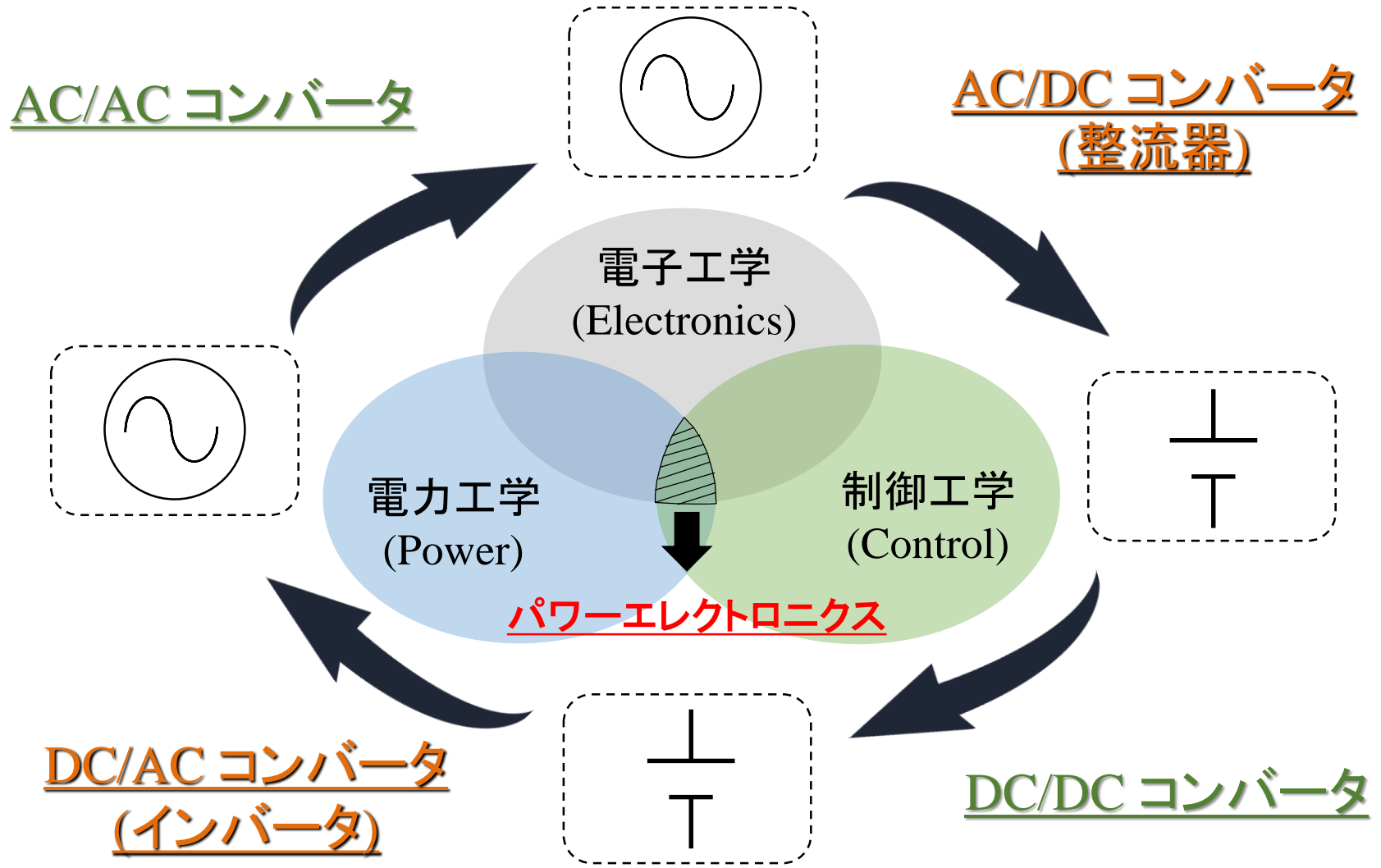
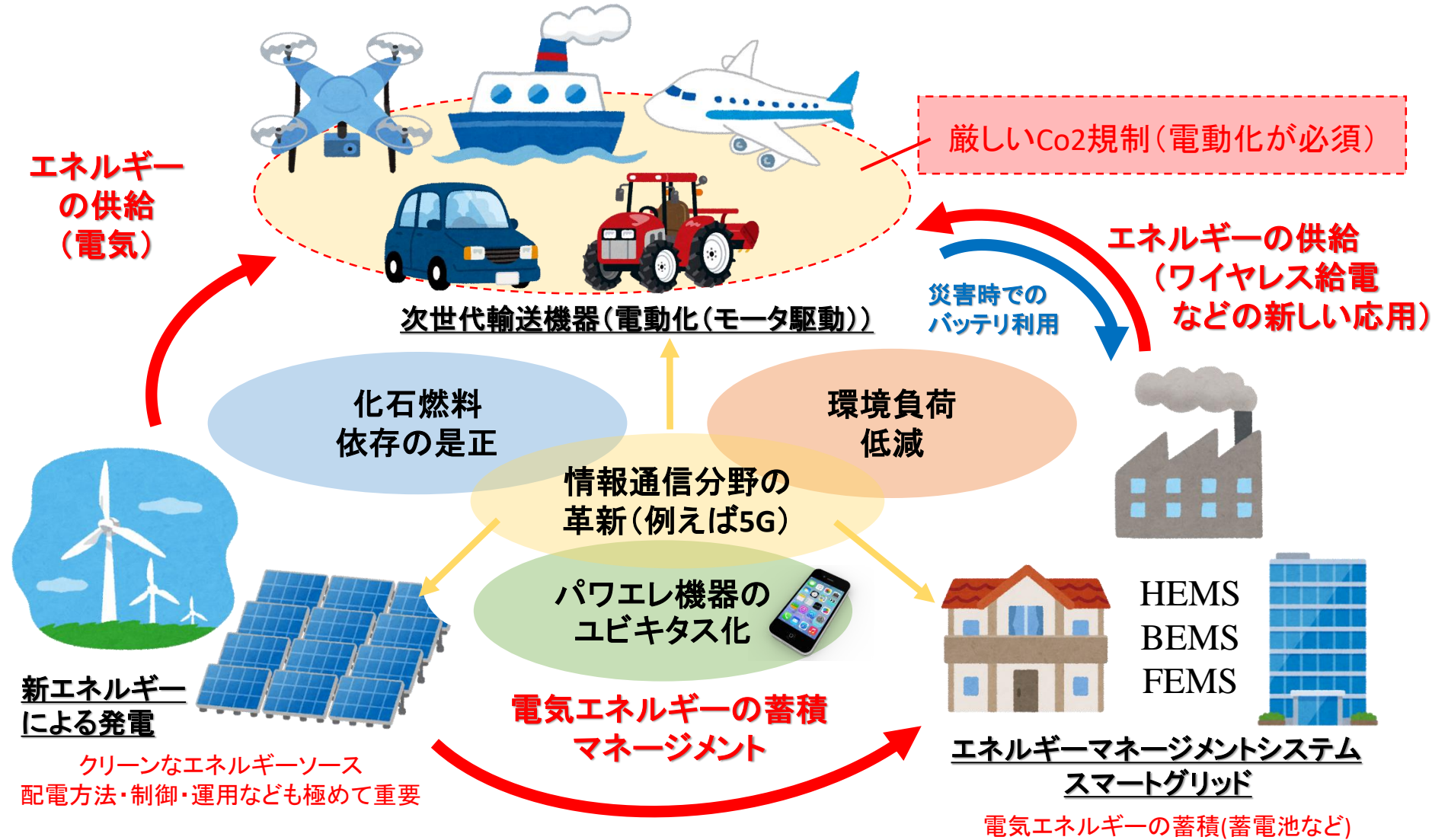


