光ファイバに比べパルス伝送特性が二桁以上改善される。西澤先生、喜安先生にすぐメモを送った。即座に喜安先生から大興奮のメモが返ってきた。こんなに易しいこと（伝送特性の改善）が当時は画期的だった。

その時点で追求すべき課題が二つ見えた。

- ・パルス伝送の最適設計、設計の厳密化（光線モデルから波動解析へ）。多モード分散はゼロにできるか……光ファイバでは中心軸と交差する光線だけでなくらせん状に進む光もある。それらを全部走行時間一定化できるか。更にカットオフに近いモードの特性やクラッドの効果など。
- ・奇妙なパラドックスの存在。光線光学の立場からは、光のパルス波束が、速度が速くなったり遅くなったりしながら運動する。波動方程式の目で見るとどうなるか？ 蛇行する光パルスは、光ファイバの伝搬モードの $r$ 方向に次数の高いモードの重ね合わせで表されるはずである。それぞれのモードは一定の群速度で長さ方向に進行するのであって、速くなったり遅くなったりすることはあり得ない。一体何事か？

第一の課題は実用上の意味のあるマジョリティ向きの課題であり<sup>(5)</sup>、第二の課題はパラドックスを見付け、謎を解決するスリルにひかれるマイノリ

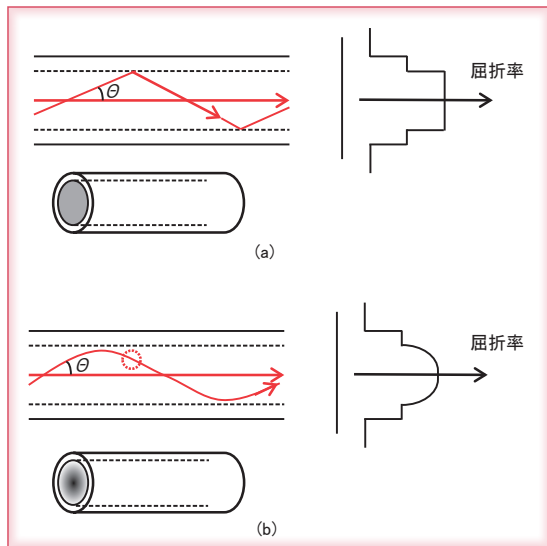


図2 多モード光ファイバ内の光線軌跡と屈折率の分布  
(a) コアもクラッドも均一な屈折率を持つ。斜め入射する光の光路は折線状になる。軸に沿う速度は一定。  
(b) コアの内部で屈折率は連続的に変わり、中心軸上で最大。斜め入射する光は蛇行し、速度は速くなったり遅くなったりする。

ティ向きの問題である<sup>(6)</sup>。当時の私は両方同時に進めた。時間はそれだけゆっくり流れていた。

この研究をしているときは知らなかったが幾つかの競争が進んでいた。

- ・ NEC, 日本板硝子による二乗分布多モードファイバ (SELFOC) の共同開発 (1969 年)
- ・ コーニング社から低損失光ファイバの発表 (20 dB/km, 1970 年) とそれに続いて世界中、日本中のエレクトロニクスのメーカーや研究機関からの参入

私にとって、研究を通じての世の中との関わりはこの時期に大きく変わった。リアルビジネスと直につながった研究開発の面白さ・厳しさ、特許争いの赤裸々さに触れたのは上の二つの出来事によるところが大きい。人の世はお金の絡むところに実態が現れる。大学も例外ではない。研究に対しての世の中の直の反応には新鮮な魅力があった。

これと前後して、当時の電気通信研究所の先生方のお計らいで、私は西田茂穂先生を上司として新しい研究テーマを考えて実行するという環境に置いて頂いた。当時多モード光ファイバの研究は花盛りだったが単一モード光ファイバの研究をやる人はほとんどいなかった。単一モードファイバの究極の特性は何だろうか考え、日立製作所中央研究所のグループの人たちに議論相手をしてもらいながらゼロ分散化を目指して研究し、結局 W 形光ファイバに到達した。二乗分布の多モードファイバは世界中で使われるようになったし、W 形ファイバも AT&T 系を中心に米国、ヨーロッパで広く役立っている。

光ファイバの理論的な研究は多モード・単一モードそれぞれに二乗形、W 形という答を出したところでひと区切りして次の研究課題として小形の光通信部品に移っていった。その頃教授になりグループに責任を持つようになった。その時期に (発明+研究開発+産学で実用化) したのものにはラミポール、TEC ファイバなどがある。(ラミポールとは誘電体薄膜と金属超薄膜を数十周期交互積層し、端面を研磨した小形偏光子。TEC ファイバは単一モードファイバを局所的に熱処理して正規化周波数を保存したままコア径を拡大し、ファイバとデバイスの結合をしやすいしたもの。二つとも変調器・光増幅器そのほかに広く役立っている。) それらを通じて蓄積したものづくりの経験<sup>(7)</sup> が次のフォトニック結晶、自己クローニングの発見につながっていく。

研究室の実験環境整備が主に白石和男さん (当時助教授。現在は宇都宮大学教授) の力で出来上がり部品研究が軌道に乗った頃、在外研究員として MIT に長期出張する機会を得て (1983~1984 年)、尊敬する H.A. Haus 教授 (1925~2003 年) と共同研究することができた。お人柄を一、二思い出してみよう。

(1) 常に前向きの先生が珍しく回想された Haus 語録:「自分は若いときから、マイクロ波回路、電子ビーム、光エレクトロニクス、固体超音波などいろんな分野をやってきたが研究の手段は根本的に皆同じだ、同じことを異なる対象に当てはめてきた」とのこと。謙遜でも自負でもなく実感だと思う。孔子の「我が道は一をもって (忠恕をもって) これを貫く」を連想する。

(2) Haus 教授が主宰されるセミナーも強い印象を残している。たくさん研究グループから大学院生が集まってきて (時には教授たちも)、未完成、未発表のテーマも議論の対象になっていた。仲間は競争相手でもあるし、集まる中には「手の内を明かさなない」先生も当然いたが、Haus 先生はアイデアを次々と惜しみなく話される。そのことについて「思い付くことのうち自力でやれるのはごく一部分だ。仲間に話して、彼らが面白いと思って実現してくれるなら自分は十分ハッピーだ」とも言っておられた。岡村先生、齋藤先生に通じる君子の姿だろう。

(3) Haus 先生はディスカッション好きで、自説を熱情的に力説される。弘法も筆の誤り、たまに間違っていて相手に指摘されるとびっくりして小考し、すぐに悟って “I was wrong, I was wrong, completely wrong!” と叫ばれるところに何度か遭遇した。学問にこれだけ正直な先生は見たことがない。



## 4. フォトニック結晶

### 4.1 技術的なこと

部品研究に転じて15年くらいたった頃にフォトニック結晶の概念を知り、その面白さと実用化への障壁（作製の困難）を乗り越える一つの方法を見付けてそれに熱中したいきさつを以下に記す。

フォトニック結晶を念のため説明すると、複数種類の誘電体でできたナノ構造で、周期が光波長の数分の1の二次元周期構造または三次元周期構造をいう。周期構造自体は古くから研究されているが、ナノ加工技術の進展と1980年代後半に提唱された完全バンドギャップ効果（ある周波数では、空間の全ての方向に電磁波が遮断域に入る）で注目を集めた。当時も今もそのような構造をどう実現するかがポイントとなっている。

1996年秋、英国のランク財団の光ナノ構造のシンポジウムで私たちがやっていた多層薄膜型光部品（ラミボール偏光子）の技術を講演したとき、同じシンポジウムでフォトニック結晶の初期の研究をリードするイギリスの研究者の講演が幾つもあった。そういう面白くて複雑な構造をどうやって作ればよいか、実験室止まりでなく工業製品にできるか、講演を聞きながら考えた。その晩寝床の中で、何と自分の研究室で日常やっているプロセスが使えるのだとヒントを得た。シンポジウムでも話した多層スパッタリングプロセスには悪役が潜んでいる。微細欠陥が形を保ったまま層から層へと伝搬していつまでも消えない現象がある。どういう仕組みだろうかという謎が頭に何年も前から結構深く刻まれていた。フォトニック結晶を作るのに悪役を善用できるだろう、多層周期構造ができるのではないかと考えた。

日本に帰って研究室の皆に話し、実証に取り掛かった。僅か数週間できれいな試作物ができた<sup>(8)</sup>。図3に作り方の原理を示す。基本形はギザギザを持つ基盤（図4左の白い、やや厚く描いてある部分）の上に2種の誘電体薄膜を交互に積層したもので、面内の周期形状はリッジ&グルーブ、蜂の巣形（六方格子）、正方格子、何

でもよい。積層の基板には作りたい構造に応じてあらかじめ凹凸を通常のリソグラフィーとドライエッチで作っておき、その上に交互積層する。

自己整形の原理は次のとおり：凹凸のある（斜面のある）基板にアルゴンなど不活性ガスのイオンを衝突させると基板がエッチされる。斜面にイオンが衝突するとき、水平に近い面や垂直に近い面のエッチング速度は大きくなく、中間のある一定角 $\alpha$ （通常水平面から $35\sim 40^\circ$ ）の斜面が最も速くエッチされる。感覚的には、エッチングイオンが面を構成する分子を“斜めに削り飛ばす”イメージが分かりやすい。任意の斜度分布を持つ凹凸をエッチすると、中央図の図解のように角度が $\alpha$ に近い部分の面積が広がる。凹凸を与えた基板の上にバイアスパッタ（スパッタとエッチの組合せ）プロセスを繰り返すと図3のように角度が $\alpha$ の部分だけの周期構造が得られる。基本的に断面は定常形状（角度 $+\alpha/-\alpha$ ）に自動漸近するので作製の安定性に問題がない……基板の凹凸パターンに微小な揺らぎがあっても積層中に修復されてしまう。フォトニック結晶を工業製品にするのに最適と思った。

また、面の中で多数のサブ領域を設けて各々別の周期性や方位・格子定数を持たせることは下地基板

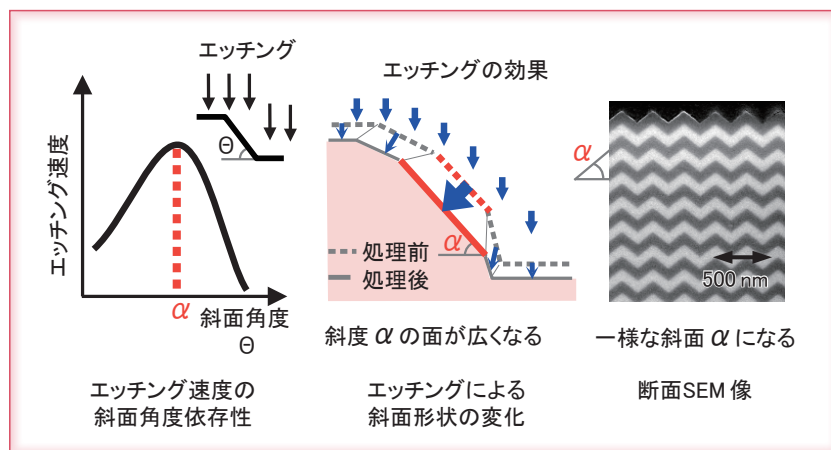


図3 フォトニック結晶の自己クローニング作製法の原理

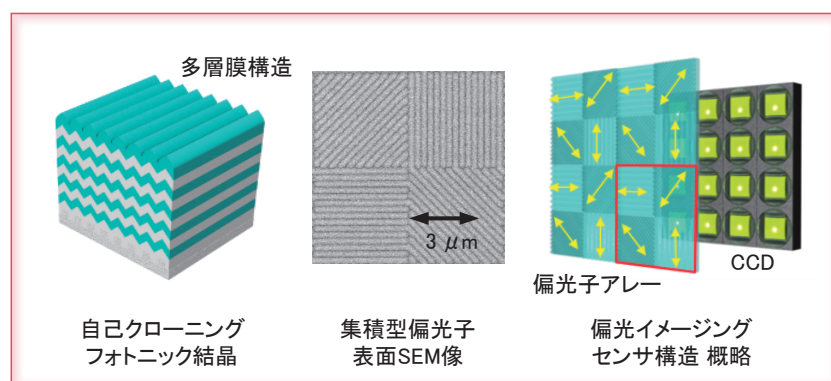


図4 自己クローニングフォトニック結晶とそのセグメント化 セグメントをイメージセンサ画素に一致させるとワンショット偏光イメージャができる。



をあらかじめ加工しておくことで自由にできる。厚さ方向の周期も積層の途中で自由に変えることができる。使い道は、その頃研究が盛んだった小形の導波路にも、あるいは今も昔も変わらず基本的に重要な偏光子や波長板とその集積化などたくさん思い付くのでわくわくしながら研究開発を進めた。

この作製プロセス（自己クローニングと名付けた）を見付けて、技術の可能性を更に開拓したいと思ったが大学の定年まであと数年しかなかった。同僚たちの支援を得て、大学の新しい仕組（客員教授など）の適用を受けたり、科技厅やJSTのプロジェクトを獲得して定年後も2、3年開発をした。この作製プロセスは何に使えるか、限界は何か、5年、6年たっても見通せない。そこに私の今までの仕事とは反対の性質、新鮮な魅力を感じた：2状態回路の理論では、考えるべきところは考えたという達成感のすぐ後にやるべきことは終わった、終わってしまったという虚脱感もあった。多モードファイバのパルス広がりや抑制する設計でも主要部分はやったとそのときは思っていた。反対に、フォトニック結晶は「作り方を見付けて終わり」ではあり得ない。想像力次第でいろんな応用ができる。本腰を入れてこの技術をものにするには会社を作ることが必要だと決心した。研究成果の産業的ポテンシャルを引き出すには自分も一役演じたかった（図5は会社作りの仲間と社長）。有望と考えた応用<sup>(9), (10)</sup>を名前だけ挙げておくと

