携帯端末用アンテナの歴史と将来展望

森下　久

防衛大学校
電気電子工学科

令和4年3月9日

発表の流れ

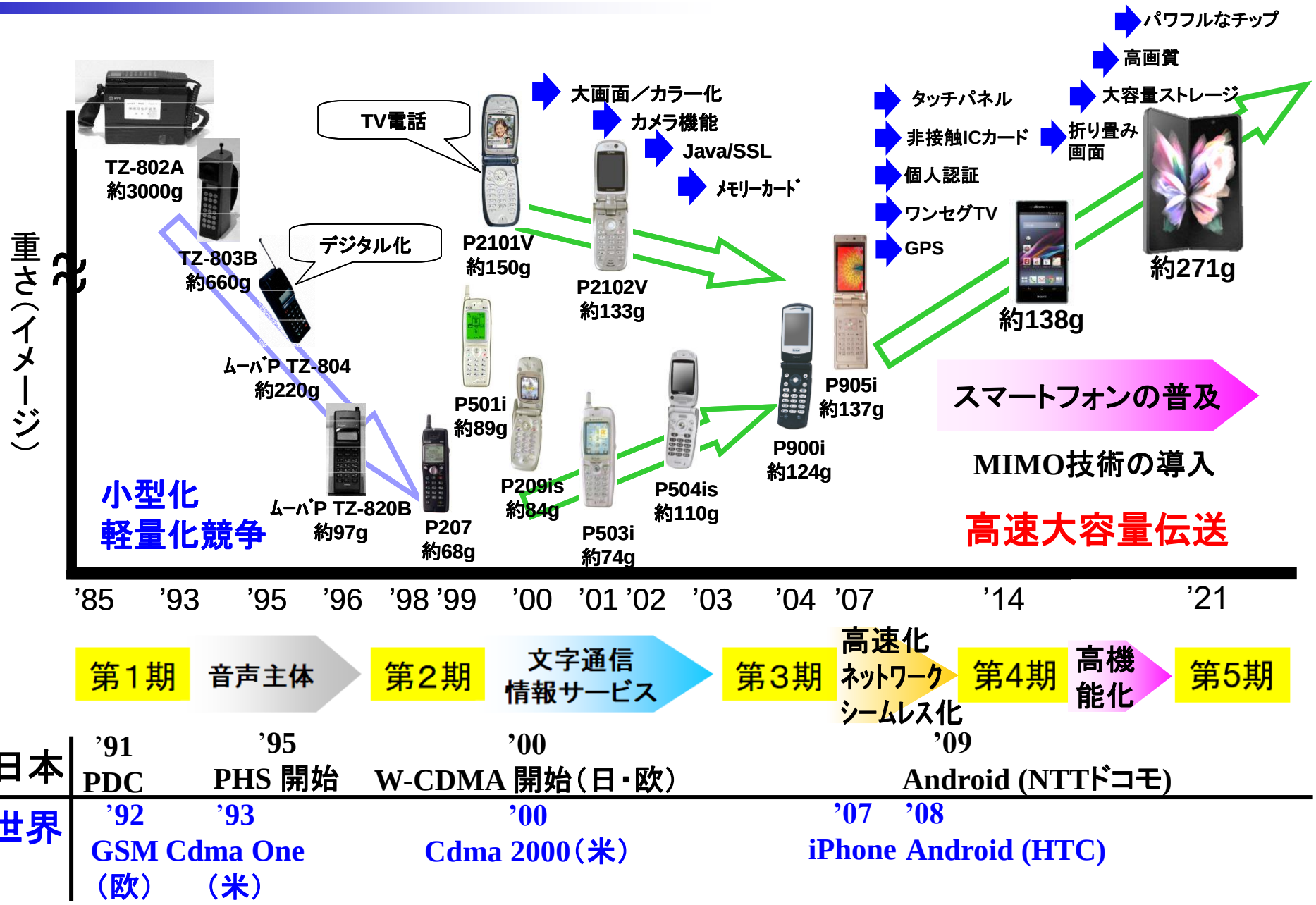
１．　携帯端末の変遷
　1.1　携帯端末の歴史・動向
　1.2　考慮すべき事項

２．携帯端末用アンテナの変遷
　2.1　線状アンテナ
　2.2　平板逆Fアンテナ（PIFA）
　2.3　その他のアンテナ
　2.4　現在及び今後の動向

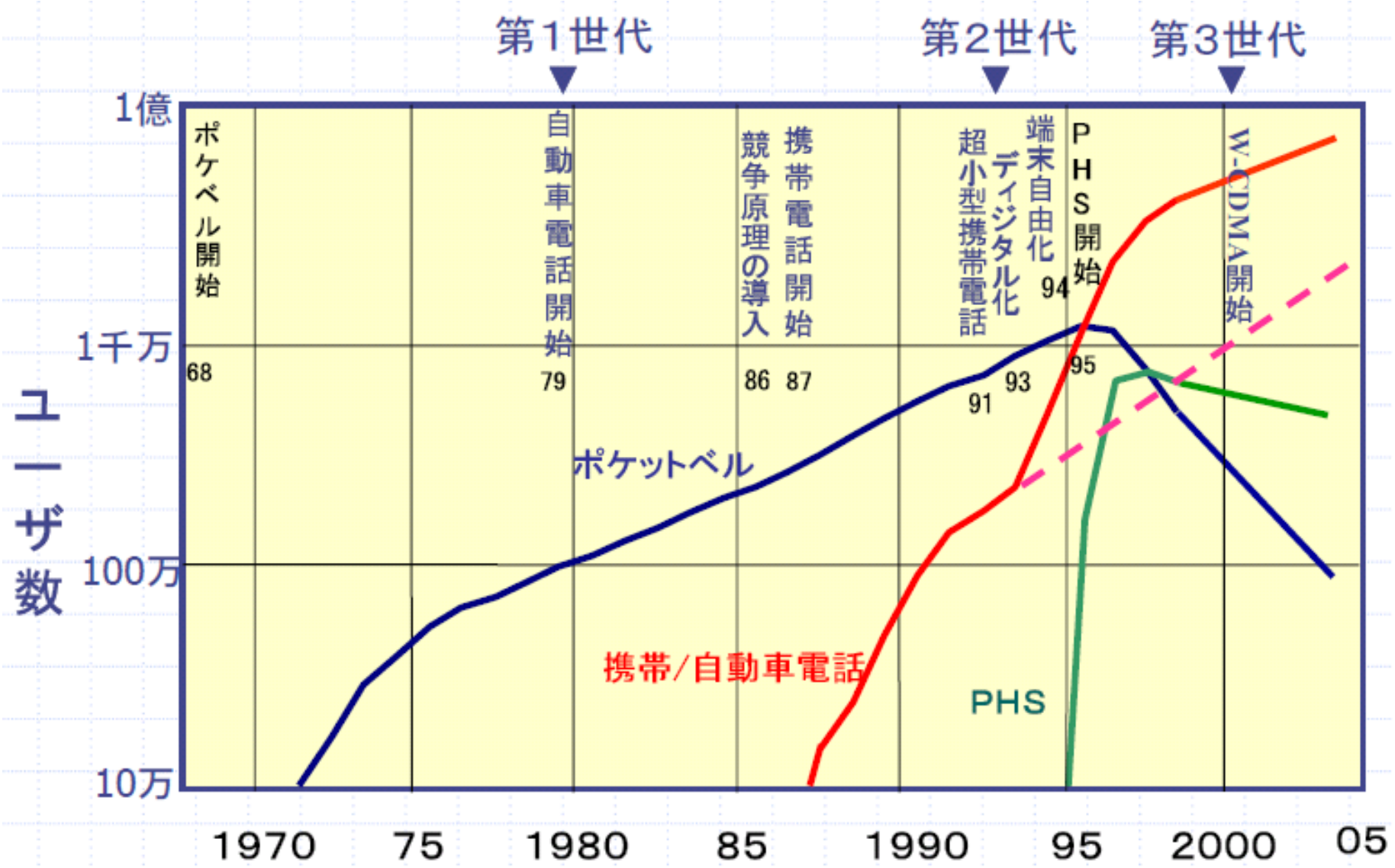
引用・参考文献

・S. Sekine, H. Shoki and H. Morishita, “Antennas for Wireless Terminals,” IEICE Trans. Commun., vol.E86-B, no.3, March 2003
・小柳芳雄, “モバイル通信端末用小型アンテナの設計課題とその解決技術,” 信学論（B）, vol.J98-B, no.9, Sep. 2015
・藤本京平, 移動通信用アンテナシステム, 総合電子出版社, 1996

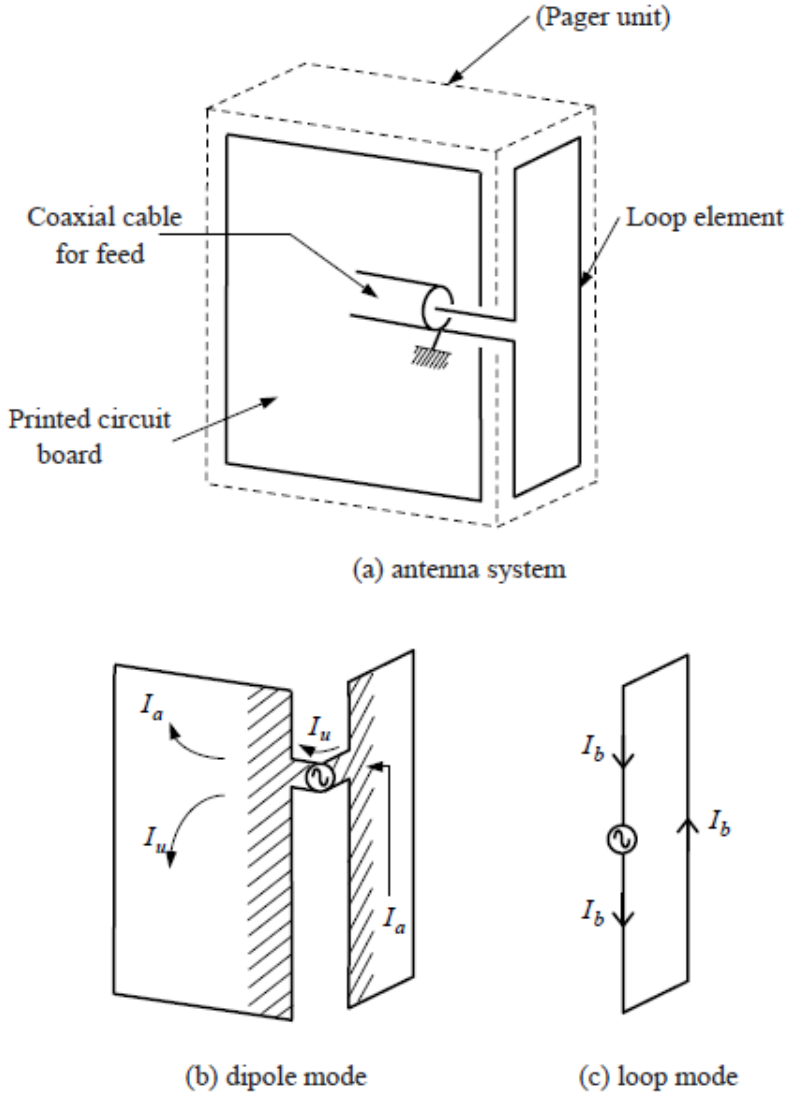
無線端末の小形・軽量化の変遷



わが国おける移動通信前期段階の発展推移



ポケットベル用アンテナ – 複合モードの利用



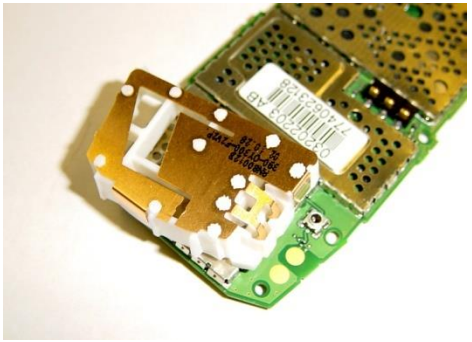
[9] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa and J. R. James, *Small Antennas*, Research Studies Press LTD., 1987.