# パワーエレクトロニクス



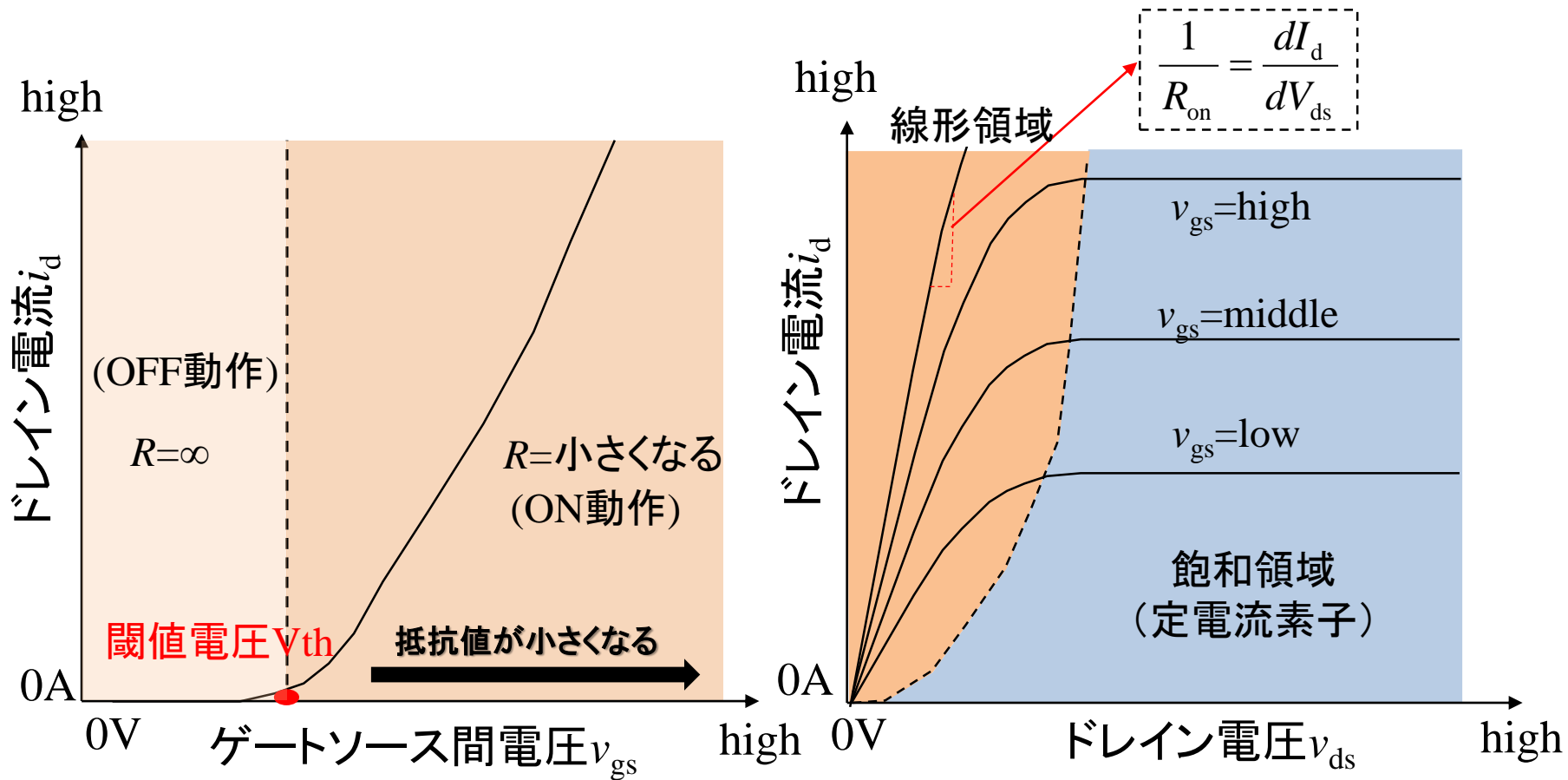
半導体を活用して電気性状(周波数・電圧・電流)を変換する技術分野

# パワーエレクトロニクスへの貢献領域 (未来社会全体)



**業界間が連携した次世代社会**  
(PE分野への要望: 高効率化・高電力密度化などが必要)

# パワー半導体(MOSFET)の基本特性の概念図

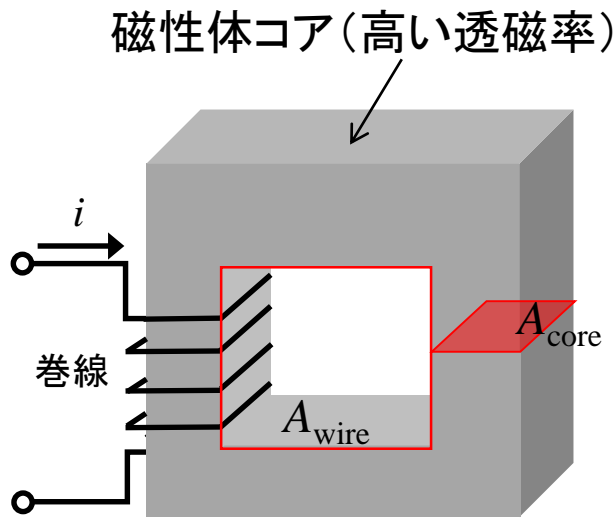


MOSFET = 可変抵抗素子

$$0(\text{縦軸}) < R \left( = \frac{V_{ds}}{I_d} \right) < \infty(\text{横軸})$$

パワー半導体 ⇒ ゲート電圧で変わる可変抵抗素子  
 スイッチとして動作させるためにはゲート電圧を大きくして線形領域を活用

# インダクタンスとサイズの関係性



リアクトルの蓄積するエネルギー[J]

$$W_{L\_max} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{L\_max}^2$$

\* エリアプロダクトの概念より

$$AP = A_{core} \cdot A_{wire} = \frac{L \cdot I_{L\_max}^2}{K_w \cdot B_{max} \cdot J_{max}}$$