- ・小形光導波路
- ・偏光計測
- ・光通信部品
- ・活性材料・スイッチ材料との組合せ
- ・光ディスクピックアップの部品
- ・特殊顕微鏡部品（共焦点、位相差、……）
- ・レーザ加工、光ピンセット
- ・深紫外偏光子、波長板

などである。



図5 東北大学から新しい会社へ筆者と行動を共にした佐藤尚現社長（左）、川嶋貴之副社長（右）両氏と、2011年の大震災直後の時期から会社経営を担いけん引した岸田勝人前社長（中央）

## 4.2 ハイテクスタートアップの楽しさと苦勞

大学発のものづくり系ハイテク会社の一つのケーススタディまでにその後の歩みを御紹介する。新技術を生かす会社を作るにはまず（利益が出るという意味での）技術の筋の良さが必要、更に資金・同志・設備や入居先が必要になる。東北大の研究室から若手が2人行動を共にし、電子機器の会社の経験者2人、合わせて5人で出発した。前後してベンチャーキャピタルから出資を頂いた。始めは大学と契約を結んで機械を借用し産学関係施設の中に机を置かせてもらうという形から出発した。

会社活動の最初はA社からの通信用レーザ組込みアイソレータに用いる偏光子の開発打診だった。ただし試作費なし、ワーカーはパートタイムで派遣を受けた。最初の大型受注はB社からのプロジェクト用高耐熱偏光子の委託開発・ライセンス供与である。C社からの液晶パネル用フィルムの複屈折計測装置の設計と製作受注もその頃であった。そのほか、上に八つ記した出口候補のほぼ全てにわたって顧客との技術検討を開始し、商談、試作または実売につながった。ただし、一時有望で販売額が上がったものでも産業界の盛衰が大変速いため今では出口製品が不振になったものもある。そういう変化の中で比較的安定した柱に育てたのが偏光応用計測器のシリーズと、セグメント化された偏光機能チップ（フォトニック結晶集積チップ）の諸応用との二つである<sup>(11)</sup>。

複屈折の2D計測・画像化システムの心臓部はパターン化したフォトニック結晶チップをCCDイメージセンサのピクセルに1:1で貼り合わせた偏光画像センサで、それにより複屈折を画像化できる。（図4の中及び右、従来技術ではイメージセンサの前に置かれた偏光子を回転して時間をかけて得られる画像を新技術ではワンショットで取得する。）複屈折とは、透明物体を通り過ぎる光の感じる実効的な屈折率が、光の電界の振動面が縦方向か・横方向かに応じて値が異なる現象で、透明体内部の応力や構成材料の分子構造異方性の情報を与える。複屈折画像はいわば透明体内部を見るレントゲン写真である。計測の適用の一例としてスマートフォンのカバーガラスや、それに開けた孔の周りの応力複屈折の2D分布を示す（図6）。フォトニック結晶集積チップそのものの通信応用の一例は図7に示すようなアレー化半波長板である。デジタルコヒーレント通信用の偏光ダイバーシティとその小形化に利用が拡大している。

次に会社作りのバラ色の話でなく、どういう落と

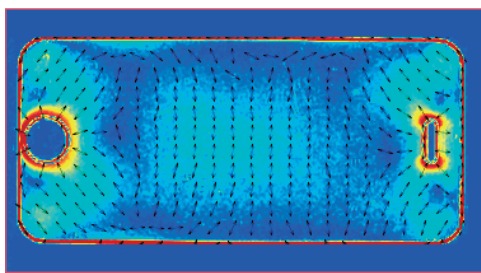


図6 スマートフォンのカバーガラス内の複屈折分布を図3右のイメージで観察した結果 リターダンス（複屈折×厚さ）の最大値は約50nm。応力に起因する複屈折の大きさをカラーで表している。矢印は複屈折の速軸、ガラスの圧縮応力の方向を示す。

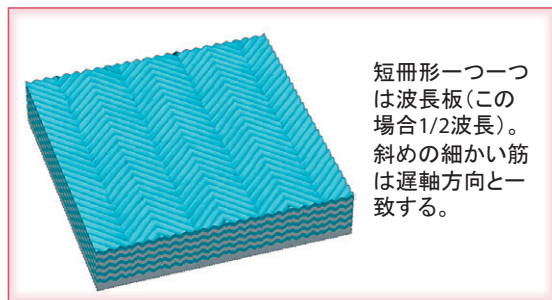


図7 セグメント化フォトニック結晶波長板の応用 デジタルコヒーレント通信の偏波ダイバーシティの高密度化などに利用できる。

し穴があるかハードウェア系の製造業の経験を書く。私たちの技術はフォトニック結晶部品の量産性を高めるところにポイントを置いているので市場はB to Bの製造業狙い、またはB to C狙いとなる。研究機関向けの販売は主要ではない。

ものを売ることは、カスタマの行動原理を認識することから始まる。大学で研究費を獲得しようとする普通は科研費が国のプロジェクトを申請することになる。あけすけに言うと、ファンディング機関は「お金を出さなければ組織が保たない」仕組みになっている。予算の枠内で審査点数の高い順に採択する。一方、製造業や消費者は「出すお金はゼロが一番良い」から180度違う。お客さんにどういう御利益があるか、費用を上回るかを常に考えなければならぬ。

技術が新しいほど製造業を軌道に乗せるのは楽ではない。製品の「かけがえのなさ」はハイテクスタートアップの生命線だが、買う方から言うと代替製品がないことはリスクである。つまり「経営が安定している会社の製品なら買おう」という客と、「買ってもらわないと経営ができない」という製造側との鶏・卵問題になる。

（タイプAの顧客）この製品はすばらしい。きっと会社は伸びるだろう。

（タイプBの顧客）この会社が製品を安定供給できると見極めがつくまで様子を見よう。

今の日本は気分が消極的だからタイプBの人や組織が多いが、我々の経験では少数ながらタイプAの人がいて、製品にほれ込んで数百万円～千数百万円の機器を買うよう上司を説得してくれる。部品販売について言えば、新規で珍奇な部品を、自社製品の心臓部に標準採用して下さるサポーターがいる。そういうケースがあちこちに現れてきている。立場を入れ替えて、私たちの会社でスパッタ装置やナノインプリント装置を選定し購入するとき、メーカーの大きさ、有名無名よりも製品の性能を規準に選んできたがそれで困ったことは一度もない。我々自身もタイプAでありたい。

日本のベンチャービジネス（VB）のもう一つのつらさは、失敗したときのダメージやリスクが大きいことだろう。日本の金融の仕組がアドベンチャーを萎縮させている、知的水準の高い人ほど二の足を踏んでしまう<sup>\*4</sup>。

とはいえ、日本には優れた技術的シーズはたくさんある。良いものを誠実に作って世の中に出していれば価値を認めてくれる人（happy few）が必ず現れる。大学発のものづくり系の技術を生かしたハイテク会社は日本にも複数社あるが、大学の活発な研究グループの数、大学の獲得している資金量とは比べられない。もっとたくさん生まれてほしい。仮に10の大学から、それぞれ10の先端技術VBが出て、各々10億の年商を上げれば産業のあちこち合わせてトータル1,000億の実証済みの新技術とトップ製品を日本は持つことになる。そのインパクトは大きいに違いない。

## 5. 19世紀と21世紀（まとめに代えて）

私は今まで、生得のものを生かせる職業に巡り合って、その中で競争の激しい時代や環境に合わない部分を陶冶するよう学習をし、うまくいったりいかなかったりしてきた。身近な人に時々言うのだが、なぜ私は光や電波のハードウェアの技術から離れないか、それははっきりしている。光や電磁波は不思議なくらい数式どおりに振る舞うことにいつも魅せられる。解析してみて、筋が良いな、実現したいなと思える構造には、それを実現する作製プロセスがきっと見付かる。榊裕之さん（半導体ナノ構造

\*4 中小企業が銀行融資を受けるとき、担保があっても日本では銀行が経営者の個人保証を要求するシステムになっている。金融機関の目利きの力の弱さをVBの経営者個人のリスクで補っているのがかなり元気な人でないとVBを始めにくい。最近政府はこの弊害を減らすべく力を入れている<sup>(12)</sup>。実効が上がるか注目したい。



を研究、東京大学名誉教授、現豊田工科大学長）と雑談して、「自然は、物質界は、デバイス設計や数理解析に好意的ですね」と意見一致したことがある。

光の分野で研究している限り、言葉を尽くして人を説得し論破する才能が仮になくても、

- ・新しいことを簡明な数式で示す
- ・シンプルな現物を作ってみせる

のどちらかができれば生きていくことができる。思うに私は役に立つ基礎知識を20代後半～30代前半頃までに実地の経験でゆっくり身に付けた。若い方に小声でアドバイスしてよければ、易しいことをいろんな角度から理解しておくこと、ゼロから理解しておくことには（例えば電磁波解析の数多い近似法を理解し経験しておくことには）一生にわたってリターンがあるでしょう、と言いたい。私の若い頃の主な仕事、2状態回路の理論やグレーデッドインデックスファイバの解析は、素人でないと気付にくい新しい問題があり、それを扱うだけの職業的な訓練がそれと知らずに既に身に付いていたという回り合わせによる。岡村先生流の学生指導では、学生は自分の運と力を頼りに試行錯誤する必要がある不安とストレスが伴うが、学生の力を120%引き出すには最適と思われる。もう一つ、自分のスタイルを常に意識すること、尊敬する先人、理想とする研究の範型を持つことも大切ではなかろうか。私の場合は高橋秀俊先生やHaus先生の仕事などがそれに当たる。

今までの歳月を四捨五入して言えば、自分にとって自然なことを常識的にやってきたつもりです。しかし本当のことは分からない。例えば、東北大学での研究生生活の終盤の頃、会議が終わった後に、同僚が二人にこにこしながら近づいて「昨日、岡村総吾先生に会ってきました。たまたま川上さんのうわさになったら岡村先生は“あの人は19世紀の科学者です”とおっしゃっていましたよ」と話してくれた。前から先生は「川上さんは私よりイギリス的だ」ともおっしゃっていた。英国好きな岡村先生が私のことを19世紀アマチュア科学者に近いと感じて下さったのかもしれない。同時に20世紀にミスマッチな変わり者という揶揄もあっただろう。

現在の私は経営を若い世代に引き受けてもらい、自分は好奇心を刺激され、会社の将来につなげたい課題に取り組んでいる。

- ・強集束光ビーム（電磁界理論における複素数座標の有用性）

・ストークス空間の光多値通信など、種々の偏波状態を空間的に高密度に共存させる方式・デバイス

・有機EL光の高効率取り出し

などである。絵描きは生きている間は絵を描き、作家は年をとっても小説を書くように、私も長く技術の仕事を続けたい。

自分の持って生まれた旧時代の気質や行動パターンを生存競争の厳しい21世紀の産業社会に適応、改造していく上で、西澤先生の厳しいリマーク（「アインシュタインに非ざる人は……」）は常に大きなチェックポイントだった。スタートアップ会社を立ち上げたこの10数年にもできるだけ自分の考え方を会社経営にアジャストするよう努めたが適応し切れないところも多かった。どうしても軍師がいる場面ではタイミング良く岸田勝人さん（図5の中央）をはじめとする達人たちが現れた。健康も今のところ大丈夫だし、運に恵まれついでに一生技術にじかに携わってみたいと願っている。

## 文献

- (1) 岡 潔, 春宵十話, 毎日新聞社, 東京, 1963.
- (2) 岡 潔, 紫の火花, 朝日新聞社, 東京, 1964.
- (3) 高瀬正仁, 岡 潔 数学の詩人, 岩波書店, 東京, 2008.
- (4) S. Kawakami, "Lossless reciprocal transformation and synthesis of a two-state network," IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-13, no.2, pp.128-136, June 1966.
- (5) S. Kawakami and J. Nishizawa, "An optical waveguide with the optimum distribution of the refractive index with reference to waveform distortion," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.MTT-16, no.10, pp.814-818, Oct. 1968.
- (6) S. Kawakami and J. Nishizawa, "Kinetics of an optical wave packet in a lens-like medium," J. Appl. Phys, vol.38, no.12, pp.4807-4811, Nov. 1967.
- (7) 川上彰二郎, "畑と兎," 東北大学電通談話会記録, pp.578-596, Dec. 2000.
- (8) S. Kawakami, "Fabrication of submicrometer 3D periodic structures composed of Si/SiO<sub>2</sub>," Electron. Lett, vol.33, no.14, pp.1260-1261, July 1997.
- (9) 川上彰二郎, "積層型フォトニック結晶の産業的諸応用," 応用物理, vol.77, no.5, pp.508-514, May 2008.
- (10) 川上彰二郎, "ある大学発ベンチャーの紹介と経験—偏光画像とフォトニック結晶のつながりについて—," 映情学誌, vol.63, no.11, pp.1544-1549, Nov. 2009.
- (11) <http://www.photonic-lattice.com/ja/products/>
- (12) <http://www.fsa.go.jp/news/25/ginkou/20140604-2.html>