第2世代までの携帯端末用アンテナの特徴・特性

	種類	特徴	利得	比帯域	放射パターン	備考
線状	3/8･5/8 波長モノポール	線状導体 板上電流低減	0dBd	10%可能	水平面円形 垂直面8の字	
	ノーマルモードヘリカル	コイル状･小形 自己共振 立体構造	0dBd 以下	モノポールに比べて比較的狭帯域	水平面円形 垂直面8の字	
板状	平板逆F (PIFA)	板状･低姿勢 多共振可能 携帯機に内蔵	-2～-3 dBd 程度	10数%可能※	板上の交さ電流による放射の 2偏波発生※	※携帯端末取り付け時

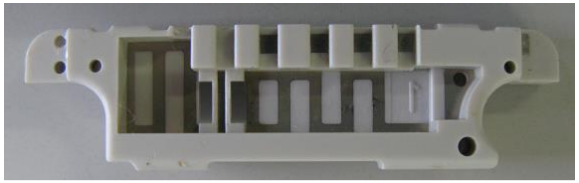
ホイップアンテナ

ヘリカルアンテナ



逆Fアンテナ

第３世代携帯電話内蔵アンテナ例



電話用アンテナ（Main）裏面拡大図

P903i(2006年）

NEC N703iμは板金と樹脂でアンテナを構成

写真

（2008年NE解体から引用）

パナ P703iμはフィルム状でアンテナを構成

写真

（2008年NE解体から引用）

初代iPhoneにおけるアンテナ構成

2008年NE解体から引用

写真

iPhone 4Sにおけるアンテナ構成(2012年NE解体から引用)

写真

両側面のフレームがアンテナになっていると考えられる

GALAXY S IIにおけるアンテナ構成（2012年NE解体から引用）

写真

MEDIAS PPにおけるアンテナ構成（2012年NE解体から引用）

写真

IS13SHにおけるアンテナ構成（Impress Watchから引用）

写真

キャビネット一体型アンテナを採用し、薄型化に貢献

写真

2013年発売スマートフォン端末のアンテナ構成例 ELUGA-P(P03E)

アンテナ構成

- UMTS/GSM/LTE/DTV/MM放送/GPS/BT/無線LANの8つのシステムに、4つのアンテナで対応
  - ◆ Cellularアンテナ
    - 筐体ボトム部に配置するモノポールアンテナ
  - ◆ Cellularサブアンテナ
    - 筐体トップ部に配置するモノポールアンテナ
  - ◆ GPS/Bluetooth / 無線LANアンテナ
    - 筐体トップ部に配置するモノポールアンテナ
  - ◆ DTV / MM放送アンテナ
    - 可倒伸縮タイプ(4段) ホイップアンテナ

アンテナ構成図

対応システム

	セルラーアンテナ											アプリケーション				
	UMTS				GSM				LTE							
	Band 1 2GHz	Band 19 800MHz	Band 9 1.7GHz	Band 5 800MHz	GSM 800MHz	E-GSM 900MHz	DCS 1.7GHz	PCS 1.9GHz	Band 1 2GHz	Band21 1.5GHz	Band19 800MHz	DTV	MM放送	GPS	BT	無線LAN
対応	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

携帯端末の考慮すべき事項

(1) アンテナの大きさと特性

(2) 金属筐体の影響

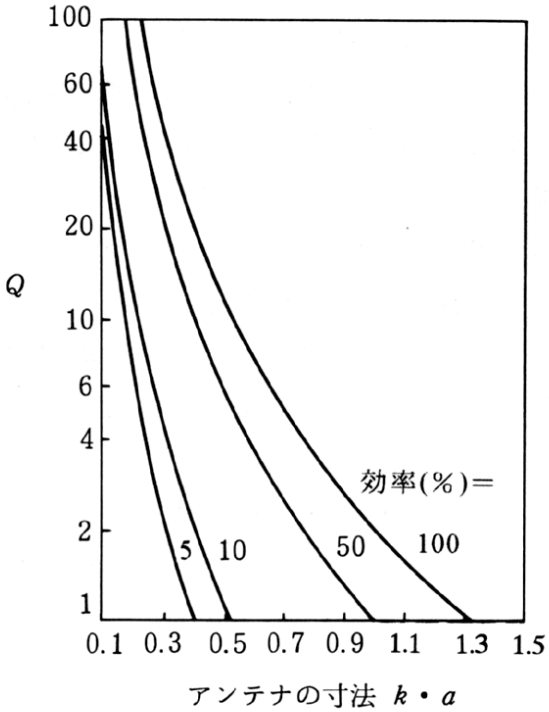
(3) 人の影響

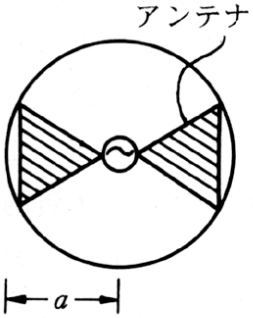
(4) 多重波中の特性

(1) アンテナの大きさと特性

小形化に関する経験式

$$\frac{\text{（アンテナの電気的体積）}}{\text{（帯域）×（利得）×（効率）}} = \text{定数値}$$





$k = \frac{2\pi}{\lambda}$

（λ：共振波長）

Q=ω・全蓄積電力/(全損失電力)
蓄積電力:リアクタンス
損失電力:放射、導体、媒質

(2) 金属筐体の影響

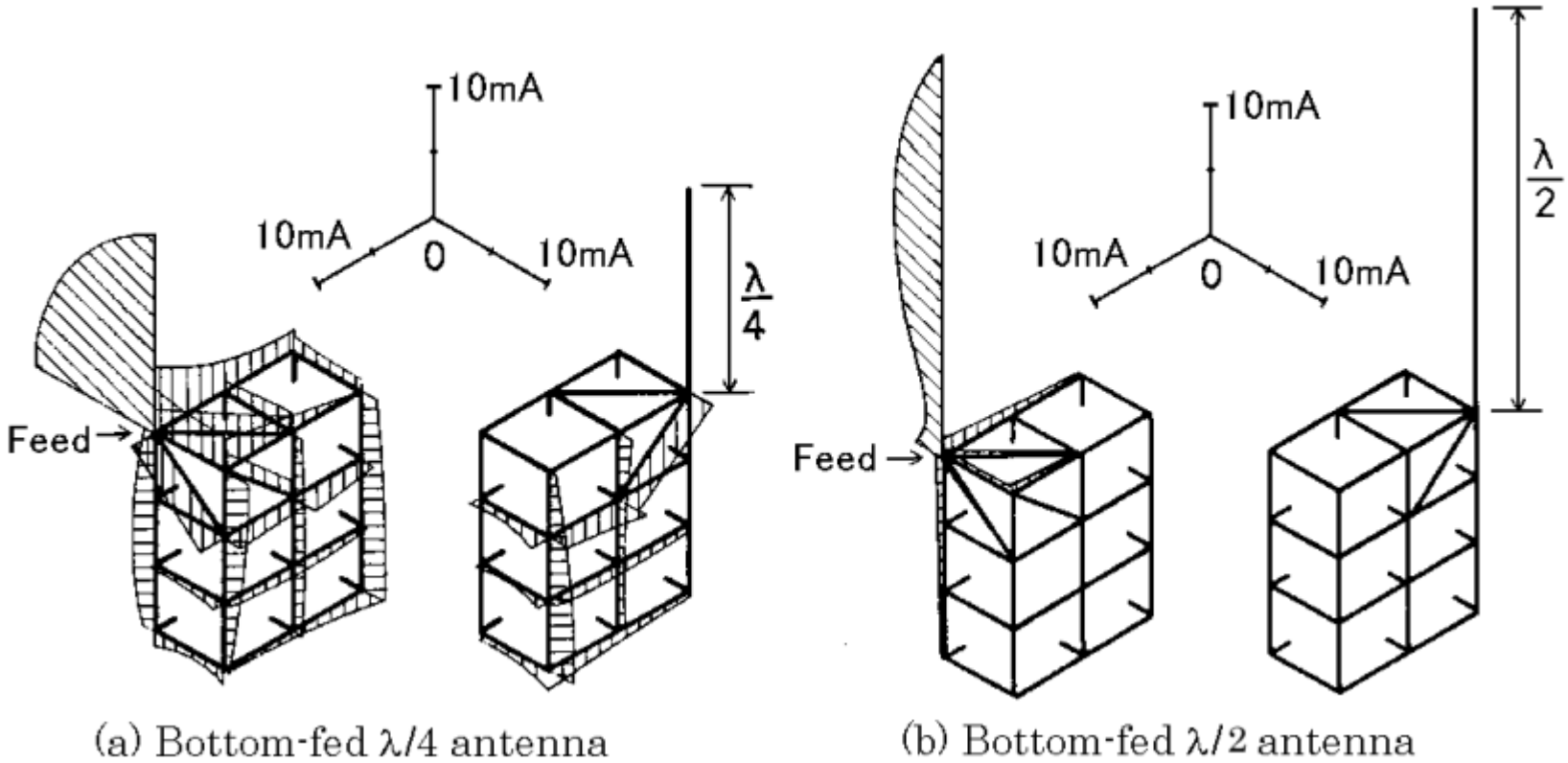


Fig. 1 Current distribution on terminal surface [1], [2]

[1] K. Hirasawa and K. Fujimoto, “Characteristic of Wire Antennas on a Rectangular Conducting Body,” Trans. IEICE Japan, J65-B-9, pp.1133–1139, 1982
[2] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa, and J.R. James, Small antenna, Research Studies Press 1987

(2) 金属筐体の影響

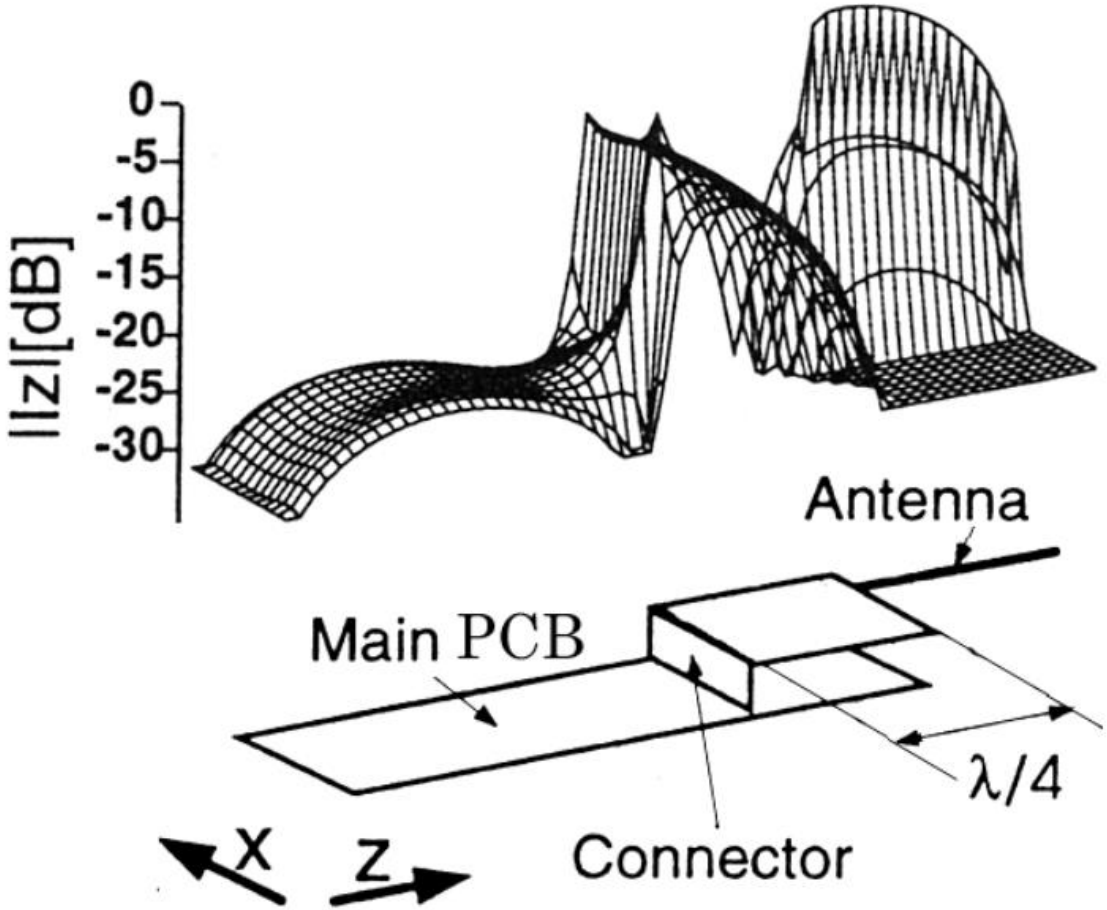


Fig. 2 Current distribution on main printed circuit board [13].

[13] A. Tsujimura, S. Sekine, H. Shoki and Y. Suzuki, “A study of the current distribution on the dual printed circuit boards for a portable radio phone” Proc. 1998 IEICE general conf. B-1-116, pp.116, 1998 (in Japanese)

