

①ワイヤレス電力伝送概説

非接触給電・ワイヤレス給電

WPT

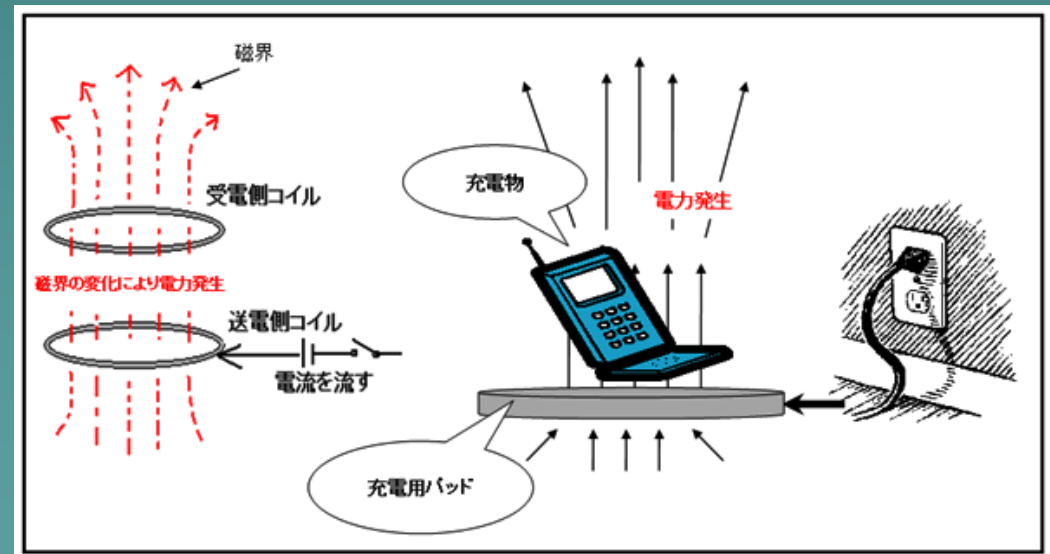
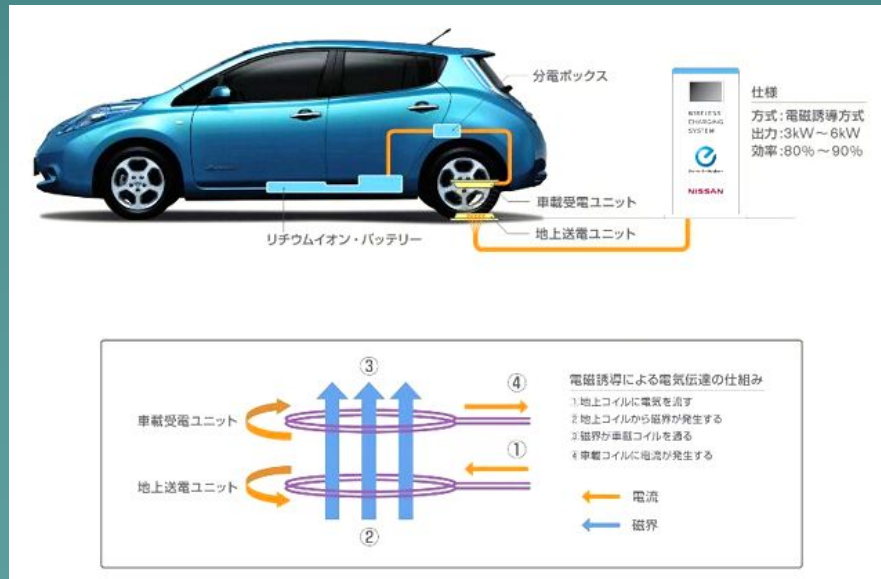
Wireless Power Transfer

ネオテス株式会社
2014年6月14日

ワイヤレス電力伝送 (WPT) とは

- ◆ コンセントや充電コードをなくしてしまう！
 - 2009年(平成21年)5月25日、日本の総務省はワイヤレス電源の実用化の検討として、ほかの家電製品や人体への影響などの調査を経た上で電波の周波数帯割り当て、電波の干渉などの実用化に向けた課題への検討に入ると共に、7月に発表される電波政策懇談会の報告書内容に盛り込み、2015年の実用化を目指している
- ◆ ワイヤレス給電の市場規模、5年後は40倍に！ (※遅れている)
 - 米国の市場調査会社であるIHSが2014年3月13日に発表したレポートによると、スマートフォンやタブレット端末などのモバイル機器に向けたワイヤレス給電システムの市場規模は、今後4年で40倍に拡大する見込みだという

EE Times Japan 2014年03月18日

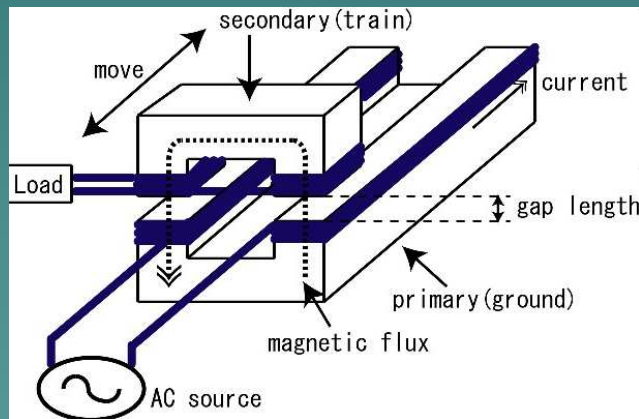




地上送電ユニットに向かって
クルマを駐車します

ワイヤレス電力伝送の方式

- ◆ MI (電磁誘導) 方式とMR (磁界共振) 方式がある
 - MI (電磁誘導) 方式の原理は分解されたトランス
 - MR (磁界共振) 方式の原理は共鳴と言われている
 - マイクロ波による長距離電力伝送は別カテゴリーである

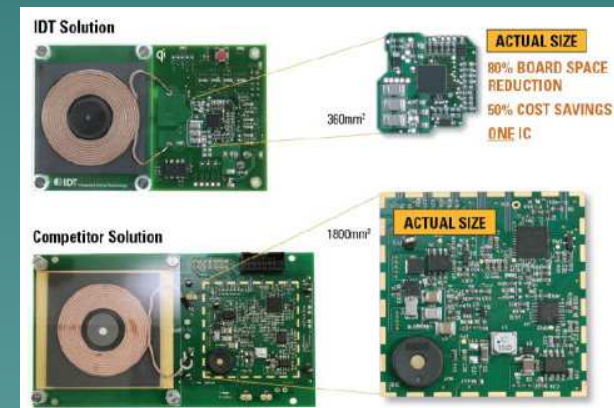


旧来のワイヤレス電力伝送
(電磁誘導方式)

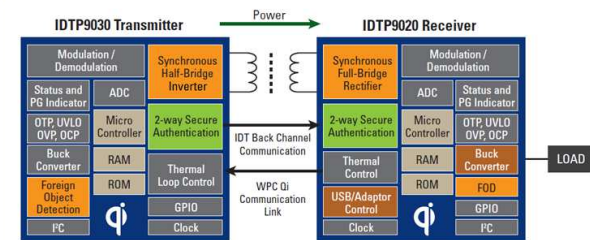
統一規格のQi (チー)



ワイヤレス充電器「Air Voltage」



Wireless Charger System: Transmitter and Receiver Block Diagrams



出典: 日経テクノロジー オンライン

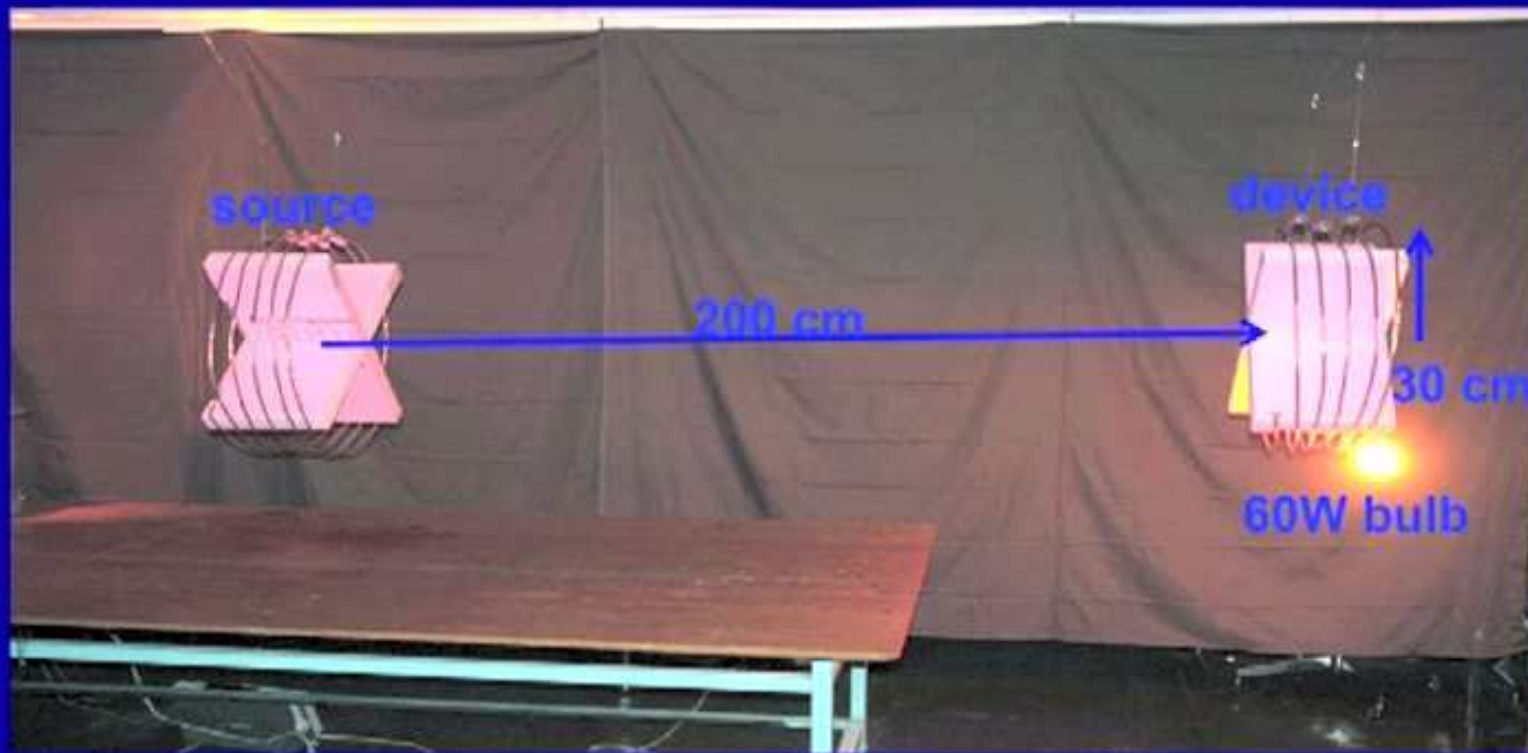
出典: 高速鉄道非接触給電

http://www.kawalab.dnj.ynu.ac.jp/research/power_electronics/Contactless_PS/contactless.html