体積とエネルギーの関係は

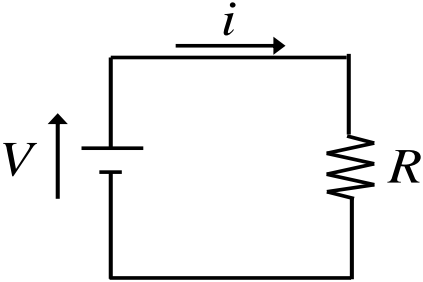
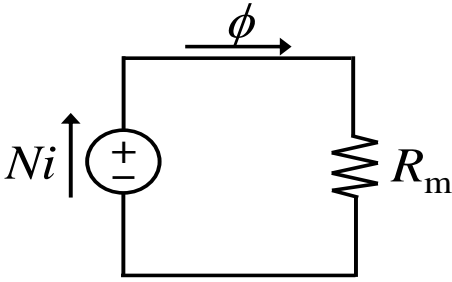
$$Vol = K_v \cdot \left( \frac{2 \cdot W_{L\_max}}{K_w \cdot B_{max} \cdot J_{max}} \right)^{\frac{3}{4}}$$

\* あくまで概念なもの

体積はリアクトルの最大蓄積エネルギーの3/4乗に比例

$A_{core}$ : コアの断面積  $A_{wire}$ : 窓面積  $L$ : リアクトルの自己インダクタンス  $I_{L\_max}$ : リアクトル電流の最大値  
 $B_{max}$ : コア内の磁束密度最大値  $J_{max}$ : 巻き線の電流密度最大値  $K_w$ : コアの窓面積中の巻き線の導体占有率などを考慮した補正係数  
 $K_v$ : リアクトルコアの形状から決定される定数

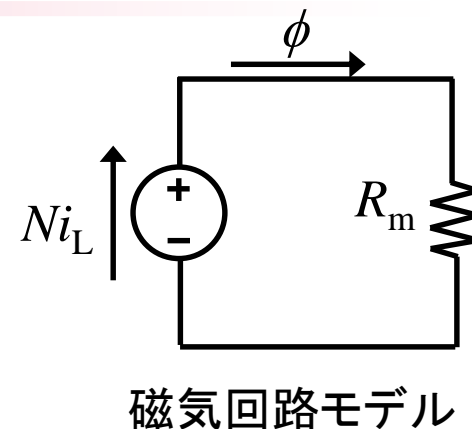
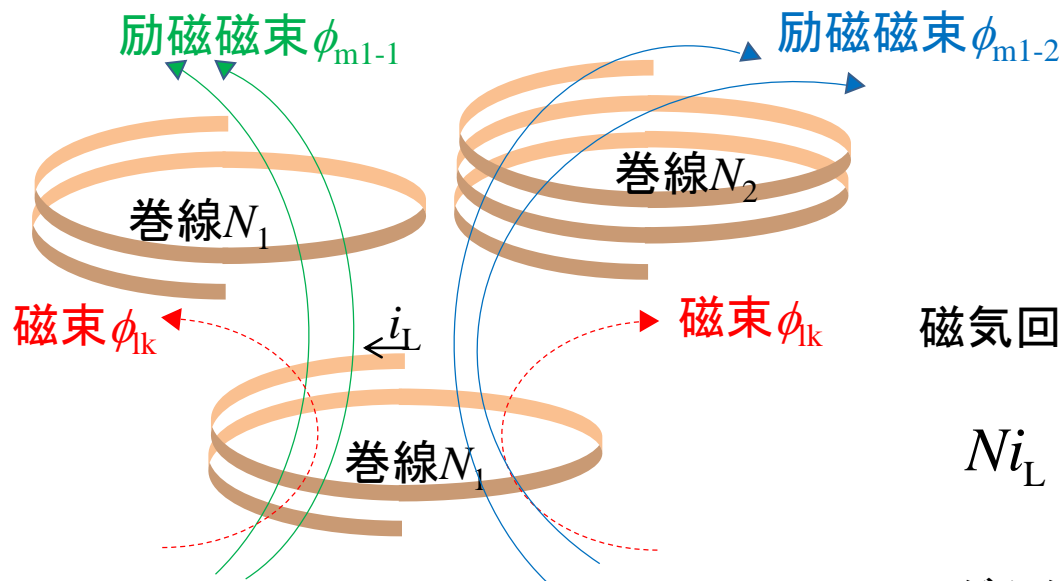
# 磁気回路と電気回路

電気回路		磁気回路	
			
起電力 [単位]	$V$ [V]	起磁力 [単位]	$Ni$ [AT]
電流 [単位]	$i$ [A]	磁束 [単位]	$\phi$ [Wb]
電気抵抗 [単位]	$R$ [ $\Omega$ ]	磁気抵抗 [単位]	$R_m$ [A/Wb]
オームの法則	$V= Ri$	ポプキンソンの法則 (磁気回路のオームの法則)	$Ni=R_m \phi$

## 磁気回路を使うことの特徴

- 電気と磁気の世界を連成した解析が可能
- 汎用のシミュレータを用いて解析することが可能

# インダクタンスとは?



磁気回路のオームの法則より

$$Ni_L = R_m \phi \quad \Rightarrow \quad \phi = \frac{Ni_L}{R_m}$$

インダクタンスとは?  $L = \frac{N}{i_L} \cdot \frac{Ni_L}{R_m} = \frac{N^2}{R_m}$

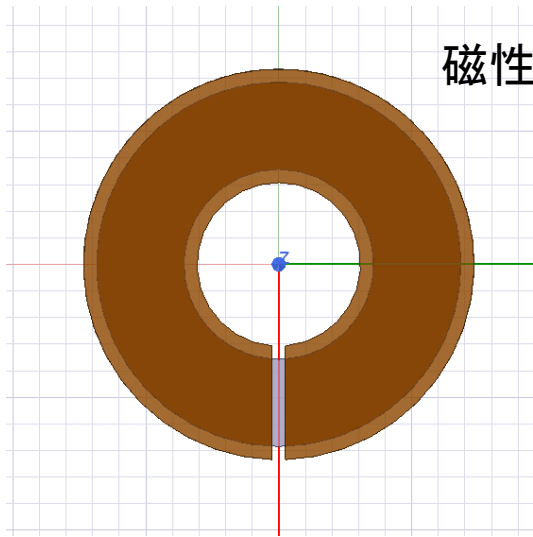
▶▶ 自己インダクタンス  $\propto$  全磁束  
(自らの巻線に対する磁束鎖交数)

