



「基礎から理解する小形アンテナの動作原理」

小形アンテナの動作原理を理解することをねらいに、小形・平面アンテナの基礎理論を整理し、広帯域化、マルチバンド化の理論と設計について説明する。

小形アンテナの動作原理

- 第2章「放射の基礎」、第3章「アンテナ特性とQ値」

小形・平面アンテナの基礎理論

- 第4章「代表的な小形アンテナとQ値」

広帯域化、マルチバンド化の理論と設計

- 第5章「広帯域化とマルチバンド化」

ワークショップの目的(2/3)



基礎から理解する 小形アンテナの動作原理

第1章 まえがき

第2章 放射の基礎 小形アンテナからの放射および回路との関連の基礎
微小電気・磁気ダイポールによる電磁界, 指向性, 利得, 放射効率, インピーダンスなど

第3章 アンテナ特性とQ値 小形アンテナのQ値に関する基礎 **Q値を理解する**
インピーダンスと帯域, 利得と放射効率, ダイポールとループのQ値と放射効率, 下限Q値など

第4章 代表的な小形アンテナとQ値 各種小形アンテナのQ値 **Q値を求める**
無負荷・負荷Q値, 外部Q値, 整合回路, 逆L, ヘリカル, メアンダライン, 板状逆Fなど

第5章 広帯域化とマルチバンド化 Q値に基づく設計の基礎 **Q値を使う**
直列・並列共振アンテナの広帯域化, マルチバンド化, 逆L, パッチアンテナの設計例など

第6章 あとがき

ワークショップの目的(3/3)



