

全世代にむけた産学人無線通信技術講座 ～その2 変化してきた無線通信機器の設計手法～

時代と共に無線通信機器もその設計手法が変わってきている。今回はその変化について私が感じたことを書いてみたい。今の世の中、10代の人に、「電話のダイヤルを回す。」という、「ダイヤルって何?」と聞き返される。ポケベル、トランジスタラジオは、聞いたこともない単語になっているようだ。そういう私も、今、スマホを持っておらず、LineやTwitter (ID登録はしたが、ツイートをしたことはない) をやっていないので、彼らから見ると時代に乗り切れていない変わり者かもしれない。



1982年5月
東京大学生産技術研究所にて
(気象衛星のリモートセンシングの研究をしていた頃)



1987年9月9日
株式会社アンブレット設立の日の記念写真

根日屋 英之

はじめに

私は大学を1980年に卒業し、社会人になった。電子機器や無線通信機器の設計を始めたのも、その頃からである。私と同世代の人たちは、そろそろ定年を迎える年齢になってきた。今、私たちの世代は、企業の若い技術者が、会社で無線通信機器の設計の歴史を聞ける最古参の年齢層になってきたということである。

私は幼稚園のときに父から真空管をもらい、小学生のときにラジオを組んだ。それを考えると、私は人生のほとんどが、無線とかかわってきたことになる。

今回は、私が社会人になった後で記憶に残った設計案件から、当時の技術を振り返ってみたいと思う。

1980年代 (その1)

私は自動車会社から電機メーカーに転職した後、最初に担当した業務は、当時としても先端技術であったTDMA (Time Division Multiple Access) 方式の衛星搭載用QPSK中継器(機能確認用の試作機)の設計であった。地上から衛星へのアップリンク周波数は30GHz、ダウンリンク周波数は20GHz、中間周波数(IF)は1.7GHz、伝送レートが136Mbpsと通信速度が速かったこともあり、衛星内でのデータ再生後の処理回路にはECL (Emitter Coupled Logic) という高速ロジックICを用いた。高周波回路、復調回路、アナログ回路は、トランジスタ、FET、ダイオードなどによるディスクリート部品で構成した。ECLは、

消費電力も大きく、平衡伝送やインピーダンスマッチングなど、とても扱いが面倒な部品と思っただが、実はこれが、アナログ回路としてもデジタル回路としても設計のあらゆる内容を含んだ、役に立つ勉強教材であった。TDMA方式は搬送波再生、クロック再生、データ再生において高速同期が必要で、多くのトランジスタで組んだ高速動作のPLL (Phase Locked Loop) 回路の設計は、会社の中央研究所の専門家の方々のご指導を受けながら行い、この経験は、私の後のアナログ高周波IC設計に役に立った。

1980年代 (その2)

転職後の電機メーカーの上司は、私の前職の自動車会社に恩返しができるような配慮をしてくれたのか、「無線技術を用いて工場の製造ラインの作業効率を高めるシステムを考えろ」という研究テーマを与えてくれた。また、数人の若い技術者(全員がアマチュア無線の資格を有する電子回路の自作好き)が私のグループに配属された。当時、このプロジェクトを社内では「FA (Factory Automation) 用トランスポンダ」と呼んでいたが、これが後のRFID (Radio Frequency Identification) の技術の基となり、私の得意な無線技術の一つとなった。