MITの磁界共振(MR)方式の登場

- ◆ 一次側と二次側とに共振器を置いて共鳴させる

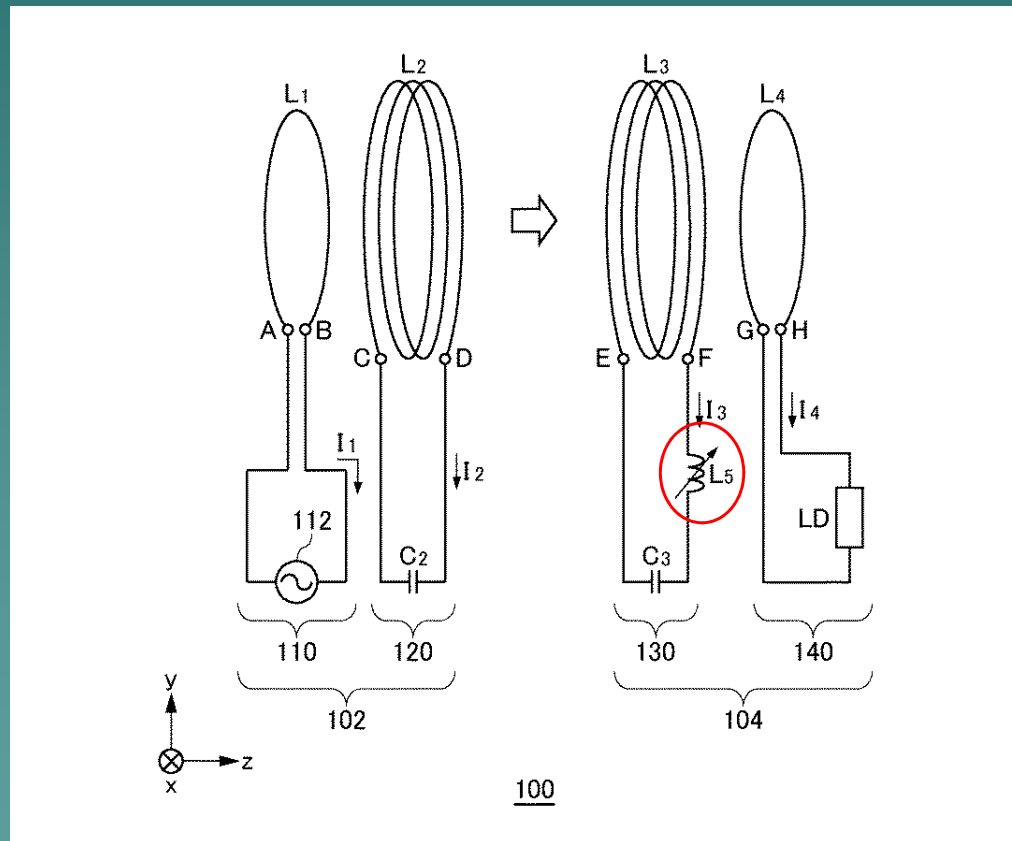
MIT Experiment



MITのMarin Soljačić(教授)はその後WiTricityを設立

磁界共振方式の基本回路

- ◆ 磁界共振方式の代表的な原理図
 - 一次側と二次側と双方に共振コイル 120,130がある
 - 両方の共振周波数を合わせる必要がある



TDK特許5471283号より

伝送距離は幅広く設定可能だ

(設定可能の意味は?)



まず、携帯電話と電気自動車を狙う、CEOが語るWiTricity社の戦略

“ 米WiTricity社は、共鳴現象を利用してワイヤレス送電が可能であることを実証した。米MITの教授のMarin Soljacic氏らが設立したベンチャー企業である。MITから技術ライセンスを受け、2007年に設立した。同社のPresident兼CEOを務めるEric Giler氏に、同社が考える共鳴方式の特徴や現在の開発状況を聞いた。



米WiTricity社President兼CEOのEric Giler氏

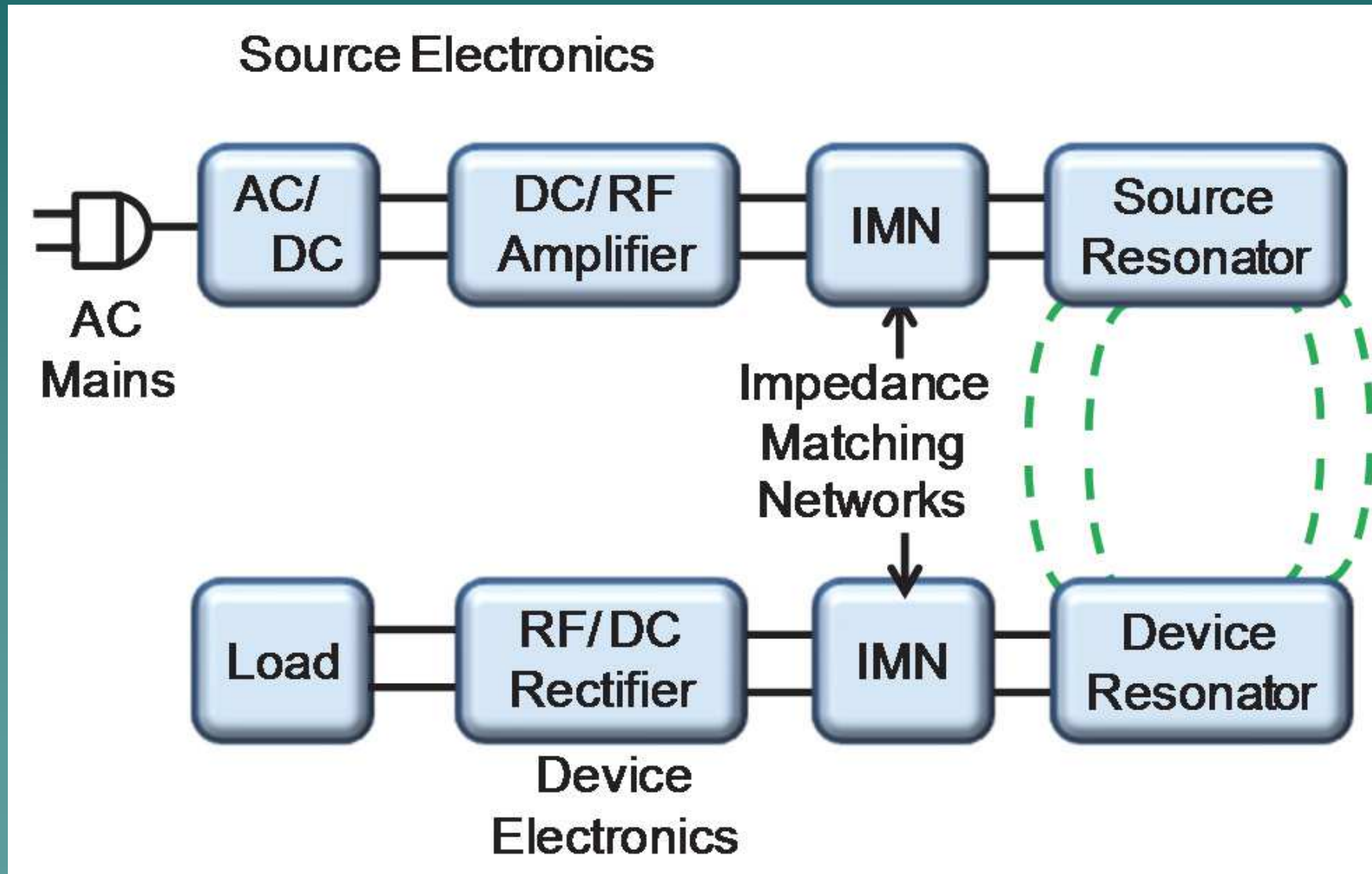
“ EE Times Japan (EETJ) 共鳴方式の特徴は何か。

“ Giler氏 「安全 (Safe)、高効率 (Efficient)、長距離伝送 (Over distance)」の3つが特長だ。しかも、とても「スケーラブル」で使い勝手が高い。ここで言うスケーラブルには、2つの意味がある。

“ 1つは伝送距離についてである。伝送距離は、数cmから数mと幅広く設定可能だ。伝送距離の上限は、実際の最終製品の大きさに依存する。現在のところ、屋外の広い範囲というよりは、部屋の中といったようにある限られた範囲での利用を想定している。

“ もう1つは、送電電力である。送電可能な電力は、数mWから数kWと幅広い。以上のことから、幅広い用途に適用できることが分かるだろう。この2つのポイントは、ほかの技術にはない大きな利点である。