小形アンテナのQ値を理解し、求め、使う

アンテナのQ値とは何か？

- 放射および損失電力に対する蓄積電力の割合 ⇒ 電力(エネルギー)との関係

Q値はどうすれば求められるか？

- アンテナサイズから求まる
アンテナ特性から求まる ⇒ 小型化の限界

Q値は何に使えるか？

- アンテナ設計に使える
インピーダンス, 帯域, 放射効率との関係
広帯域化, マルチバンド化への応用

アンテナ
サイズ

放射特性

- ・放射パターン
- ・利得 G
- ・放射効率 η



回路特性

- ・インピーダンス Z
- ・帯域 B

小形アンテナの動作原理がわかる
小形アンテナが設計できる
広帯域化, マルチバンド化の設計ができる

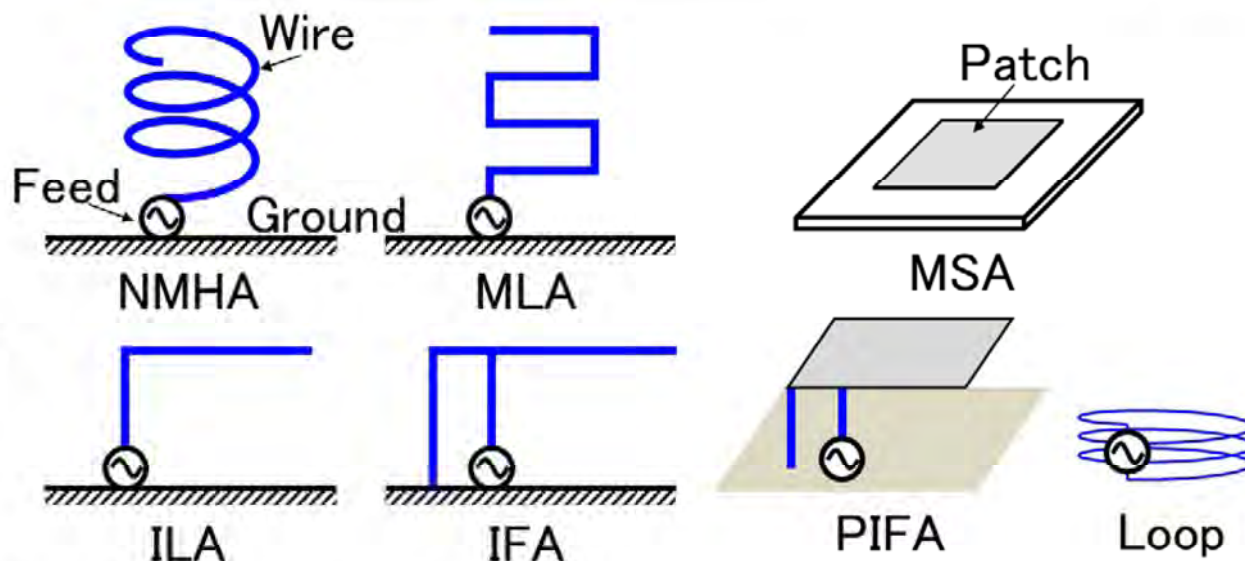
小形アンテナの

- ✓ 初期検討に生かす
- ✓ 理論的考察に生かす
- ✓ 研究, 設計に生かす

各種の小形アンテナ



- ヘリカル, メアンダライン, 逆L, 逆Fなど, 様々な形状