(2) 金属筐体の影響

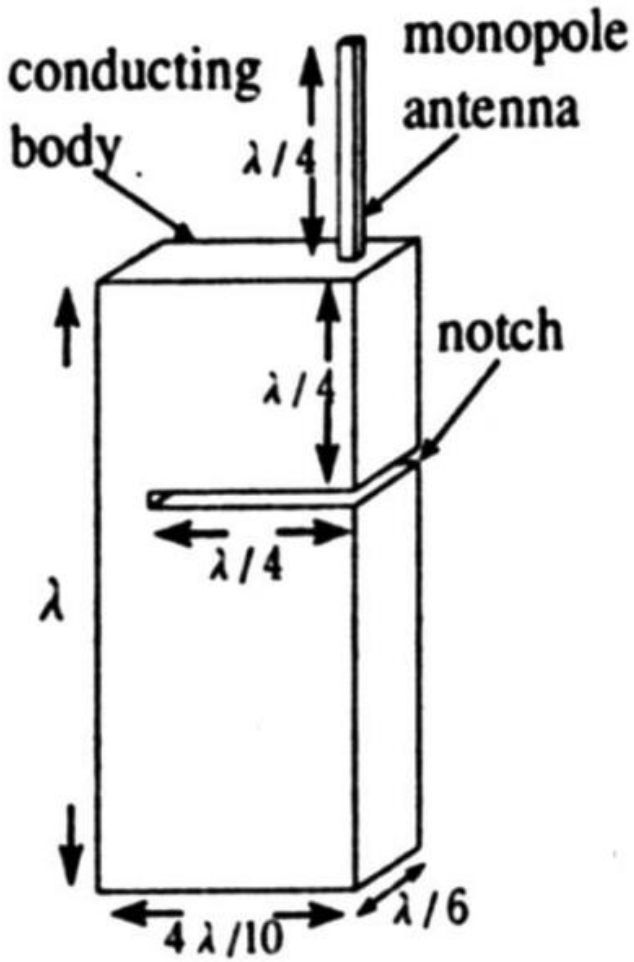
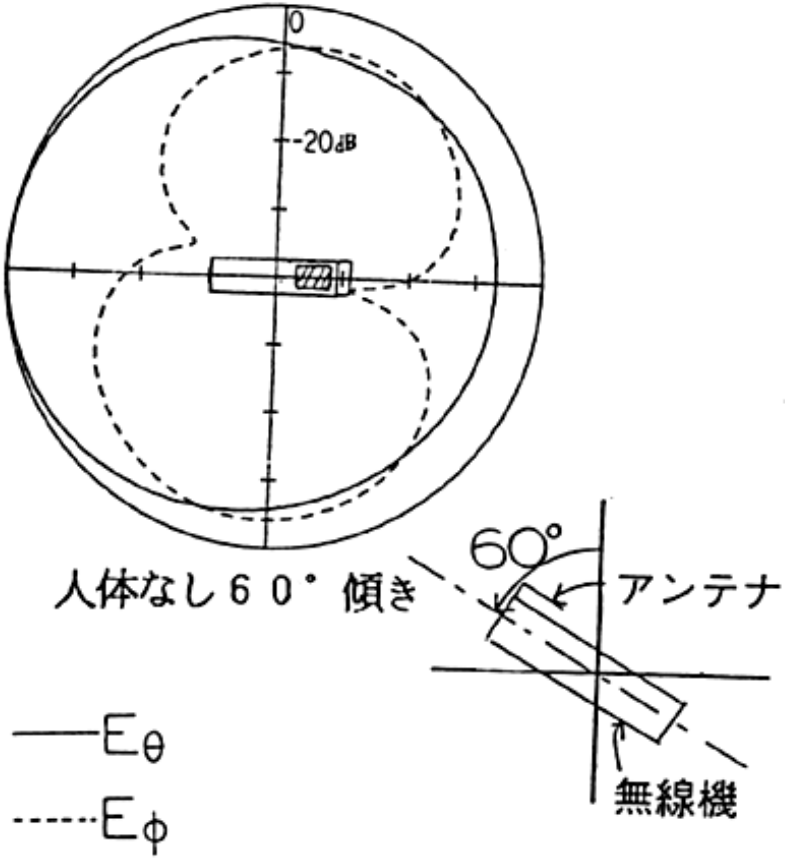
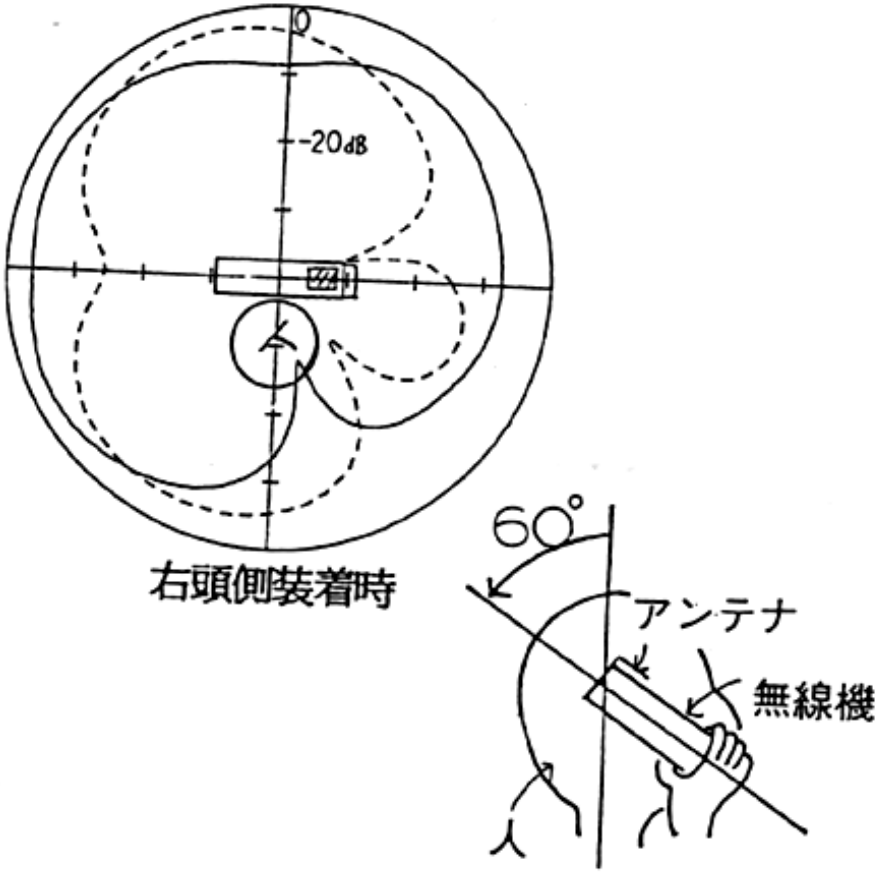


Fig. 3 Monopole antenna on a cavity with notch [16].

[16] S. Sekine and T. Maeda, “The radiation characteristic of a l/4 monopole antenna mounted on a conducting body with a notch,” IEEE AP-S 1992 Digest 1, pp.65–68, 1992

(3) 人の影響 – 人体近接時の放射特性変化





・人体近接　　パターン変形、利得劣化

藤本、移動通信用アンテナシステム、総合電子出版社、1996から引用

(3) 人の影響 – アンテナの配置

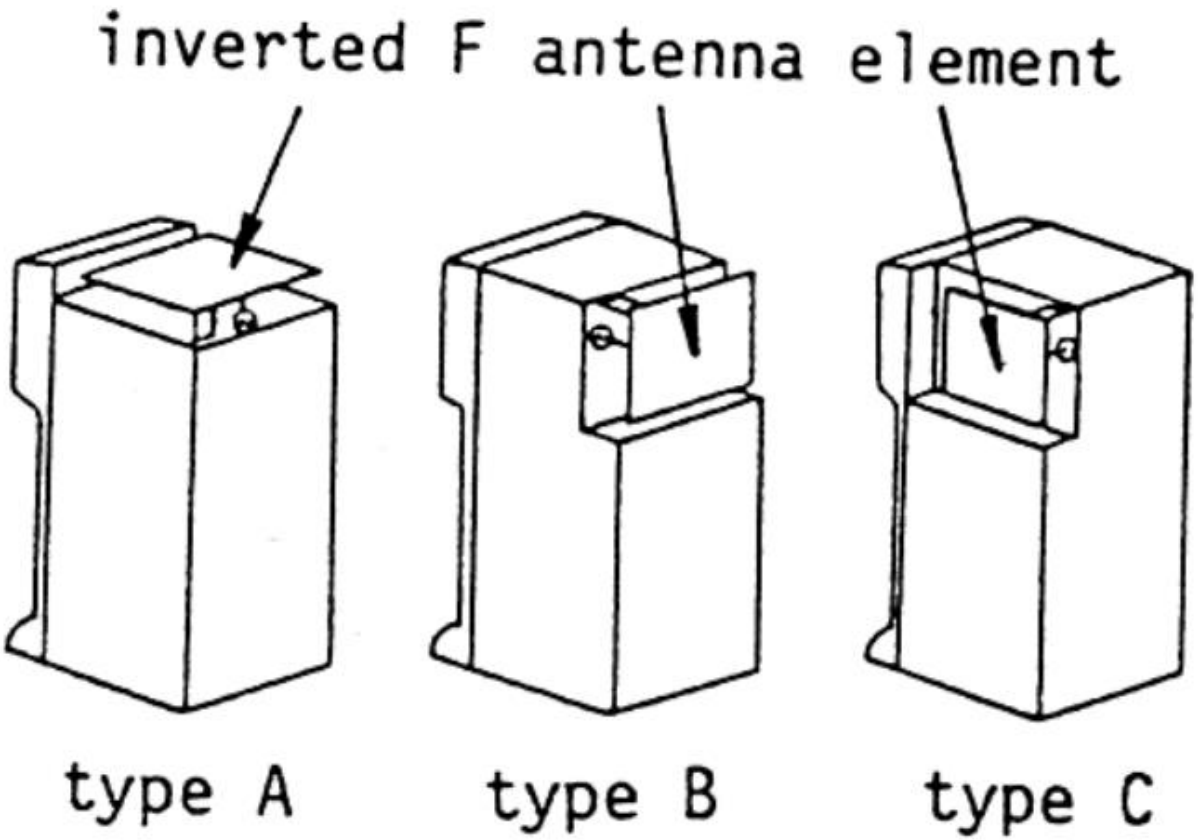


Fig. 11 Mounted side of planar inverted F antenna [37].

[37] T. Taga and K. Tsunekawa, “A built-in diversity antenna for 800 MHz band portable radio units,” Proceedings of ISAP ’85, 121-1, pp.425–428, 1985

(3) 人の影響 – F/Bの利用

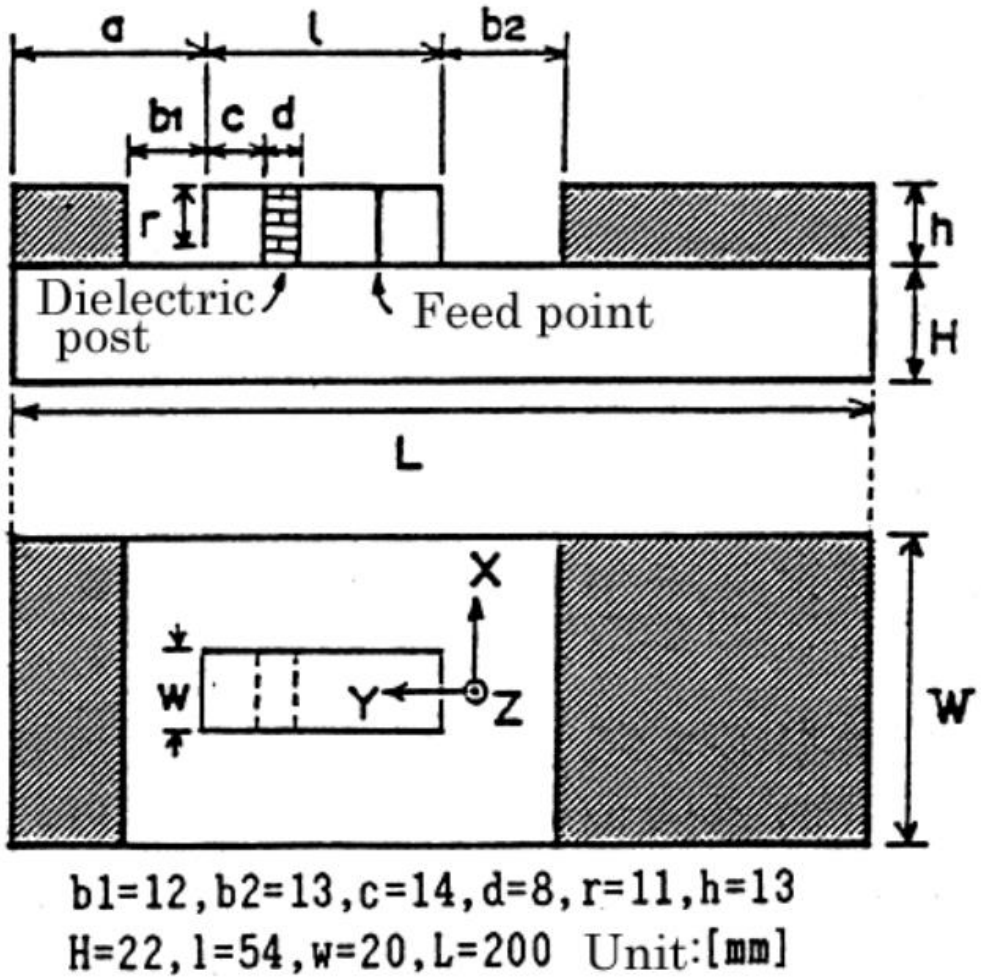
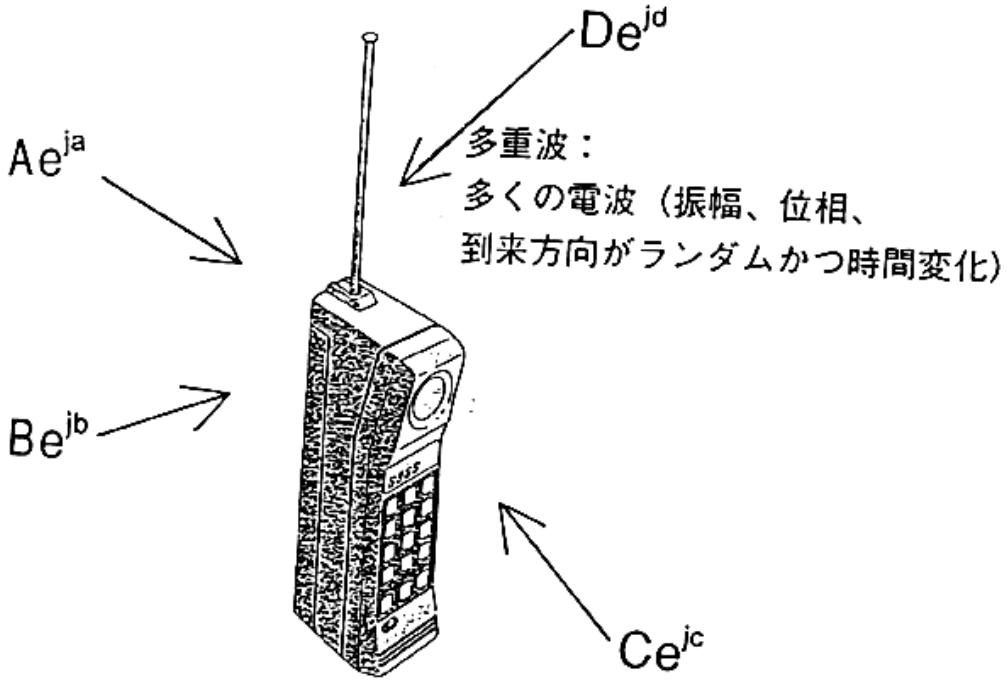


Fig. 12 inverted F antenna for reducing influence from a user [24].