私はFA用トランスポンダのプロジェクトリーダーを任せられ、図1に示すよう構想をまとめた。製造ラインの傍に設置した質問機から、自動車に貼り付けた電

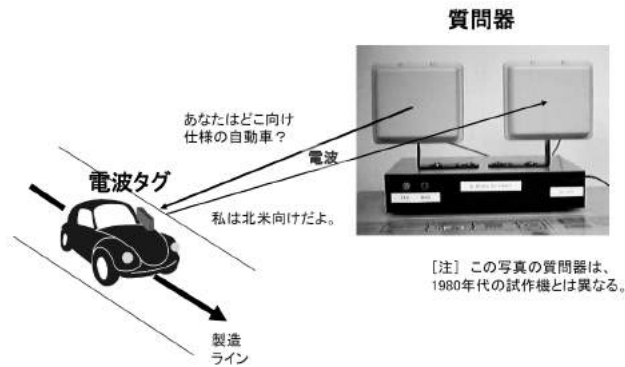


図1 FA用トランスポンダの概念

波タグに向けて、質問電波を送信すると、電波タグからその答えが返ってくる。基本的なシステム構想はまとまったが、具体的な回路がなかなか浮かばなかった。ベテランの無線技術者に相談したところ、第2次世界大戦時の米軍のレーダの話をしていただいた。その内容は、米軍は、夜間の真っ暗な闇の中で、高射砲で友軍機を攻撃せずに、敵機だけを撃墜していた。どうもレーダには距離の測定以外に、飛行機を識別する機能を持たせていたらしいということであった。それ以後、私はレーダ技術を勉強する日々が続いた。電波を飛行機に当てて反射してきた信号から、地上と飛行機間の距離を測るだけでなく、敵と味方の識別をしている。どうやっているのか…といろいろ悩み考えた。

飛行機から単純に反射させる電波だけでは、距離は測定できても、個々の飛行機を識別できない。飛行機側でレーダから照射された電波を反射するとき、同時に識別情報で変調する以外に方法が思い浮かばなかった。そこで、電子回路が増えてしまうが、電波タグに変調器を載せることにしようと考えを切り替えた。方式を考える過程で、電波の反射条件（インピーダンスの不整合による反射係数と位相）を整理したところ、図2に示すように、電波タグにはアンテナを取

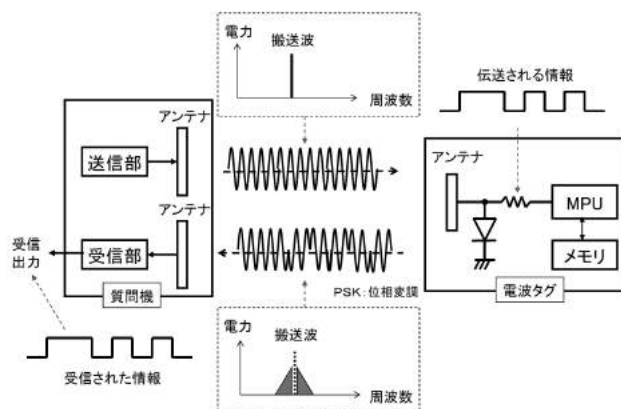


図2 FA用トランスポンダの動作原理

り付け、アンテナの負荷インピーダンスを無限大にすれば同相で反射し、また、アンテナの負荷インピーダンスをゼロにすれば逆相で反射するので、アンテナの給電点にダイオードスイッチを設け、電子タグに内蔵したメモリに記憶させている情報の“0”と“1”で、スイッチをON/OFF制御すれば、反射する信号には位相変調（PSK：Phase Shift Keying）がかけられることに気づいた。そこからは回路設計がどんどん進み、背筋が寒くなるほど、設計が面白くなってきた。PSK変調器は、搬送波に情報を掛け算する演算となるので、図2に示すように情報は搬送波の周波数を中心に、その上側波帯（Upper Sideband）と下側波帯（Lower Sideband）の周波数に分かれ、かつ、搬送波の周波数では搬送波のエネルギーが抑圧されている。つまり、レーダ送信側から無変調の搬送波を送れば、位相変調された反射信号が返り搬送波の周波数成分でぶつかることがない。

私たちはアマチュア無線で培った無線機自作のセンスをフル活用して、短期間で搬送波周波数2.4GHzの試作機を組み上げた。1984年に、この完成した試作機を用いての実験局の免許について、当時の関東電波監理局に相談に行ったが、この試作機と同様な無線設備が過去に実施例が無いということで、当時は実験局の免許を得ることができなかった。