- 通常, 4分の1波長の導体長(モノポールタイプ) ⇒ 共振する長さ
- 地板(GND)も放射に寄与 ⇒ 影像(イメージ)
- ダイポール形状も有り



NMHA : Normal mode helical ant. MSA : Microstrip ant.
 MLA : Meander-line ant. PIFA : Planar inverted-F ant.
 ILA : Inverted-L ant.
 IFA : Inverted-F ant. 図 1.2 各種の小形アンテナ, p.2

小形アンテナの分類^[1]

物理的小形, 電気的小形, 機能的小形, 寸法制約付き小形

- 機能的小形アンテナ: アンテナの寸法に対する特性や機能の数による
- 寸法制約付き小形アンテナ: アンテナ寸法の一部が電気的小形に制約

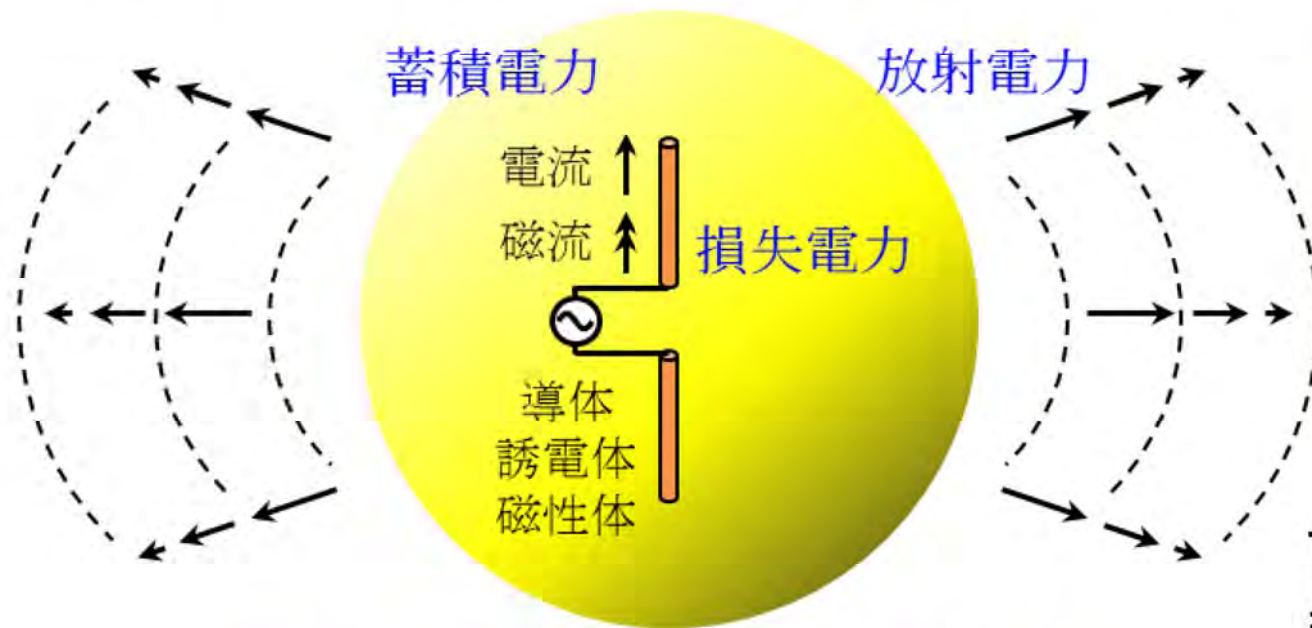
[1] K. Fujimoto and H. Morishita, *Modern Small Antennas*, Cambridge, 2013.