[24] Y. Oshima and N. Goto, “Radiation Pattern of Small Antennas for Mobile Communications,” 1986 National Convention Record, IEICE Japan, 636, vol.3 pp.73, 1986 (in Japanese)

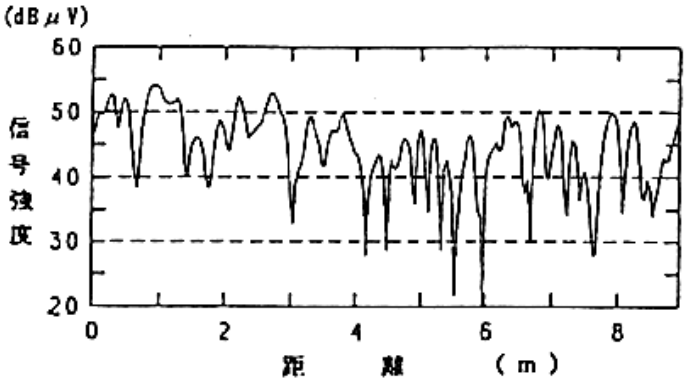
(4) 多重波による受信レベル変動

・多重波中のアンテナ



1.アンテナ特性（利得）の推定法、評価法

・アンテナ受信レベルの時間変化



2.フェージング（数十ｄＢのレベル変動）の克服

(4) 多重波中の特性 – ダイバーシティ

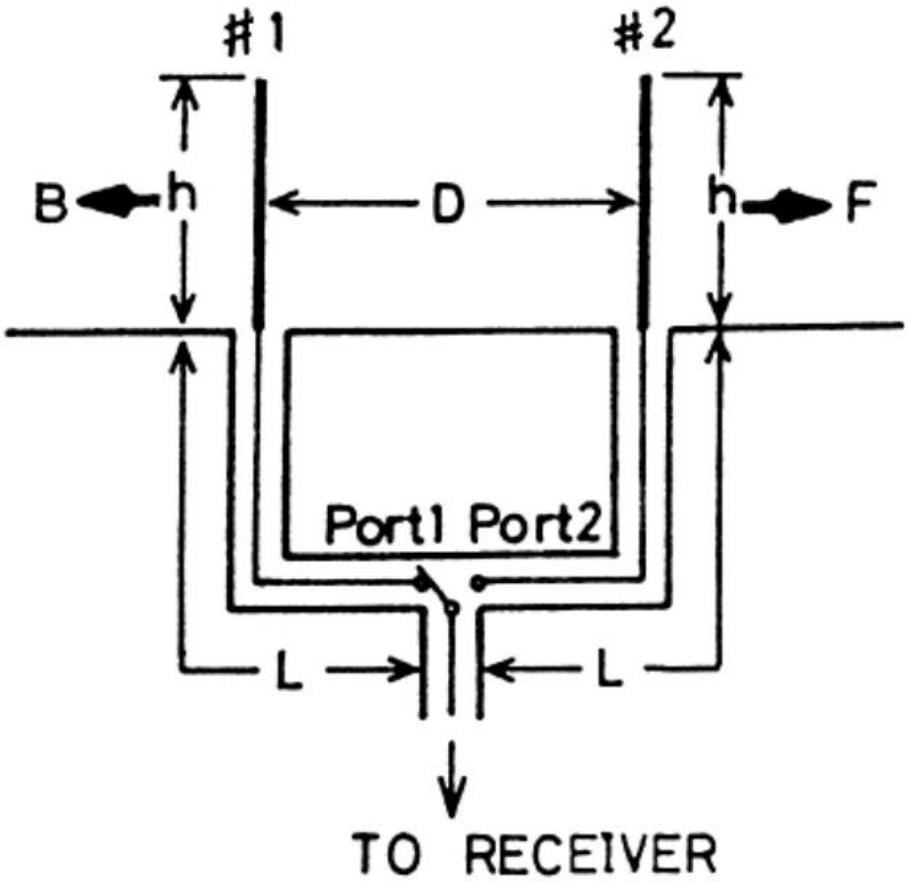


Fig. 17 Monopole antennas for antenna selection diversity [5].

[5] K. Sawaya, T. Ishizone, and Y. Mushiake, “A correlation coefficient between two monopole antennas for an antenna selection diversity system,” 1982 National Convention Record of IEICE Japan, 3-63, pp.610, 1982 (in Japanese)

(4) 多重波中の特性 – ダイバーシティ

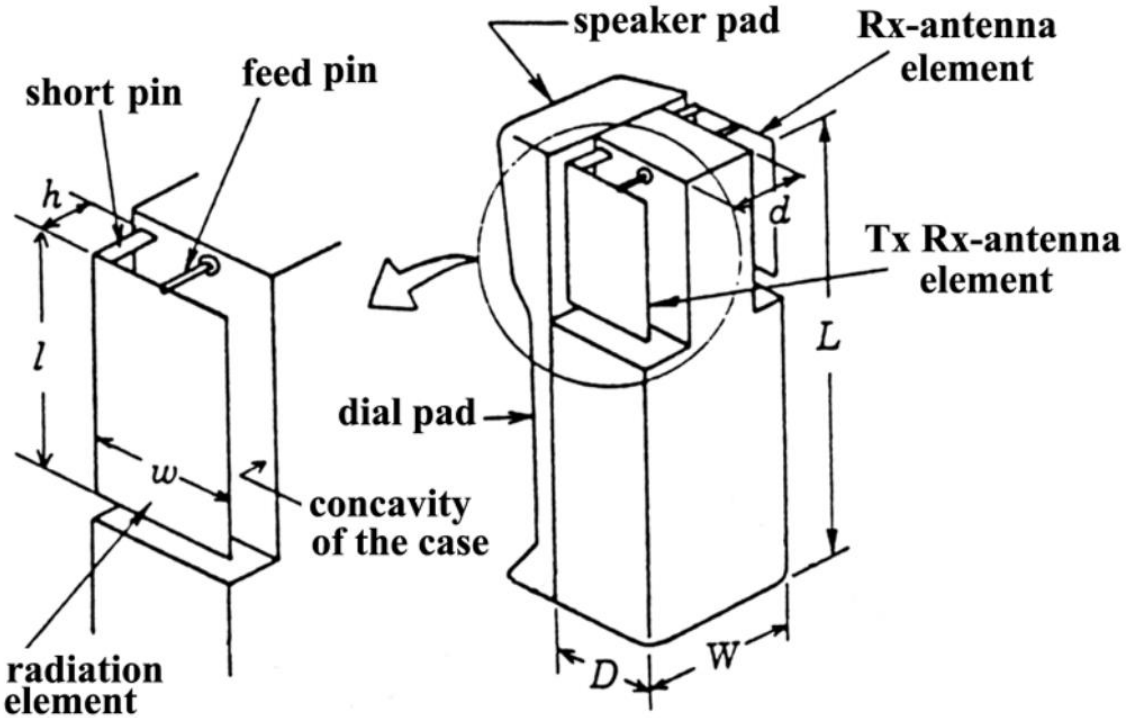


Fig. 18 PIFA for diversity antenna [57].

[57] T. Taga and K. Tsunekawa, “A built-in diversity antenna for 800 MHzband portable radio units,” IEEE AP-S 1986 Digest 2 vol.vi+1044, pp.705–708, 1986

Table 1 Overview of antenna for wireless terminal

	1980–1989	1990–1999		2000–
System	Mobile telephone (800MHz)	PDC (800MHz 1.5GHz)	PHS (1.9GHz)	IMT-2000 (2GHz)
Cavity effect	Half wavelength monopole antenna [1], [2] 3/8 wavelength monopole antenna [1], [2]	Sleeve antenna [17],[18],[19]	Notch on cavity [16]	Half wavelength monopole antenna with feed element [32], [65] Built-in half wavelength dipole antenna [67], [68] Built-in half wavelength monopole antenna [69] Built-in folded dipole antenna [70]
Inverted-F antenna / Small antenna	Planar inverted F antenna (PIFA) [3] Merging with dielectric filter [22] Miniaturization [21] Wideband characteristic [25],[29],[31] User effect reduction [24]	Dual resonance [34]-[37]	Chip antenna [47]-[52] Slot antenna [44],[45]	
Diversity	Antenna coupling effect [5], [60] PIFA for diversity [37]	Arrival wave effect [61] User effect [63] System effect[64]		

2．携帯端末用アンテナの変遷-線状アンテナ

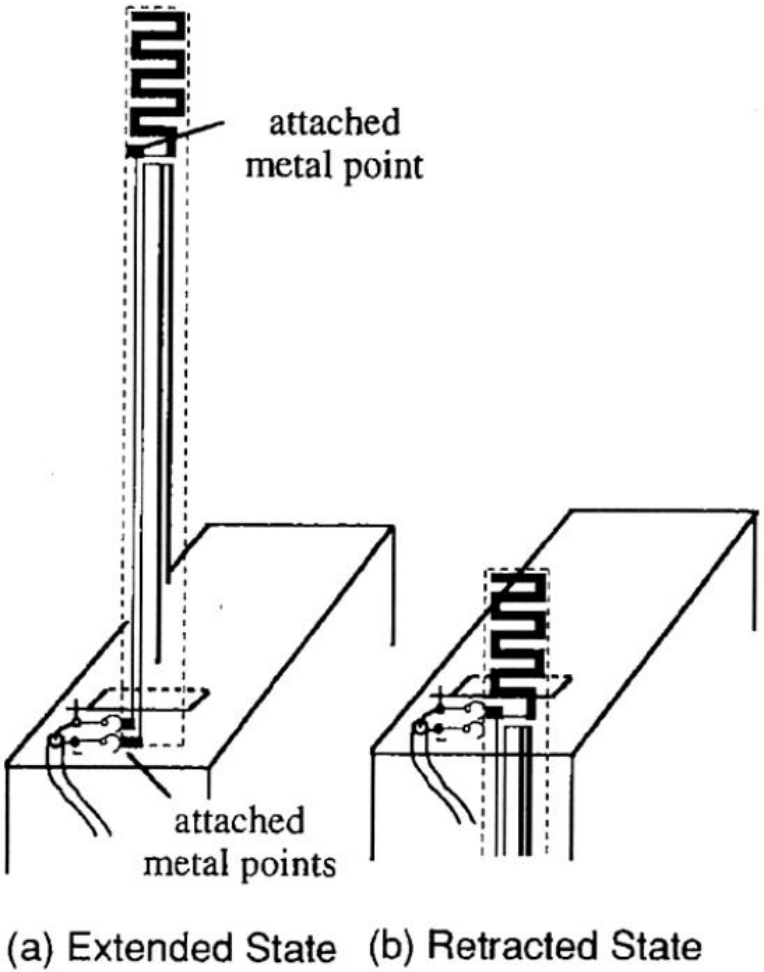


Fig. 4 Retractable sleeve antenna [18].

[18] K. Tsunekawa, “High performance portable telephone antenna employing a flat-type open sleeve,” IEICE Trans. Electron. vol.E79-C, no.5, pp.693–698, May 1996

2．携帯端末用アンテナの変遷−平板逆Fアンテナ

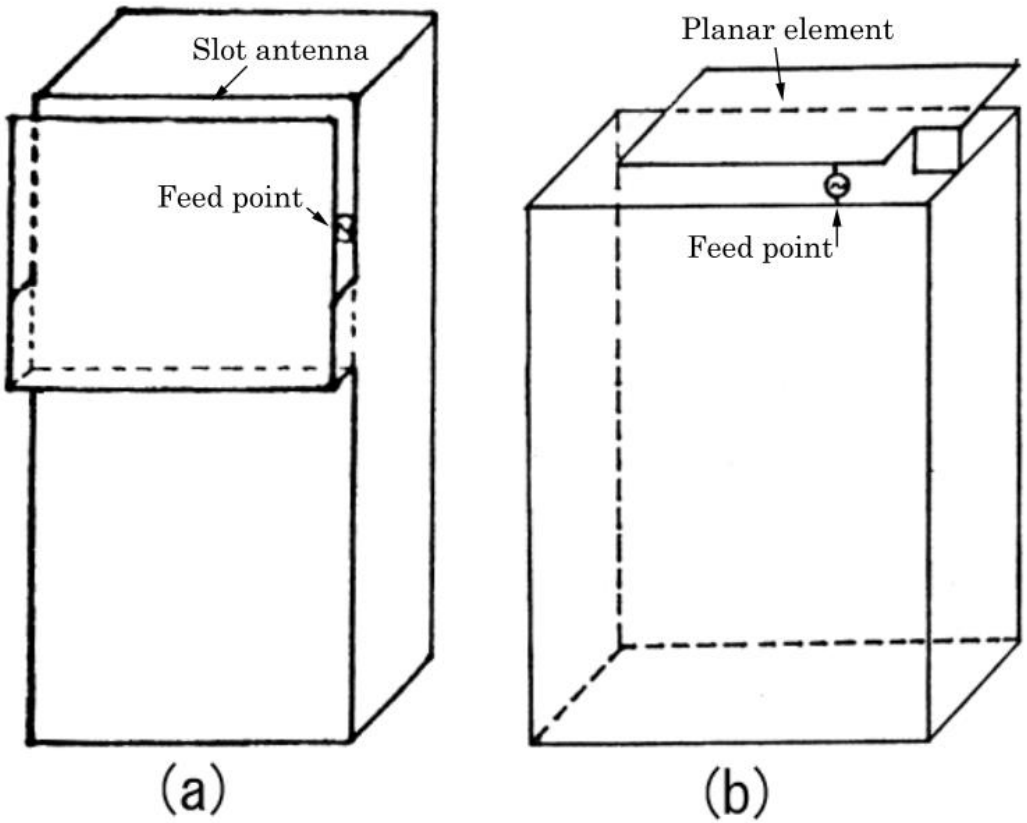


Fig. 5 Cavity slot antenna (a) and planar inverted F antenna (b) for wireless terminal [3], [20].