磁界共振 (MR) 方式の構成



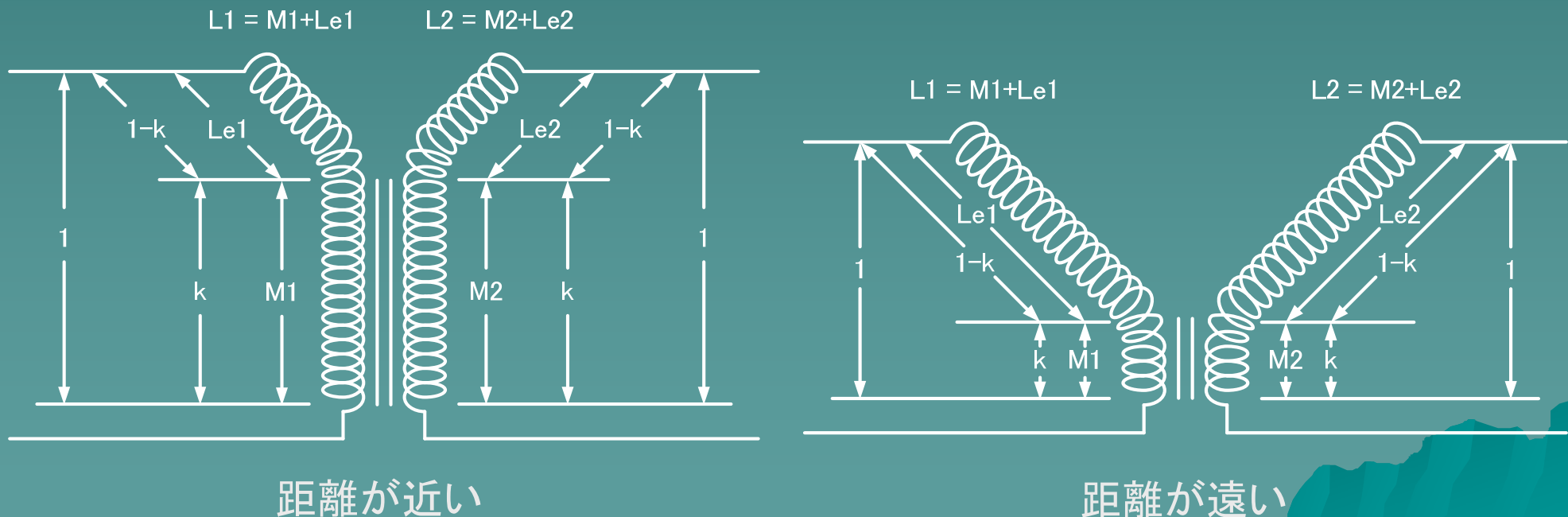
ワイヤレス電力伝送の課題

- ◆ 電磁誘導 (MI) 方式は伝送効率が悪い
 - 概ね55%前後であり、とくに送電コイルの発熱が大きい
 - ◆ 理由は一次コイルの力率が悪く、無効電流が多く、銅損が大きい
 - ◆ 効率を75%まで高めることが当面の課題
 - ◆ 共振を利用すると90%以上に改善 (但しZVS条件が不安定)
 - 大きな電力は送れないので3W程度が限界 (Qi規格)
 - コイル間を よほど近接させないと 電力伝送できない (次動画)
- ◆ 磁界共振 (MR) 方式は効率が良いが ロバスト性が低い
 - 二つの共振周波数を完全一致させなければならない
 - ◆ 共振周波数は コイル間距離によって変化 する
 - コイル間の距離が一定に決まると効率が良い (90%以上)
 - ◆ コイル間の距離や位置の変化に弱い (=ロバスト性が低い)
 - ◆ 距離関係が変わると伝送電力も効率も著しく低下する
 - コイル間の距離を 40cmと設定 すると、30cmにしても50cmにしてもだめ
 - 無負荷時の共振コイル電圧が高くなり過ぎて危険
 - ◆ 実際の負荷は大きく変動するものである
 - ◆ 等価回路上で明らかである (後述)



WPTはどのようにして距離の変化に弱いのか

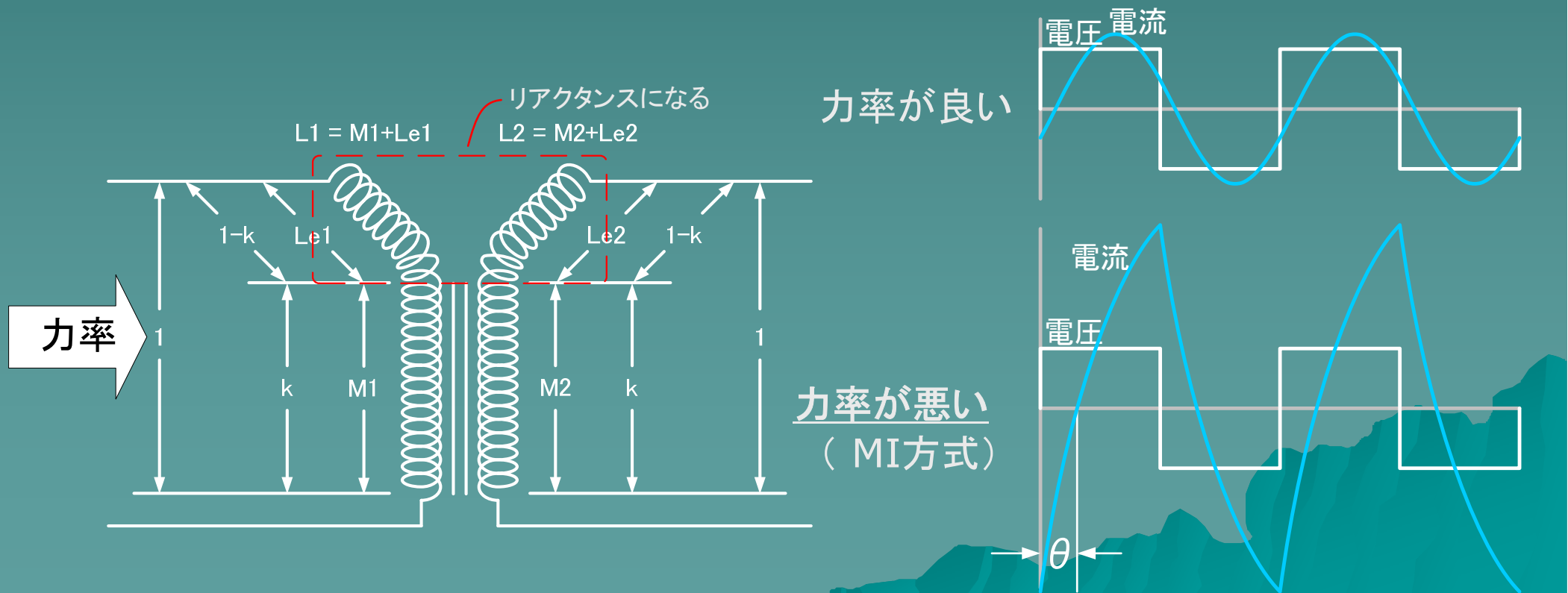
- ◆ 漏れインダクタンス※が大変に大きいし変化する
 - 漏れインダクタンスは電流の阻止成分(リアクタンス $X_L = i\omega L$)である
 - これが大きいと、電力がうまく伝わらない
 - 距離が変わると結合係数 k が変わり漏れインダクタンスも変わる
 - 結合係数が低いとコイルの大半が漏れインダクタンスになる



※ $L_e = (1 - k) \cdot L_2$

MI(電磁誘導)方式はなぜ効率が悪い

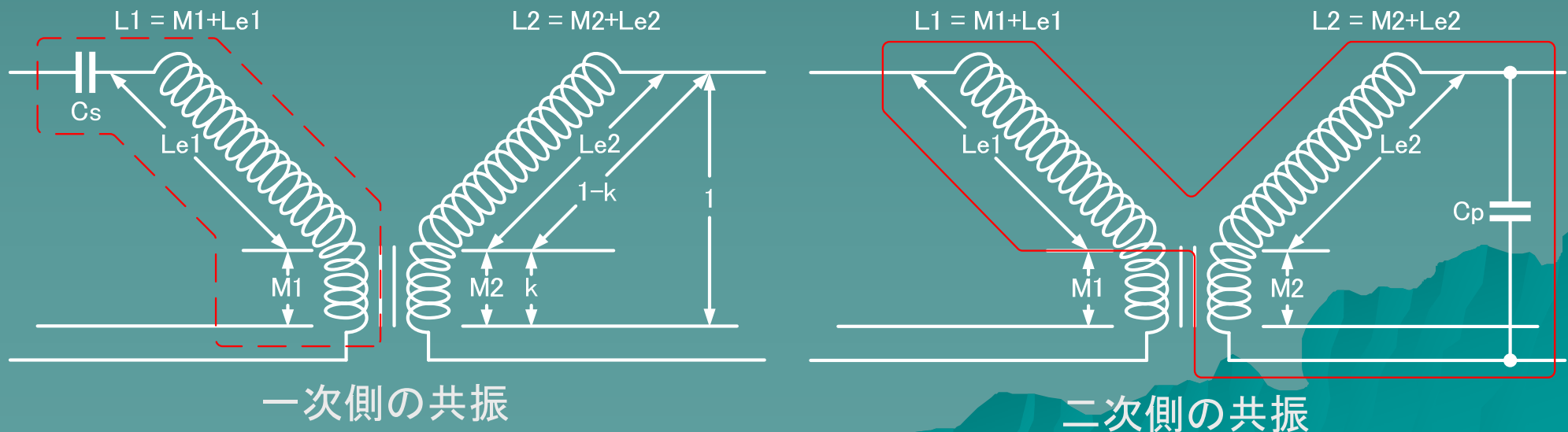
- ◆ リアクタンスが大き過ぎて力率が悪い
 - 誘導リアクタンス成分が大き過ぎると(一次側)電流位相が遅れる
 - 電圧位相と電流位相は近いほうが良いが..
 - 力率 = $\cos\theta$ 、力率が悪い = (一次側)無効電流が多い
 - 銅損が増える = (一次側)発熱する = 効率が悪い
 - 一次コイル、二次コイルが近くにならないとだめ



