

高効率な内蔵アンテナを実現するチューナブル アンテナ技術

Miniaturization Technologies for Tunable Antenna Using MEMS Variable Capacitor

西尾 真貴 堤 由佳子 尾林 秀一

■ NISHIO Masaki ■ TSUTSUMI Yukako ■ OBAYASHI Shuichi

ノートPC（パソコン）、携帯電話、携帯AV機器などに搭載されるアンテナには、小型化や低姿勢化が要求される。例えば、引出し式のワンセグ用ホイップアンテナを搭載した携帯AV機器のユーザーには、引き出すめんどろのない内蔵式のアンテナでワンセグを視聴したいというニーズが多い。しかし、内蔵式にすると、アンテナが小型化し、基板に接近して低姿勢化するため、引出し式のアンテナに比べ効率が劣化して感度が下がる、動作帯域が狭くなるといった課題がある。

東芝は、このような問題を解決するため、小型かつ低姿勢でありながら、広帯域で感度良く電波を送受信できるチューナブルアンテナ技術を開発した。これによって、ワンセグなど、周波数が低く大きなアンテナを必要とするサービスでも、内蔵アンテナで高感度に電波を受信できるようになった。

With the wide dissemination of mobile terminals such as notebook PCs, mobile phones, and mobile audiovisual (AV) terminals, thin and compact built-in antennas are becoming essential for various wireless communication systems including wireless LAN and digital terrestrial broadcasting (DTB). However, performance degradation, including decreased gain and narrowing of the operational bandwidth, are serious issues accompanying the thinning of antennas and mounting closer to the printed circuit board as the size of built-in antennas is reduced.

To overcome these problems, Toshiba has developed miniaturization technologies using a microelectromechanical systems (MEMS) variable capacitor for the realization of a thin and compact tunable antenna with wideband and high-gain characteristics that can cover the low-frequency range such as that used for one-segment broadcasting, which is conventionally received by large pull-out antennas.

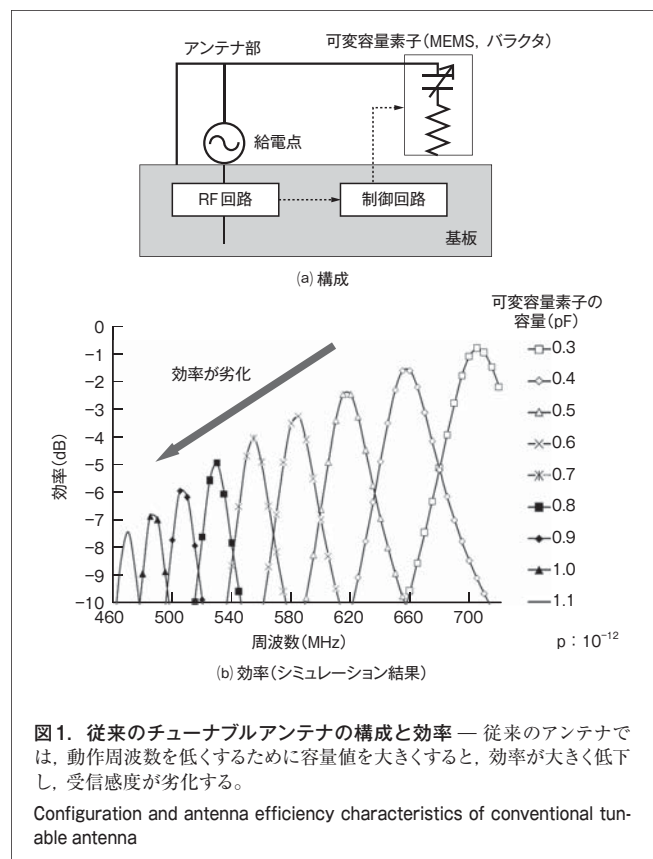
1 まえがき

近年、携帯機器には様々な無線システムが搭載されており、各無線システム用のアンテナが機器に内蔵されている。しかし、アンテナを小型化し低姿勢化すると受信感度の良い動作帯域が狭くなるため、ワンセグのように広い帯域を使用する無線システムに対して、内蔵アンテナで全ての帯域を高い感度で受信することは困難になる。そのため、内蔵アンテナを広帯域で高感度化する必要があり、それを実現する技術として、アンテナの動作周波数を切り替えるチューナブルアンテナ技術が検討されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