# 大阪梅田で進化を続ける 「うめきた」地区

街plus  
探訪



島根大学大学院総合理工学研究科 神崎映光 Akimitsu Kanzaki

## 1 はじめに

2013年4月26日、大阪梅田にて大形複合施設「グランフロント大阪」がグランドオープンし、僅か3日間で来場者数が100万人に達する<sup>(1)</sup>など、全国的に大きなニュースとなった。このグランフロント大阪を含む約24haの地域は「うめきた」（梅北）地区と呼ばれており、現在も再開発が進んでいる。

今回は、ここ数年で劇的に変貌し、今なお進化を続けているうめきた地区及びその周辺地域の最近の様子について触れた後、グランフロント大阪の中を幾つかの施設に分けて紹介する。

## 2 「うめきた」地区とその周辺地域

うめきた地区は、かつてJR貨物の梅田駅があったエリアを中心とした再開発地域である「大阪駅北地区」（旧称：大阪北ヤード）を指す（図1）。「うめきた」という名称自体は、2011年に実施された公募・投票により決定した<sup>(2)</sup>。その立地条件の良さから「大阪最後の一等地」「都心に残された最後の一等地」などと言われているようであるが、確かにJR大阪駅に隣接しており、更に付近には阪急、阪神、市営地下鉄の各駅が密集しているため、各所

からのアクセスは非常に便利である。

第1期開発では、エリア東側の約7ha（図1内の「先行開発区域」）を対象とした開発が行われ、2013年4月にグランフロント大阪が「まちびらき」（グランドオープンのことをこう呼んでいるようだ）した（図2）。「まちびらき」当初の盛況ぶりについては冒頭で述べたとおりだが、「まちびらき」から2014年3月末までのショッピングエリアの売上高が436億円に達し<sup>(3)</sup>、1年間の来場者累計が5,300万人を突破する<sup>(4)</sup>など、大阪梅田の中心的な施設として、その存在感はますます大きくなってきている。

残るエリア西側（約17ha）についても、うめきた2期区域として開発計画が進行しており、こちらは2023～2026年度の「まちびらき」を目指しているようである。

うめきた地区だけでなく、その周辺地域もここ数年で大きく変貌した。うめきたから見て南方にある大丸梅田店やその東にある阪急うめだ本店といった大手百貨店が2010年以降次々とリニューアルしており、またうめきた東方の茶屋町では、2010年末にMARUZEN & ジュンク堂書店、2011年にNU茶屋町プラス、2013年に梅田オーパと、大形の店舗が次々にオープンしている。



図1 うめきた開発対象区域

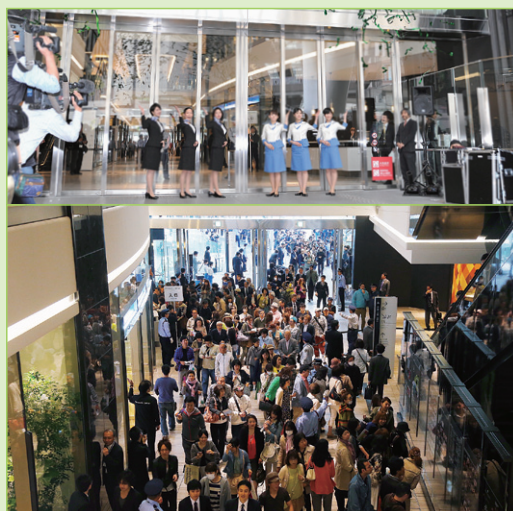


図2 グランフロント大阪「まちびらき」当日の様子。初日から多くの人でにぎわった

その中でも特に大きな変貌を遂げたのは JR 大阪駅であろう。JR 大阪駅は、うめきた再開発の動きに合わせ、2004 年から大規模な改修工事が進められ、2011 年 5 月に「大阪ステーションシティ」として生まれ変わった(図 3)。大阪ステーションシティは、特徴的な形の大屋根に覆われた駅構内と、その南北に建つ「サウスゲートビルディング」「ノースゲートビルディング」から成り、ショッピングや飲食はもちろんのこと、映画やフィットネス、更にはホテルに至るまで、数多くの施設がこの中で利用可能である。(先に述べた大丸梅田店も、実はサウスゲートビルディング内にある。) また、「時空の広場」「アトリウム広場」「カリヨン広場」など、様々なテーマに沿った八つの広場が設置されており、休憩や待合せの人々でいつもにぎわっている。大阪に住んでいた頃、筆者自身も「時空の広場」(図 4) 南側の金時計をよく待合せ場所として利用していた。複雑に入り組んだ駅構内の中でも比較的分かりやすい場所にある上、遠方から来る人にも場所を教えやすいので、個人的にはお薦めのスポットである。また、広場を花で埋め尽くす「フラワーアートミュージアム」など、様々なイベントも時折催されており、待ち時間を持て余さずに済む点も推しておきたい。

### 3 グランフロント大阪

さて、そろそろグランフロント大阪の中に入って

みよう。全景は図 5 に示すとおり、一列に並んだ 4 本のタワーが印象的である。一番左のタワーは「オーナーズタワー」と呼ばれる分譲住宅であり、中央二つのタワーとその基壇部の「北館」、そして右側のタワーとその基壇部の「南館」と続いている。

南館の更に南側に先の大阪ステーションシティがあるわけだが、それらの間に挟まれたエリアは「うめきた広場」と呼ばれている。「広場」の名のとおり、約 1 万㎡の広大なイベントスペースになっており、種々のイベントが頻繁に催されている(図 6)。また、地下 1 階には 20 近い飲食店が並んでいる。軽食やスイーツといった店舗が中心であり、大阪ステーションシティの地下階とも直結しており、ふらっと立ち寄れる手軽さがとても良い。筆者自身も近くを通った際、食事のためによく立ち寄ったものである(図 7)。

次に南館に移ってみよう。この建物の大半を占めているのは「ショップ&レストラン」と呼ばれるエリアである。その名のとおり、ファッションやイン



図 5 グランフロント大阪全景



図 3 大阪ステーションシティ全景。右側の建物が「ノースゲートビルディング」で、反対側が「サウスゲートビルディング」



図 4 大阪ステーションシティ内「時空の広場」。中央やや右に見えるのが、筆者が待合せによく使っていた金時計。上部に見えるのが、大阪駅の特徴的な大屋根



図 6 「うめきた広場」で 2013 年 10 月に催されたビールイベント「ベルギービールウィークエンド Boutique」の様子。たまたま通りかかったときにやっていたのだが、筆者もついつい 2～3 杯ほどいってしまった。2014 年 5 月には「オクトーバーフェスト」も開催されたようだ。ビール好きにはたまらないスポットである



図 7 「うめきた広場」地下には、気軽に立ち寄れる飲食店が並んでいる





テリア、雑貨、書店、レストランやカフェに至るまで、総計 266 もの店舗（2014 年 6 月現在）が outlet している。関西初 outlet の店舗も多く、大阪府外からも注目を集めているようである。筆者が訪れた際も、観光ガイドを片手に歩く人をしばしば見掛けた。

最後に北館だが、こちらの大半を占めているのが「ナレッジキャピタル」と呼ばれる施設である。こちらは、『感性』と『技術』を融合させ、『新しい価値』を創出する」ことをコンセプトとした「知的創造拠点」である。これだけ見ると、何となく堅苦しい印象を持たれる方もおられるかもしれないが、各種イベントが定期的開催される「ナレッジプラザ」や、一步先の未来の生活を体験できる新しい形のショールーム「フューチャーライフショールーム」など、一般の方々も楽しめる施設・店舗が数多く入っている（図 8）。

ナレッジキャピタルは、北館の地下 2 階から地上 13 階に至る広大な敷地を持ち、グランフロント大阪内でも中核的な施設となっている。また、研究に関する常設展示等も行っており、筆者自身も、大阪大学在籍時にここで一般向けの研究成果展示を行うなど、大学人・研究者として何度も足を運んだ。本誌の読者諸氏にとっても興味深い施設ではないかと思うので、こちらは別途章を用意して、もう少し詳しく内部を紹介したい。

## 4 ナレッジキャピタル

先に述べたとおり、ナレッジキャピタルはグランフロント大阪の中核を成す知的創造拠点である。先に紹介した「ナレッジプラザ」「フューチャーライフショールーム」以外にも、会員制サロンである「ナレッジサロン」（図 9）などの交流スペースや、オフィススペース、会議室、多目的劇場といった施設がある。

ここで筆者が一般向けの研究成果展示を行ったと述べたが、その展示を行った施設が「The Lab.（ザ・ラボ）」（図 10）である。こちらは「皆で世界一研究所」をコンセプトに、来訪者が最先端の技術



図 8 ナレッジプラザとフューチャーライフショールーム。下部に見える広場がナレッジプラザ

に触れることができる交流施設であり、展覧会やセミナーなどを開催できるイベントホールである「イベントラボ」、ワークショップ等が開催できるスペースや、電子書籍が読めるタブレット端末などを備えた「カフェラボ」、企業や研究機関が開発した最新技術が展示されている「アクティブラボ」という三つのフロアから成っている。

このうち、2 階と 3 階の 2 フロアを占める「アクティブラボ」では、国内外の企業、研究機関、大学による研究展示が常時行われており、訪問者が無料で見学できる。各展示では、一般の方でも気軽に最新技術に触れられる工夫が随所になされており、2014 年 6 月に来場者数累計が 100 万人を突破する<sup>(5)</sup> など、一般客も含めた多くの人が足を運んでいる。筆者らが展示を行ったのもこのスペースであり、2013 年 9 月 9 日～20 日の期間中、当時所属していた大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻マルチメディアデータ工学講座（西尾研究室）での研究成果を一般向けに公開した。本稿で身内の研究について述べるのもどうかと思うが、ここで少しだけ展示について紹介させて頂こう。この展示では、「あなたの知らないセンサーのチカラ～スマホとセンサーで快適生活!？～」と題し、広範囲に設置されたセンサデバイスやスマートフォンに搭載された各種センサから取得したデータを収集・提供するシステムや、スマートフォン利用者の状況に関する情報を収集するシステム、収集した情報を用いて利用者の状況に適したアプリを推薦するシステムを公開し、来訪者に触ってもらいながら各システムの説明を行った（図 11）<sup>(6)</sup>。僅か 10 日余りの開催ではあったが、累計で 1,911 名の来訪者



図 9 会員制交流サロン「ナレッジサロン」



図 10 The Lab.（写真はアクティブラボ内の様子）





図 11 アクティブラボでの研究成果展示の様子



図 12 The Lab. ツアーの様子

があり、一般の方々から多くのフィードバックを得ることができた。日頃の研究は基本的に研究室等の所属部署で行い、対外発表に出ても議論の相手はほぼ関連分野の研究者という方は、本誌の読者の中にも少なからずおられるのではないだろうか。筆者自身も例外ではなく、日頃の研究活動で一般の方と議論する機会というのはなかなか持てないものであるが、この展示を通して、普段の議論では出てこないような、一般の方目線からの意見を多数頂くことができ、筆者にとって非常に大きな刺激となった。

話をナレッジキャピタルの紹介に戻そう。最後に紹介させて頂くのは、「ナレッジキャピタルツアー」「The Lab. ツアー」という、二つの無料ツアーである。前者は毎週末及び祝日の午後に1回、後者は毎日午後に1回行われており、約30～40分かけて、ナレッジキャピタルの案内人である「コミュニケーター」が施設内を案内してくれる(図12)。残念ながら筆者自身はツアーに参加していないのだが、先の展示を行っている最中も多くの方がツアーに参加するのを目にした。アクティブラボ内に、ツアー参加者が感想を書いた紙を貼り付けられる壁があったのだが、子供から大人まで、様々な年齢層の方が書いたとおぼしき「楽しかった」「驚きの連続だった」といった感想がびっしりと貼り付けられていたのが印象的であった。

## 5 おわりに

グランフロント大阪では、「まちびらき」に合わせて、「UMEGLE」(うめぐる)という交通サービスもスタートしている。こちらは大阪梅田地区全体の回遊性向上を目的としたサービスで、1時間200円から利用できるレンタサイクルや、12の停留所を約30分で回る巡回バスが展開されている。また、周辺駐車場が上記二つのサービスと連携し、自家用車で梅田入りした人もスムーズに巡回バスに乗り継ぎできるようになっている。レンタサイクルに「UMEGLE-CHARI」(うめぐる・ちゃり)と名付ける辺り、いかにも大阪らしいセンスを感じるが、と

にかく、このサービスによって大阪梅田境界の移動が非常に便利になったのは間違いないだろう。

うめきた地区は第2期開発の計画が現在進行中であり、UMEGLEのような周辺地域との連携も行いながら、これからも劇的な進化を遂げていくことであろう。なお、本稿を執筆している時点で筆者は既に大阪を離れているため、本稿に記載している内容は筆者が最後に現地を訪れた2014年初頭までのものととどまっている。そのため、本稿の内容が、今もなお進化を続けているうめきた地区の現在の様子を十分に紹介できているかどうかは不明である。是非、読者諸氏にも足を運んで頂き、うめきた地区の今を感じ取って頂きたい。本稿が、うめきた地区の魅力を少しでもお伝えできたのであれば幸いである。**謝辞** 本稿の掲載にあたり、一般社団法人ナレッジキャピタル様から写真素材を多数提供頂きました。この場をお借りして謝意を表します。

