

ワイヤレス給電 の等価回路抽出法



有限会社ソネット技研
石飛
www.sonnetsoftware.co.jp

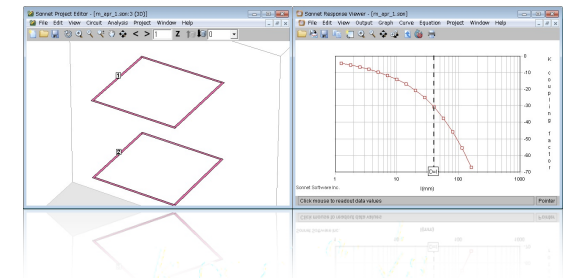
- ☐ 理論
- ☐ 測定部分と負荷条件
- ☐ 測定方法
- ☐ 設計のコツ
- ☐ お勧めプラン



2

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

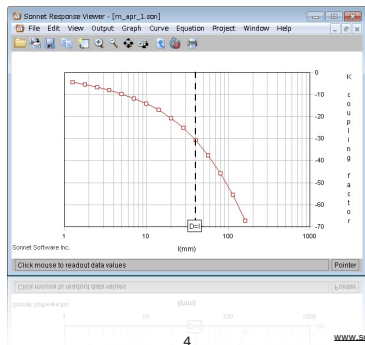
結合は離れると急激に小さくなる



3

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

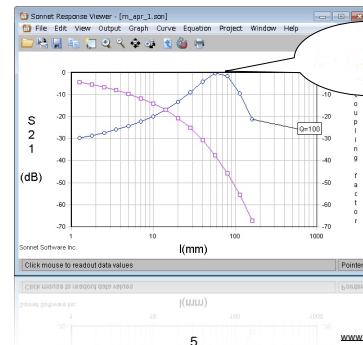
例えば直径と同じ距離で3%



4

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

共鳴ならQでkを補償できる



5

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

等価回路トポロジと素子値



重要なパラメータはQとk

6

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

✓ 理論

✓ Qがkを補償する

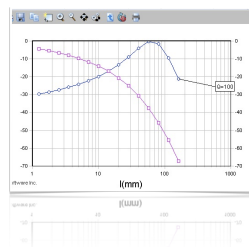
✓ Qとkが重要

☐ 測定部分と負荷条件

☐ 測定方法

☐ 設計のコツ

☐ お勧めプラン



7

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

どこを測定するのか？



現実是非対称だし
負荷の接続で変動する

8

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

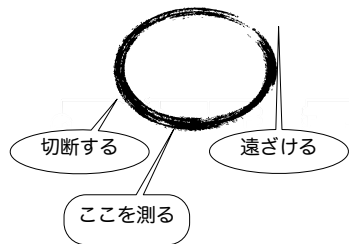
4種それぞれのQと ω_0

	送信側	受信側
無負荷		
負荷		

9

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

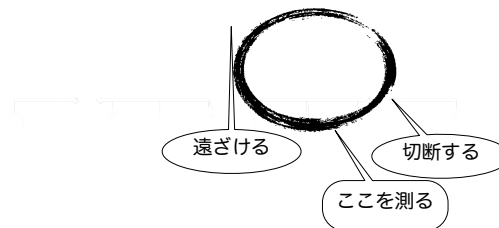
送信側無負荷状態



10

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

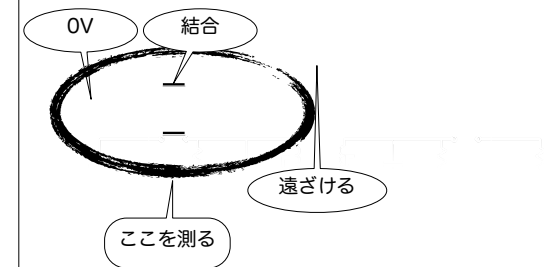
受信側無負荷状態



11

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

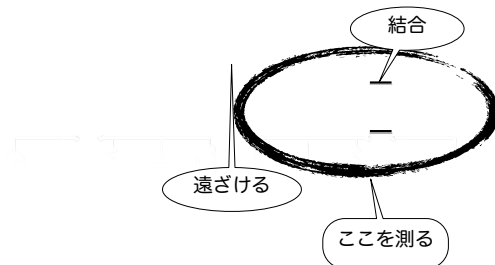
送信側負荷状態



12

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

受信側負荷状態



13

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

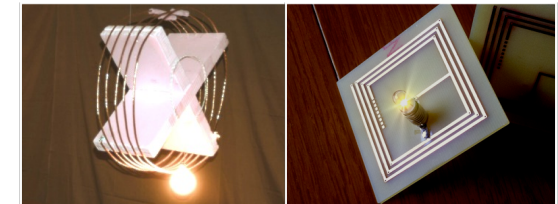