アンテナによって生じる電力



- 蓄積電力, 損失電力, 放射電力からなる
- 蓄積電力: アンテナの周りに蓄えられるリアクタンス成分
- 損失電力: 導体, 誘電体, 磁性体等アンテナ構造物による熱損失
- アンテナのQ値: 放射および損失電力に対する蓄積電力の割合

放射に寄与しない成分



アンテナのQ値

$$Q = \frac{\text{蓄積電力}}{\text{放射電力} + \text{損失電力}} = \frac{\omega_0 W}{P_r + P_L}$$

アンテナを小さくすると...
 ⇒蓄積(大) 放射(小) 損失(大)
 ⇒いかにして小さいQ値を得るか?

図1.4 アンテナによって生じる電力, p.5

小形アンテナのサイズ



- アンテナサイズ
⇒ ka により評価
- アンテナを取り囲む球の半径 a [m]
- 電気的サイズ ka
⇒ 波数によるサイズ
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ [rad/m]}$$
- アンテナサイズ $ka \leq 1$ となる小形アンテナ
 - 逆L, 板状逆F, メアンダライン, ヘリカルなど

本ワークショップで扱う
アンテナ例

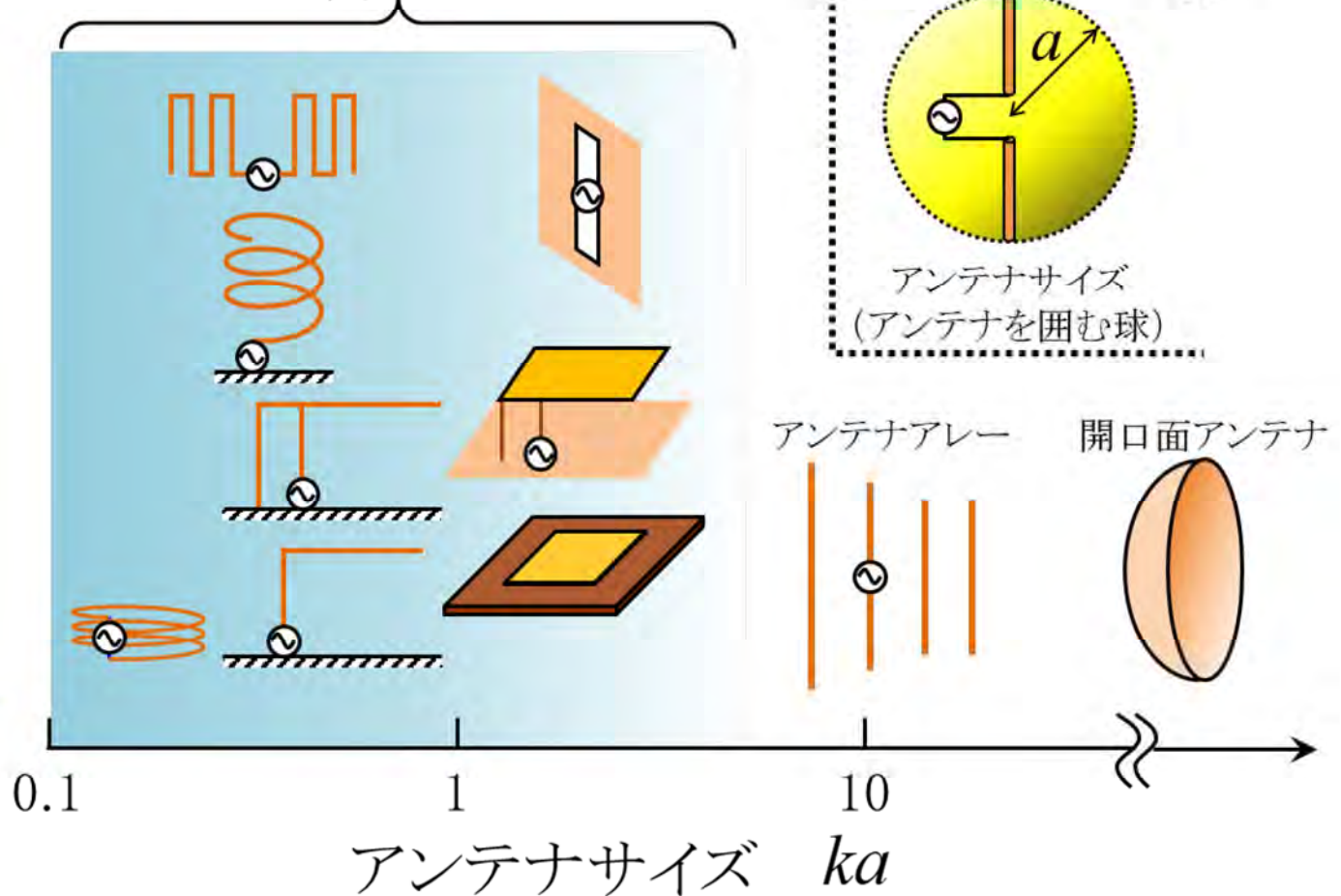


図1.5 小形アンテナのサイズ, p.6

第3章 アンテナ特性とQ値



3.1 小形アンテナの特性

3.1.2 利得と放射効率 p.41, 式(3.3)~

➤ 利得

式(2.47)と同じ: 動作利得 G_w