▶▶ 励磁インダクタンス  $\propto$  励磁磁束  $\phi_m$   
(自らの巻線の磁束鎖交数)

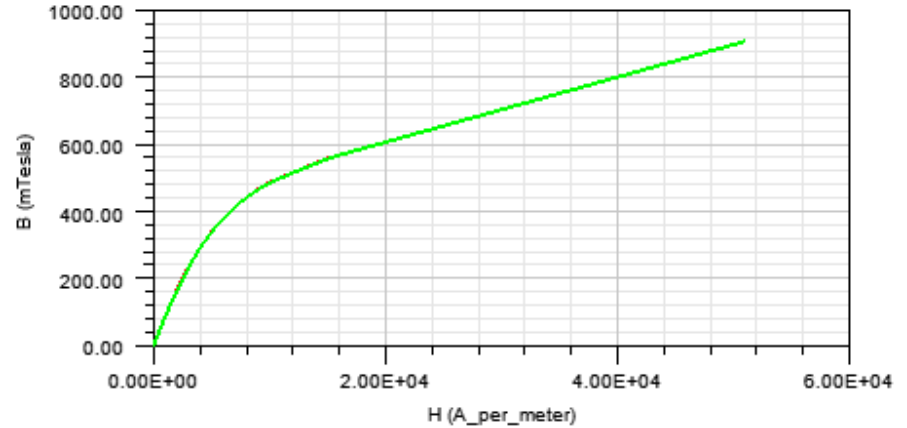
▶▶ 漏れインダクタンス  $\propto$  漏れ磁束  $\phi_{lk}$   
(他の巻線に鎖交しない磁束鎖交数)

▶▶ 相互インダクタンス  
励磁磁束  $\phi_m \times$  他の巻線数  $N$   
(他の巻線に対する磁束鎖交数)

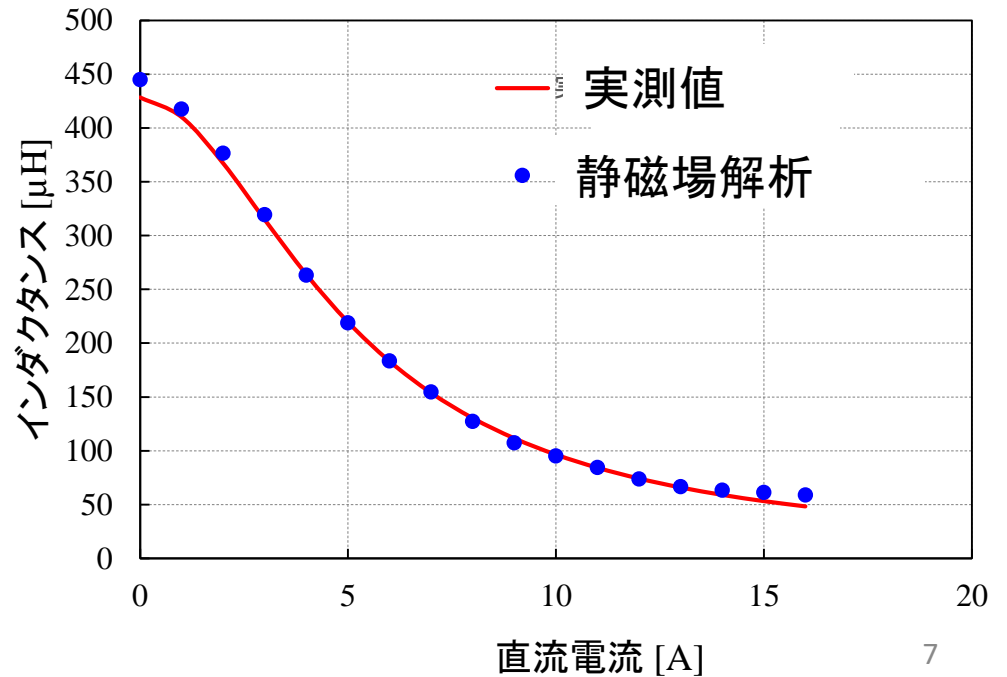
# FEMシミュレーション(Ansys Maxwell)



材料: Fe-Si-Al  
外径 27.4mm  
内径 14.3mm  
高さ 11.9mm

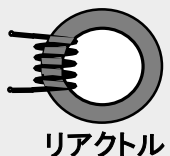


非線形な比透磁率を  
シミュレーション可能



# まとめ (磁気回路の基本)

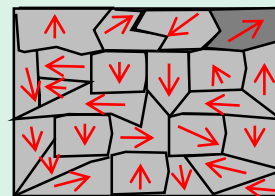
## 磁気部品(リアクトル・トランス)



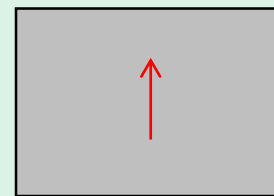
巻線 + 磁性体から構成される受動素子

注意事項

## 設計すること(以下の2点は抑えること)



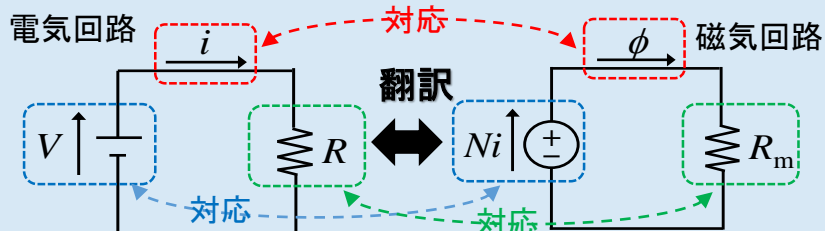
初期状態



磁気飽和

設計ポイント①: 磁束密度を設計すること  
(磁気飽和: インダクタンス非常に下がる)

## 電気回路と磁気回路



磁気回路の役目は電気回路の状態から磁束・電流の関係を翻訳する回路理論

電磁的解析が可能で磁気部品設計にはこの理論は非常に有効!