4種それぞれのQと ω_0

	送信側	受信側
無負荷		
負荷		

14

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

負荷との結合構造の実例



MITの磁気結合

タップ結合

15

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

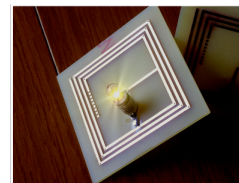
負荷との結合方法

磁気結合	タップ結合	電界結合
調整が楽 固定が難しい	調整が難しい 固定が楽	調整が楽 固定も楽

16

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- ✓ 理論
- ✓ 測定部分と負荷条件
 - ✓ 4つの条件で測る
 - ✓ 適切な負荷結合法
- 測定方法
- 設計のコツ
- お勧めプラン



17

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

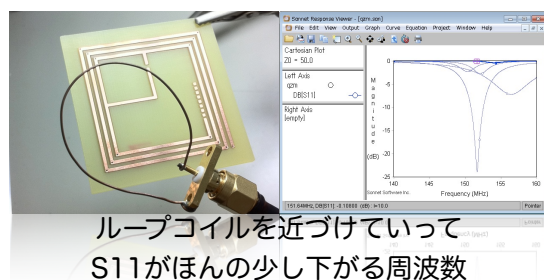
ω_0 測定時の測定器との結合方法

磁気結合	タップ結合	電界結合
測定系50 Ω	測定系50 Ω	測定系50 Ω
疎結合でさえあればよい 磁気結合が一番楽		

18

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

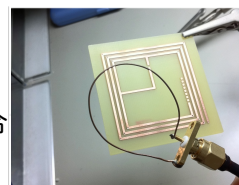
ωo測定の実例



19

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- ✓理論
- ✓測定部分と負荷条件
- 測定方法
- ✓共振周波数は疎結合
- 設計のコツ
- お勧めプラン



20

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

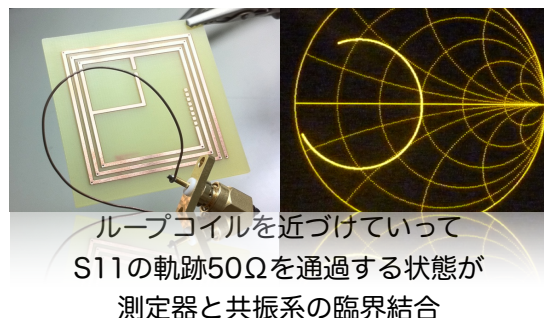
Q測定時の測定器との結合方法

磁気結合	タップ結合	電界結合
測定系50Ω	測定系50Ω	測定系50Ω
測定器と共振系が臨界結合するよう 結合度を調整しなければならない 磁気結合が一番楽		

21

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

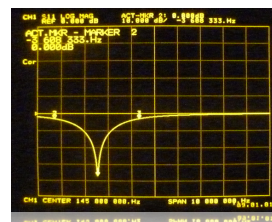
Q測定の実例



22

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

Q測定の実例



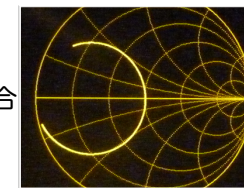
共振系のQは
 $Q = 2 F_o / BW$

S11が-3db以下になる帯域幅BWと
S11が最小になる中心周波数Fo

23

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- ✓理論
- ✓測定部分と負荷条件
- 測定方法
- ✓共振周波数は疎結合
- ✓Qは臨界結合で
- 設計のコツ
- お勧めプラン