[3] H. Haruki and T. Kobayashi, “Inverted F antenna for UHF Portable Equipment,” 1982 National Convention Record of IEICE Japan, 3-66, pp.613, 1982 (in Japanese)
[20] H. Haruki, Y. Hiroi, T. Taga and H. Mishima, “Slot antenna for UHF Portable Equipment,” National Convention Records on opt and electrical wave, IEICE Japan, 40, pp.40, 1980 (in Japanese)

２．携帯端末用アンテナの変遷-PIFAの小型化

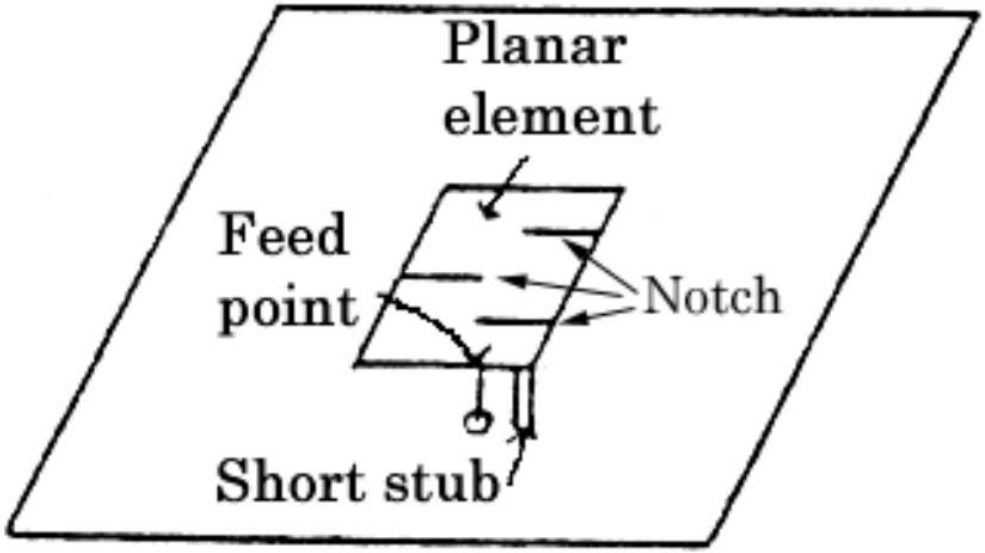


Fig. 6 PIFA with notch for miniaturization [21].

[21] K. Tsunekawa and T. Taga, “A Study of Miniaturized Inverted-F Type Antennas” 1984 National Convention Record 3-19, pp.624, 1984(in Japanese)1984

2．携帯端末用アンテナの変遷-PIFAの小型化

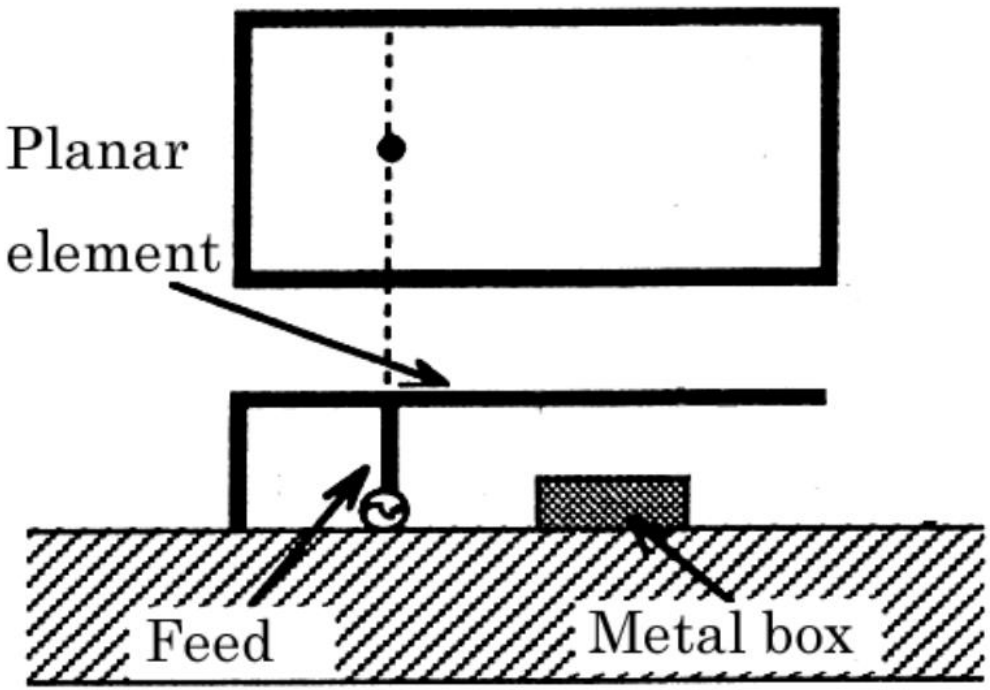


Fig. 7 PIFA with metal box [23]

[23] T. Endo and S. Sato, “Equivalent capacitance of short patch antenna with conducting block,” Proc. 1996 IEICE general conf., IEICE Japan, B-65, pp.65, 1996 (in Japanese)

2．携帯端末用アンテナの変遷-PIFAの広帯域化

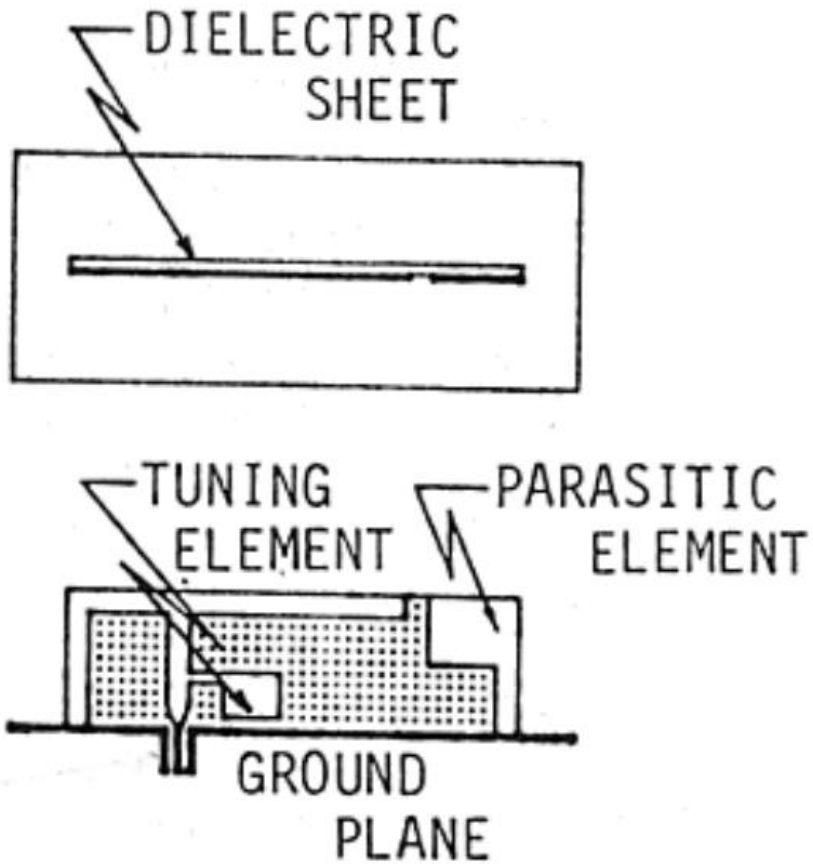


Fig. 8 Print IFA with parasitic element [27].

[27] H. Mishima and T. Taga, “Mobile Antennas and Duplexer for 800MHzBand Mobile Telephone System,” IEEE AP-S proceedings AP.14-5 pp.508–511, 1980

2．携帯端末用アンテナの変遷-PIFAの広帯域化

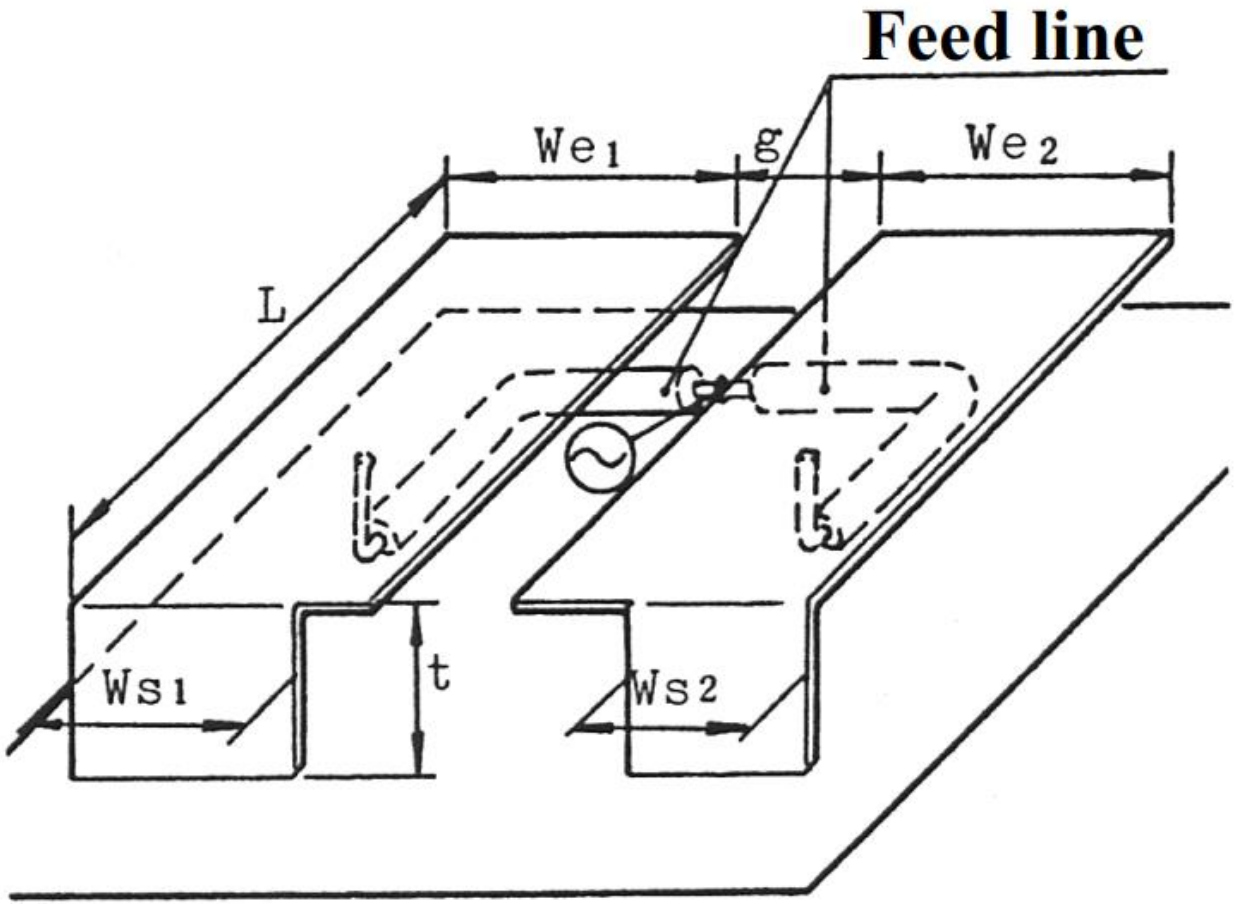


Fig. 9 PIFAs fed by parallel lines [31].

[31] Y. Yokoyama and N Goto, “Dual-Resonance Broad Band Microstrip Antenna,” Proceedings of ISAP ’85, 121-2, pp.429–432, 1985

2．携帯端末用アンテナの変遷-PIFAの小型化

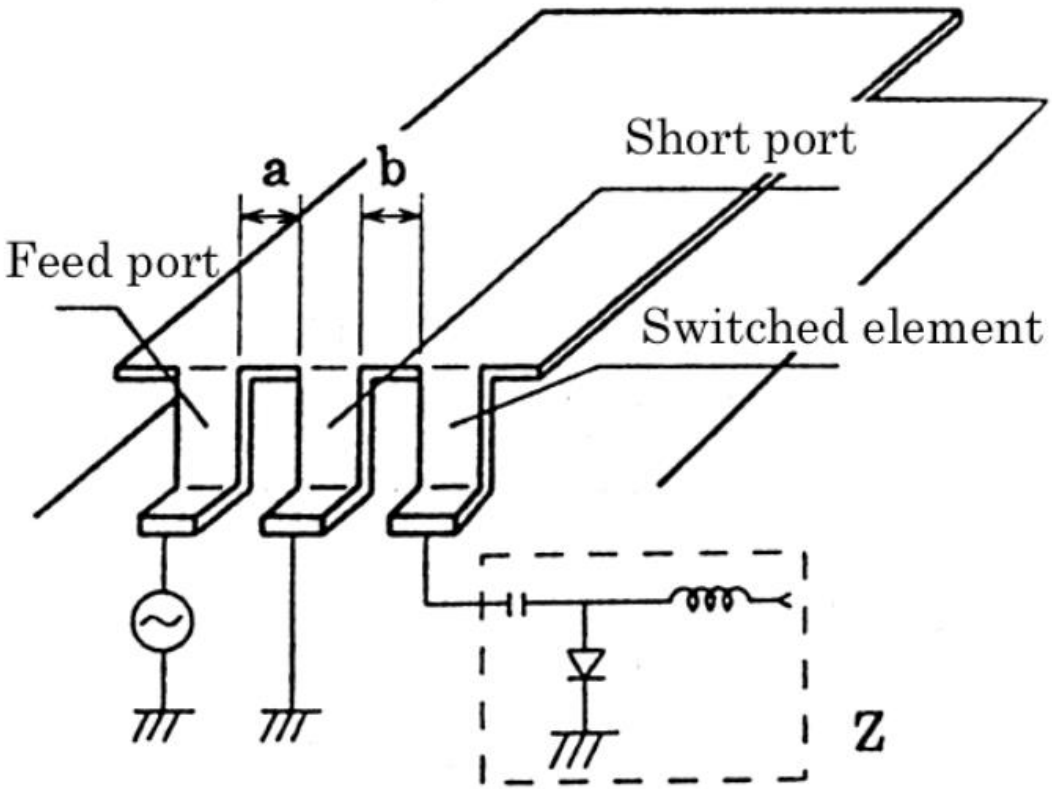


Fig. 10 PIFAs with switch element[34].