## ■ 文献

- (1) グランフロント大阪3日で100万人突破, 日テレNEWS24, <http://www.news24.jp/articles/2013/04/29/06227676.html>.
- (2) <http://www.kankeiren.or.jp/keizaijin/pdf/closeup11.3.pdf>
- (3) <http://www.nttud.co.jp/news/detail/770.pdf>
- (4) [http://www.grandfront-osaka.jp/documents/10511/14062/20140425GFO\\_press.pdf](http://www.grandfront-osaka.jp/documents/10511/14062/20140425GFO_press.pdf)
- (5) 「アクティブラボ」来場者累計100万人突破, [http://kc-i.jp/material\\_get.php?topics\\_id=00000132&kbn=pdf](http://kc-i.jp/material_get.php?topics_id=00000132&kbn=pdf)
- (6) 展示ブース：豪雨や地震探知などセンサ紹介グランフロントで阪大院研究室 / 大阪 - 毎日jp, <http://mainichi.jp/area/osaka/news/m20130919ddl27040467000c.html>

## 神崎映光 (正員)

1998-04 から2014-03 までの間、阪大の学生・教員として大阪で過ごす。本稿を執筆中の2014-04、島根県に移住し、島根大大学院総合理工学研究科准教授となる。博士(情報科学)。現在、妻子とともに山陰地方の見どころ・食べどころを探索中。



電子ブロック機器製造株式会社 大鹿正喜 Masaki Oshika



## まえがき

電子ブロックは40代以上の方々には、御自身の子供の頃の憧れの電子玩具として、時を経て2001年に発売された復刻版学研電子ブロックEX150として御存じの方も多いと思う。

筆者自身は子供の頃、お年玉で購入した初期型の電子ブロックDRシリーズでリアルタイムに遊んだ経験があったが、自身が設計の立場になろうとは思ってもみなかった。入社タイミングで、学研電子ブロックEXシリーズ増強の追加パーツとしてシンセサイザパーツの開発にも携わることができ、子供の頃のわくわく感を思い出したことを覚えている。初期型から現在に至るまでの開発や改良過程のお話を通じて、若い研究者の皆さんにも同じわくわく感を味わって頂き、楽しく研究に取り組んで頂ければと願っている。



## 電子ブロックの歴史

電子ブロックは、1965年「電子回路形成のブロック素子を組み合わせる電子機器」という特許を基に弊社の創業社長野尻孝が商品化した製品で、抵抗、コンデンサ、ダイオード、トランジスタなどの電子パーツをそれぞれブロックの中に封入し、そのブロックを配列することで様々な電子回路が出来上がるようになっている。

付属回路集で、電子回路の知識のない方でもパズル感覚でブロックを配列と、抵抗、コンデンサの直列接続、並列接続、トランジスタの増幅作用から始まり、ラジオ、モールス発振器などの実用回路やうそ発見機などのおもしろ回路なども楽しむことができる。

以下に電子ブロックの年代別シリーズを紹介し、電子ブロックの歴史をたどる。

### ■ 1965年：DRシリーズ

商品化第1号はDR-7 (9,800円)であった(図1)。7Trスーパーラジオなど22回路が実現できた。当時の大卒初任給が約24,000円で、非常に高価だったため、後に回路数を限定し玩具色を強めたDR-I A、DR-II Aを発売(図2)。

ブロックは、1個1個が独立して自立しないため、回路と無関係なブロックをケース全面に配置して全て埋める必要があり、回路が読取りにくい欠点があった。また、抵抗やコンデンサの値表記がなく、小さな番号表記のため、誤配線も生じやすかった。

ブロック同士の結線は、ブロック四方側面の金属接点で接触する方式。接点は、ばね材を用いていたが、丸形状で角折加工がなく、長期使用で接触不良になりやすいという欠点があった。

### ■ 1968年：SRシリーズ

DR-I A、DR-II Aで少しずつ一般に知られる商品となったが、コストを抑えるためブロック構造を大幅に変更し、リード線ブロックの代わりに連結金具を用い、電子部品のみブロックに封入した廉価版の電子ボードSRシリーズを開発(図3)。

透明ブロックを採用し、中の電子部品が見える構造となり、時代の最先端を先取りする雰囲気子供心をくすぐった。抵抗値、コンデンサ値をブロックに表記した。ブロック下部に金属の足が出て、その部分で隣合うブロック同士が接触結線される方式を採用。

### ■ 1971年：STシリーズ(改良特許品)

透明ブロックはそのままに、DR同様のリード線ブロックを復活し、ブロックの配置ベースにガイドピンを立てたことで、単独ブロックの自立が可能となった。ブ



図1 DR-7



図2 DR-II A (3,950円) 2Tr30回路



図3 SR-1A (1,950円) 1Tr16回路



ロックが密着しないため、接点に角折れを加えねの復元性を強化。挿抜性が向上して、DR で必要だったブロック保持用のダミーブロックが不要となった。回路図とブロック配置の対比も容易となり、誤配線も減少。電子ブロックの構造としてほぼ完成し、後々の商品の基本となっている（図 4、5）。

## ■ 1972 年

第 3 回科学玩具展で ST-100 が「科学技術庁長官賞」受賞。

## ■ 1973 年

学研と業務提携し「学研電子ブロック」誕生。

### 教材用大形ブロック開発

真空管時代からトランジスタの時代へ移り、多様な製品に電子回路が応用され、電子ブロックも玩具としてだけでなく教材としての利用が増えた。教材として、大規模な回路へ発展可能なブロック配列基板と多様な電子部品を内蔵可能にするために玩具の 2 倍ほどのブロックを開発（図 6、7）。

## ■ 1976 年：EX シリーズ

モスグリーンの透明ブロックと、当時流行したラジカセ風デザインで、年間 20 万台を超える大ヒット。年末のデパート玩具売り場には電子ブロックを買い求める親子連れが列を作った。

「電子ブロック」= EX シリーズを連想される方も多く、2001 年に学研大人の科学シリーズとして、復刻版が発売された（図 8）。

## ■ 1979 年

EX シリーズに EX-181（17,400 円）追加。



図 4 ST シリーズ  
ブロック

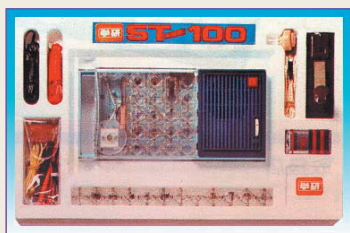


図 5 学研電子ブロック ST-100



図 6 教材用ブロック基板回路規模に  
応じて連結可能



図 7 教材用電子  
ブロック

## ■ 1981 年：FX シリーズ

新アイテムを加え、FX シリーズを発売。全面モデルチェンジの予定でスタートしたが、EX シリーズの人気も根強く併売を継続。

FX-マイコンには当時の家電に内蔵され始めた 4 bit マイコンを採用。4 bit マイコンは現在一般的な書換え自由なものではなく、生産時にユーザのプログラムを組み込むタイプで、その発注のために一人でメーカーに出向き、最終コードの確認をした思い出がある。

動作クロックが 400 kHz と遅く、クロックを分周して発生させている音階がぴったり合わず、ユーザの音感に影響を与えたことは反省材料である。

ゲームウォッチなどの LCD カードゲーム、ファミコンの人気などで徐々に販売数が減少し、電子ブロックは静かに玩具市場から撤退。1986 年の頃である。

## ■ 1982 年

### 新型教材用電子ブロック開発

ブロックの挿抜を軽く、かつ接点接触を確実にする目的でブロック形状と基板構造を改良。1P サイズに加え、大形 IC 基板を実装できる 4P サイズを制作（図 9）。

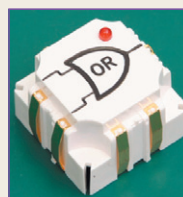
## ■ 1998 年

### ホームページ開設記念 ST-100 機能再現モデル発売

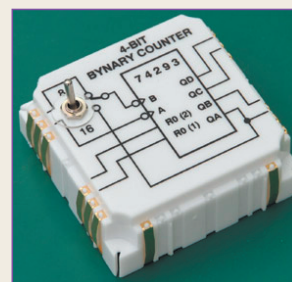
学研電子ブロックが玩具市場から姿を消した後でも、電子ブロックの根強いファンも多く、熱心なファンの協力を得て、1998 年に当時の通商産業省マルチメディアコンテンツ助成を受け、バーチャル電子ブロックの基本開発が行われた。その記念にホームページを開設し、教材用のブロックを用いて、電子ブロック「ST-100 機能再現版」を一般ユーザ向けに限定数量で販売。パソコン



図 8 EX-150（13,000 円）150 回路



1P サイズ



4P サイズ

図 9 新型教材用ブロック



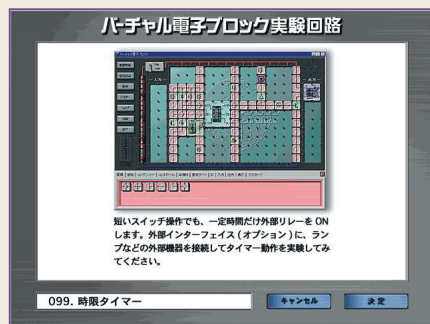


図 10 バーチャル電子ブロック (9,800 円)

雑誌やインターネットニュース等で紹介された。

バーチャル電子ブロックは、100 回路のサンプル回路を制作し、2000 年に発売 (図 10)。

## ■ 2002 年

### 大人の科学 復刻版学研電子ブロック EX-150 発売

子供の頃、電子ブロックが買えなかった世代が大人になり、再販を要望されるファンの声に後押しされる形で、学研大人の科学シリーズとして EX-150 の復刻発売 (9,800 円) が決定 (図 11)。

形状は従来の EX-150 と同じでも新規制作であるので、価格を抑えつつ製品の動作性能を確保するため中国で生産、弊社で全数検査という体制で 15 万台を超す大ヒット商品となった。



### 接触不良との闘い

電子ブロックは発明当初から完成されていたわけではなく、シリーズの変遷は、歴史で述べたようにブロックの抜き差しや、ブロック同士の接触不良、製造コストとの闘いの歴史とも言える。

ブロックの差し込みベースにガイドピンを立てるという改良特許の発想で、必要最小限のブロックのみで回路ができ、基本構造が完成した。

教材用としては、コスト面より安定動作を優先し、金めっき接点を採用し、信頼性を向上させた。このことにより、OPamp 回路などの微小電流回路の実習も可能になった。



### ライバルとの提携で魅力アップ

当時、電子ブロック (ST シリーズ) は学研から発売されていた「マイキット」と電子玩具分野でのぎを削っていた。

そんなライバル会社との提携で、デザインが一新された EX シリーズで、憧れの玩具として日本中はもちろん、海外でも大ヒット商品になった。

筆者が入社したのは、この EX シリーズに新商品としてシンセサイザパーツを導入するときで、擬音回路の作成を担当。いろいろな音を電子音で実現するため、踏み



図 11 復刻版 EX-150 (9,800 円)

切りへ出掛けて警報音を録音したり、虫の鳴き声や効果音のテープを再生し、その波形を参考に発振器の周波数や組合せを決めていくという作業だった。試行錯誤を繰り返し、安定して同じ音が実現できる回路に絞り込み、商品化できたときの感慨は今もよく覚えている。



### 更なる改良で次世代版電子ブロックを

子供時代に電子ブロック、あるいはマイキットなど組み換え可能な電子玩具で遊び、電子回路を身近に感じて育った世代は、現代日本の電子技術の中核技術者として活躍されている方が多いと聞いている。

その後は、動作して当たり前、楽しめればよいという玩具が主流となり、その機能がどのように実現されているのか疑問に思う機会が少なくなり、電子ブロックも忘れ去られた存在になった。

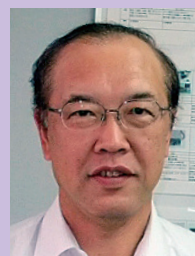
しかし、電子ブロックは過去の商品ではなく、現代においても、電子回路の基礎を手軽に学習するには最適なシステムであると確信している。正しくブロック配列できなければ動かず、なぜ？ を感じることができる。僅かな手間でも自分で組み上げた回路から音や光が出ることによる達成感も得られる。

その感覚をなくさないためにも、筆者は次世代版電子ブロックを、提供できる 때가来ることを願って改良を続けている。平成 20 年と 23 年には特許が取得でき、現在進行形で申請中の案件もある。

現代の子供たちや若い技術者にも、電子部品の焼ける臭いや、音、光、熱、指先に触れる感触などを五感で感じ取り、電子回路の基本を押さえ、かつ新たなアイデアの源として楽しみを感じてもらいたい。

### 大鹿正喜

1957 生まれ。1979 愛知工大・工・電子卒、同年、電子ブロック機器製造株式会社入社。学研電子ブロック、実習用電子ブロック、電子機器のハード・ソフト開発に携わる。1997 同社取締役技術部長。2014 同社代表取締役社長就任、現在に至る。



## I-Scover シンポジウム 2014 開催報告

# 論文ビッグデータを用いた 研究動向分析と知識発見最前線

～I-Scover: 使ってみよう・やってみよう・創ってみよう～

I-Scover プロジェクト普及推進チーム

### 1 はじめに

2014年9月30日に東京・機械振興会館にて、「論文ビッグデータを用いた研究動向分析と知識発見最前線～I-Scover: 使ってみよう・やってみよう・創ってみよう～」をテーマした I-Scover シンポジウム 2014 が開催されました(図1)。I-Scover<sup>\*1</sup>のこれまでの発展を紹介する基調講演、論文等の文献情報を用いた日本や日本の大学の研究力の分析結果あるいは新たな知見を得るための最新技術やシステム、更には I-Scover チャレンジ 2013 の作品紹介と I-Scover チャレンジ 2014 の作品募集がありました。I-Scover ひろば<sup>\*2</sup>(図2)や本会メーリングリストでの開催告知により本会会員だけでなく本テーマに興味を持つ約50名の方の参加がありました。