$$G_w = \eta (1 - |\Gamma|^2) G_d$$

放射効率 反射係数 指向性利得

➤ 放射効率 放射抵抗

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_L} = \frac{Q}{Q_r}$$

全体Q値 放射のQ値

損失抵抗

➤ 全体のQ値

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_L}$$

Q_r : 放射のQ値
 Q_L : 損失のQ値

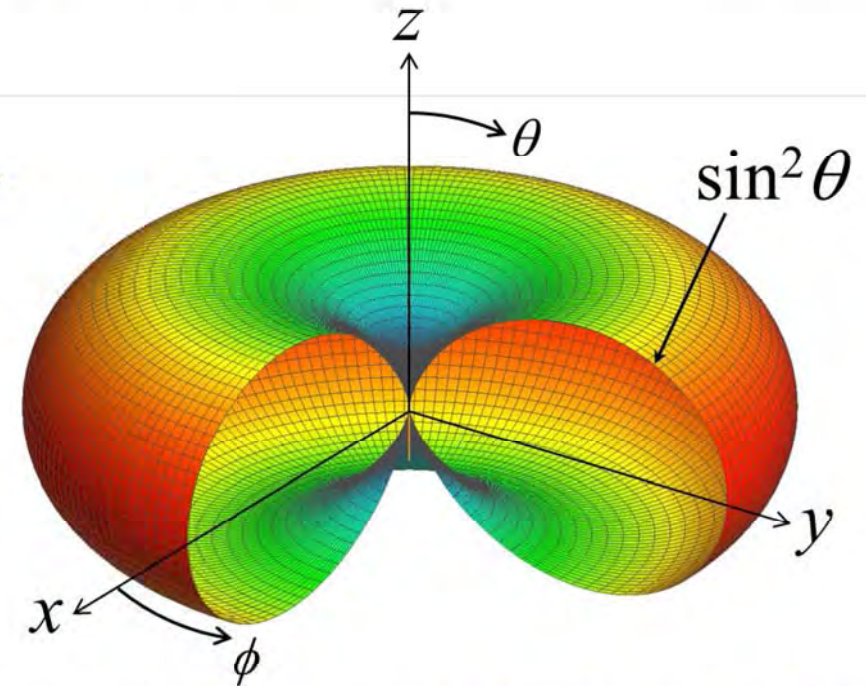


図3.2 小形アンテナの放射パターン, p.41

$Q = Q_r \Rightarrow$ 損失無し, 放射効率 $\eta = 100\%$
 $Q < Q_r \Rightarrow$ 損失有り, 放射効率低下
放射パターンは変わらないが, 利得 (G_w) は小さくなる



3.2 下限Q値

3.2.1 Chu球と近似下限Q値

■ H. A. Wheeler

- Q値の逆数に相当するパラメータ(Radiation power factor, RPF)により論じた(1947年)

⇒ 球状ヘリカルモデルで
下限Q値を導出

$$Q = \frac{1}{(ka)^3}$$

■ L. J. Chu

- 球波導関数を用い, Chu球表面からの電磁界によりQ値を導出(1948年)
- Chu球(図3.7): アンテナを取り囲む半径 a の球.
- 球内部の蓄積エネルギーはゼロと仮定
- 球外部の蓄積エネルギーと放射エネルギーが扱われる