現在では、RFIDは電波法でも認められた無線システムとなり、世界中で使うことができるようになった。多くの独学の勉強で得たこと、実験で知った事実などを若い技術者に伝承したいと思い、私はこの1980年代の経験と技術を、「ユビキタス無線工学と微細RFID」（東京電機大学出版局）にまとめ[1]、この本を教科書として2002年より東京電機大学にて、「超高周波工学（後に「ユビキタス無線工学」に講義名を変更）」という講義を担当することになった。

1990年代

私が1987年に株式会社アンプレットを起業したが、1990年代前半のバブルの崩壊が起こったとたん、国内の仕事がパタッとなくなった。そこで、私は仕事を海外に求めた。ちょうど、お隣の韓国は、無線通信や情報通信に対するビジネスへの興味が高まっており、多くの韓国企業が、当時の米国や日本の技術レベルに追いつけ、追い越せという気持ちでいた。日本の無線通信機器の設計会社と協業したいという韓国企業が多かった。

韓国ではCDMA携帯電話のサービスインを、国を

あげて取り組むという情報が入ってきた。韓国企業の幹部の方々には、米国よりも先に CDMA 携帯電話の量産の立ち上げをしたいという希望があったようだ。そこで、私も韓国企業と組んで、CDMA 携帯電話の設計に取り組んだ。

私が技術者として最も手ごたえを感じたのは、この 1990 年代のアナログからデジタルに移行した第 2 世代携帯電話の設計であった。各機能（ブロック）の専用 LSI や IC が半導体ベンダーから供給され始め、ディスクリット回路に比べると設計が楽になると思われたが、無線システムが高度化しているため、設計はかなり難しかった。十数個の LSI や IC に周辺回路を加えると、部品点数が数百の回路規模になった。図 3 に試作回路基板の一部の写真を示すが、部品点数も多いのがわかる。小型化も世の中のニーズとなり高密度実装をしなければならないが、各機能の回路が相互に干渉しないような高度な実装技術が要求された。この経験から得たノウハウを、「製品企画から量産開始まで全 16 工程の手順と勘所」として、日経エレクトロニクス 2007 年 4 月 9 日号(日経 BP 社)の特別企画 [2] としてまとめ、多くの方々に読んでいただいた。現在も問い合わせが多い記事なので、インターネット上の日経 BP 社の Website「日経テクノロジー on line (Tech-On)」 [3] で記事が公開されている。

1990 年代は、DSP を用いたソフトウェア無線も話題になった。正直なところ、当時の安価な DSP は、無線通信機器に用いるには能力不足と感じていた技術者もいたが、時代の流れは、無線通信機器にソフトウェアが導入されることで、高機能な無線通信機器が実現でき、ハードウェアの回路規模も減少することを誰もが感じていた。そこで私は「DSP の無線応用」 [4] (オーム社出版局) を 1996 年に執筆した。

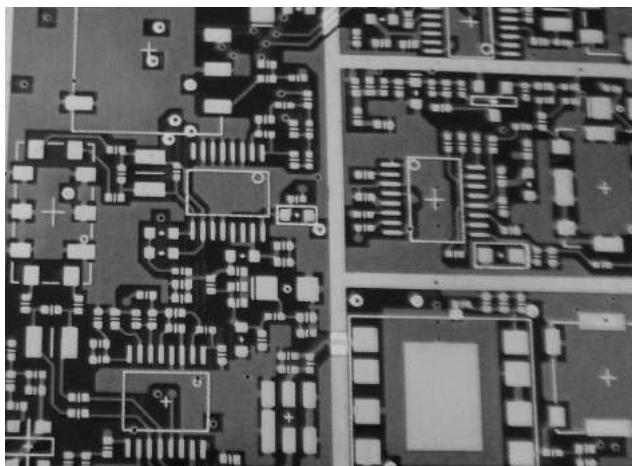


図 3 第 2 世代携帯電話開発時の評価基板の一部

1990 年代は、私は海外での仕事が多かったので、当時の海外技術者の印象を述べる。韓国の技術者は、日本の技術に追いつけ追い越せという気持ちが強く、若い技術者からベテランまで真剣に技術を勉強していた。彼らはアグレッシブだが、非常に素直で謙虚であり、技術者として必要なことをしっかり勉強して、技術全体を見渡せるように努力を惜しまなかった。このとき私は、日本の技術者は自分たちの技術を過信し、のんびりとしているようにさえ感じられ、それほど遠くない未来に、日本の技術は韓国に追い越されるのではないかということに危惧した。実際に今の韓国の無線通信技術は非常に高いと思う。