東芝は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 可変容量素子を搭載した2種類のチューナブルアンテナ技術を開発した。ここでは、これらの技術と、広帯域における高感度化への効果について述べる。

2 従来のチューナブルアンテナの課題

図1(a)に示すように、チューナブルアンテナの多くは、基板上にRF（高周波）回路に接続するアンテナが設置され、アンテナの先端と基板間に接続された可変容量素子の容量値を制御する構成となっている。図1(a)では、アンテナとして、給



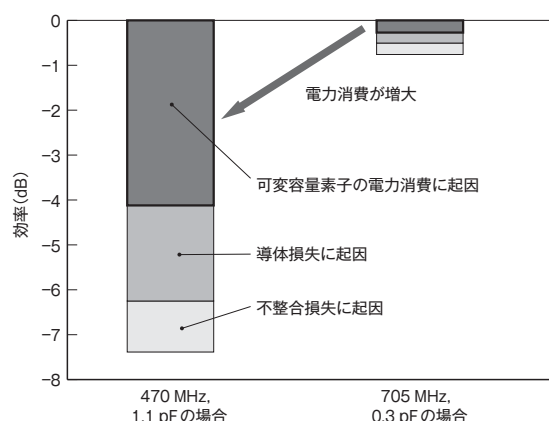


図2. 従来のチューナブル アンテナの効率劣化要因 — 可変容量素子の電力消費が大きき要因となっている。
Factors deteriorating efficiency of conventional antennas

電部近傍がループ形状となった逆Fアンテナを示しており、ループのサイズを調整することで回路とのインピーダンス整合が可能となる。可変容量素子の容量値が大きくなると、可変容量素子に電荷が集中する。アンテナは本来、長さに対応した周波数で動作するが、この電荷集中によりアンテナが電気的に長くなり、より低い周波数で動作する。すなわち、容量値を制御することで、アンテナが感度良く電波を送受信できる周波数を変化させられる。

しかし、低い周波数で動作させるために容量値を大きくすると、アンテナの放射効率が大きく低下し、受信感度が劣化する(図1(b))。

容量値を変化させて効率が最大となる二つの周波数に対して効率劣化の要因を分析した結果例を図2に示す。効率の劣化は、可変容量素子の寄生抵抗による電力消費に起因するもの、アンテナ素子や基板の導体損失に起因するもの、及びアンテナと線路との不整合損失に起因するものに分類できる。容量値が大きくなると、可変容量素子を通る電流が増加し、可変容量素子の寄生抵抗による電力消費が増加して効率が大きく劣化している。

そこで、次に、可変容量素子として損失が小さいMEMS可変容量素子について述べ、更に、当社が開発した、MEMS可変容量素子の寄生抵抗による電力消費を低減する二つの効率改善技術について述べる。

3 MEMS可変容量素子

近年、MEMS技術を用いた可変容量素子の開発が行われている。一般にMEMS素子は、バラクタなどの半導体素子に比べて線形性が良く、損失も小さいため、チューナブルアンテナ用のアクティブ素子としての利用が検討されている。

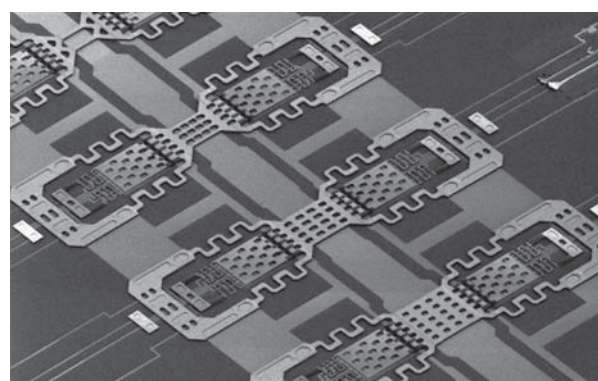


図3. MEMS可変容量素子 — 東芝が開発したMEMS可変容量素子の走査型電子顕微鏡写真である。上部可動電極と下部固定電極から成り、機械的に極板間の距離を変えられる構造となっている。
MEMS variable capacitor