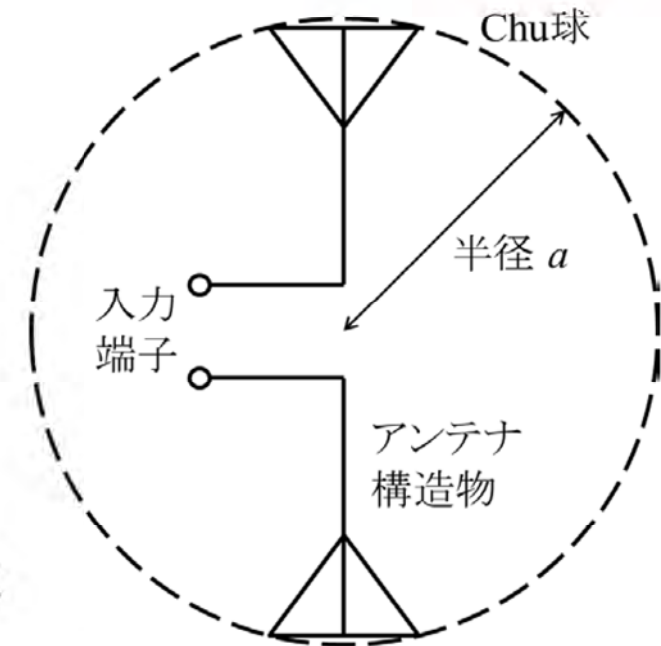


図3.7 Chu球, p.46

下限Q値の導出



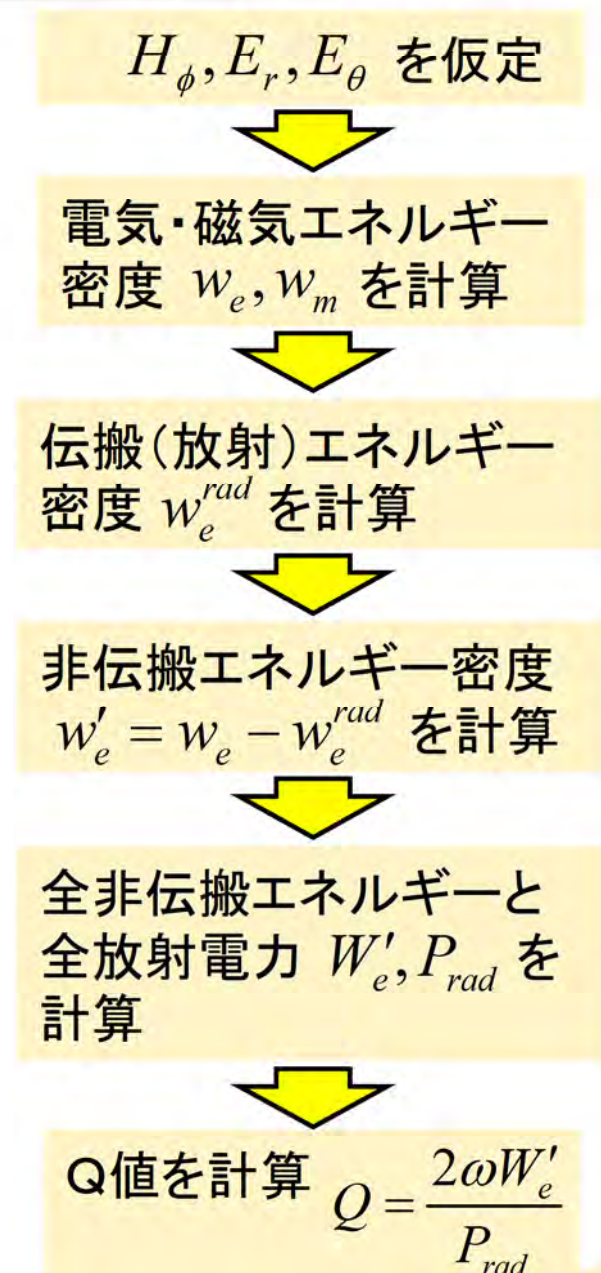
- 下限Q値の導出過程(右のフローチャート)
 - 式については, pp.50-51, 式(3.45)～(3.56)参照
 - ポイントは非伝搬エネルギー密度を, 全体の電気エネルギー密度から伝搬エネルギー密度を差し引くことで求めた点

- TM_{10} モードおよび TE_{10} モードの下限Q値

$$Q = \frac{2\omega W'_e}{P_{rad}} = \frac{1}{k^3 a^3} + \frac{1}{ka} \quad \text{p.51, 式(3.56)}$$

- 円偏波の場合の下限Q値

$$Q = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{k^3 a^3} + \frac{2}{ka} \right) \quad \text{p.52, 式(3.62)}$$



第4章 代表的な小形アンテナとQ値

4.1 無負荷Qと負荷Qおよび外部Q

- アンテナのQ値 ⇒ 無負荷Qで評価
- アンテナと回路を合わせたQ値: 負荷Q
- 回路のQ値: 外部Q

$$\frac{1}{Q_{load}} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_{ext}} \quad \text{p.60, 式(4.1)}$$

↑ 負荷Q ↑ 無負荷Q ↑ 外部Q
 (アンテナのQ値)

- 結合係数 $\beta = \frac{R_g}{R_r}$ 式(4.2)