24

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

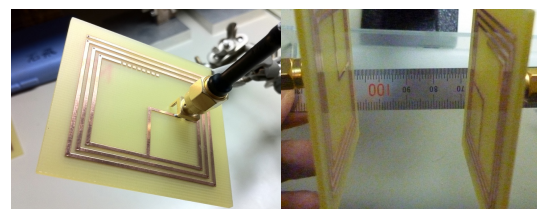
k測定時の測定器との結合方法

磁気結合	タップ結合	電界結合
測定系50Ω	測定系50Ω	測定系50Ω
安定な疎結合でなければならない タップ結合が一番確実		

25

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

kの測定の実例

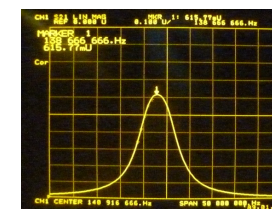


測定器と共振系は安定に結合させ
送受共振系の位置を固定し

26

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

kの測定



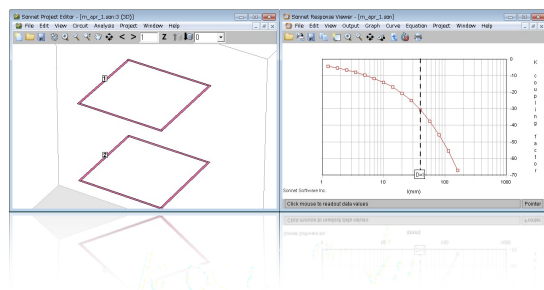
$$20 \cdot \log \frac{2kQ}{1 + (kQ)^2}$$

S21を読み取る
S21とkとQの関係からkを知る

27

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

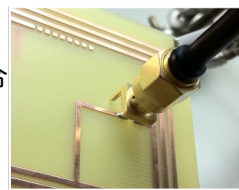
2点測定すれば全体がわかる



28

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- ✓理論
- ✓測定部分と負荷条件
- ✓測定方法
 - ✓共振周波数は疎結合
 - ✓Qは臨界結合で
 - ✓kは安定な結合で
- 設計のコツ
- お勧めプラン



29

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- より高いQを
実現するには**
- ・なるべく大きく作る
 - ・導体損を小さくする
 - 良い導体を使う
 - 表皮深さより厚い太い導体
 - 電流を狭い部分に集中させない
 - 部品を使わない, 特に小さい部品を使わない
 - ・誘電体損を小さくする
 - 空気に近い絶縁体を使う
 - 薄い絶縁体を使う
 - ・放射損を小さくする
 - 波長より十分小さく作る

30

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- MITの優位性**
- ・なるべく大きく作る
 - ・導体損を小さくする
 - 良い導体を使う
 - 表皮深さより厚い太い導体
 - 電流を狭い部分に集中させない
 - 部品を使わない
 - ・誘電体損を小さくする
 - 空気に近い絶縁体を使う
 - 薄い絶縁体を使う
 - ・放射損を小さくする
 - 波長より十分小さく作る, MITの場合波長の2%

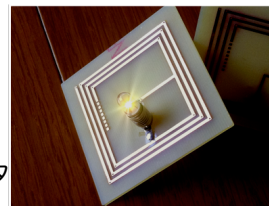


31

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

量産性商品性を考慮すると

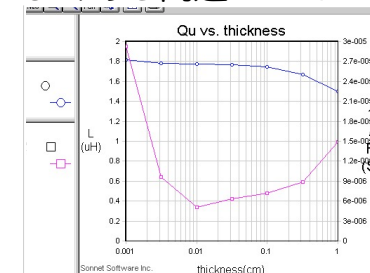
- ・平角銅線
- ・打ちぬき銅板
- ・フレキシ基板
- ・薄型
- ・スパイラルインダクタ
- ・方形インダクタ
- ・タップ結合



32

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

よくある間違い その1

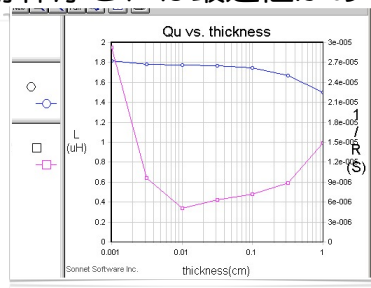


導体は厚いほうが良い

33

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

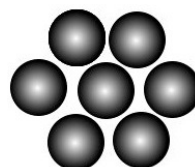
導体厚さには最適値がある



34

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

よくある間違い その2

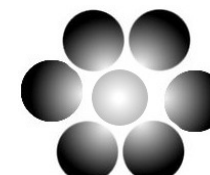


電流は導体の表面を流れるから
リッツ線は抵抗が低い

35

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

よくある間違い その2



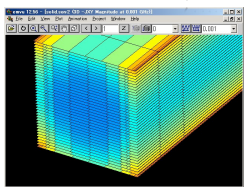
同相の電流は互いに反発するので
リッツ線の抵抗は低い

36

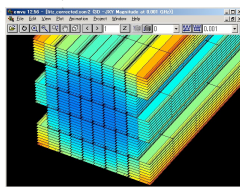
www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