当社が開発したMEMS可変容量素子を図3に示す⁽⁴⁾。上部可動電極と下部固定電極を持ち、機械的に極板間の距離を変えられる構造となっている。極板間の距離を遠近の2状態に切り替えると極板間の容量が変化し、2値の可変容量が実現できる。開発したMEMS可変容量素子では、サイズの異なる上下電極4組で一つの可変容量素子を構成しており、容量値を16通りに変化できる。チップサイズは2.40×2.82 mmであり、四つ全ての上部可動電極が下部固定電極と近接した状態で、Q値^(注1)は1 GHzで約100である。

4 二つの効率改善技術

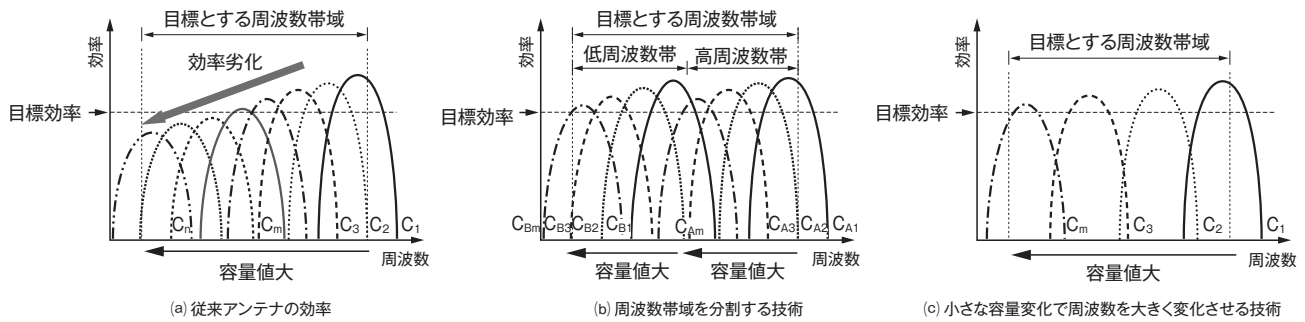
ここでは、今回開発したMEMS可変容量素子の寄生抵抗による電力消費を低減する二つの効率改善技術について、図4を用いて述べる。

一つ目の方法は、アンテナと可変容量素子の組を2組使用する。図4(b)に示すように、目標とする周波数帯域を高周波数帯と低周波数帯の二つに分割し、二つのアンテナ部分でそれぞれの帯域をカバーすることで、図4(a)に示す従来のチューナブルアンテナと比べて容量値の増加を抑えるものである。

二つ目の方法は、図4(c)に示すように、可変容量素子の容量値がアンテナの動作周波数に与える影響を大きくし、小さな容量値の増加で目標とする周波数範囲をカバーして、寄生抵抗による電力消費を低減するものである。

どちらも必要な最大容量値を小さく抑えることで、寄生抵抗による電力消費を抑え、効率を改善できる。また、一つ目の方法では、可変容量素子を二つ使用するためコストが増加するが、二つの動作周波数を独立して制御できるため、二つの無線システムで同時に使用することが可能になる。

(注1) 容量のインピーダンス値の内部抵抗に対する比。



C_i: 可変容量素子の容量

図4. 2種類の効率改善技術の考え方 — 2種類の効率改善技術では、最大容量値を小さくすることで、寄生抵抗による電力消費を抑え、効率を改善できる。
Characteristics of tunable antenna and two efficiency-improvement technologies

4.1 周波数帯域を分割して容量値を低減する技術

まず、目標とする周波数帯域を分割してMEMS可変容量素子の電力消費を低減する技術について述べる⁽⁵⁾。

MEMS可変容量素子を使用した開発アンテナの構成と試作機の外観、及びアンテナ効率の測定結果を図5に示す。基板端に逆Fアンテナ素子と折返しモノポールアンテナ素子を、給電線と短絡線を共有して構成し、各アンテナ素子と基板間をMEMS可変容量素子で接続している。逆Fアンテナ素子がワンセグの低周波数帯で動作し、折返しモノポールアンテナ素子が高周波数帯で動作する。二つの帯域を分担することで、可変容量素子の容量値の増加を抑えることができる。