### 2 IEICE Knowledge Discovery (I-Scover) とシンポジウム

「I-Scover」とは、電子情報通信学会の論文・技術研究報告・大会講演予稿等の知的リソースを横断的に検索するシステムです。I-Scover では、単に論文検索を行えるだけでなく、論文やその著者・所属、出版物、イベント、キーワードなどの情報をデータとして再利用しやすい形式(Linked Data)で整理してあります。これにより研究動向の分析や著者の分析などがしやすくなり、I-Scover データを活用した様々な応用が期待さ

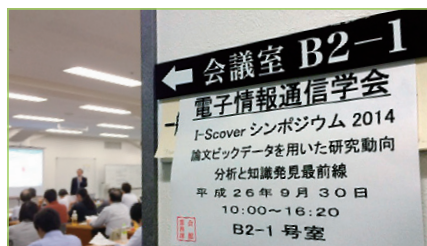


図1 シンポジウム会場模様

\*1 電子情報通信学会文献検索システム IEICE Knowledge Discovery (I-Scover), <http://i-scover.ieice.org>

\*2 I-Scover ひろば, <http://iscover-p.ieice.org>

れています。

本シンポジウムは、I-Scoverを使うとどのような情報が得られるのか、I-Scoverの論文情報を用いることによってどのような新しい知識・知見を得ることが可能なのか、I-Scoverを利用してどんな新しいアプリケーションを構築することが可能なのか、という疑問に答えるために企画されました。

### 3 講演模様

まずは、基調講演として、I-Scover プロジェクトの千村保文氏が「I-Scover プロジェクトの概要」と題して講演されました。I-Scover そのものの紹介、昨年度作成された I-Scover の PR ビデオ上映(図3)を通して初めて I-Scover を知る聴講者にも大変分かりやすく説明されました。

次に、政策研究大学院大学の桑原輝隆先生から「論文情報活用に関する研究最前線」と題しまして、科研費成



図2 I-Scover ひろばの Web ページ画面





図3 I-DiscoverPR ビデオ画面



図5 I-Discover チャレンジ 2014 の紹介をする  
伊加田恵志氏

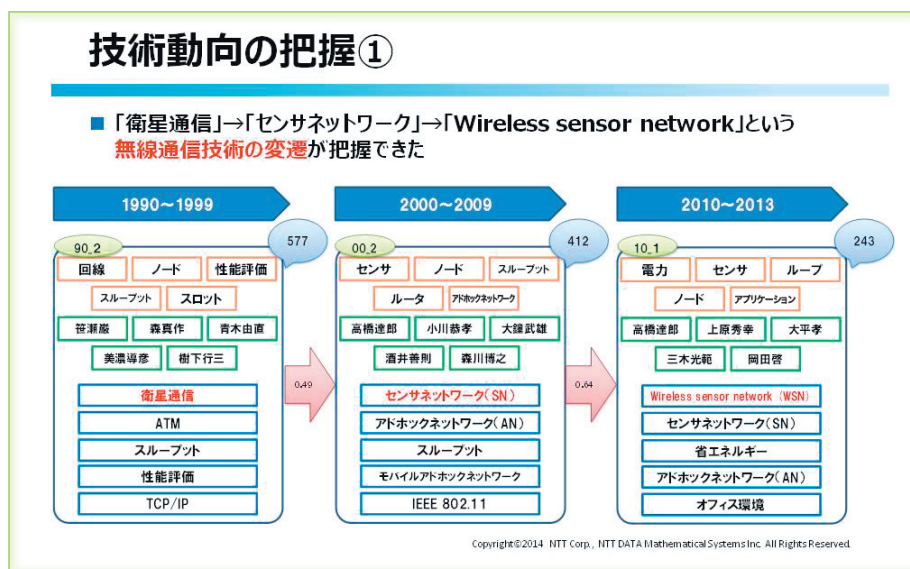


図4 I-Discover チャレンジ 2013 入賞作品「グラフマイニングを活用した技術年表の構築」(NTT の新井氏,  
NTT データ数理システムの鍋谷氏) の講演において紹介された I-Discover データの分析例

果やその他の論文情報を基に、現時点での日本の研究力の国際的評価、あるいは国内研究機関の研究力の特徴についての分析結果が報告されました。

科学技術振興機構の佐藤正樹氏からは、「JST 情報資産のオープン化、および他の機関との連携について」と題しまして、JST における現在の取組みが紹介されました。論文情報のオープン化や、JST 主催のコンテスト、J-STAGE、J-Global 等の概要について説明がなされました。

広島市立大学の難波英嗣先生からは「文書分類技術を用いた検索支援および技術動向分析」と題しまして、論文をカテゴリ化する方法及びシステムについての紹介、論文の価値を一般のニュース等に関連付けて評価する方法の紹介がありました。

富士通研究所／I-Discover プロジェクトの西野文人氏からは、「Linked Data としての I-Discover データを用いた論文分析」と題して、I-Discover プロジェクトの立場で I-Discover の仕組みとして使われる Linked Data について解説がなされました。次に富士通研究所の Linked Data に関わっている研究者の観点で、名寄せや外部データとの連携あるいはデータ整備についての提言がなされました。

I-Discover プロジェクトの伊加田恵志氏からは

「I-Discover チャレンジ 2013 報告」と題した報告がなされました。I-Discover チャレンジ 2013 の入賞作品の紹介として、NTT の新井淳也氏・NTT データ数理システムの鍋谷昂一氏からは「I-Discover チャレンジ 2013 ～グラフマイニングを活用した技術年表の構築～」(図4)、福岡工業大学の若原俊彦先生・榎俊孝氏からは「I-Discover を用いた学会論文検索・分析システムの試作」に関する講演がなされました。

最後に、伊加田氏から I-Discover チャレンジ 2014 の紹介がなされました(図5)。また、フリーディスカッションとして、現在の I-Discover の課題や今後の開発計画、他組織のシステムとの連携との課題といった論点で議論がされました。

## 4 おわりに

本シンポジウムでの講演は、大所高所に立った論文情報分析の話からアプリ開発まで幅広く、専門家だけでなく専門外の方にとっても十分に聴き応えのあるものとなりました。本シンポジウムで得られた知見や議論が今後の I-Discover の積極的な利活用につながることを期待したいと思います。また、I-Discover チャレンジ 2014 へのたくさんの作品応募をお待ちしております。



# I-Scover チャレンジ 2014 募集案内

～ I-Scover でできる こんなこと, あんなこと～

I-Scover プロジェクト普及推進チーム

電子情報通信学会では、論文誌論文・技術研究報告・大会講演論文等の知的リソースを横断的に検索するシステム「I-Scover」を構築しました。「I-Scover」では、単に論文検索を行えるだけでなく、論文やその著者とその所属、出版物、イベント、キーワードなどの情報をデータとして再利用しやすい形式（Linked Data）で整理してあります。これにより研究動向の分析や著者の分析などがしやすくなっており、I-Scover データを活用した様々な応用が期待されています。本チャレンジでは、昨年に引き続き、I-Scover の積極的な利活用を促すため、これらの蓄積したデータを提供し、研究動向分析技術など I-Scover データの活用の可能性を示して頂いた事例の投稿を募集致します。

学生（高校生、大学生他）の方も含め、多くの皆さまからの作品の御応募を期待致します。

## 1. 応募トピックス

- I-Scover に蓄積されている論文、研究者、技術用語等の構造化データ（以降、I-Scover データセット）の分析/視覚化結果、I-Scover データセットを利用したアプリケーション（プログラム）、及び I-Scover の活用事例を募集します。
- 他のコンテストなどで作成した作品をもって御応募頂くことも可能です。

## 2. 応募資格

- 電子情報通信の分野の動向調査等に興味をお持ちの方
- ビジュアライゼーションやスマートフォン開発などに興味をお持ちの方
- Linked Data や知識処理・自然言語処理に興味をお持ちの方
- I-Scover を実際に使って新しい発見や使い方の改善などのアイデアのある方

など、職業、会員・非会員の別は問いません。

## 3. スケジュール

- 作品投稿締切：2015 年 1 月 6 日
- 一次審査結果発表：2015 年 1 月 20 日頃
- 作品発表会・表彰：2015 年 3 月 10 日（総合大会内）

## 4. 応募方法

I-Scover ひろば (<http://iscover-p.ieice.org>) で公開されている「I-Scover チャレンジ 2014」の詳細情報を御覧下さい。応募に際しては、作品応募フォームに必要事項を記入し、必要なファイルをアップロードして下さい。

## 5. 表彰

I-Scover プロジェクトにて公正な審査を行います。優秀と認められた作品には賞状を授与する予定（学生賞なども準備予定）をしております。

## 6. 関連イベント

本チャレンジに関するイベントを、2015 年 3 月 10 日に立命館大学で開催される総合大会で行う予定です。

## 7. 問合せ

I-Scover 普及推進チーム [fukyulS@ieice.org](mailto:fukyulS@ieice.org)

若者よ!

# 世界へよう!



## ★★★ 大学院生が見たアメリカ ★★★

カーネギーメロン大学

西田祐木

Yuki Nishida

～その4：卒業と進路～

### 1. はじめに

私は2012年の秋からカーネギーメロン大学(Carnegie Mellon University, 略称CMU)の大学院生として留学し、2014年5月に修士号を取得しました。CMUでは、工学部のInformation Networking Institute(略称INI)という学科に在籍し、情報技術、特にモバイルアプリケーションに関連した技術に重点を置く修士課程のプログラム(日本の大学でいう、各専攻が持つコースに当たるもの)で学びました。

これまで、本連載では大学院留学への道のり、プログラムの1年目を過ごしたペンシルベニア州ピッツバーグ、2年目を過ごしたカリフォルニア州シリコンバレーでの経験を紹介しました。今回は最終回として、卒業とその後の進路についてお話しします。

### 2. 卒業

2011年の出願から3年たった2014年5月、無事に修士課程を終えました。本稿を書く数週間前、卒業式に出席するためにメインキャンパスがあるピッツバーグへ行ったので、そのことを簡単に御紹介します。

夏を迎え最高気温が30℃に達していたカリフォルニアから、夜行便に乗り最低気温が4℃のピッツバーグに着くと、1年間で忘れてしまった感覚を思い出すと同時に、東西の大きな違いを改めて感じました。アメリカの大学の卒業式はコメンズメント(commencement)と呼ばれますが、単語の本来の意味は「始まり」で、新たな生活への門出という捉え方になっています。「ここに来るのはこれで最後かもしれない」、ついそんなことも考えてしまう気分がピッツバーグ市内に行きました。

コメンズメントが始まると、CMUの慣習としてスコットランドの衣装を着た音楽隊が総長などの登壇者を先導します。これは創設者のアンドリュー・カーネギーがスコッ

トランド出身であることに由来しており、バグパイプを中心とする音楽を聞くと大学の歴史と伝統に心をはせずにはいられません。また、全卒業生がガウンを着ていたことも、伝統ある雰囲気を作り上げていました(写真1)。

式の内容は来賓、卒業生代表、そして総長のスピーチ等、日本の大学の卒業式と似ています。読者の方々の中には、スティーブ・ジョブズがスタンフォード大学のコメンズメントで行ったスピーチを御存じの方もいると思います。CMUでの今年のスピーチで面白かったことは、スピーカーたちがselfie(自撮り)を撮ってから話し始めたことでした。来賓のスピーチは13年前にCMUを卒業した起業家が務めました。彼は話す前に総長とselfieを撮り、更に卒業生代表は後ろを向いて卒業生とselfieを撮ってからスピーチをしました。selfieとは、日本語の「自撮り」(携帯電話の画面側にある自分撮り用カメラを用いて写真を撮ること)に対応した、新しい俗語です。情報技術に強いCMUだからこそ起こったこととも思える場面でした。

そんな伝統と新しさが混ざった全学の式を終えた後、学科での卒業証書授与式に向かいます。この式典で証書もらい、最後には全員で帽子を投げ上げて修士課程の2年間を終えました。



写真1 ピッツバーグ時代の友人と記念撮影

### 3. アメリカでのエンジニアの就職

卒業が近づくにつれ学生たちの間では進路が話題になります。私の所属していたプログラムは産業界で活躍できる人材を育てるといっているとおり、ほぼ全員が就職しています。就職といえば日本では「就職活動」としてよく話題になりますが、アメリカではどうなっているのか、私の専門だったIT、特にソフトウェア業界の事例を御紹介します。

ソフトウェア業界では現在シリコンバレーを中心に景気が良いため、エンジニアが不足していると言われています。人材の供給不足に加えて、多少英語にハンデがあっても仕事での致命傷にならないため、ソフトウェアエンジニアは外国人留学生でもアメリカで就職しやすい分野の一つと言えます。

私の同級生の多くは大企業に就職する予定で、CMU全体で見ても多くの卒業生がGoogleやFacebookなどで働いています。これは日本で話題になっている「安定志向」に似ているかもしれませんが、しかし、その背景には後述する高額な給料に加えて、就労ビザ、そして永住権を得やすいという現実的な理由があります。アメリカに留学してコンピュータサイエンスやITの修士号を得て、卒業後1年間専門分野で働けるオプション（OPT：Optional Practical Training）を行使して大手ソフトウェア企業に就職するという道筋は、留学生を多数輩出する国々では定番の進路となっているようです。一方で、私は恥ずかしながら留学してから初めて知りました。

日本の就職活動と異なる面も多くあります。例えば、インターンシップの位置付けです。多くの企業では良いインターン生に卒業後の就職内定を出すため、私のクラスの間では1年目を終えた後の夏休みにインターンシップを探すときから緊張感がありました。