⇒ アンテナと電源回路との結合(整合)状態を表す

- $\beta = 1$ の場合: 臨界結合, 完全に整合が取れている場合

$$Q_{load} = \frac{Q_r}{2} = \frac{Q_{ext}}{2} \quad \text{式(4.3)}$$

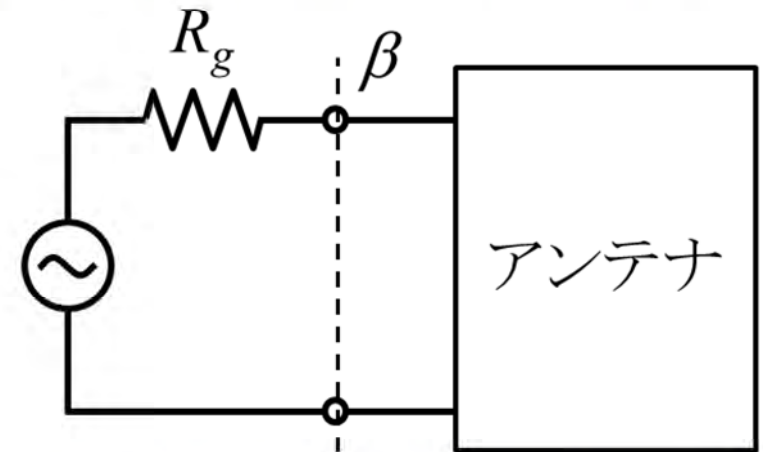


図4.2 アンテナと電源回路, p.60

- $\beta > 1$: 過結合, $\beta < 1$: 疎結合

$$Q_r = (1 + \beta)Q_{load} \quad \text{式(4.4)}$$

$$Q_{ext} = \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)Q_{load} \quad \text{式(4.5)}$$

- 小形アンテナでは整合の問題が重要
- 回路を合わせた負荷Qの場合は要注意



5.1 下限Q値と従来の研究例

- D. F. Sievenpiperらのグループによる論文
- 110件の論文 (IEEE Trans. AP) についてアンテナサイズ ka に対する比帯域幅 B と放射効率 η との積 ($B\eta$ 積)
- $B\eta$ 積の計算式 (5.1)

$$B\eta = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{1}{ka} + \frac{1}{n(ka)^3} \right)^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2}Q}$$

p.106
式(5.1)

- n はTE, TMのモード数 ($n=1$ または 2)

- Linear (直線偏波) タイプのアンテナ16件について比較

※ $B\eta$ 積による評価のほか, GB 積 (利得・帯域積), 正規化電氣的体積による評価がある[1].

[1] 新井宏之, “小形アンテナ: 小形化手法とその評価法,” 信学論B, vol.J87-B, no.9, pp.1140-1148, Sep. 2004.

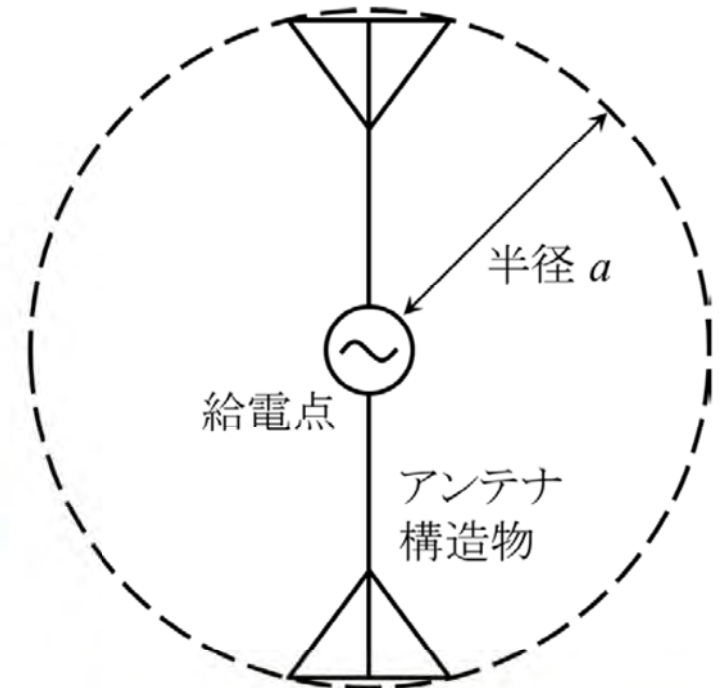


図5.1 半径 a の球に囲まれるアンテナ, p.106

ka に対するQ値



- $B\eta$ 積の理論限界値を超えるプロット(論文のもの)はない
- 分布としては理論限界値のカーブに比較的沿っている
- 最も理論限界値に近い特性を持ったアンテナ ⇒ 2重共振特性のアンテナ(2線式折返しヘリカルアンテナ)