[34] T. Saito, S. Nakamura, N. Kohyama and Y. Yokoyama, “A dual band inverted F antenna with a switched device,” Proc. 1997 IEICE general conf., IEICE Japan, B1-74, pp.74, 1997 (in Japanese)

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

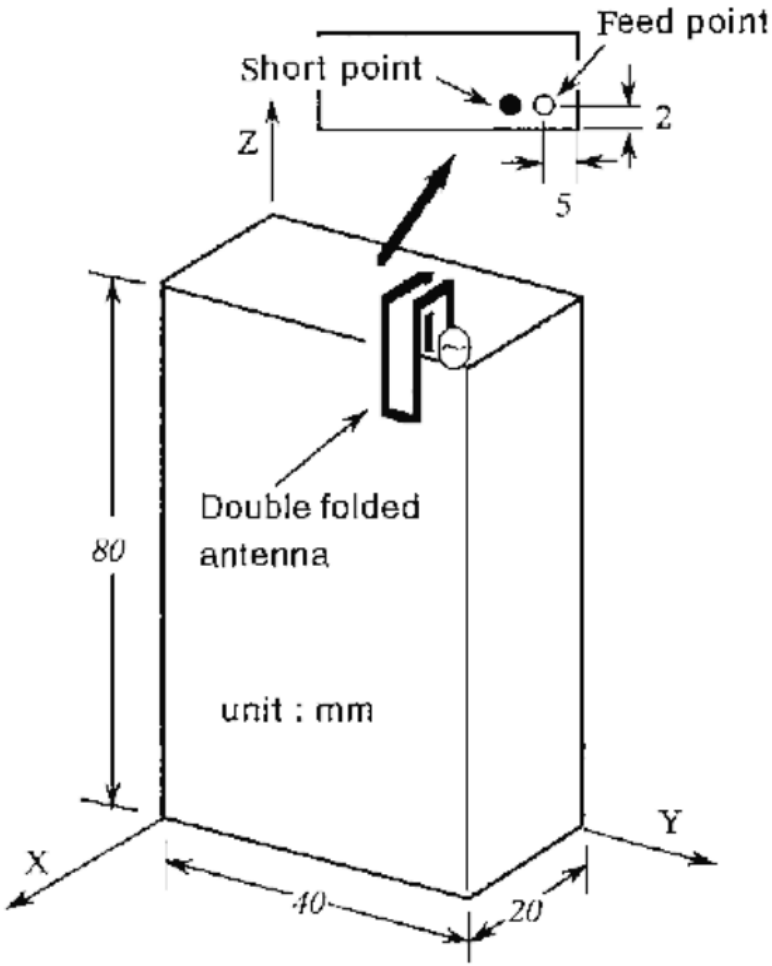


Fig. 13 Folded monopole antenna [41].

[41] Y. Kumon and T. Tsukiji, “Characteristic of a double folded monopole antenna for the mobile telephone,” Trans. IEICE Japan, J81-B-II, no.11, pp.1073–1076, 1998

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

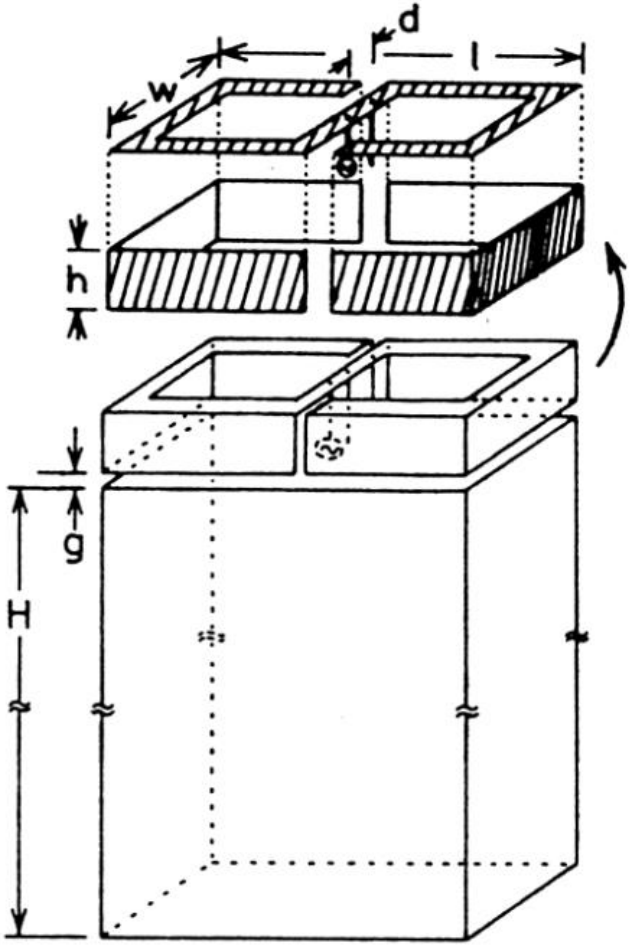


Fig. 14 S-type antenna [42].

[42] K. Suda, K. Sawaya, K. Igari and S. Adachi, “Built-in S-shaped antenna for portable telephone,” Trans. IEICE Japan, J71-B, no.11 pp.1365–1367, 1988

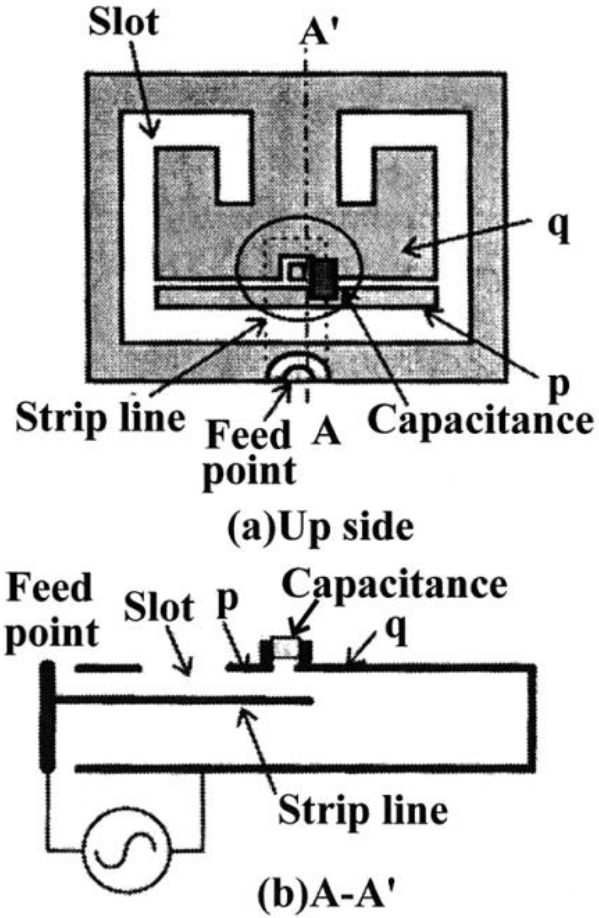


Fig. 15 Slot antenna with variable capacitance [45].

[45] H. Okabe, K. Takei, and K. Higuchi, “A tunable planar slot antenna for portable radio phone terminal,” Proc. 1997 Commn. Society conf. IEICE, IEICE Japan, B-1-50, pp.50, 1997 (in Japanese)

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

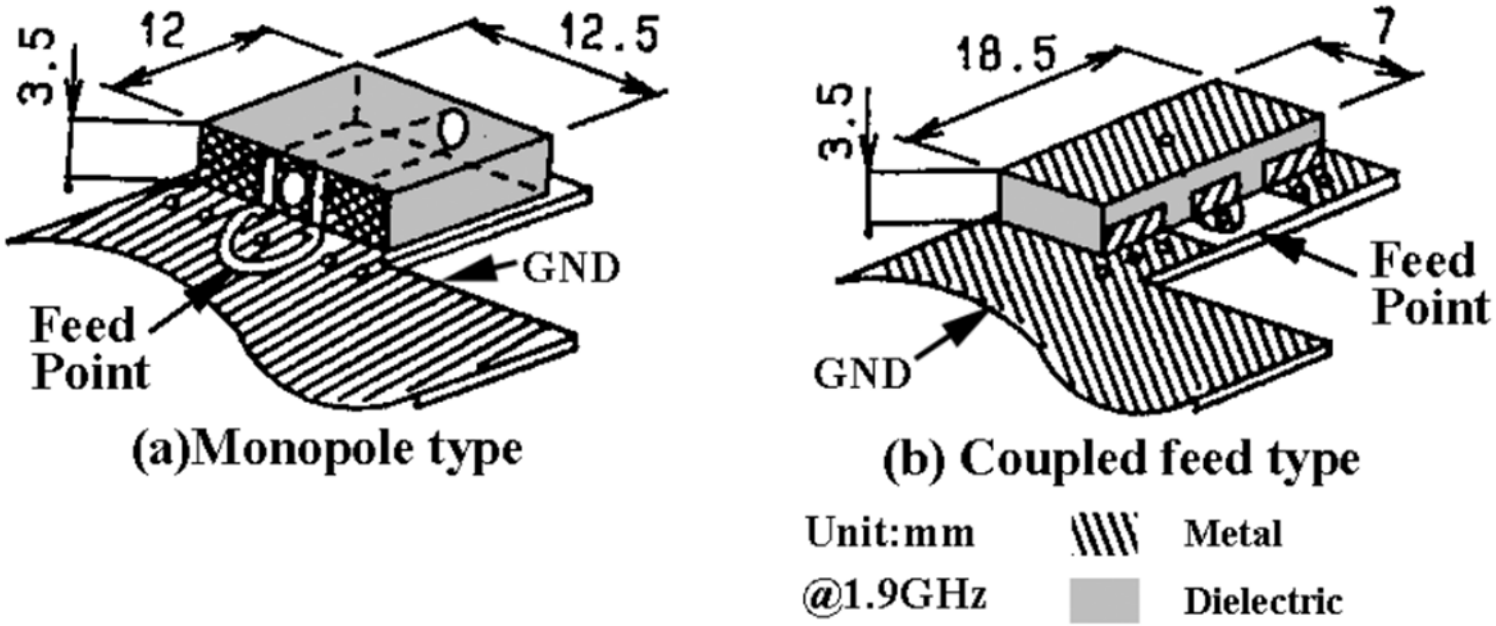


Fig. 16 Two types of chip antenna [47].

[47] K. Kawahata, K. Yamaki, Y. Saitoh and S. Arai, “SMD antenna for portable telephone,” Proc. 1994 IEICE spring conf., IEICE Japan, B-129, pp.129, 1994 (in Japanese)

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

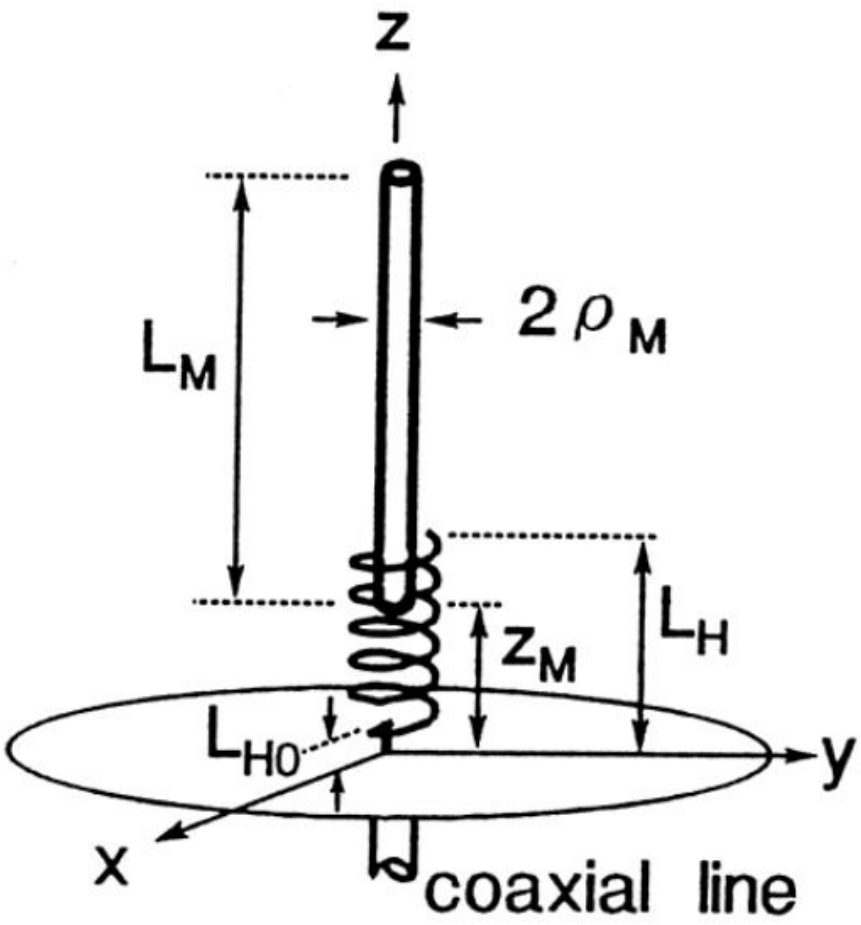


Fig. 19 Half-wavelength monopole antenna fed by helical element [32].