その頃の私はと言いますと、インターンシップに申し込んでみたものの、前号で御紹介した災害対応のプロジェクトに興味を持って大学で研究することにしました。しかし、大学での研究はうまく進まず、方向性と自分の希望とのずれも感じるようになりました。ほとんどの同級生がインターンシップをしていた中で、閑散とした大学で研究するのは取り残されてしまった気がしてしまい、つらい時期でした。

しかし、インターンシップが終わってまた同級生と集まってみると、インターン先から卒業後の内定を得ても、違う会社に就職したいと面接を受け始める学生も多くいました。こうしてみると、インターンシップは学生が企業を知り、本当に行きたいかを吟味する機会でもあることが分かります。一つの会社を吟味する機会を失いはしましたが、私としては同じスタートラインに戻った気が

したので、気持ちを立て直して仕事探しに集中することができました。

企業にとってのインターンシップの位置付けから読み取れるように、アメリカのソフトウェア企業は即戦力を重視する傾向にあります。また、有能なエンジニアは必ず複数社から内定を得るので、企業には人材獲得競争をしているという意識が強く見られ、給料や福利厚生等の条件をよく考えています。その影響があつてか、エンジニアの収入は高くなってきており、私のプログラムの卒業生の初年度平均年収は約1,000万円となっています。

そして、ソフトウェアエンジニアの採用では必ずと言っていいほどコードを書く面接が課され、実践力を評価されます。これらの面接ではデータ構造やアルゴリズムを問われることが多く、学部時代に勉強したことを復習し、定番の問題を練習して臨みます。問題集も出版されており、“Cracking the Coding Interview”は有名な問題集の一つです<sup>(1)</sup>。日本語訳もありますので、興味のある方は是非お試しください<sup>(2)</sup>。ただし、面接では正解を導けるかどうかよりも何を考えているか、考え方を見ていると言われており、コミュニケーションも必要です。その面接の形式を練習する意味も兼ねてクラスメイトたちと模擬面接をして練習したこともありましたが、このような面接を大体3〜5回繰り返し、エンジニアとしての腕前とチームで働ける能力を評価されてから内定にたどり着くことができます。

私もこの就職活動をして、ボストンにある社員80人程度のソフトウェア企業から内定を得ることができました。この会社のような中小規模の会社だと面接の形式も多種多様で、長時間コードを書くこともあり大変でしたし、終わったときには疲れ切って採用されないだろうと思っていました。その中で採用してもらえたことはうれしかったです。

### 4. 就職活動からベンチャーへ

しかし、そのソフトウェア企業は事業内容が私の興味に合っていてとても良かったものの、結局新しいベンチャー企業に参加することにしました。

このベンチャー企業、AgICは家庭用インクジェットプリンタと銀ナノ粒子インクを用いて回路を印刷する技術をビジネスにしています。AgICは、私の卒業論文の指導教員である川原圭博先生の研究成果を、私の学部時代の先輩が事業化しました。そして、2013年末に私が帰国したときに会社が立ち上がったことを知り「シリコンバレーで何か手伝えることあれば」ということで手伝い始めました。今振り返ると、この日本での縁とタイミングが大きな転換点になりました。





写真2 CMU シリコンバレーキャンパスの教授とスタッフの昼食会に招待され、AgICを紹介する筆者

ベンチャー企業が多いシリコンバレーで実際にベンチャー企業に関わってみると、視点は大きく変わりました。AgICの技術を見せると、興味を持ってくれる人が多く、その場で買いたいという人や協業したいという人も現れました。この背景には、回路の試作や教育を変える可能性を持った新技術であること、そして3Dプリンタやウェアラブルデバイスをはじめとするハードウェアへの注目、Maker Movementと呼ばれるものづくりを推進する運動が盛んになってきていること、といったタイミングの良さもあったでしょう。そして、IT業界を先導してきたシリコンバレーだからか、新技術を早く知りたいという好奇心もあるように感じられました。私としても人々が興味を持ってくれる姿や、シリコンバレーにいる腕のあるエンジニアたちが触発されてアイデアを考える姿を見るのが楽しくなり、いろいろな機会の人々に見せるようになりました(写真2)。TechCrunch等有名メディアの記者にTwitterでコンタクトして掲載してもらったこともありました。

そうしているうちにアメリカでの注目も高まり、ビジネスを拡大したいという話から、AgICのアメリカ法人を作り、私が一人目の社員として参加することになりました。仕事内容は元々目指していたソフトウェアエンジニアとはかなり違い、ハードウェアの技術開発やユーザ

テスト、販売等々、幅広い内容を扱うことになります。仕事内容の違いに加えベンチャー企業にはリスクがあるので、ソフトウェア企業とどちらに行くか考えましたが、大きなインパクトを与えられる数少ない機会だと思い、挑戦することにしました。

ハードウェア、そして学部時代の縁で仕事をするとは全く思っていなかったですし、何が起るか分からないものです。本稿を書いている今日AgICに正式に加わったのですが、この本稿が読者の方々に届くとき会社がどうなっているか、楽しみにしながら仕事をしたいと思います。

## 5. おわりに

これまで4回にわたって私の留学経験を御紹介しました。留学してみると、良いことも悪いことも含め、珍しい経験や日本では分からない発見がありました。この面白さは実際に身を投じてみないと分かりませんし、こうして言葉に書き出してみるとお伝えすることが難しいことも分かりました。私の言葉足らずな点もあったと思いますが、この留学記が大学院をはじめ、留学に興味のある方に少しでもお役に立てば幸いです。最後に、この留学記の機会を頂いた先生方や関係者の方々にお礼を申し上げて終わりとさせていただきます。

### ■ 文献

- (1) G.L. McDowell, Cracking the Coding Interview: 150 Programming Questions and Solutions, <https://www.facebook.com/carnegiemellonsiliconvalley> (5th Revised & enlarged edition), Career-Cup, 2011.
- (2) G.L. McDowell, 世界で闘うプログラミング力を鍛える150問〜トップIT企業のプログラマになるための本〜, 秋葉拓哉, 岩田陽一, 北川宜稔, Ozy (訳), マイナビ, 東京, 2012.

# 多様化・複雑化する 電気通信事故の防止について

総務省 総合通信基盤局 電気通信事業技術システム課

寺岡秀礼 Hideyuki Teraoka

## 1 はじめに

ICT (Information and Communication Technology) は、国民生活や社会経済活動の基盤であり、利用者保護の観点からは、事故の防止を図り、その安全かつ安定的な供給の確保を図ることが極めて重要だ。

近年、スマートフォンの急速な普及等により、とりわけ移动通信トラフィックの増加が著しく、直近1年間で見ても、約1.6倍、3年間では約6.6倍となっている(図1)。こうした状況は、大規模な通信障害等の重大事故の発生要因の一つにもなっており、安定的なサービス提供を確保するための的確な対応が課題となっている。

実際に、法令上の「重大な事故」(電気通信役務の提供を停止、または品質を低下させた事故で、影響利用者数3万以上かつ継続時間2時間以上のもの)は、平成20年度以来、毎年15件以上発生している。重大事故を生じたサービスの割合としては、近年のスマートフォンの普及やLTEサービスの開始等に伴う携帯電話関係の事故が5割前後の割合を占めるとともに、ネット関連サービスの重大事故の割合が高まっている(図2)。

このような状況を踏まえて、総務省では、平成25年4月から「多様化・複雑化する電気通信事故の防止の在

り方に関する検討会\*」を開催し、平時及び事故発生後の各段階で適切な措置を講じ、事故防止に必要なサイクルを有効に機能させる観点から、「①事故の事前防止」、「②事故発生時の対応」、「③事故報告制度」、「④事故報告後のフォローアップ」の在り方について検討を行い、同年10月に検討会報告書を取りまとめた。本稿では、本検討会における検討内容と提言について紹介する。

## 2 電気通信市場を取り巻く環境変化

電気通信市場の自由化(昭和60年4月)以降、IP化・ブロードバンド化の進展による「ブロードバンド市場やコンテンツ・アプリケーション市場(上位レイヤ市場)の生成・拡大」、ブロードバンドサービスの高速化(3.5G, LTE)やスマートフォンの出現・普及などによる「ネットワークや端末の多様化・高度化の進展」、回線設置事業者による「『垂直統合型』から『水平分離型』モデルへの移行」の進展、インターネット上のアプリによる無料通話や無料メールなど(上位レイヤサービス)を提供する「回線非設置事業者の出現・増加」などにより、事業者やサービスの多様化が加速化している状況にある(図3)。

このように、提供されるサービスという面では、電話に加え、ブロードバンド、音声・動画像等の上位レイヤサービスなどが順次提供され、サービスを提供する事業者という面では、NTT東西等をはじめとした回線設置事業者に加えて、大規模な利用者を有する回線非設置事業者が多数出現する中で、電気通信事故の防止にあたっては、回線設置の有無にとらわれない対策が必要となってきた。

## 3 電気通信事故の防止に向けた検討

サービスの多様化・高度化は、ネットワークや設備構

\* [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/tsushin\\_jiko\\_boushi/](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/tsushin_jiko_boushi/)

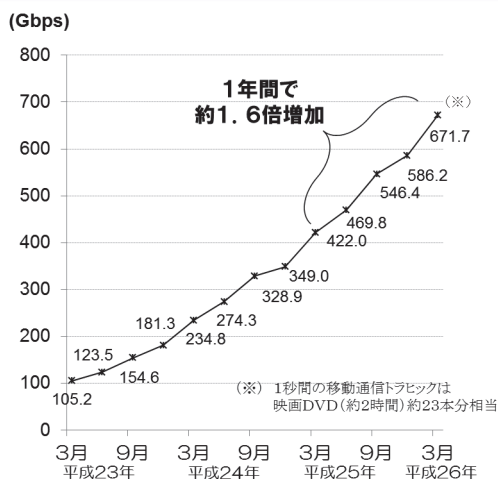


図1 移动通信トラフィックの推移(月間平均)

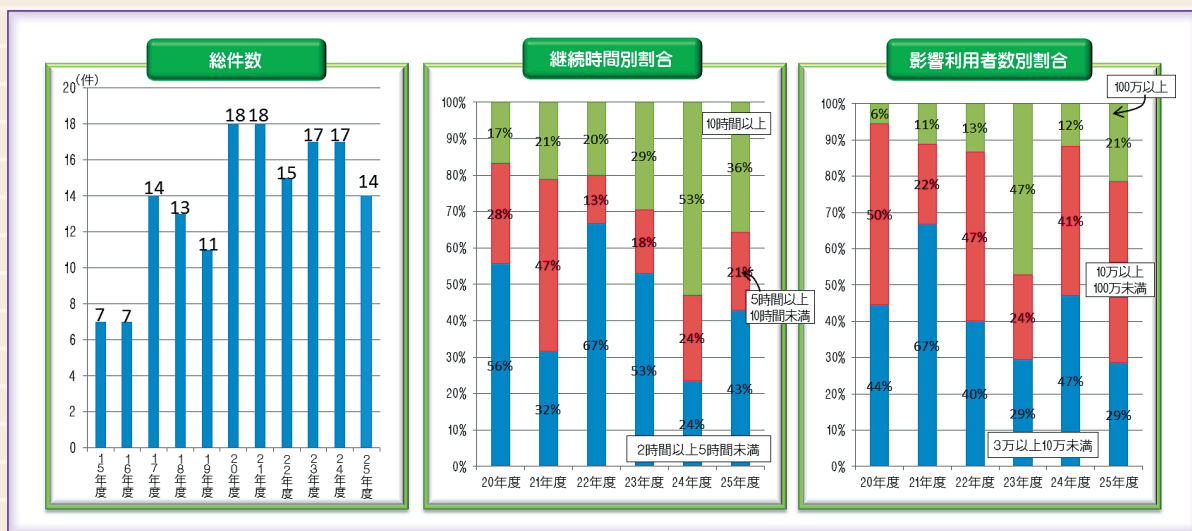


図2 重大事故の件数の推移等

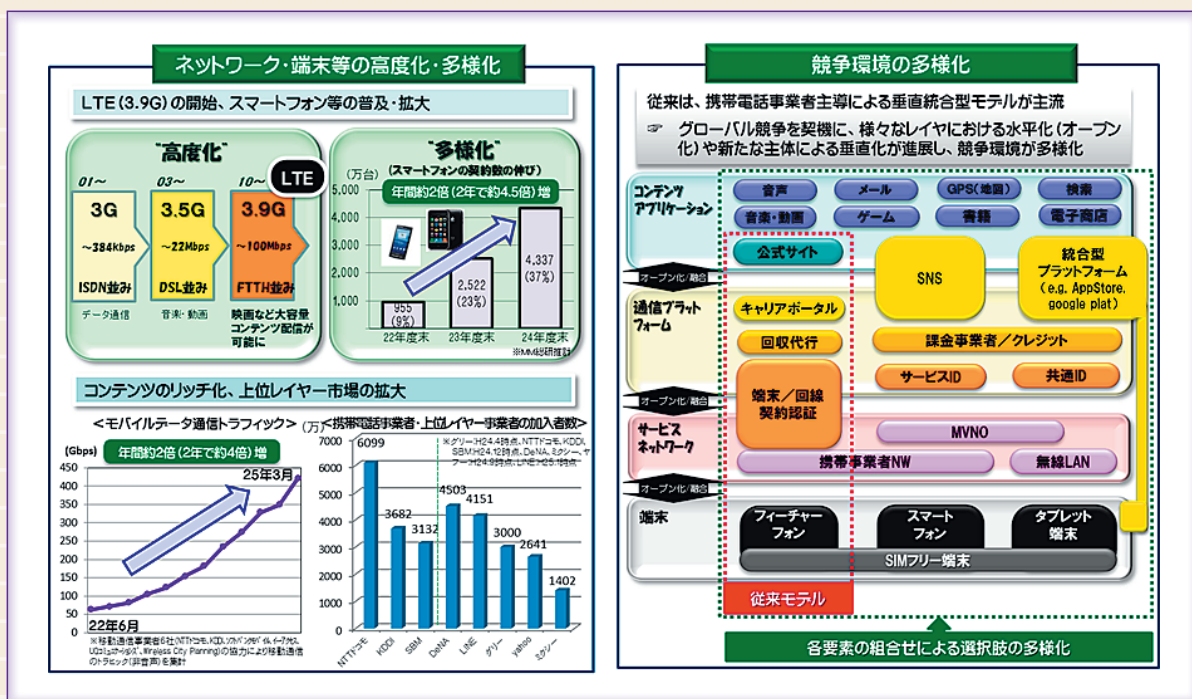


図3 競争環境の多様化

成の高度化・複雑化を招来した。従来の事故防止の規律が確立された「電話」中心の時代には、比較的単純な設備構成により構築されていたが、現在、携帯電話網では、基地局は3G用とLTE用、中継網は音声通話用のPSTN (Public Switched Telephone Network)、データ通信用の3G網・LTE網など、サービスの種類や、データ通信では通信速度の差異により別々のネットワークが構築されており、更に、iOS端末用とアンドロイド端末用など、端末のOSごとに別々の設備を設置するなど、ネットワークや設備構成の高度化・複雑化が加速化している。