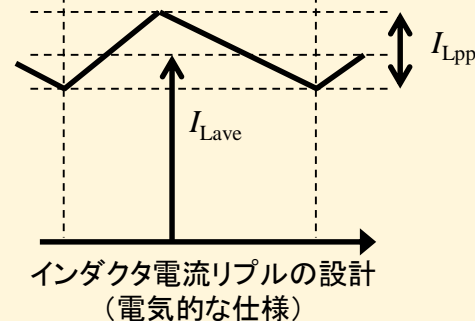
これら理論を用いて設計

実機評価結果

実機でも設計論の妥当性を確認!

どうやって設計?

$T_S$



設計ポイント②: インダクタリップル電流  $I_{Lpp}$  を設計  
(L値を設計すること)

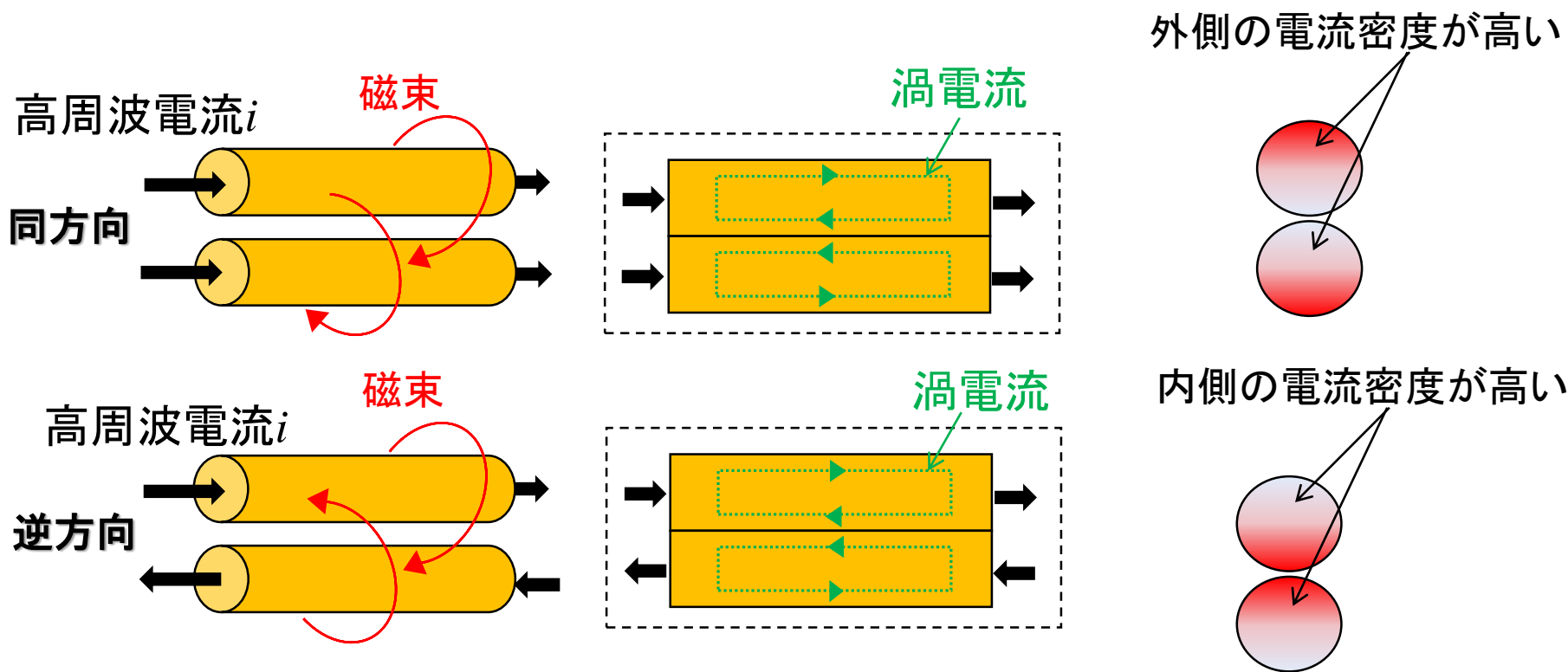




# 近接効果が発生するメカニズム

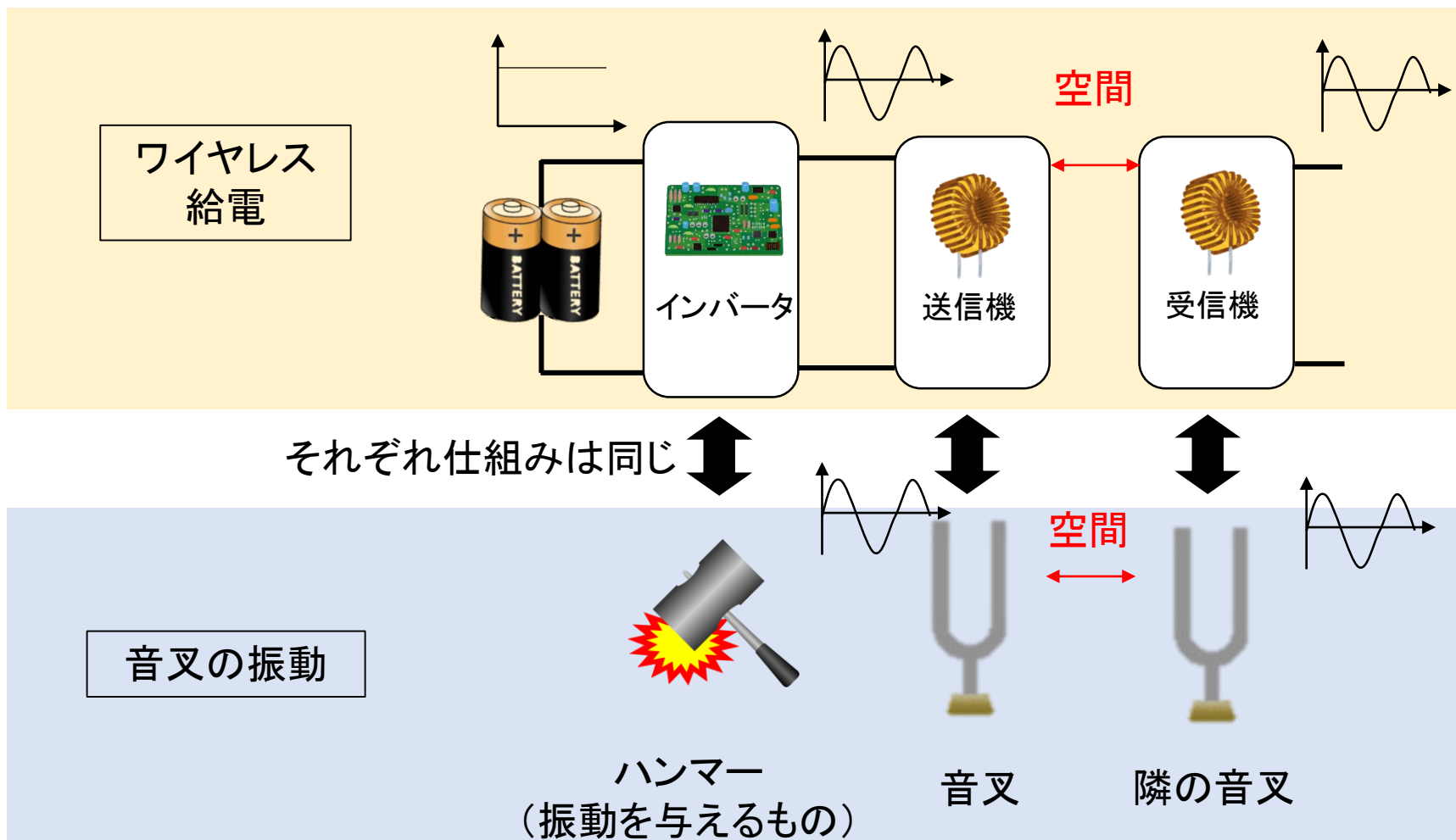
## 近接効果

⇒巻線に高周波電流が流れていた場合、他方の巻線から発生した磁束によって、自巻線に渦電流が発生し高周波電流が偏る現象のこと



近接する巻き線の表面積を下げることで  
磁束の影響を低下させること(距離を離すこと)が効果的