[32] H. Nakano, N. Ikeda, Y. Wu, R. Suzuki, H. Mimaki and J. Yamauchi, “Realization of dual-frequency and wideband VSWR performance using normal-mode helical and inverted-F antennas,” IEEE Trans. Antennas Propagat.,vol.46, no.6, pp.788–793, June 1998

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

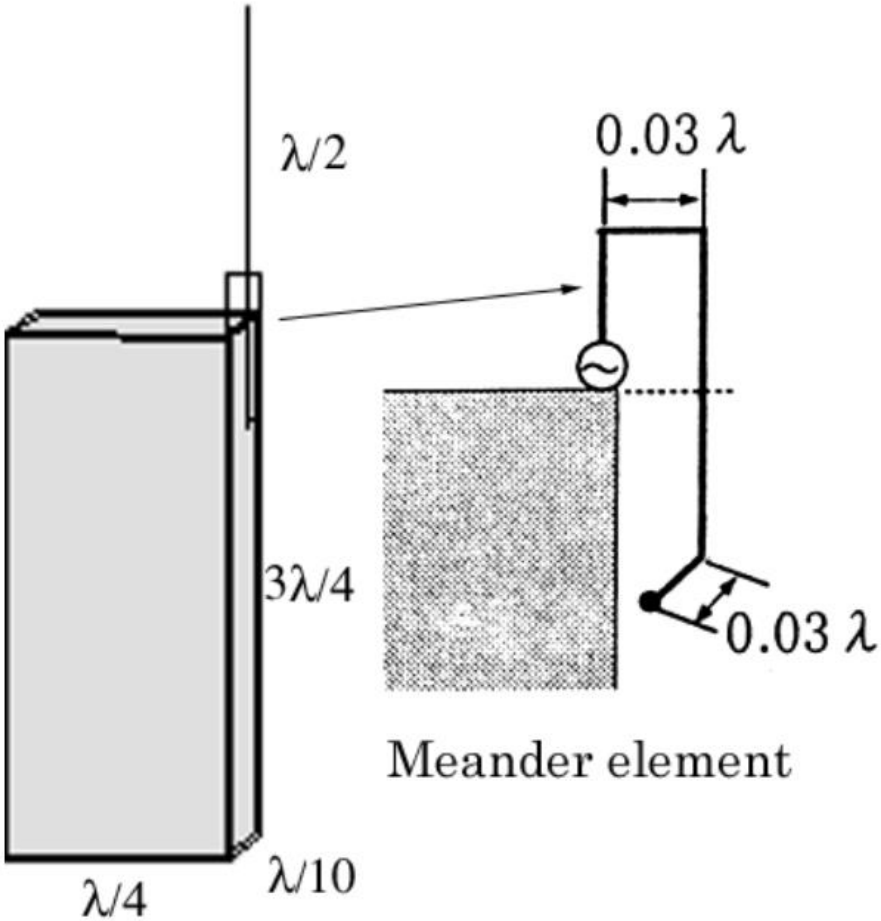


Fig. 20 Half-wavelength monopole antenna fed by meander element [65].

[65] N. Odachi, S. Sekine, H. Shoki and Y. Suzuki, “A rod antenna with a meander element for handheld phone terminal,” Proc. 1999 Commn. Society conf. IEICE, IEICE Japan, B-59, pp.59, 1999 (in Japanese)

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

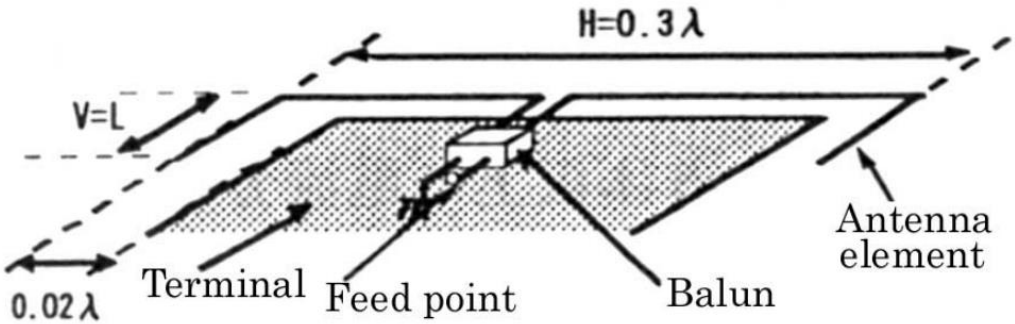


Fig. 21 built in type dipole antenna [67].

[67] K. Egawa, T. Oga and H. Itoh, “Radiation characteristic of U-dipole antenna for cellular phone,” Proc. 2000 IEICE general conf., IEICE Japan, B-1-123, pp.123, 2000 (in Japanese)

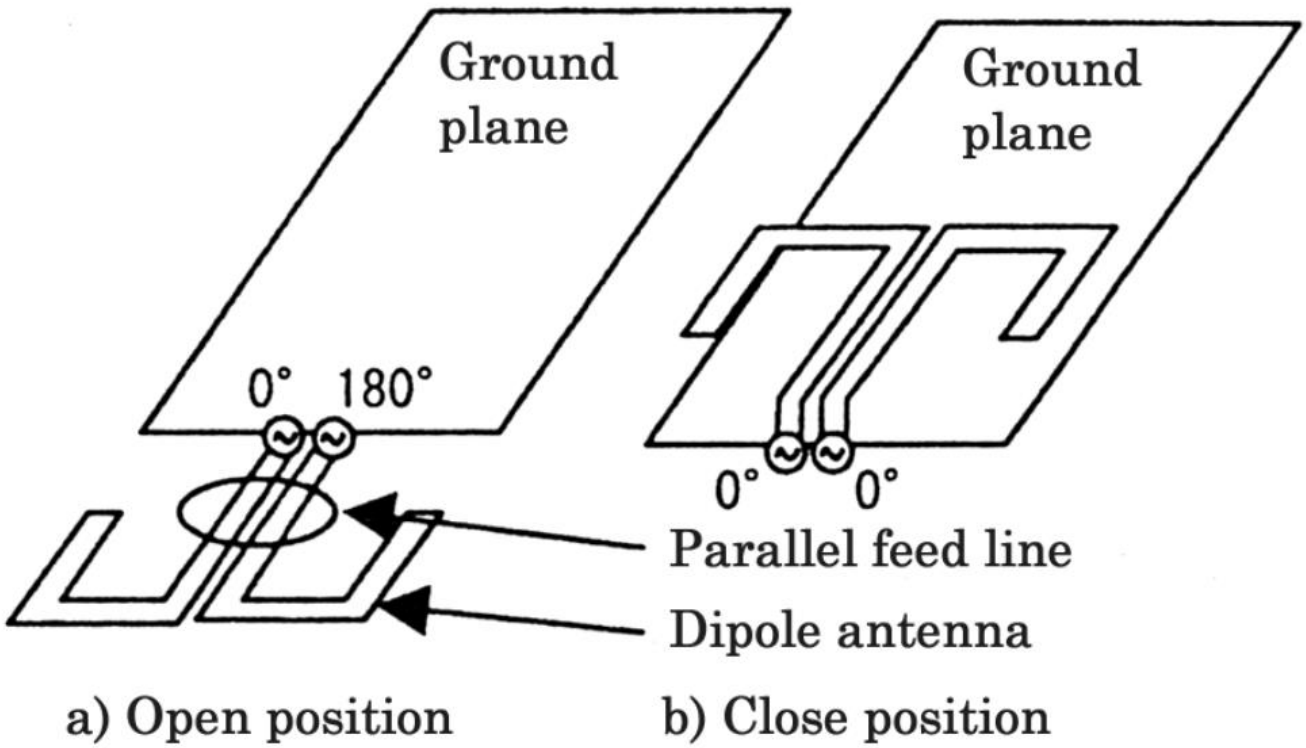


Fig. 22 built in type dipole antenna on terminal flip [68].

[68] T. Fukasawa, Y. Nishioka, H. Ohmine and S. Urasaki, “Characteristics of dipole antenna built in flip of dipole telephone “, Trans. IEICE vol.J85-B no.6, pp.941–952, June 2002 (in Japanese)

2．携帯端末用アンテナの変遷-他の内蔵型アンテナ

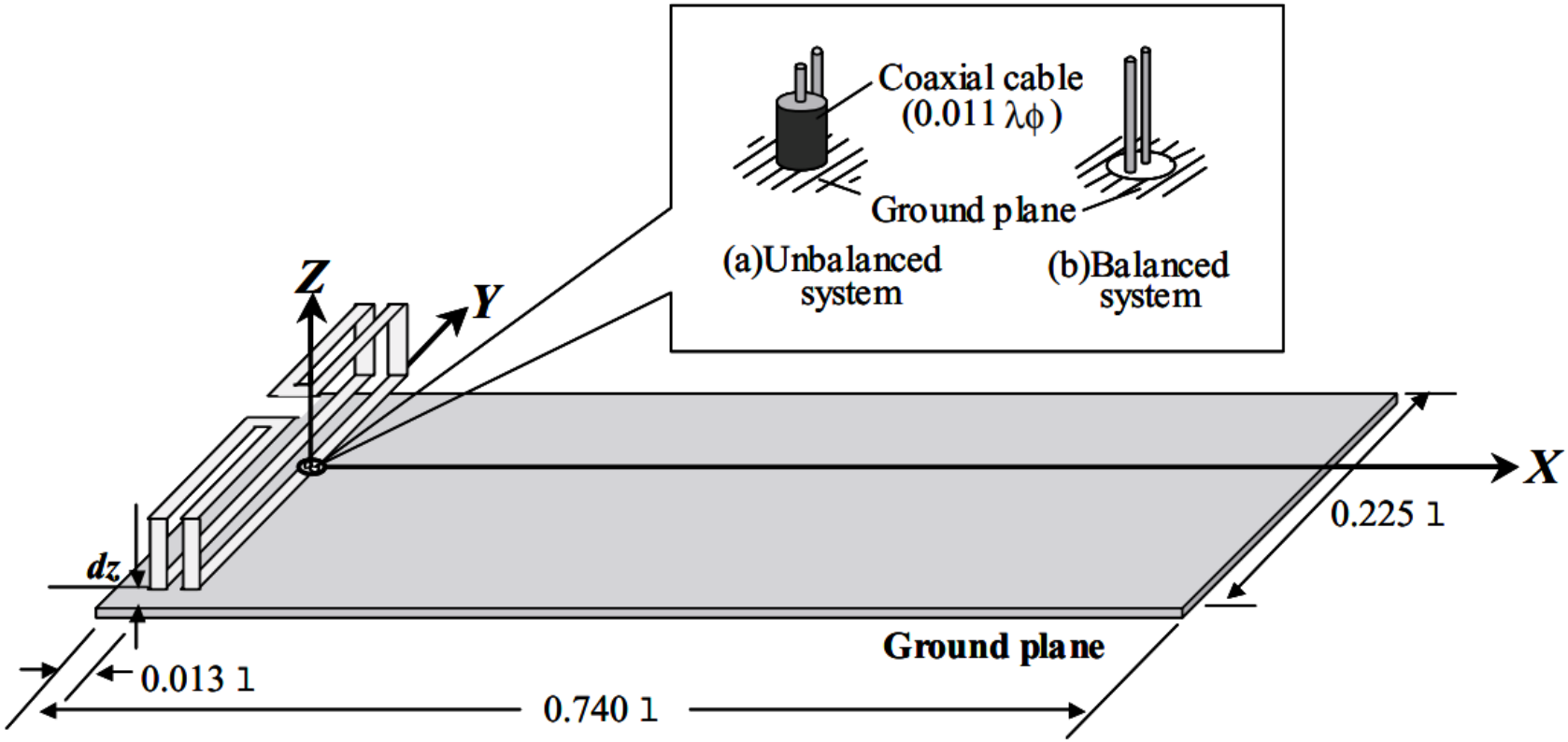
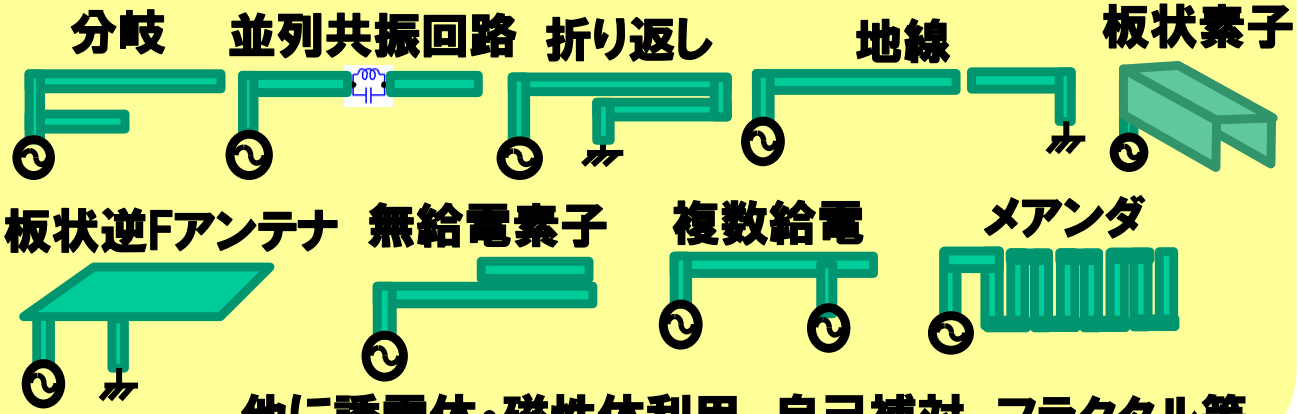


Fig. 23 Built-in folded dipole antenna [70].