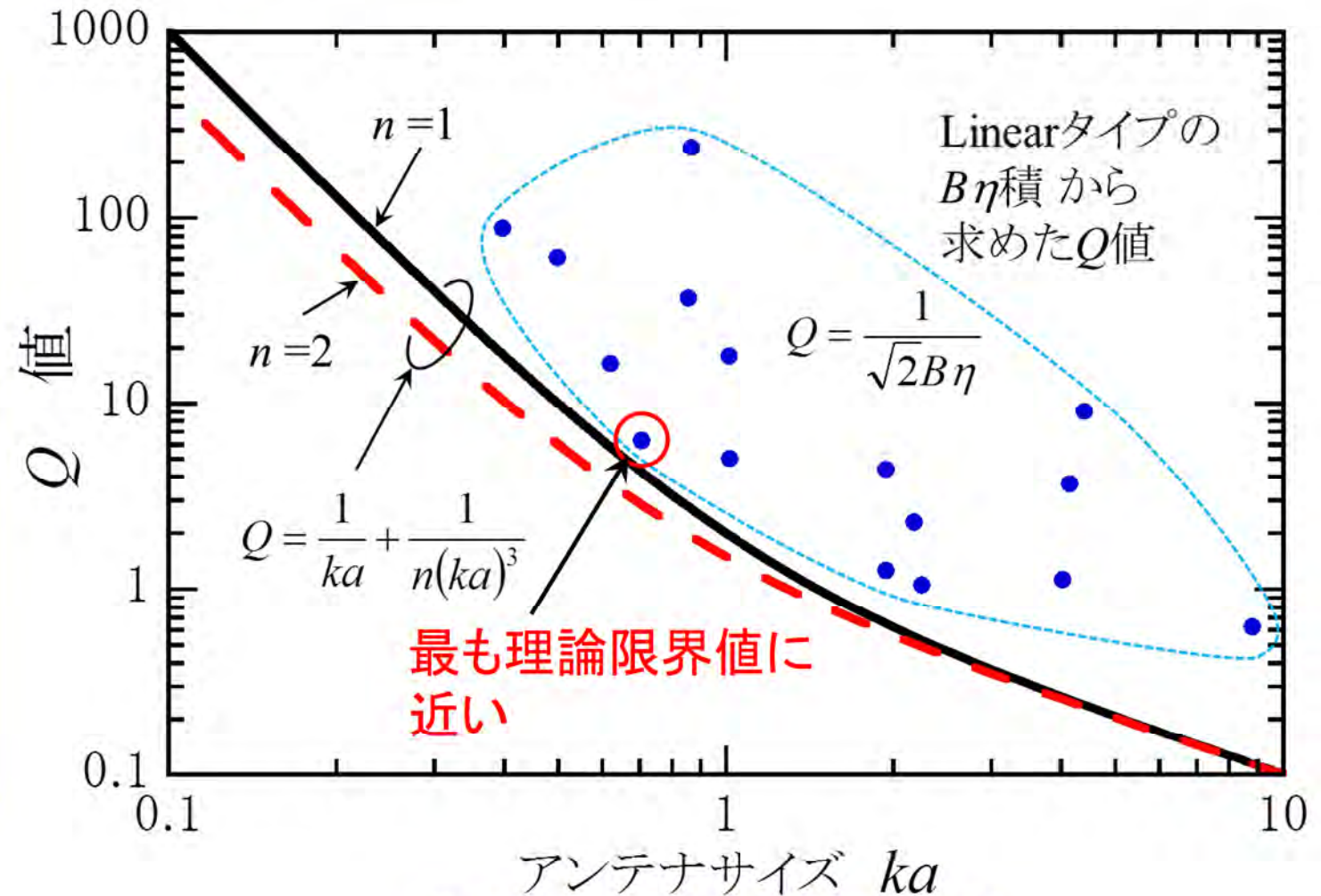


図5.3 ka に対する Q 値, p.107