MR(磁界共振)方式はなぜロバスト性が悪いのか

- ◆ 一次側の共振周波数は変化しない
 - 結合係数が変わっても共振周波数は変化しない
 - 一次側の共振は一次側コイルのインダクタンスと一次側共振容量との共振
- ◆ 二次側の共振周波数は変化する
 - 結合係数が変わると共振周波数も変化する
 - 二次側の共振は二次側漏れインダクタンス*と二次側共振容量との共振
- ◆ 一次二次双方の共振条件が一致するのは、予め決められた距離だけ
 - コイル間距離が遠くても近くても共振条件が不一致になる
 - 一次側の等価回路と二次側の等価回路とはシンメトリーではない

$$\text{※ } L_{sc} = (1 - k^2) \cdot L_2$$

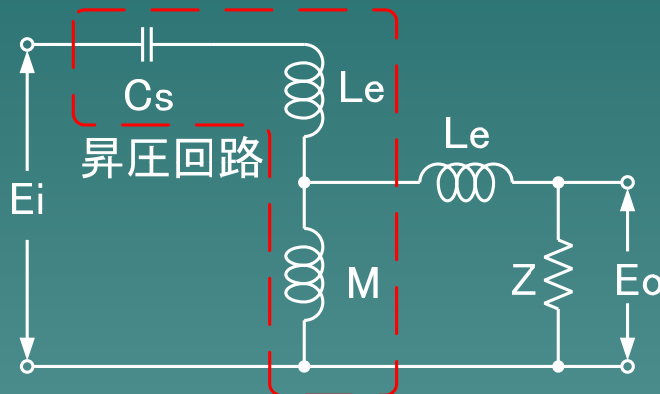


MR方式の一次側と二次側の共振昇圧

◆ 一次側はSPLRである

- Serial Parallel-Loaded Resonance

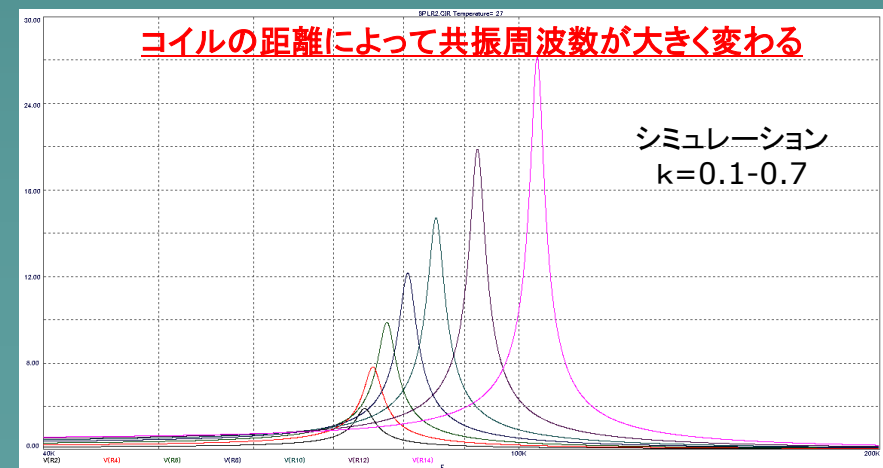
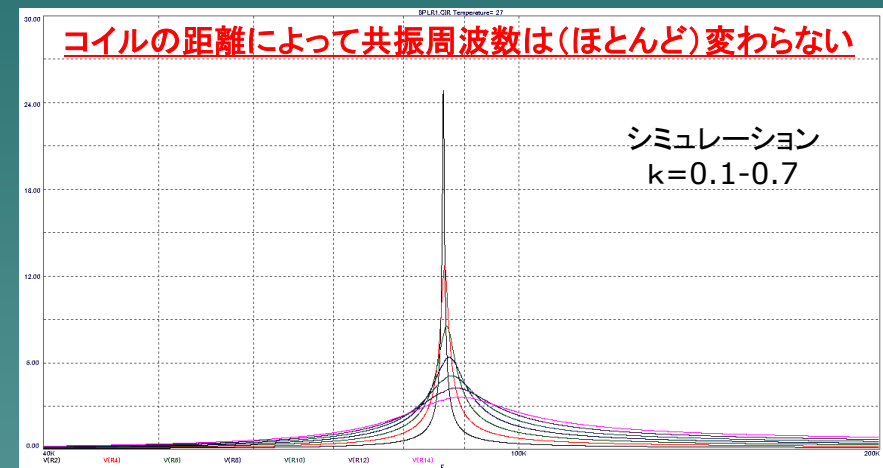
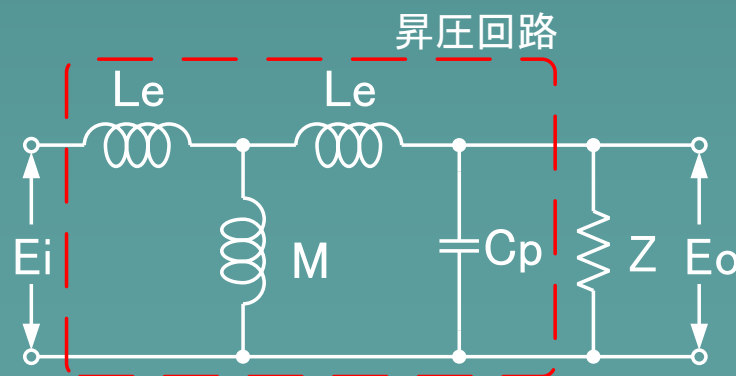
SPLR: 駆動側から見たら直列共振
負荷側から見たら並列共振



◆ 二次側もSPLRである

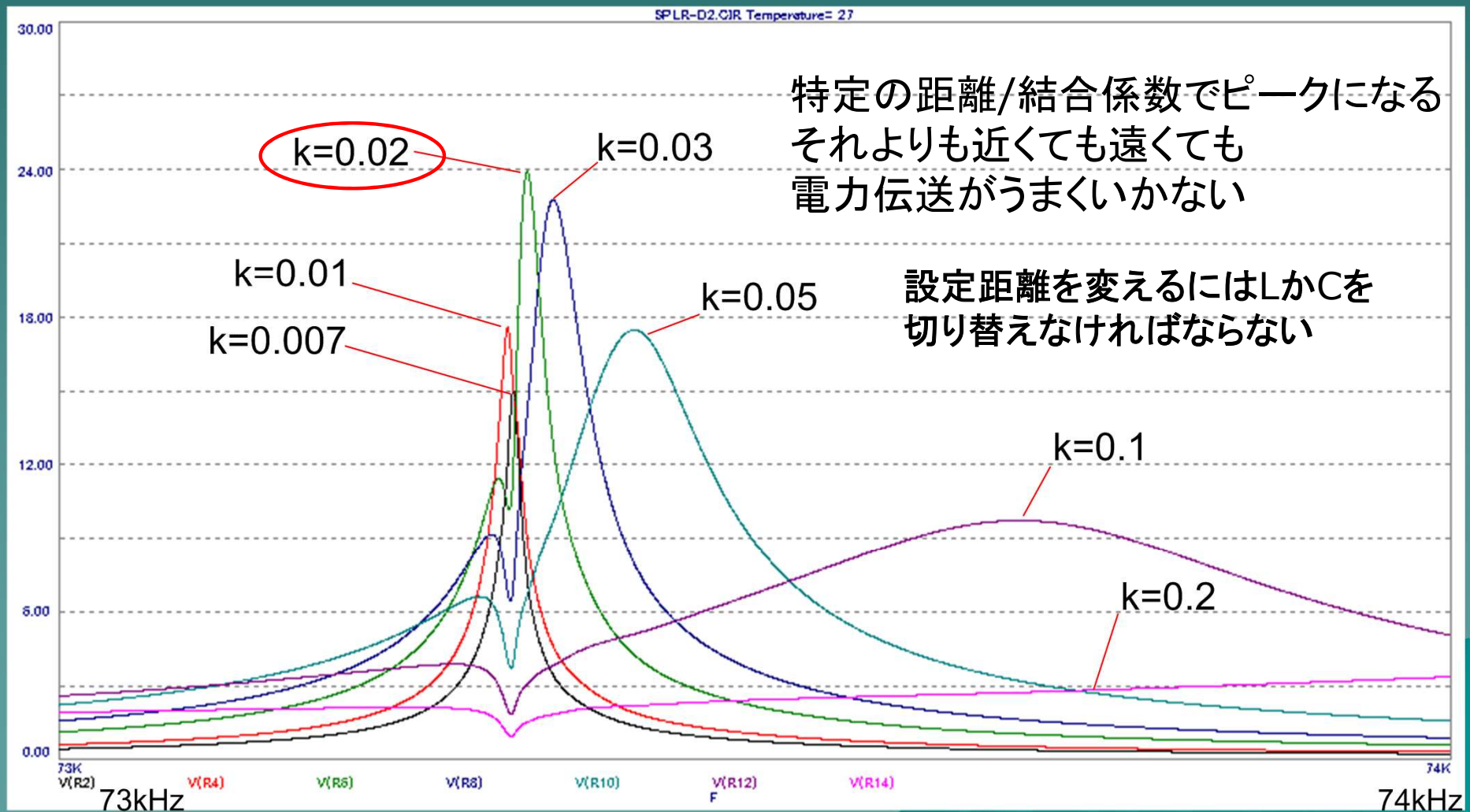
- Serial Parallel-Loaded Resonance

双方の共振周波数が合うのは一点だけ!