また、逆Fアンテナ素子と折返しモノポールアンテナ素子は給電線と短絡線を共有しているので、二つのアンテナを並べるより小型化できる。

図5(c)に、二つのMEMS可変容量素子の容量値をそれぞれ、0.41 p (ピコ: 10^{-12}) Fから0.91 pFまで変化させた場合のアンテナ効率の実測結果を示す。最大容量値を抑えることで、周波数が464~670 MHzにおいて-5 dB以上の高い効率を実現できた。

4.2 小さな容量変化で周波数を大きく変化させる技術

次に、小さな容量変化で周波数をより大きく変化させることにより、可変容量素子の電力消費を低減する技術について述べる⁽⁶⁾。

図6(b)に示すように、ほぼ同じ周波数で動作する二つのアンテナ部の先端間に可変容量素子を設置する。両素子に逆向きの電流が流れ、可変容量素子の両端に大きな電位差が生じる。このため、図6(a)の従来のチューナブルアンテナと比較して可変容量素子に電荷が集中し、より小さな容量の変化でより大きく周波数を変化させることができる。このため、目標とする周波数可変動作に必要な容量値が小さくでき、高効率化が実現できる。

アンテナ効率のシミュレーション結果を図6(c)に示す。図1(b)

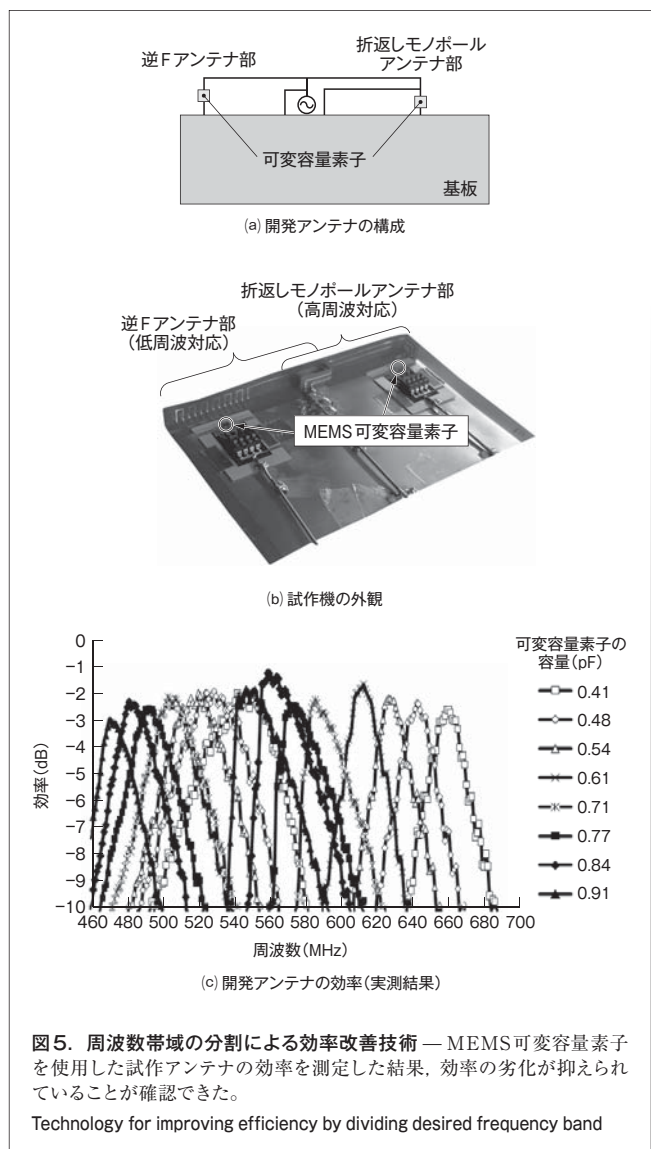
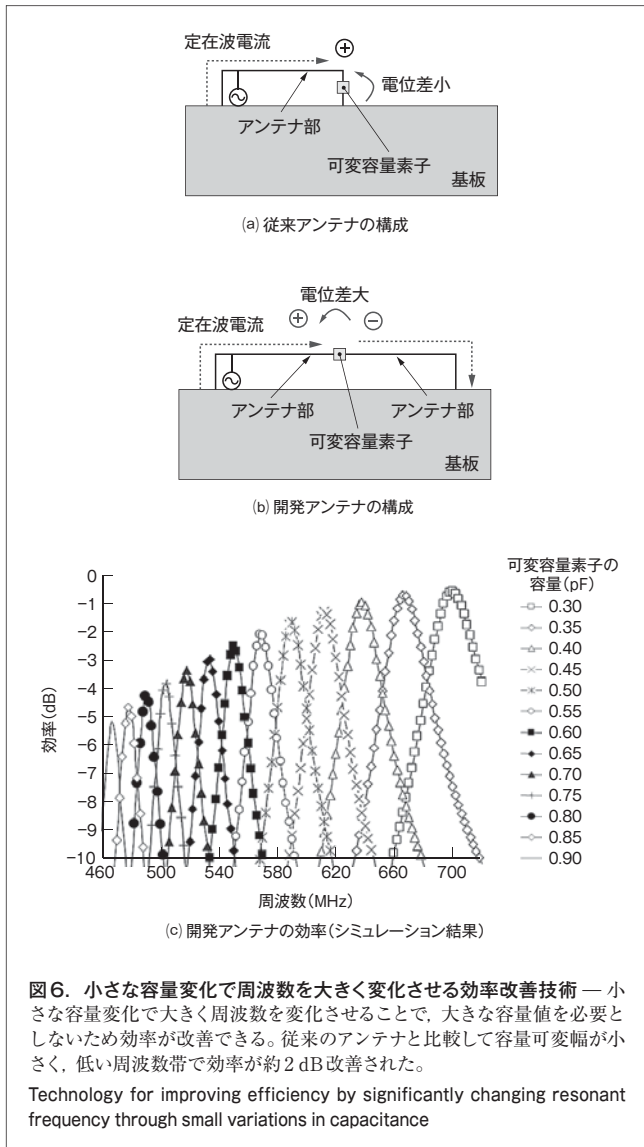