加えて、サービスの多様化・高度化により、サービスの提供に際し、加入者ごとに利用条件等を確認した上で、その条件等に応じ通信の制御を行うこと等が必要となる

ため、これらの機能をつかさどる認証サーバや加入者データベース等のサーバ系設備が、従来の交換設備や伝送設備に加えて重要性を増している。

こういったネットワークの高度化・複雑化に加え、ソフトウェアのブラックボックス化の進展等により、電気通信事業者による設備の挙動把握が困難化・複雑化する中で、端末レイヤや上位レイヤを起点とした大容量の通信や制御信号等の増加傾向が、設備管理の複雑化の流れを加速化している状況にある。

こうした状況を反映したものと考えられるが、平成22～25年度の事故の原因としては、ソフトウェアバグが27%、人為ミスの原因とした事故が26%を占めている状況である (図4)。

なお、平成24年度の事故の要因について、別途に分



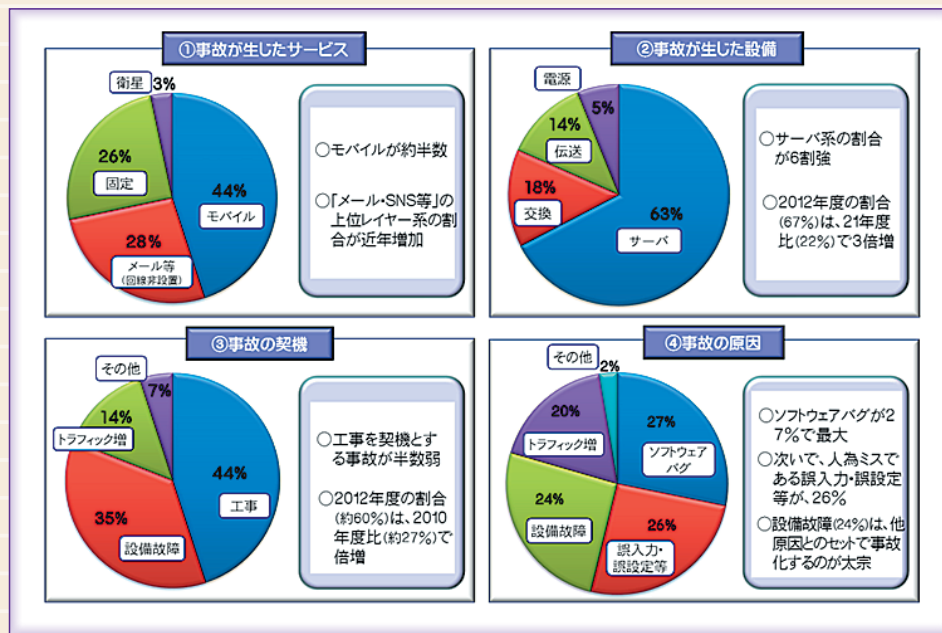


図4 重大事故の発生要因（平成22～25年度）

析した結果を御紹介すると、事故が起こる原因の約半数は人為ミスによるもの、データ通信量や制御信号の急増による設備の容量不足による事故とソフトウェアバグによる事故が、それぞれ2割強となっており、これらが事故の3大要因となっている。

## 4 求められる具体的な取組み

このような状況の中、従来の事故防止の規律は、現在のネットワークを巡る環境を鑑みると、必ずしも十分な仕組みとは言えないことから、検討会では、現在の状況を踏まえた事故防止の方策について検討を行った。サービスやネットワークが多様化・複雑化している現状を踏まえ、サービスやネットワーク構造は事業者ごとに異なることから、事故防止の取組みは、その特性を考慮せずに国が事業者横断的な義務付けを行うよりも、自らの特性を熟知する各事業者が主体的な取組みを行うことが有効かつ重要である。このため、事業者自らの自主的な取組みを事故防止の基本とし、それらを下支えする環境を整備するという視点で検討を行い、事業者の自主的な取組み（PDCAサイクル）による事故防止を基本としつつ、これを適切に確保する方策として、検討会において、以下の七つの提言を頂いた。

- ① 事故原因を踏まえた事故防止の具体的取組みの確保（管理規程の記載事項の見直し）
- ② 経営レベルでの安全管理責任者（電気通信安全統括管理者）の選任義務の導入
- ③ 電気通信主任技術者の講習制度を創設
- ④ 事業者の自主的な取組みが機能しない場合の事後的な是正措置の担保

⑤ 重大事故の報告基準等の見直し

⑥ 事故の第三者検証を行う仕組みの導入

⑦ 回線非設置事業者（有料・一定規模以上等）への回線設置事業者と同様の事故防止の規律の導入

本稿では特に、「事故対策の実効性確保」、「電気通信技術者への講習制度の導入」、「回線非設置事業者への規律の適用」について紹介する。

### （1）事故対策の実効性確保

電気通信事業法令では「事故の事前防止や事故発生時に必要な取組み」については、「事業者共通に義務付けが必要な事項」を技術基準として義務付け、「事業者ごとの特性（ネットワーク構成等）に応じた自主的な取組みで確保すべき事項」については「管理規程」として作成・届出の義務を課している。

「管理規程」は、「業務管理者の職務・組織」、「事故が発生した場合の体制、報告、記録、措置、周知」といった記載事項のみを法令で定めて、その具体化は事業者ごとに行うものであり、事業者ごとのサービスやネットワーク構造に配慮しつつ、その特性に応じた自律的な安全・信頼性確保を図ることが可能な仕組みであることから、これを事故防止の自主的な取組み（自律的・継続的なPDCAサイクル）の基盤にすることとし、「管理規程」の記載事項についても検討を行った。

図3に示した最近の事故の3大要因への対策として、

- ① 設備容量不足によるものへの対策として、増加する通信量を適切に考慮した設備の設計基準の明確化
- ② ソフトウェアのブラックボックス化に起因する事故を防ぐ対策として、開発ベンダとの連携を含めた信頼性の確保

③誤入力・誤設定を防止する対策として、設備のしきい値の設定などが適切に反映されているか、設備間で誤った値を設定していないかといった適切なデータ設定のための体制の確保

などが必要であるとの分析を踏まえ、設備管理の基盤である管理規程の記載事項として、設備管理の「方針」「体制」「方法」を新たに位置付け、具体的な記載事項として、

- 設備管理の「方針」：設備管理の基本的な方針や「管理規程」遵守に関する事項
- 設備管理の「体制」：経営者、電気通信設備統括管理者、電気通信主任技術者等の責務や職務に関する事項
- 設備管理の「方法」：設備の設計容量に関する基本的考え方、ソフトウェア開発における信頼性確保に関する事項

を明確化したものを、事業者は管理規程として自己宣言し、適切な事故防止の体制の下、具体的な事故防止の方法に基づき、遵守し実行して頂く。仮にその取組みが確保されない場合は、総務大臣が規程を遵守する命令や、規程内容を変更する命令を行うこととした。

## (2) 電気通信主任技術者に対する講習制度の導入

電気通信主任技術者は、法令上、「設備管理の監督責任者」に位置付けられており、事故防止の取組みにおいて重要な役割を担っている。

電気通信主任技術者は、電気通信主任技術者資格証の交付を受けている者から選任することが必要だが、資格証は、電気通信主任技術者試験の合格等によりその交付を受けた後は期限の定めなく有効であり、更新制度や能力の維持・向上のための講習制度は設けられていなかった。

しかし、電気通信分野は、他分野に比べて技術革新が

著しく過去の知識が容易に陳腐化しやすく、また、技術革新に応じた電気通信事業関係法令の改廃も頻繁に行われることから、電気通信主任技術者が果たすべき役割に必要な法令上または技術上の知識・能力を維持・向上し、現場におけるPDCAサイクルを適切に機能させるためには、一定期間ごとに最新の技術等の知識を取得するための電気通信主任技術者に対する講習制度を設け、その受講を義務付けることとした。講習は、総務大臣の登録を受けた者が、登録講習機関として実施する。

講習の内容については、「伝送交換技術」と「線路技術」の2区分があり、その区分ごとに「設備管理」と「法令」の二つの知識（スキル）に関する講義を行う予定である。講習の受講頻度については、速やかに最新の知識・能力の補充を行う観点から、電気通信主任技術者に選任された後、1年以内の受講を義務付けるとともに、その後は3年以内ごとに受講して頂く方向で考えている。

## (3) 回線非設置事業者への事故防止の規律の導入

これまでの事故防止の仕組みは、自ら回線を設置してサービスを提供する事業者については、技術基準の適合義務や管理規程の作成・届出義務、電気通信主任技術者の専任義務等を課しているが、自ら回線を設置していない回線非設置事業者には、これらの義務が課されておらず、事業者による自主的な取組みに委ねられている状況にあった。

近年、電気通信市場を取り巻く環境が大きく変化し、社会的影響力の大小が、回線設置の有無のみで判断することが困難となっている中で、事故を防止し利用者保護を図る観点から、電気通信事故に関する利用者アンケートを実施し、回線非設置事業者に関する基本的枠組みの在り方を検討した。アンケート結果は、図5のとおり

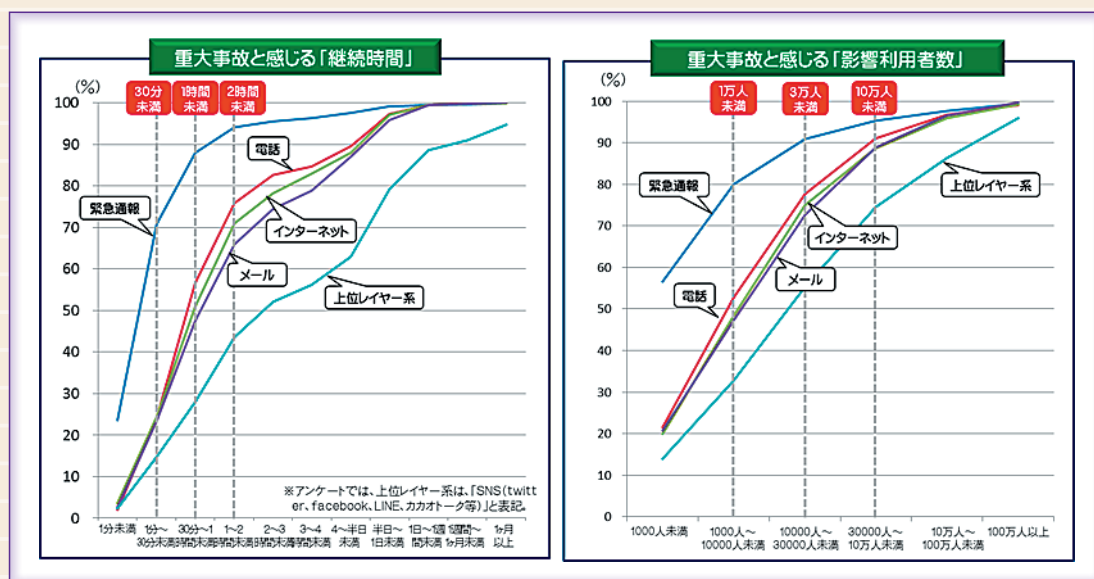


図5 事故に関するアンケート結果



図6 事故防止の規律の概要

である。

調査結果によると、「電話」、「インターネット」、「メール」では、いずれも、事故の継続時間が1時間未満で50%程度、2時間未満で70%程度の利用者が重大事故と感じると回答している。SNSなどの「上位レイヤサービス」においても、事故の継続時間が3時間程度になると、重大事故と感じる利用者が50%に達している。

事故の影響を受ける利用者数についても、「電話」、「インターネット」、「メール」では、ほぼ同じ傾向となり、影響を受ける利用者数が3万人未満で、75%程度の利用者が重大事故と感じると回答している。「上位レイヤサービス」でも、影響を受ける利用者数が10万人程度で、75%程度の利用者が重大事故と感じると回答している。

「インターネット」や「メール」についても、「電話」と同等に重要なサービスと感じている現状を踏まえると、他社から回線を借りてインターネット接続サービスを提供する事業者等においても、社会的な影響力が大きい事業者については、電気通信回線設備を設置している回線設置事業者と同等の事故防止の対策を行うことが必要であるといえる。