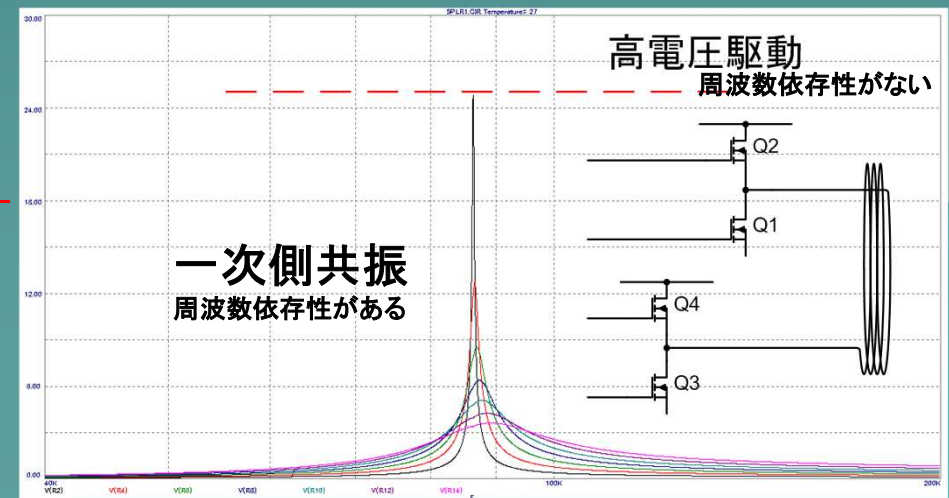
MR方式最大の欠点は設定距離

- ◆ 予め設定された距離にだけ電力伝達できる



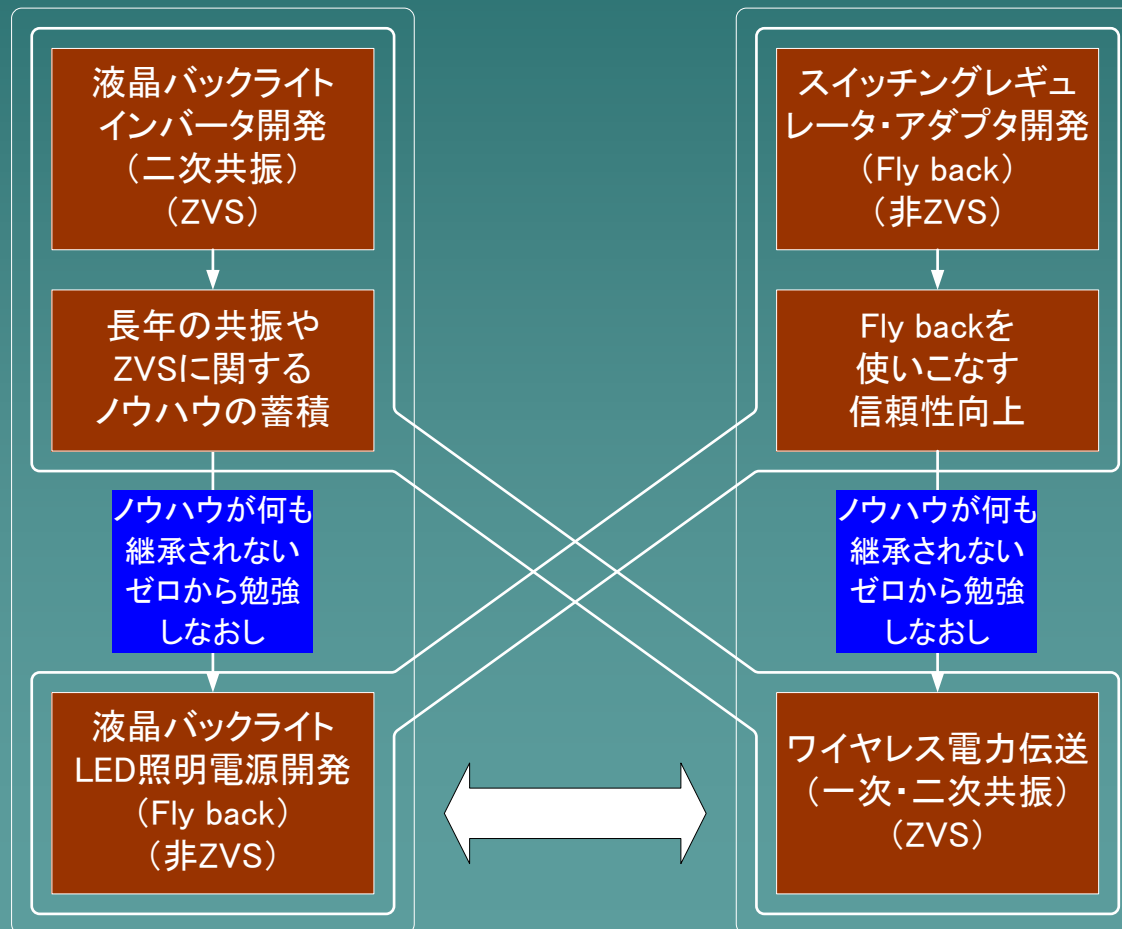
MR方式の欠点はカバーできるか？

- ◆ 一次側共振は本当に必要か？
 - 原理は共振昇圧(SPLR)である
 - 共振昇圧(SPLR)は共振電流が銅損を増大させる
 - 電源電圧を上げて駆動しても磁フィールドの形成は同じ結果になる
- ◆ 高電圧駆動で良いのならば周波数依存性がない
 - ちょうど、SiC半導体(耐圧1200V)も出てきたし、都合が良い
 - どうせPFC回路(高調波対策回路)も必用(35W以上)
 - ならば、駆動電源電圧はいずれにしてもDC400V以上である
 - 高電圧駆動であればあるほど銅損が減る>効率改善に！
- ◆ 共振は二次側だけでよい
 - ロバスト性が良くなる
 - コイル間距離の自由度が上がる！
 - 改良型MRはできる！



なぜWPTの開発が遅れたか

◆ 事業系列ごとの人員再配置が原因か？



- 照明は照明へ
 - コンバータはコンバータへ
- ※特許出願傾向及び発明者から裏づけ

技術陣を交換すればよかった！

②Advanced MR概説

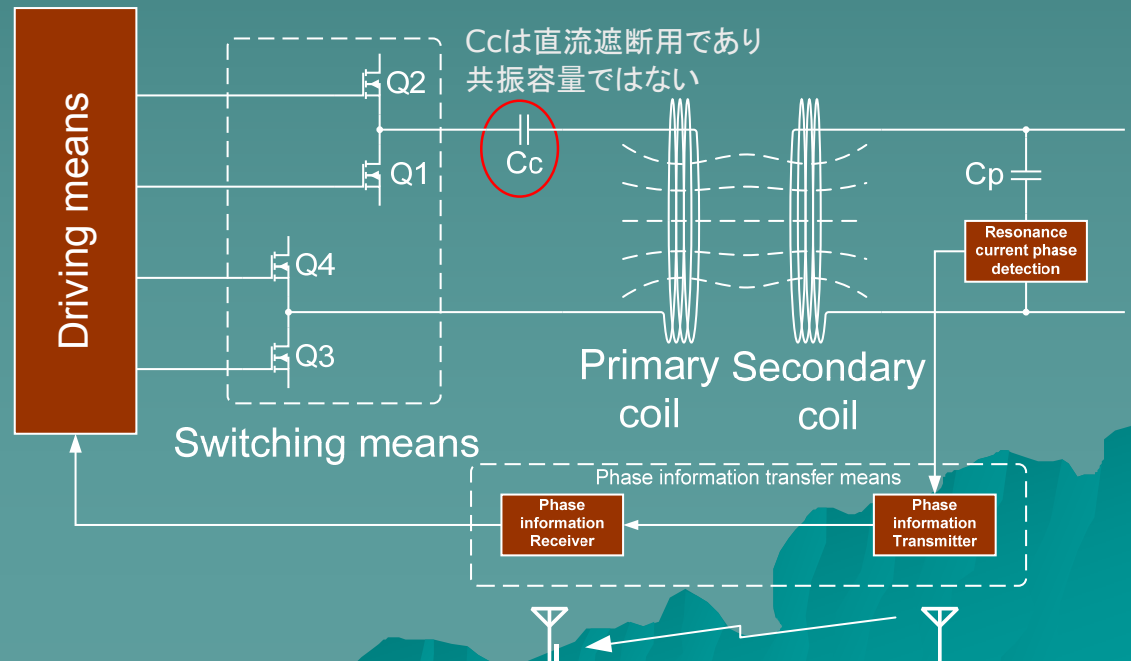
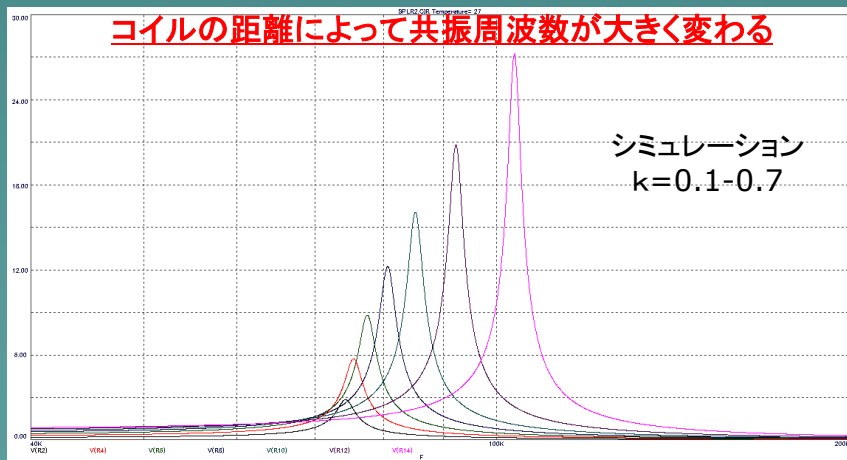
Advanced Magnetic Resonance は
二次側だけに共振を有する
MR方式の改良版である