図5. 周波数帯域の分割による効率改善技術 — MEMS可変容量素子を使用した試作アンテナの効率を測定した結果、効率の劣化が抑えられていることが確認できた。

Technology for improving efficiency by dividing desired frequency band

に示した従来のチューナブルアンテナと比較して容量可変幅が小さく、低い周波数帯で効率が約2 dB改善された。



5 あとがき

MEMS可変容量素子を使用し、可変容量素子の寄生抵抗による電力消費を低減させる二つのチューナブルアンテナ技術と、実測及びシミュレーションによってそれらの効率を評価した結果について述べた。

今回開発した低損失化技術により、複数の周波数帯又は広い周波数帯域で使用するアンテナを高効率化でき、ノートPCや携帯端末だけでなく、様々な小型無線機器への適用が可能である。

文献

- (1) Yang, S. et al. "Novel Reconfigurable Multi-band Antennas for Multi-radio Platforms". Radio and Wireless Symposium, Orlando, 2008-01, IEEE. p.723 - 726.
- (2) Mak, A. C. K. et al. Reconfigurable Multiband Antenna Designs for Wireless Communication Devices. IEEE Transactions on Antenna and Propagation. **55**, 2007, p.1919 - 1928.
- (3) Jung, C. W. et al. "Reconfigurable Antenna for Concurrent Operation over Cellular and Connectivity Bands". IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium. San Diego, 2008-07, IEEE. p.1 - 4.
- (4) Ikehashi, T. et al. "An RF MEMS Variable Capacitor with Intelligent Bipolar Actuation". IEEE International Solid-State Circuit Conference. San Francisco, 2008-02, IEEE. p.582 - 583.
- (5) Tsutsumi, Y. et al. "Low profile double resonance frequency tunable antenna using RF MEMS variable capacitor for digital terrestrial broadcasting reception". IEEE Asian Solid-State Circuits Conference. Taipei, 2009-11, IEEE. p.125 - 128.
- (6) Nishio, M. et al. "A frequency tunable antenna configuration to reduce power consumption in variable capacitor". International Symposium on Antennas and Propagation. Bangkok, 2010-10, Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI). p.620 - 623.



西尾 真貴 NISHIO Masaki

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 スマートメーターシステム技術部。スマートメーターの設計・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



堤 由佳子 TSUTSUMI Yukako

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー。アンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Wireless System Lab.



尾林 秀一 OBAYASHI Shuichi

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー 研究主幹。アンテナ・電波伝搬・マイクロ波回路の研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。
Wireless System Lab.