無線通信技術の先進国である米国では、非常に頭の切れる多くの無線通信システム技術者に会った。学生気質も日本と異なる。学生時代から、実際にビジネスに参入している者も少なくない。彼らは技術の勉強もしているが、自ら作った開発ツールを使って実際に高性能なワイヤレス製品の試作機まで作り上げてしまう。また、自分が開発したものを導入する市場まできちんと論ずる姿を見ると、米国技術者の底力を感じた。

2000 年代

2000 年に入ると、センサネットワークなどの小電力近距離無線の設計委託が増えてきた。Wi-Fi、ZigBee、Bluetooth などの規格化された無線モジュールの設計は、1990 年代の無線通信機器の設計とは異なり、図 4 に示すような専用の 1 チップ LSI をプリント基板にのせてしまうと無線モジュールができてしまう。回路設計よりもプリント基板の設計が主な仕事になっていたが、そこにはプリント基板上にアンテナまで実装するケースが増えてきた。私が小型アンテナ

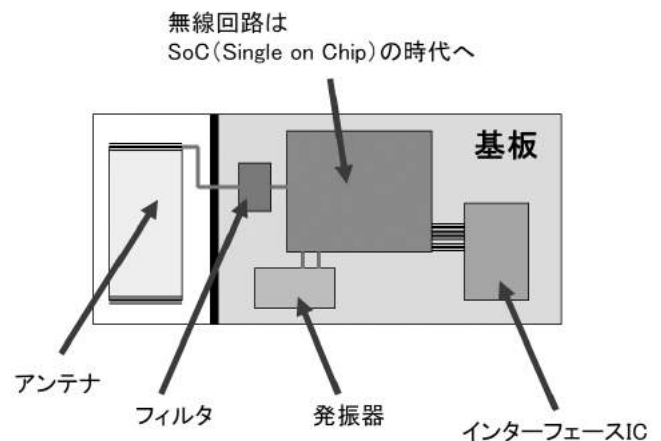


図 4 近距離無線モジュール基板上の部品実装例

の研究で学位（博士）をいただいたのが2001年であったのも、この時代の設計の流れにのっていたのかもしれない。2000年代の無線通信技術やアンテナについて、私が本にまとめたのが、「ユビキタス無線デバイス」[5]、「ワイヤレスブロードバンド技術」[6]、「ユビキタス時代のアンテナ設計」[7]（共に東京電機大学出版局）である。

2010年代

2010年代に入っても小電力近距離無線の設計の仕事が多いが、2000年代との違いは、ウェアラブル機器を想定した低消費電力化への要求が高まってきたことである。特に医療やヘルスケアの分野で、近距離無線 WBAN（Wireless Body Area Network）の利用への期待が高まっている。WBANの国際標準化（IEEE802.15.6）は、2008年1月から始まり2012年2月に標準化作業が完了した。表1に示すように、IEEE802.15.6物理層（PHY）には、UHF帯狭帯域無線、広帯域通信（UWB:Ultra WideBand）、人体通信（HBC:Human Body Communication）が規定されている。

私は2000年代後半から、研究者が少ない「人体通信」の研究開発に取り組んでいる。人体通信の技術的課題は、通常の無線通信で用いるアンテナに相当する電極の配置と雑音対策にある。また新しい技術であるため文献も少ないが、私はこの技術を用いた産業を立ち上げたいと思い、「人体通信の最新動向と応用展開」[8]（シーエムシー出版）を監修した。また、本誌「FORN」[9]のNo.272（2010年1月号）に、人体通信の最新技術を執筆した。この記事は、電波技術協会殿のご厚意により、<http://www.amplet.co.jp/forn.html>よりダウンロードできる。