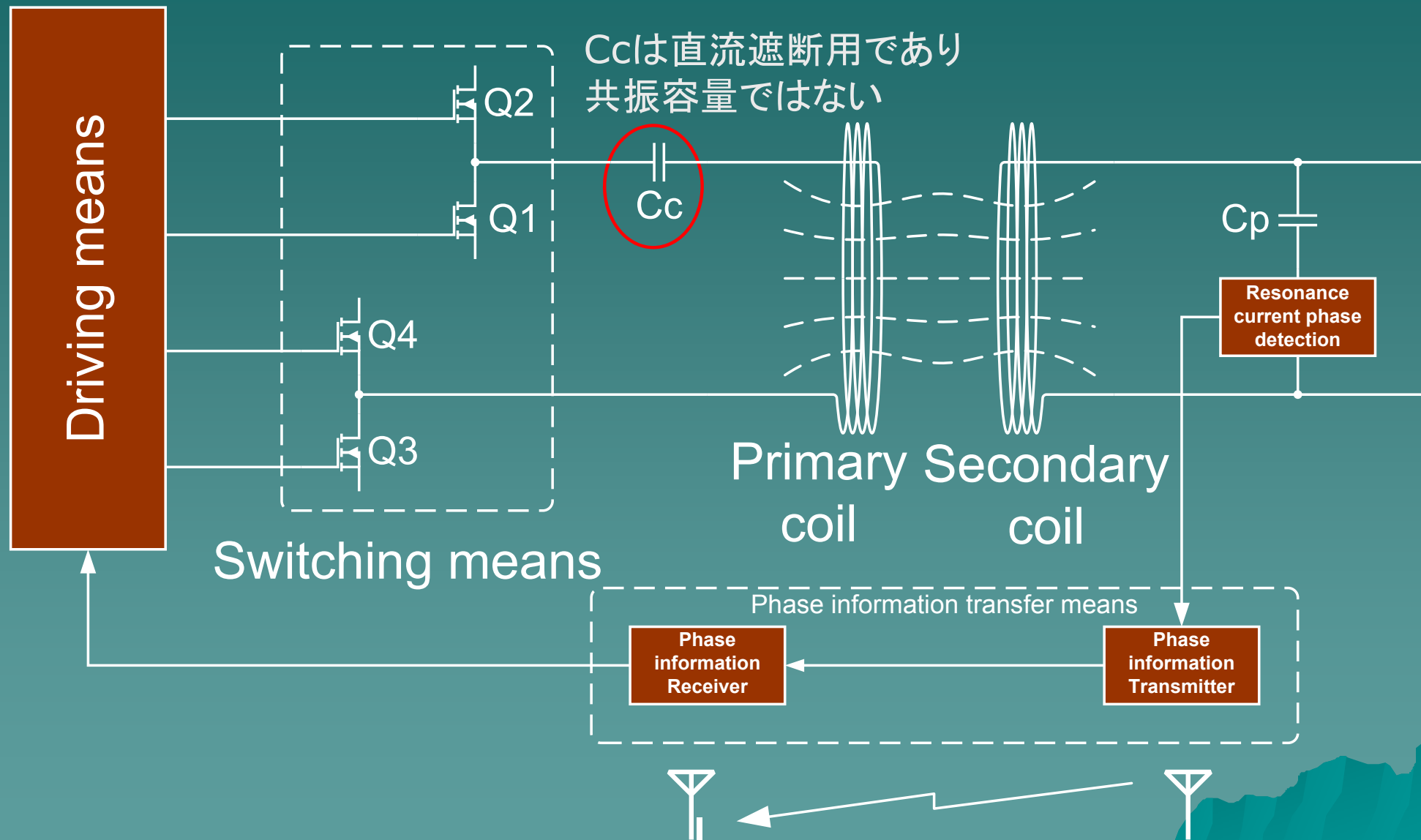
一次側の共振をなくす

- ◆ 一次コイルは高電圧で駆動する
- ◆ 一次側の周波数依存性がなくなり、等価回路モデルがシンプルになる
- ◆ 一次コイルの銅損が減って発熱が少なくなる
- ◆ 周波数依存性があるのは二次側だけになる

二次側共振周波数は変化する

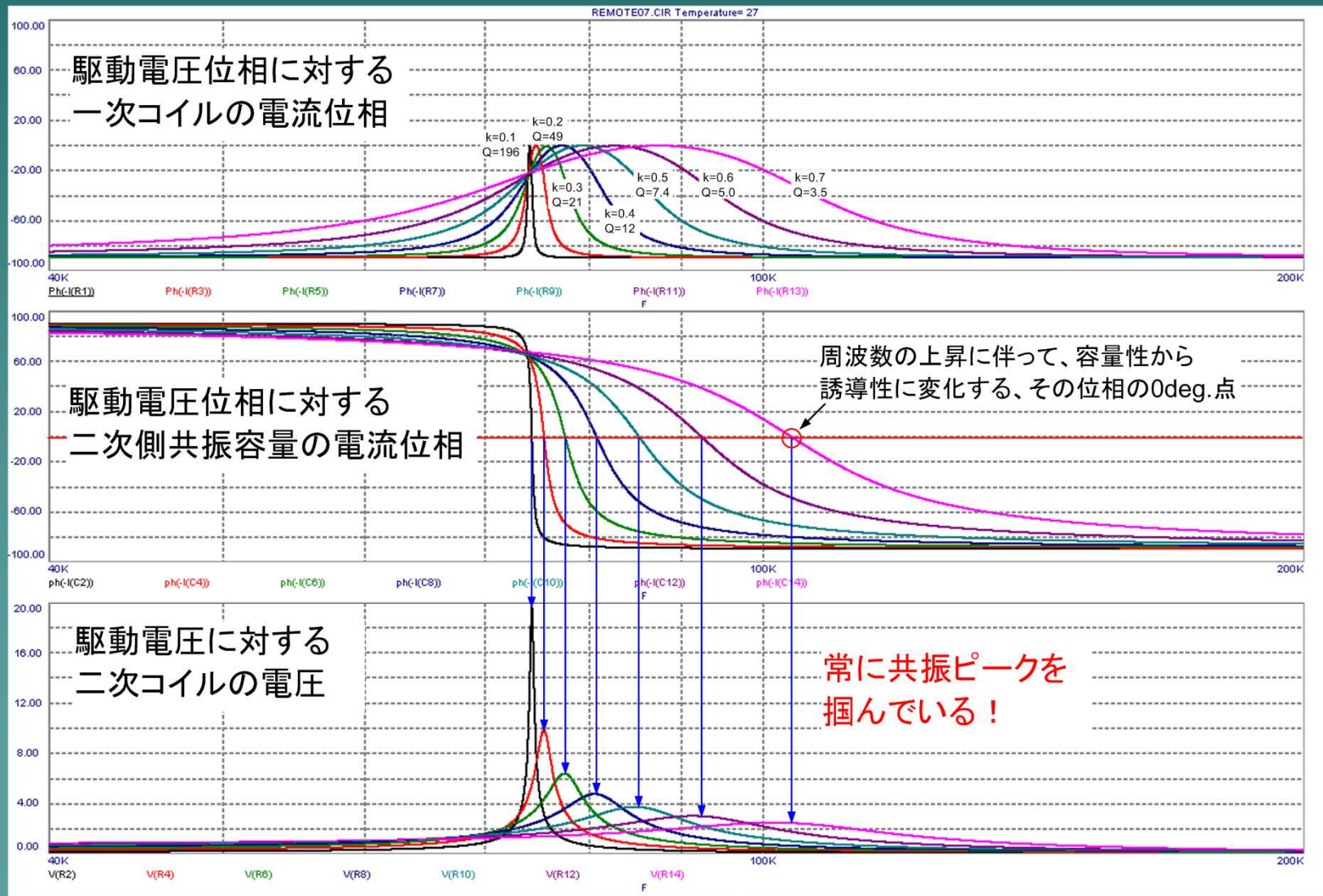
- ◆ 変化する共振周波数をどうやって追いかけるか
- ◆ 電流共振を使うことが基本である(自動追尾)
 - 二次側の共振電流位相を検知する
 - 位相を一次側駆動回路にフィードバックする
 - ◆ 赤外線的手法、特定省電力の利用など

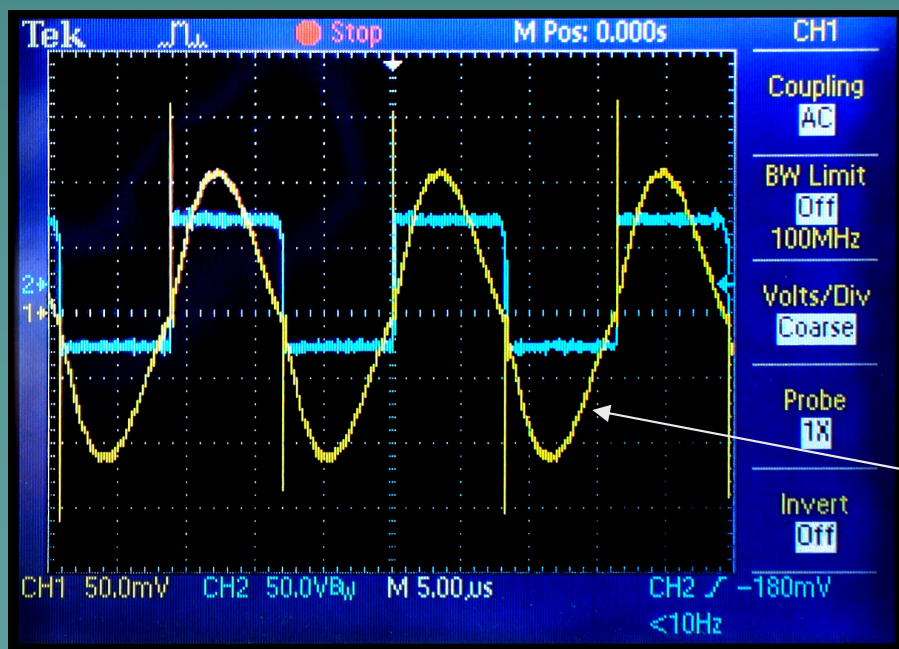
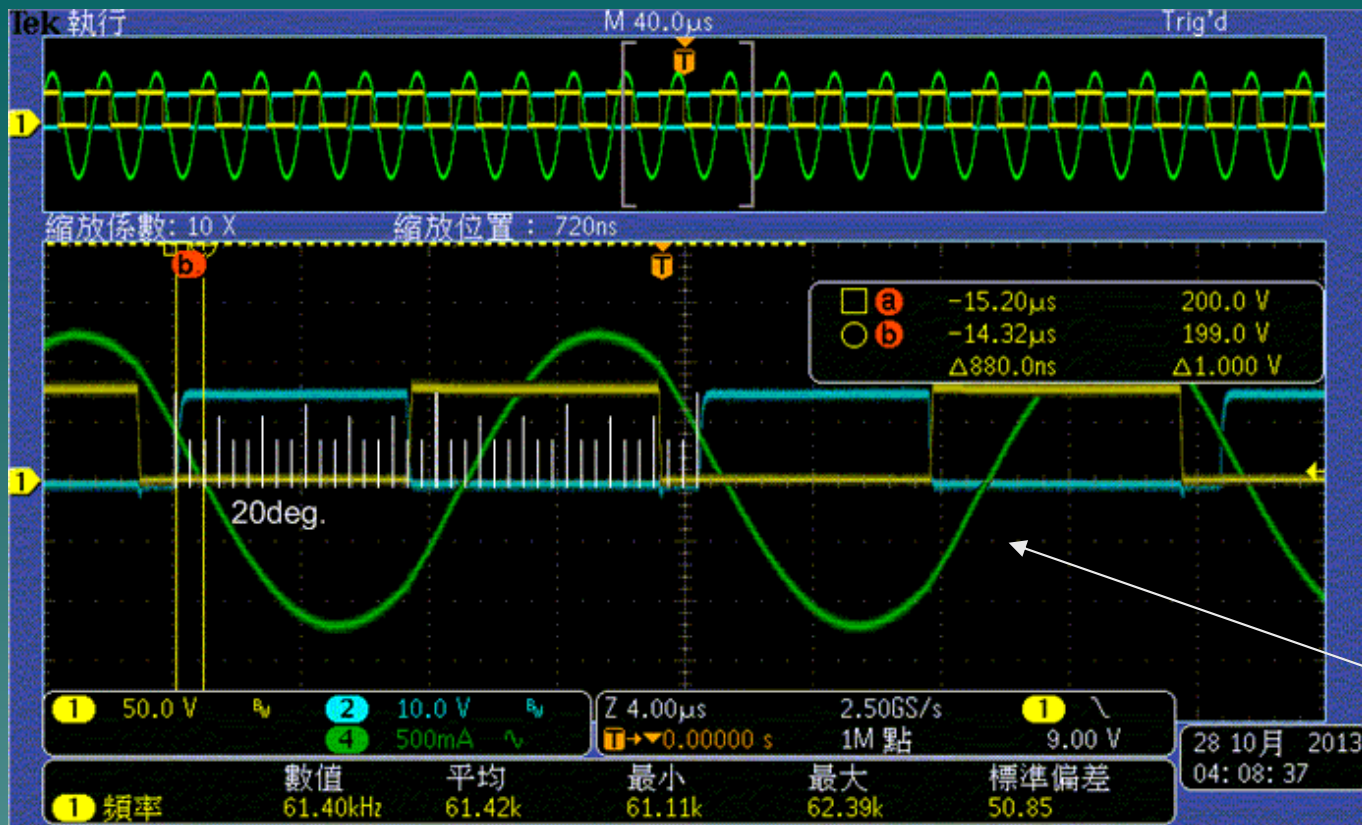