一方で、事故が生じた場合の社会的な影響力という観点で考えると、無料サービスを提供する回線非設置事業者や、有料サービスを提供する回線非設置事業者であっても規模の小さな事業者の事故による影響は、回線設置

事業者のものほど大きいとは考えられないことから、「有料サービスを提供する一定規模以上」の回線非設置事業者に対しては、回線設置事業者と同様の規制を適用することとした (図6)。

## 5 おわりに

総務省では、検討会における提言を踏まえ、今般、電気通信事業法の改正を行ったところだが、今後、関係する政省令の改正を速やかに実施する。これらの環境整備により、事業者における事故防止に対する適切な対策が実施され、事故防止に関わる取組みのPDCAサイクルが自律的に確立されることにより事故の未然防止が徹底されるとともに、事故が発生した場合においても必要な対策が速やかに実施されるよう、関係事業者と連携しつつ取り組んでいきたい。

### 寺岡秀礼

平11 郵政省(現 総務省)に入省。以来、情報通信行政に従事。平25-07 から総合通信基盤局電気通信技術システム課課長補佐。現在は、電気通信事業の安全・信頼性の確保や技術基準の検討等に関する業務に取り組んでいる。







# 通信ソサイエティマガジン 電子版無償化のお知らせ

通信ソサイエティマガジン編集委員会

本通信ソサイエティマガジンは、若手研究者や学生向けに、通信を中心とした技術について、やさしく気軽に読める記事を主に扱って8年になります。このたび、高校生や他分野の研究者などより多くの方に、電子情報通信分野の話題や通信ソサイエティ並びに電子情報通信学会の活動を知って頂きたいと考え、2015年春号(32号)から電子版を完全無償で公開致します。

昨今、書籍の電子化が求められる中、電子情報通信学会としても経費削減などのメリットもあることから、論文誌をはじめ積極的に電子化を進めておりますが、今回の電子版無償化もその一環となります。

同時に、バックナンバーも無償公開することに致しました。

今後は、スマートフォンやタブレット、PCなどで御覧頂くことができます。

URLはこちら(これまでと同じ)です。

<http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/index.html>

「通信マガジン」で検索できます。



なお、従来どおり冊子体を御希望の方につきましては、以下のように有償で販売致します。

会 員 の 方… 500 円/冊 (税別)

非会員の方…1,000 円/冊 (税別)

また、年間購読も受け付けております。詳しくは以下のページを御覧下さい。

[http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/order\\_y.html](http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/order_y.html)

なお、名誉員・維持員・通信ソサイエティ学生員の方には無償で送付させていただきます。

今後とも

通信ソサイエティマガジン B-plus

をよろしくお願い致します。



# 世界の壁

通信ソサイエティ和文論文誌編集委員長 佐波孝彦  
Takahiko Saba

今年も終わりに近づいていますが、2014年は皆様にとってどのような年でしたでしょうか。今年はサッカーのワールドカップがありました。残念ながら日本はグループリーグで敗退しましたが、そのときにあちこちで見聞きしたのが「世界の壁は高かった」というような言葉です。ここでの壁とは、行く手に立ちはだかる大きな困難や障害を比喩的に表現したもののようですが、このような言葉はスポーツの分野以外では余り聞きません。では、世界の壁とは一体どのようなものなのでしょうか。

例えば、音楽の分野に世界の壁はあるのでしょうか。世界中で認知されているか否かという違いはあっても、それは欧米の音楽が日本の音楽より優れているからというわけではなさそうです。単純に販売戦略の違いだけかもしれません。教育の分野はどうでしょう。経済協力開発機構(OECD)が、義務教育修了段階の15歳児を対象に、知識や技能を実生活で直面する課題にどの程度活用できるかを3年に一度調査する学習到達度調査(PISA)というものがあります。一時期、日本は大きく順位を下げて話題になりましたが、それでも欧米諸国より順位は上でした。直近の2012年のPISAでは、65か国中、数学的リテラシー／読解力／科学的リテラシーが、それぞれ7位／4位／4位という結果でした。ちなみにアメリカはそれぞれ36位／24位／28位ですので、日本の教育が他国に比べて特に劣っているということもなさそうです。

このように考えると日本人が立ち向かう世界の壁は高いものばかりではないかもしれません。スポーツの話に戻れば、世界の壁とは強豪国の強さを実感したということなのだと思いますが、それは乗り越えられないほどの困難ではないという評論家もいます。実際に存在する「壁」は、能力ではなく、その分野における経験の差のみかもしれないのに、我々自身が勝手に自らを格下に見立てて壁と呼んでいるだけのような気がします。

一方で、本稿をお読みの多くの皆様が関わっていると思われる本会とIEEEの関係を考えてみます。日本の研究者の方々と話をしていると、優れた研究成果は本会でなくIEEEに投稿するという話をたまに聞きます。これは日本人の野球選手やサッカー選手がメジャーリーグや欧州リーグを目指すのに近い感覚かもしれません。すなわち、IEEEに掲載される方が、より格下に見られ世界中の研究者の目に留まるので、そちらを

優先したいという論理です。実際に、本会の英文論文誌のインパクトファクタはIEEEのそれよりも低いので、世界中で読まれて引用される可能性が高いという点ではそれが正論にも思えます。しかし同時に、我々日本人が本会を格下に見ているうちは、本会のインパクトファクタを上げることは難しいようにも思います。我々自身が壁を作り出しているのですから。

同じ論理で、本会に投稿する場合でも和文ではなく英文論文誌でなければ駄目だという話もよく聞きます。これも大変残念に思います。英語が格上で日本語が格下でしょうか。世界中で認知されやすいという意味では英語の方が有利だとは思いますが、日本語の歌を英語で歌ったからといって世界中でヒットするわけではないのと同様、研究の良し悪しは言語に依存しません。今年大ヒットしたディズニー映画「アナと雪の女王」の主題歌を、英語、日本語にかかわらず子供たちが口ずさんでいたように、本当に優れた研究成果は、適切に露出する仕組みがあれば論文誌の種類に関係なく読まれると考えることもできます。実際に、筆者も本会の和文論文誌に掲載された論文について、各国から問合せが来て驚くことがあります。

和文論文誌では、以前、Wileyにより一部の選ばれた論文の翻訳版が出版されていた時期がありました。研究の存在を認知させる上では一定の効果がありましたが、契約上の問題で取りやめてしまいました。そこで、筆者は和文論文誌編集委員会において、優れた和文論文の翻訳版を正式にオーソライズして公開できるような仕組みが作れないかを検討してきましたが、翻訳を誰が行うのかという部分を解決できずに実現に至らないでいます。

ただし、本会では国際会議で発表した研究内容を発展させて論文誌に投稿することを認めています。研究の存在を認知させるだけなら、国際会議でも十分という考え方もあります。あとは本会のサイトへ誘導できる露出の仕組みが必要です。通信ソサイエティの編集会議では、今後いろいろな施策を検討していきますが、それが生きるのは皆様の優れた研究成果があってこそです。本会の論文誌は英文・和文を問わず皆様が想像する以上にアクセスされています。是非、優れた論文を本会へ投稿し、壁を低くしていきませんか。長い目で見れば、それが本会にとっても皆様にとっても有益だと信じています。筆者も読まれる論文を書けるように努力しようと思います。

# NEXT ISSUE

2015 年春号 (第 32 号) 2015 年 3 月 1 日 発行

## 小特集

## 学生・若手のキャリアデザイン ～先輩たちからのアドバイス～

開発物語：衛星放送実用化の道のり

子どもに教えたい通信のしくみ：ケーブルを使わず電力を、  
より大きくより遠くへ

日本留学記：その 1 期待に満ちた日本留学

街 plus 探訪：陶都信楽で大気を測る

……他、御期待下さい

## Editors Note

今号の編集をもってB-plusを卒業します。楽しいことが多かった編集活動でしたが、最後にしんどい仕事がありました。でも、きっとこれが本当の編集の仕事なんだろうね。お世話になりました。(H.I.)

当時、あこがれだった電子ブロック。親にねだって買ってもらい、マニュアルに従ってラジオやブザーを作りました。それがきっかけで理系に進んだのかもしれません。(T.T.)

編集委員になって初めての小特集担当です。私にとっては未知の分野でしたので、新しい発見が幾つもあり良い経験になりました。編集委員としてのお仕事も多くの人に助けられ何とか乗り切ることができました。皆様に感謝です。(N.Y.)

「私の研究者歴」掲載の川上先生が技術にこだわり、ベンチャーを立ち上げるパワーには敬服致します。折しも、2014 年度ノーベル物理学賞の青色 LED は、産学連携の成功例と言われています。先生のフォトニクス結晶技術が更に普及することを期待しています。(H.I.)

マガジンの編集委員として初めて執筆者の担当編集委員を受け持たせて頂きました。しかし、私の配慮が行き届かず原稿は不掲載となってしまいました。執筆者とはその後音信不通です……反省点ばかりの編集委員デビューでした。(Y.T.)

米国では無人機(ドローン)による宅配のサービスが検討されているようだが、そのサービスを受けるには自宅に庭が必要であるように思う。困った、自分はそのサービスを受けられない!?(H.T.)



2014 年冬号 (第 31 号)  
2014 年 12 月 1 日 発行

## EDITORIAL BOARD

編集委員長 高橋応明

編集副委員長 泉田 史 関屋大雄 木下和彦

### 編集委員

明星慶洋	阿野茂浩	有吉正行	岡部寿男
菊池典恭	菊間信良	後藤忠広	齋藤康弘
笹部昌弘	眞田幸俊	島田淳一	橋 拓至
田邊康彦	谷 重紀	登内敏夫	西森健太郎
羽多野裕之	平松勝彦	宮本伸一	村川一雄
山岡克式	山田 暁	吉村直子	

本誌の愛称は「B-plus」、正式名称は「通信ソサイエティマガジン」、  
「IEICE Communications Society Magazine」です。  
本誌掲載論文を文献引用する際は、邦文略称「信学通誌」、英文略称  
「IEICE Commun. Mag.」を用いて下さい。

## 通信ソサイエティマガジン B-plus へのお問い合わせ

- ☐ ご意見、ご要望：b-plus@ieice.org
- ☐ ホームページ ▶ <https://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/index.html>
- ☐ B-plus 年間購読のお申込みはこちら ▶ [http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/order\\_y.html](http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/order_y.html)

## 複写される方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写を御希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。ただし、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が公益社団法人日本複製権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません。(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です。)

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F  
Fax：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

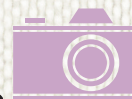
複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しております。直接、下記へお問い合わせ下さい。

問合せ先 ▶ 一般社団法人 電子情報通信学会  
〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館内  
Tel：03-3433-6691 Fax：03-3433-6659

発行人／養毛正洋  
発行所／一般社団法人 電子情報通信学会 通信ソサイエティ  
〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館  
Tel：03-3433-6691 (代表) 振替：00120-0-35300  
制 作／三美印刷(株)  
東京都荒川区西日暮里 5-9-8

© Copyright 2014 IEICE. All rights reserved.





# 通信がみえる一枚の写真

稚内漁業無線局の空中線

平野拓一（正員）



北海道稚内の市内から宗谷湾と草原に囲まれた開放的な宗谷国道（238号）を通過して日本の最北端の宗谷岬に向かう途中、宗谷湾側に数本の鉄塔に張られたワイヤ（線）が見える。これは1.6 MHz～9 MHz帯を用いる稚内漁業無線局の施設である。空中に張られた線の形から、アンテナ（Antenna）の日本語名称である「空中線」という言葉の意味が容易に想像で

きる。この施設では、丸い地球の裏側アルゼンチン沖まで行く漁業船ともモールス信号で連絡を取っているそうである。地球から見ると小さな空中に張られた線が、はるか遠くで長期間航海をしている船員の無事を知らせ、待っている家族・友人・恋人の間の連絡をつないでいるのは、専門家として興味が湧くだけでなく、心温まる話にロマンを感じるものである。



## 写真を募集致します

マガジン編集委員会では、「通信がみえる一枚の写真」をテーマに写真（電子ファイル（jpeg）あるいはプリント）、タイトル、説明文（約300字）を募集致します。詳細は、通信ソサイエティマガジン HP（<http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/ieice/photo.html>）を御参照下さい。

送り先：

【郵 送】〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館内 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン担当

【メール】[b-plus@ieice.org](mailto:b-plus@ieice.org) までお送り下さい。



# 技術者のための検索システム

論文と論文，論文から人，そして人と人とのつながりを発見する



IEICE Knowledge Discovery®  
電子情報通信学会 文献検索システム

i-discover



<http://i-discover.ieice.org/>



スマホ・  
タブレット端末も  
OK!

論文テーマを探す  
技術トレンドを調べる  
しっかりとした論拠が欲しい

ある著者が執筆した  
論文に付与されている  
キーワードを知りたい

あるキーワードが  
付与されている  
論文の著者を調べたい

一般的な検索サイトでは  
必要なサイトと不要なサイトを  
選別するのが大変…

ある研究会で発表された  
論文に付与されている  
キーワードを調べたい

ある文献と同じ  
キーワードを持つ  
他の論文のキーワードを  
調べたい

**I-Discover** (アイスカバー) なら  
関連するキーワードが付与された論文を効率良く簡単に探せます。

信学会の論文を積極的に読もう!

英文論文誌も容易に探せます。

定価 1,028 円 (本体 952 円)

雑誌 17783-12



4910177831245  
00952