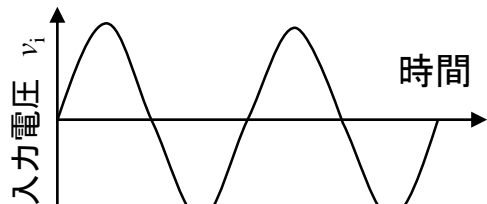
# ワイヤレス給電の原理



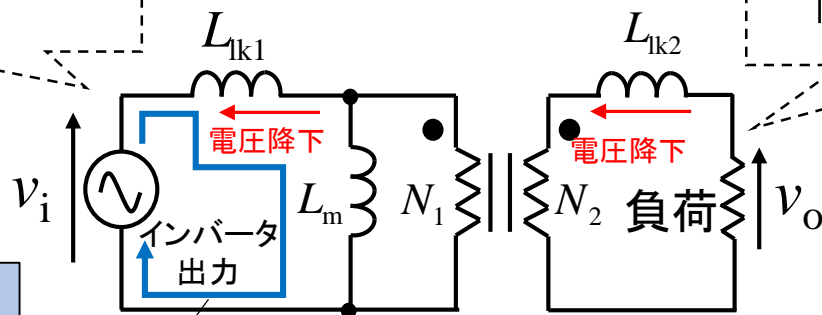
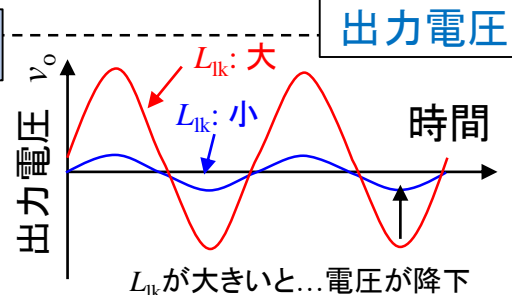
簡単ワイヤレスシステム

# 電磁誘導によるワイヤレス給電

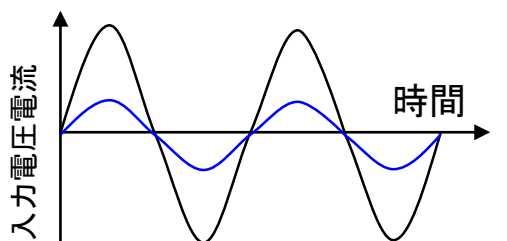
入力電圧



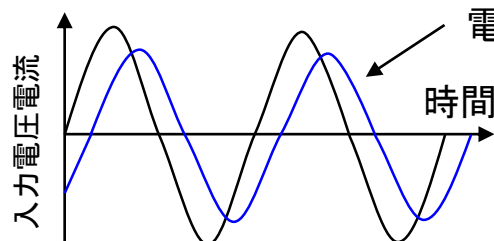
漏れインダクタンスの影響



励磁インダクタンスの影響



励磁インダクタンスが十分大きい



励磁インダクタンスが小さい

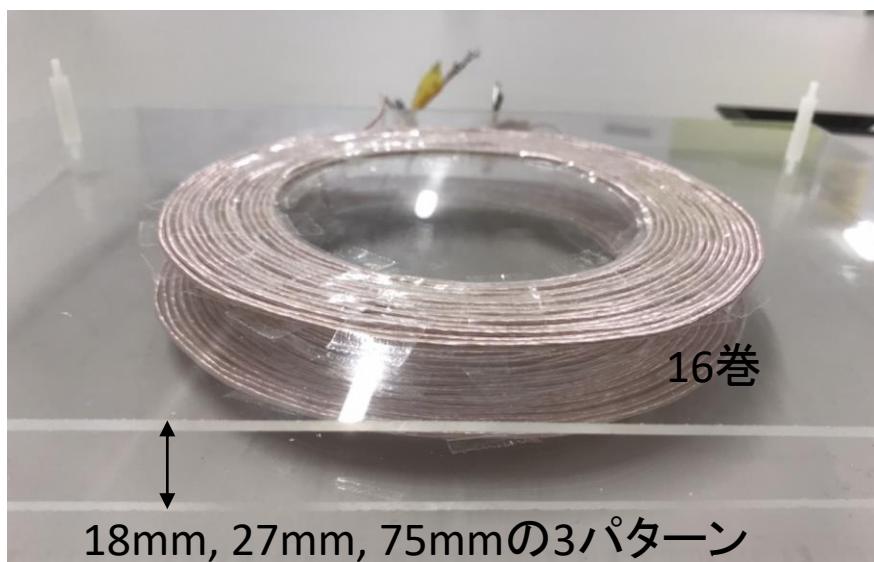
電流実効値増加

無駄な電流が  
たくさん流れる  
(損失増加  
インバータ容量増加)