なぜ二次側共振位相でよいのか

- ◆ 二次側共振位相は共振ピークを(ほぼ)掴んでいる

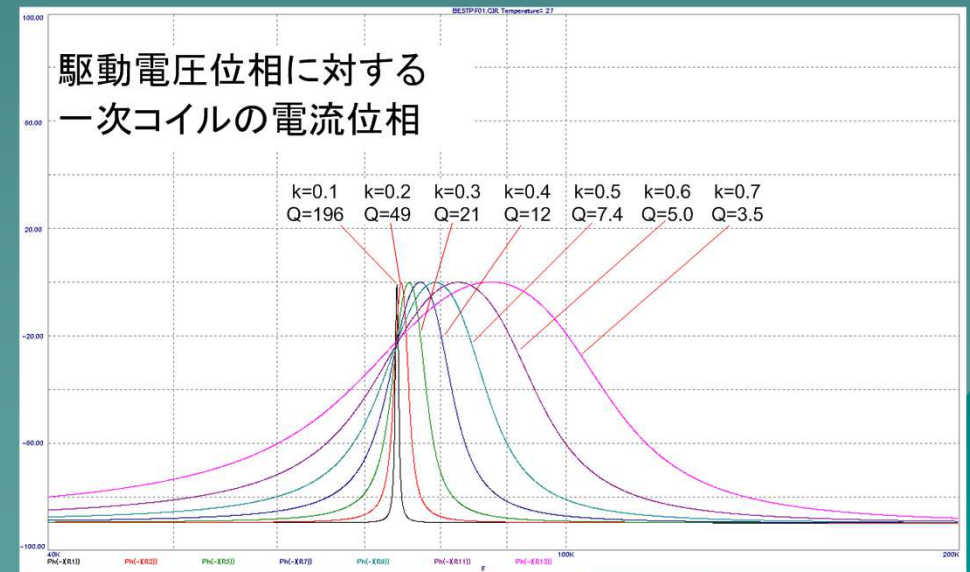
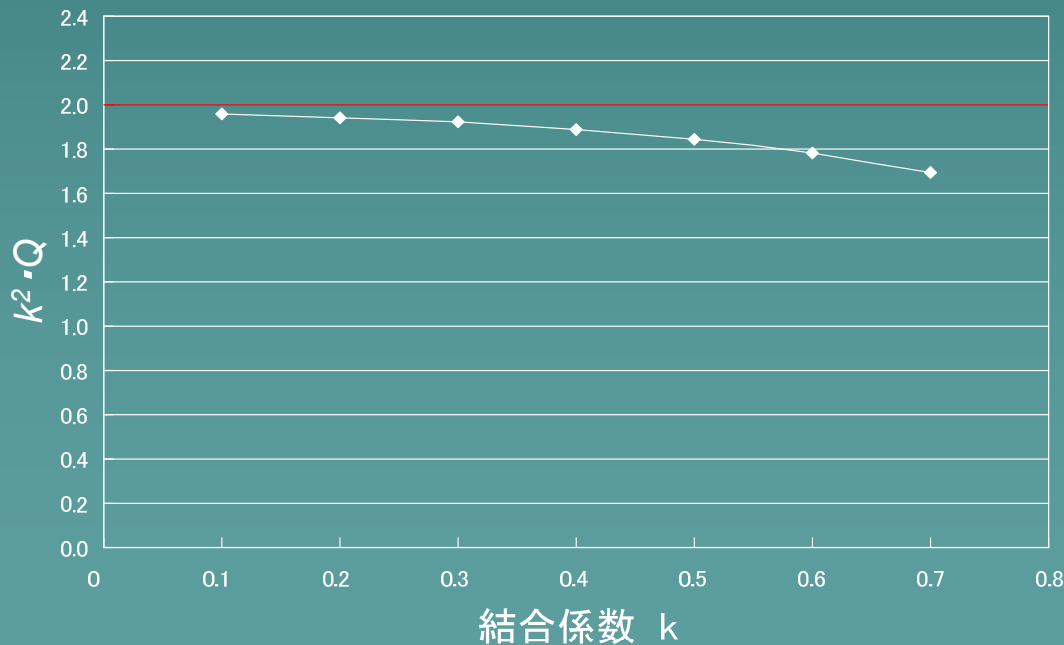




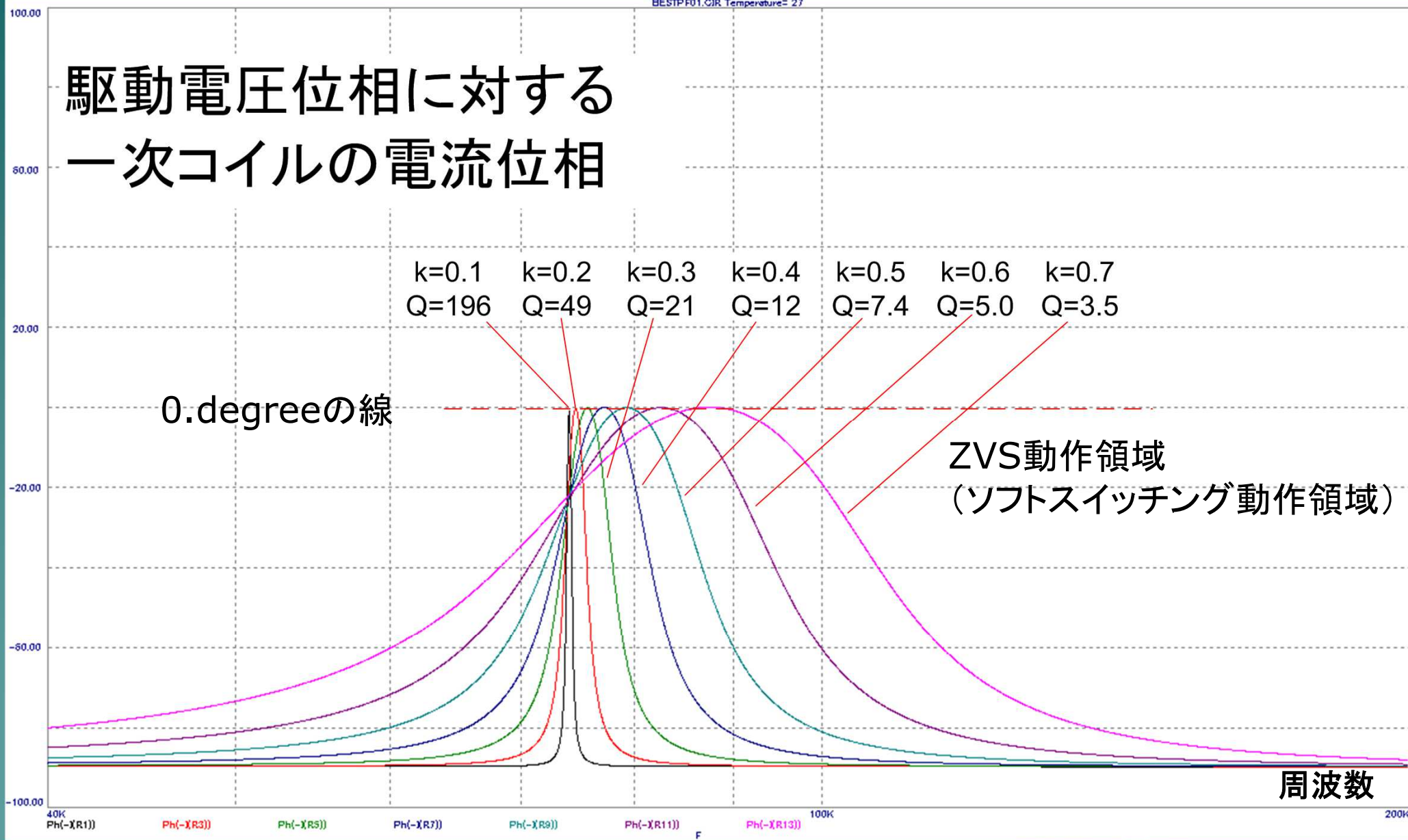
最高力率を生じるk値、Q値

- ◆ 関係式は $k^2 \cdot Q = 2$
 - 結合係数がわかれば力率を1にするための最小Q値が求められる
 - コイル間距離が決まれば求める最小Q値がわかる
 - 卓上で設計が完了できる
 - アプリケーションごとに適切なQ値の設定ができる(過剰なQ値を設定しない)