表1 IEEE 802.15.6の物理層（PHY）

		IEEE802.15.6		
		UHF帯狭帯域通信	広帯域通信	人体通信
物理層（PHY）	NB-PHY	UWB-PHY	HBC-PHY	
周波数帯	402～405MHz	インプラント機器（全世界）	3.4～4.8GHz	21MHz帯
	420～450MHz	医療用テレメータ（日本）	6.25～10.25GHz	(5.25MHz帯域)
	863～870MHz	ISMバンド（欧州）		
	902～928MHz	ISMバンド（米国）	国ごとに異なる	
	950～956MHz	特定小電力（日本、920MHz帯へ移行）		
	2.36～2.40GHz	医療用機器（米国）		
	2.4GHz帯	ISMバンド（全世界）		

日本の無線通信機器の産業が低迷している

残念なことに日本の無線通信機器の産業が低迷して

いる。そこで、産業が再生するために必要なことは何かを改めて考える。

(a) アーキテクトの育成

無線通信機器全体を見渡せるアーキテクトが非常に少なくなってきた。これでは、日本の無線通信機器製品は世界での競争に負けてしまう。無線通信機器全体を俯瞰しながら最適化することができるアーキテクトの育成が急務である。

(b) 大手企業の技術力

安価な無線通信機器を製品化するために、かつての大手企業は設計を自社で行い、製造を人件費の安いアジア諸国の製造会社に委託してきた。また、開発費を節約するために、設計を国内外の外注設計会社に委託するようになった。これにより無線通信機器の価格は安くなったが、そこに大きな問題が生じた。大手企業の技術者は、外注会社や製造会社への手配書を書き、納期管理をすることで忙しくなってしまった。また、設計も外注会社が行っているため、その技術についてゆけなくなった。この結果、大手企業に技術が残らない問題が生じている。大手企業の技術者は、手配師に徹することなく、常に外注設計会社との技術情報の共有や、製造会社の成果内容をしっかり把握（理解）し、自らの技術力を維持する努力が必要である。

最後に

私の地元、秋葉原のパーツショップを歩いている。かつての秋葉原のような風景ではなくなってきた。高周波関連の部品が、店頭から年々、少なくなっていることを寂しく感じる。秋葉原にもラジオ少年が好きな高周波部品を並べていただける日を楽しみにしている。

参考文献

- [1]根日屋 英之、植竹 古都美、「ユビキタス無線工学と微細RFID（第2版）」、東京電機大学出版局、ISBNコード978-450132420-9
- [2]根日屋英之、「製品企画から量産開始まで全16工程の手順と勘所」、P.34～P.53、日経エレクトロニクス2007年4月9日号 特別企画 NEプラス、日経BP社
- [3]日経テクノロジー on line (Tech-On)、<http://techon.nikkeibp.co.jp/search/index.html?q=根日屋&rt=nocnt>
- [4]根日屋 英之、塚本 信夫、「DSPの無線応用」、オーム社出版局、ISBNコード978-427403473-2
- [5]根日屋 英之、小川 真紀、「ユビキタス無線デバイス」、東京電機大学出版局、ISBNコード978-450132450-6
- [6]根日屋 英之、小川 真紀、「ワイヤレスブロードバンド技術」、東京電機大学出版局、ISBNコード978-450132530-5
- [7]根日屋 英之、小川 真紀、「ユビキタス時代のアンテナ設計」、東京電機大学出版局、ISBNコード978-450132500-8
- [8]根日屋 英之、「人体通信の最新動向と応用展開」、シーエムシー出版、ISBNコード978-478130352-9
- [9]根日屋 英之、「人体通信の最新技術」、電波技術協会報 FORN、NO.272、2010年1月号、P.24～P.27