## 電磁誘導方式の課題

漏れインダクタンスの増加: 電圧降下によってパワーが取り出せない  
励磁インダクタンスの低下: 入力側力率の悪化(効率悪化)

# 電磁誘導によるワイヤレス給電

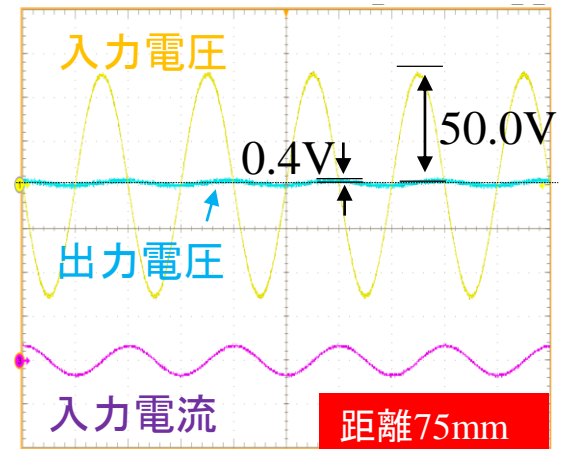
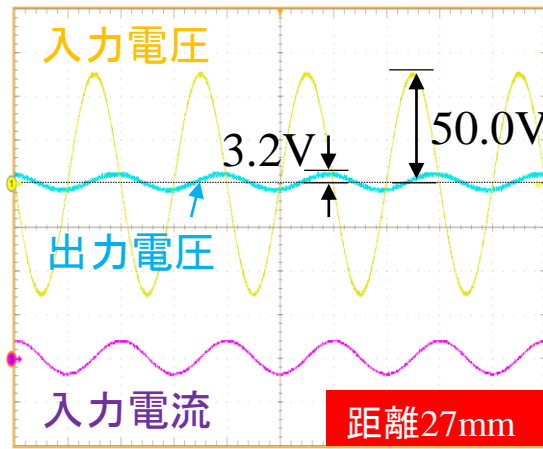
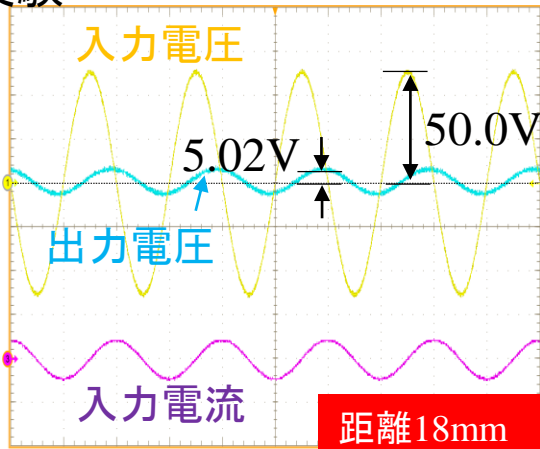


距離/測定値	$L_1$	$L_2$	$M$	$k$	$L_{1k1}(=L_1-M)$	$L_{1k2}(=L_2-M)$
18mm	51.0 $\mu$ H	51.0 $\mu$ H	26.5 $\mu$ H	0.52	24.5 $\mu$ H	24.5 $\mu$ H
27mm	51.0 $\mu$ H	51.0 $\mu$ H	18.1 $\mu$ H	0.35	32.9 $\mu$ H	32.9 $\mu$ H
75mm	51.0 $\mu$ H	51.0 $\mu$ H	4.1 $\mu$ H	0.08	46.9 $\mu$ H	46.9 $\mu$ H

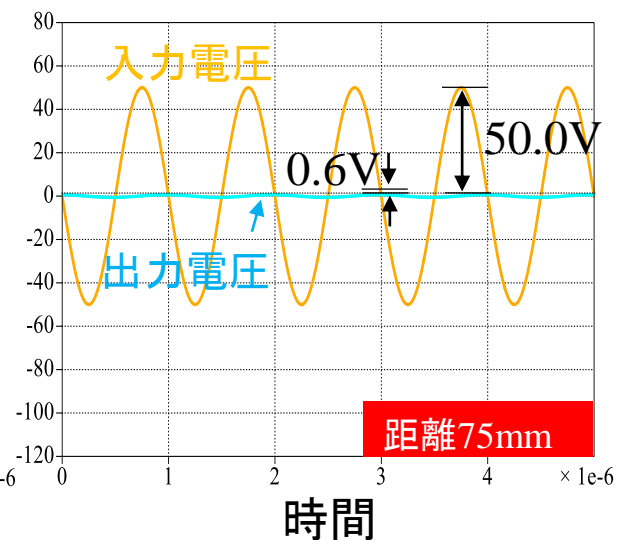
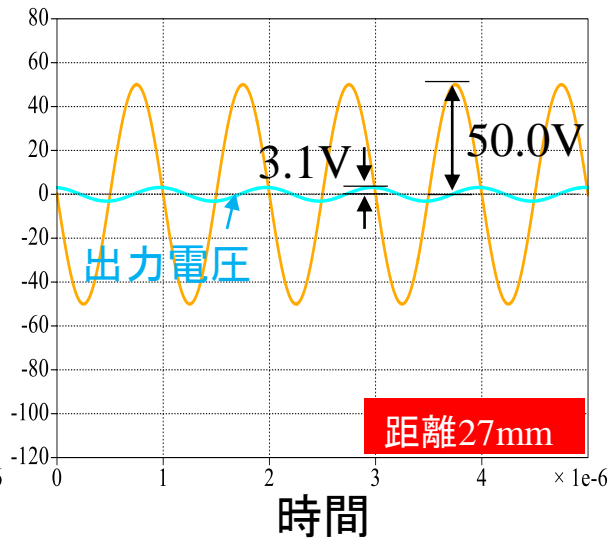
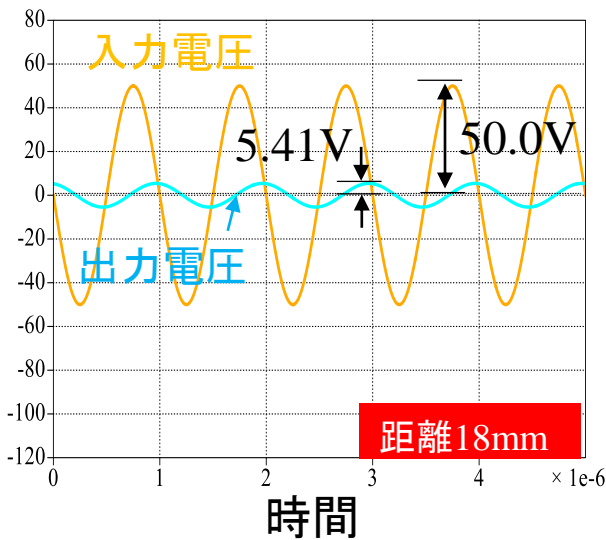
距離が遠くなると漏れインダクタンス $L_{1k}$ と相互インダクタンス $M$ の割合が逆転！