最大力率が得られる $k^2 \cdot Q$ の値



駆動電圧位相に対する 一次コイルの電流位相

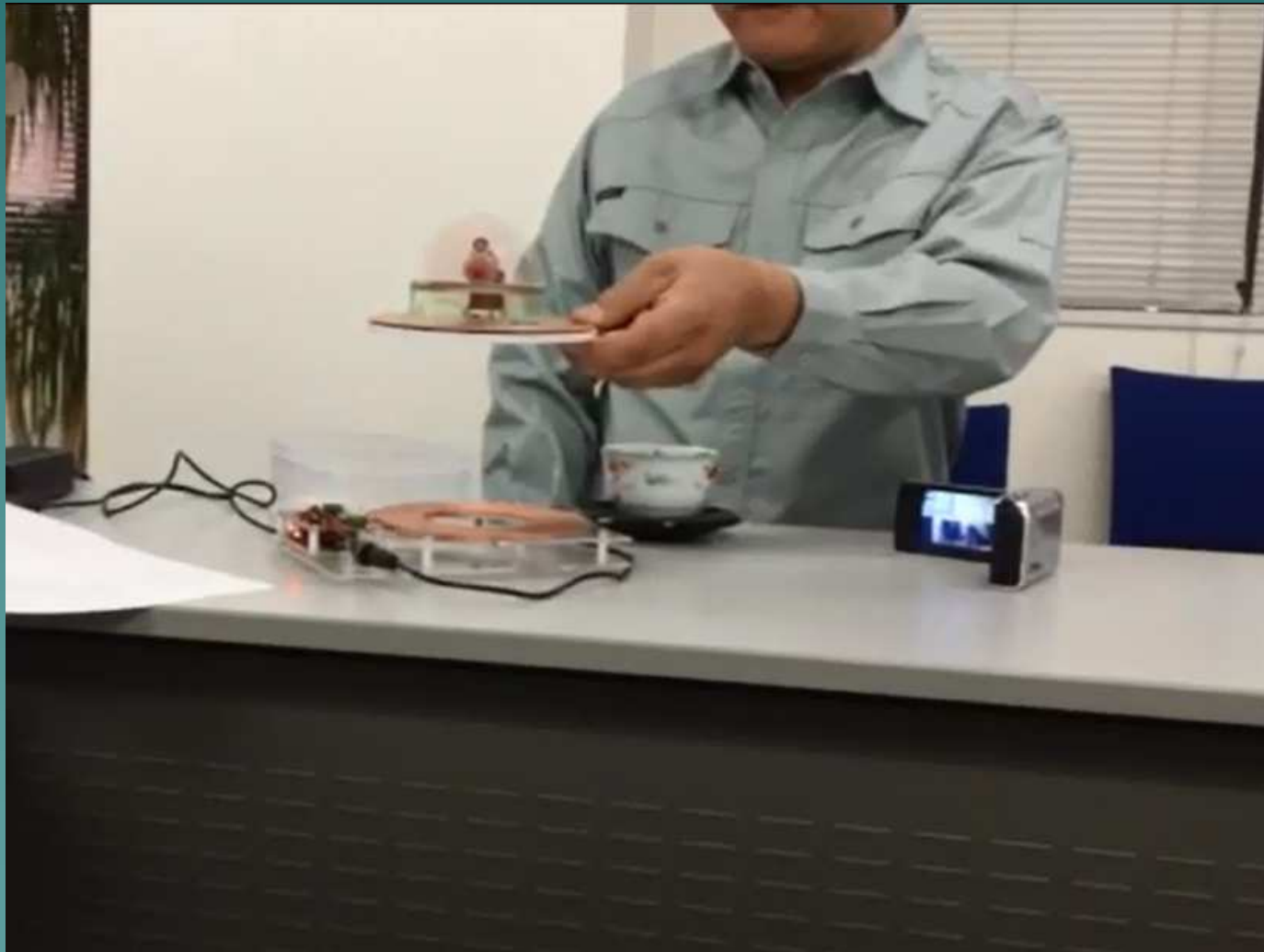


既存技術との比較

	Qi(電磁誘導/MI方式)	WiTricity(磁界共振/MR方式)	新方式(改良磁界共振/AMR方式)
原理	強引、単なる分解されたトランス	一次側と二次側との共振をさせる	二次側だけを共振をさせる
回路	IC化前提であって制御が複雑	大掛かり	簡単・ローコストだが、 けっこう高度なアナログ技術
発熱	効率が悪い 現在55%程度	一次側コイルの発熱が大きい	常に効率がよく発熱が少ない
距離や位置の変化	弱い	弱い(Qiよりも強い)	大変に強い
周波数制御	しない	基本的にしない	厳しくて精密な周波数制御をする 簡単な回路でできる
最簡単回路のコスト	IC化次第で安くなる	CPU制御したり、保護回路に大技を 使っているので簡略化は無理	究極の簡略化ができて安い
電力範囲	中小電力	中電力から大電力まで	中小電力から大電力まで
安全性	保護回路で対処	保護回路で対処	伝送方法自体が保護回路を含む
無負荷時の挙動	小電力なので安全	高電圧が出て危険	原理上からして安全
実績	去年から実用化	小電力から実用化	既に基本技術はCCFL蛍光灯で使っ ている、大電力用も可能
回路規模	制御IC必須	CPU必須	ディスクリットだけでも構成できる

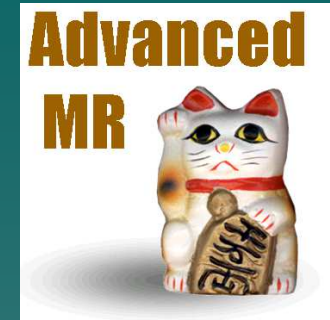
コイル間距離と結合係数

- ◆ コイル直径の1倍以上まで届けば実用的



実用化に向けて

- ◆ 現在複数の規格が存在している
 - ユーザーの利便を考えれば統一が望ましい
 - ライセンスや主導権の問題が絡んでいる



Advanced MRはどこに入るべき？



Qi(チー)とPMA
110kHz~205kHz vs. 100kHz~200kHz

EV: SAE(米国自動車技術者協会) 81.38kHz~90kHz

Wireless Power Consortium (WPC)=Qi

Alliance for Wireless Power (A4WP)

Power Matters Alliance (PMA)

Wireless Power Management Consortium (WPMC)



+



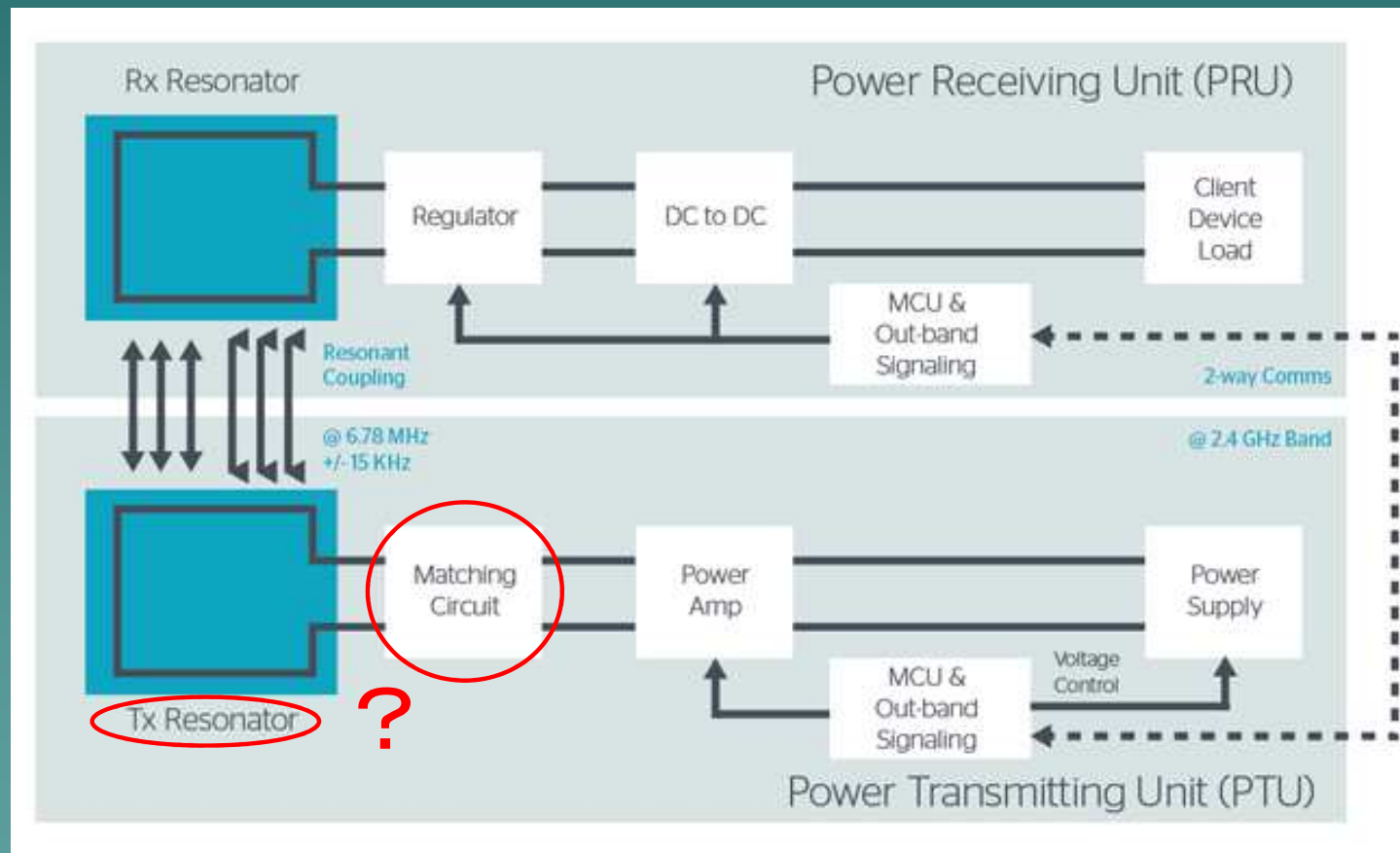
A4WP
6.78 MHz
13.56 MHz





rezenence

は本命か？



一次側をAMR互換にすることは可能
Qi,PMAの二次側を共振させることも可能

Thank you

The image features a solid teal background. In the bottom right corner, there is a stylized silhouette of a mountain range, rendered in a slightly darker shade of teal. The text "Thank you" is centered in the upper half of the image in a light yellow, sans-serif font.

固定周波数で距離を変えた場合

- ◆ 近づくとハードスイッチング、遠ざかると力率が悪い