[70] Y. Kim, H. Morishita, Y. Koyanagi and K. Fujimoto, “A folded loop antenna system for handsets design developed and based on the advanced design concept,” IEICE Trans. Commun., vol.E84-B, no.9, pp.2468–2475, Sept. 2001

携帯電話用アンテナにおける小型・広帯域化手法の一例

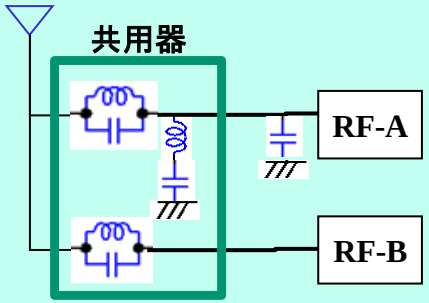
アンテナ素子自体を小型化



他に誘電体・磁性体利用、自己補対、フラクタル等

素子共用

GPS-WLAN/BT統合、
DTV-BT統合等

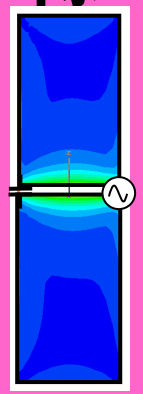


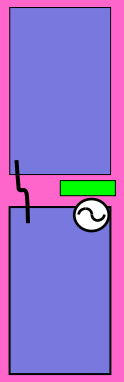
周辺部品やGND活用

筐体
ダイポール

ヒンジ
アンテナ

印刷
アンテナ

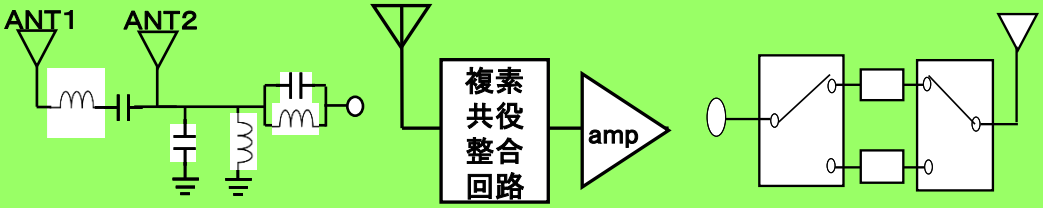




他にスピーカー一体アンテナ等

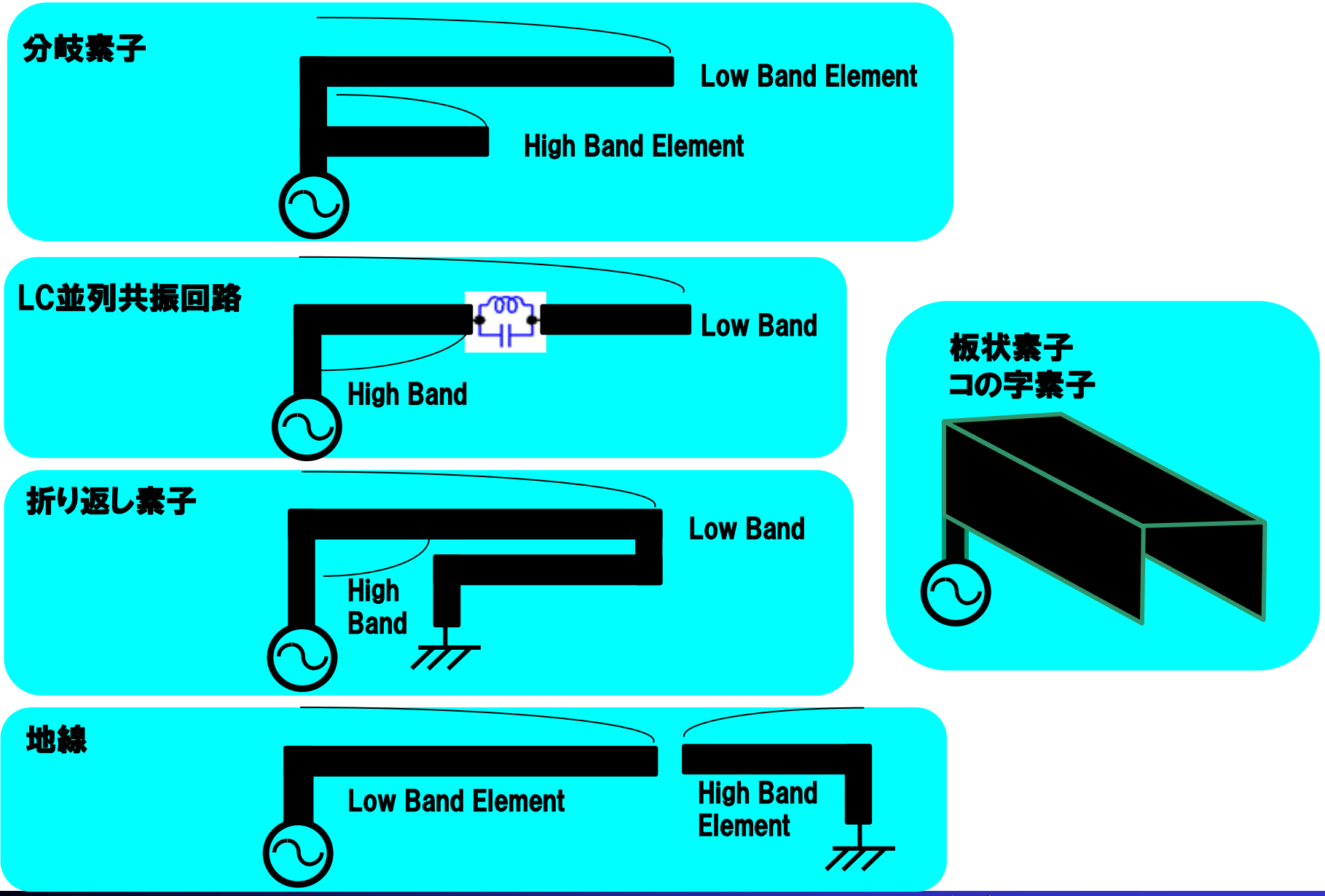
広帯域整合・整合切り替え

多共振整合回路　LNA共役整合　整合切り替え



他にMEMS装荷素子等

（小型・広帯域化技術）アンテナ素子自体を小型化した例



セルラ端末用アンテナにおける課題

小型・高利得・広帯域　はいつの時代も変わらない要求。ただし中身は大きく変化

30年前	
システム	アナログ(第1世代)→PDC(第2世代)
アンテナへの要求	アンテナサイズ:3.5cc(ストレート端末) 高利得化:空間ダイバーシチ、収納時利得(待受け利得) 広帯域化:800MHz→800MHz/1.5GHzデュアル化
主要技術	伸縮式ホイップアンテナ、背面設置板状逆Fアンテナ
モデル例	アナログMova(1991年)、デジタルMova(1993年)

20年前	
システム	PDC(第2世代)→WCDMA(第3世代)
アンテナへの要求	アンテナサイズ:2cc(折りたたみ形状)、ホイップレス 高利得化:通話時性能、閉じ利得、鉄板上利得、SAR対応 広帯域化:2G/1.7GHz対応、GPS対応、BT対応、DTV対応
主要技術	筐体ダイポールアンテナ、DTV用アンテナ
モデル例	P505is(2003年)、P901iTV(2006年)

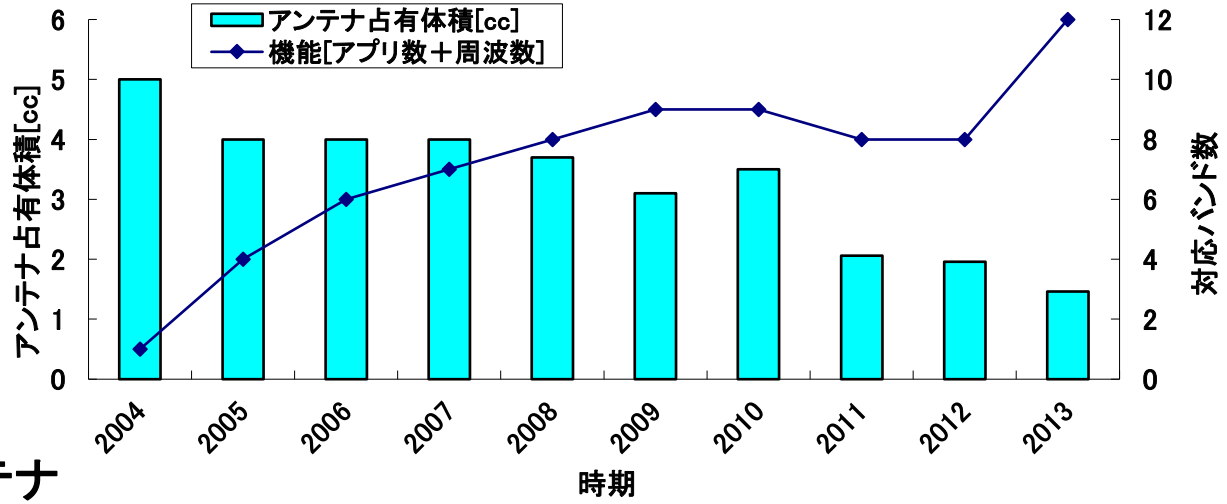
セルラ端末用アンテナにおける課題

10年前	
システム	WCDMA(第3世代)→LTE(第4世代)
アンテナへの要求	アンテナサイズ:1.5cc(スマホ形状) 高利得化:MIMO、ファントムOTA対応、BodyWornSAR 広帯域化:700M/800M/1.5G/1.7G/2G対応、CA対応 WLAN対応、MM放送対応、無接点充電、NFC対応
主要技術	筐体印刷アンテナ、周波数切替アンテナ、デカップリング
モデル例	i-Phone5s、Galaxy-s4、Xperia-Z、ELUGA-P

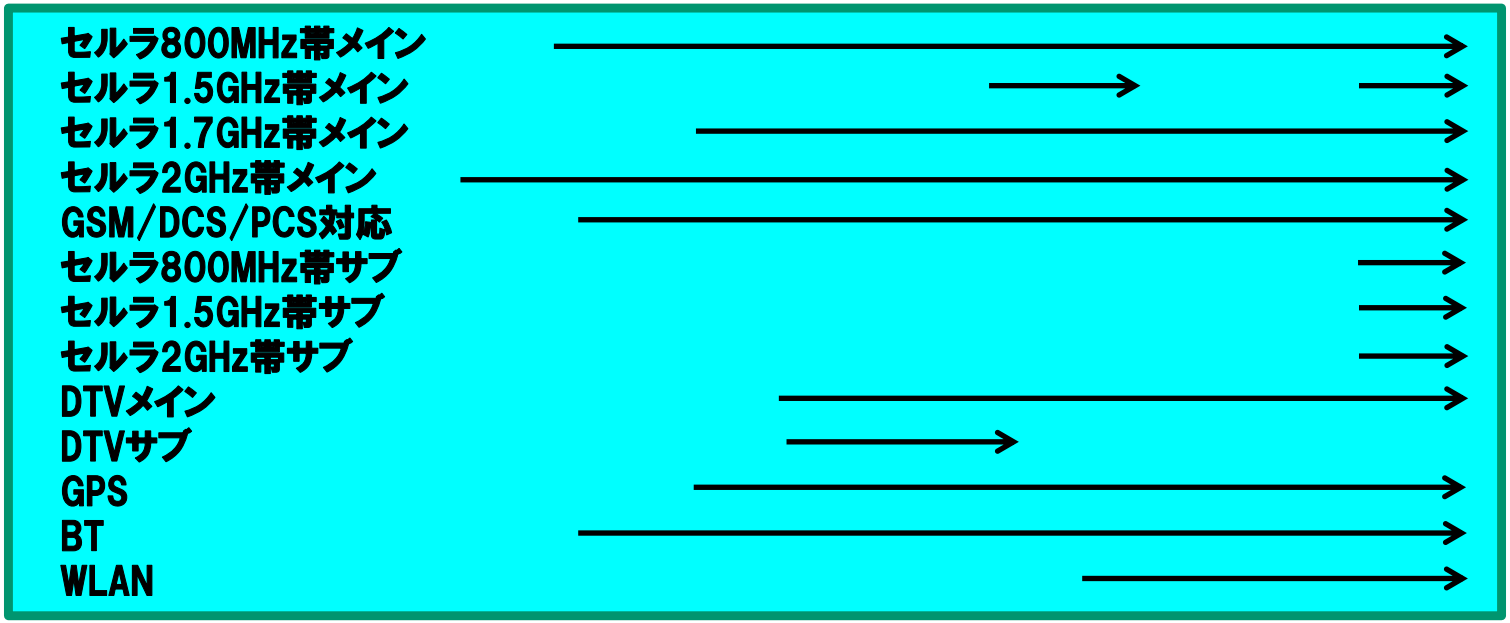
現在	
システム	LTE(第4世代)→第5世代、ミリ波、スモールセル、 4×4 MIMO
アンテナへの要求	アンテナサイズ:1.5ccより大(MIMO導入のため) 高利得化:MIMO、ファントムOTA対応、BodyWornSAR 広帯域化:3.7G/4.5G/28G対応、CA対応、WLAN対応、 無接点充電、NFC対応
主要技術	筐体印刷アンテナ、周波数切替アンテナ、デカップリング、 低電力化
モデル例	iPhone13 Pro Max、Galaxy S22 Ultra、 Xperia 1 III、Xiaomi 11 Ultra

セルラ端末用アンテナの小型・高機能化の推移

背景：対応周波数・増加無線システム数増加　&　端末の小型薄型化が進む



搭載アンテナ



2.4　現在及び今後の動向

- MIMO用多素子アンテナ
- 多素子のデカップリング手法
- 広帯域・小型・高利得に加え、耐環境性
- 透明アンテナ

END

ご清聴有難うございました！

Thank you for your kind attention！