# 実験とシミュレーションの比較(電磁誘導)

## 実験



## Sim

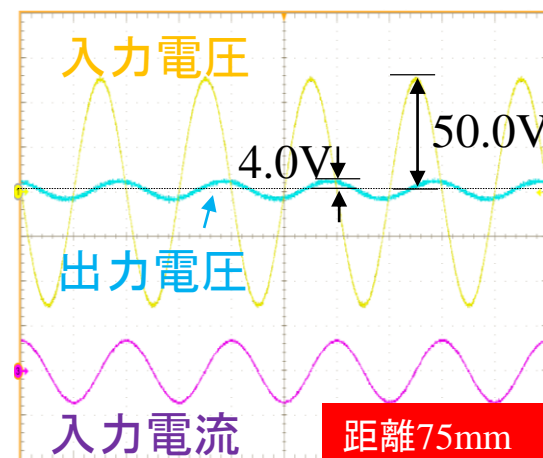
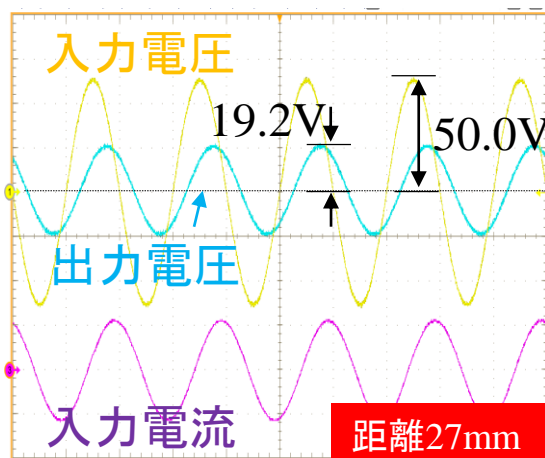
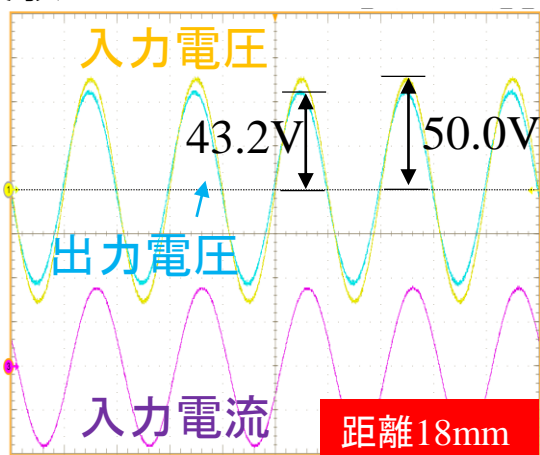


近い  遠い

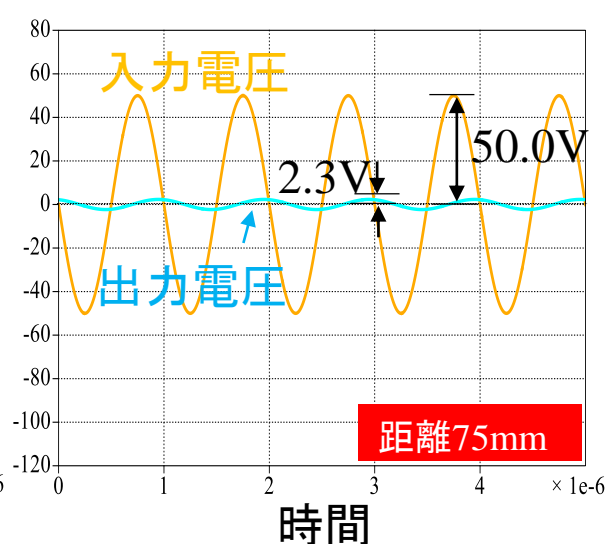
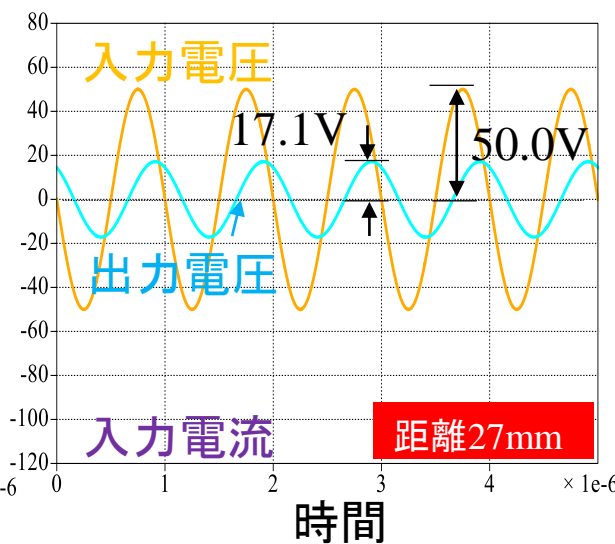
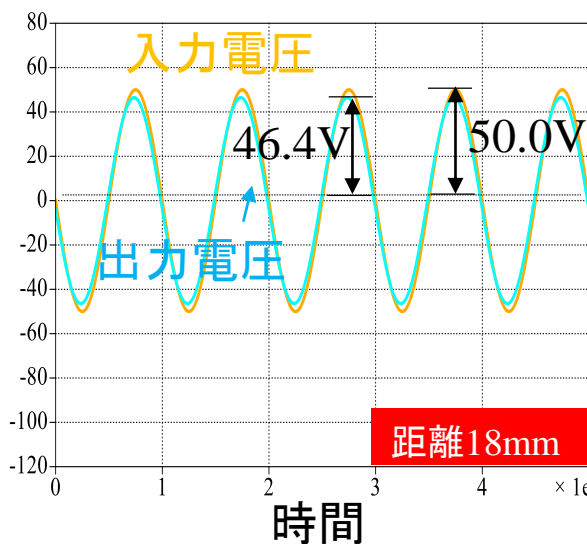
遠くにすればするほど電圧が小さくなってしまふ.....

# 共振を利用したワイヤレス給電(直列共振適用)

## 実験



## Sim



近い

遠い

共振を利用すると結合係数が下がっていても電力伝送が可能