シミュレーション例

(1MHz 0.075mm²)



ソリッド線の
電流密度分布



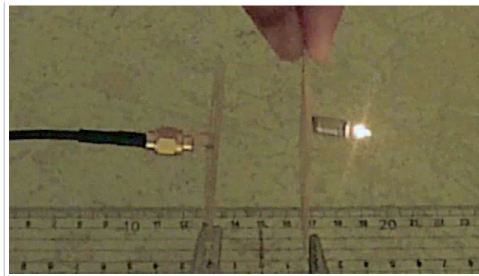
リッツ線の
電流密度分布

37

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

電球を灯す

2010/10/12 千葉県産業支援技術研究所にて



38

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- ✓ 理論
- ✓ 測定部分と負荷条件
- ✓ 測定方法
- ✓ 設計のコツ
 - ✓ MITの実験は最高の条件
 - ✓ 商品化にはシミュレータが必要
- お勧めプラン



39

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

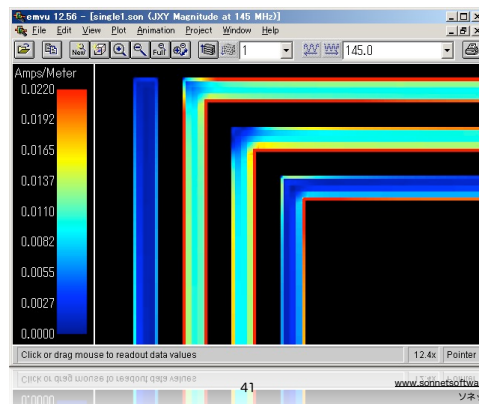
ワイヤレス給電システムに!
平面3次元電磁界シミュレータ 約300万円

ソネットの平面3次元電磁界シミュレータは、電磁界解析方式のワイヤレス給電システムの設計のための設計ツールです。設計の精度を高め、設計の効率を向上させることができます。また、設計の精度を高め、設計の効率を向上させることができます。

✓ 平面解析に適用している ✓ 平面解析で適用できる ✓ 平面解析で適用できる

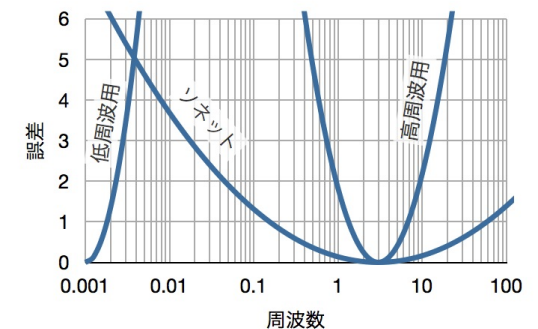
40

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研



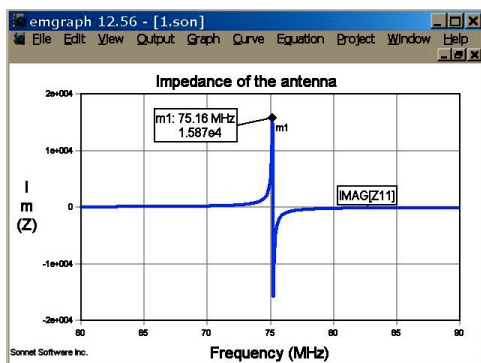
41

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研



42

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研



43

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

- ✓ 理論
- ✓ 測定部分と負荷条件
- ✓ 測定方法
- ✓ 設計のコツ
- ✓ お勧めプラン
 - ✓ Sonnetは導体損を精密に再現する
 - ✓ Sonnetは広い周波数範囲で使える
 - ✓ Sonnetは共振を素早く発見する

44

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研

ワイヤレス給電システムに!
平面3次元電磁界シミュレータ 約300万円

ソネットの平面3次元電磁界シミュレータは、電磁界解析方式のワイヤレス給電システムの設計のための設計ツールです。設計の精度を高め、設計の効率を向上させることができます。また、設計の精度を高め、設計の効率を向上させることができます。

✓ 平面解析に適用している ✓ 平面解析で適用できる ✓ 平面解析で適用できる

まとめ

Qを測って高くしよう
商品化のために工夫しよう

解析に~~350万~~
300まん

45

www.sonnetsoftware.co.jp
ソネット技研