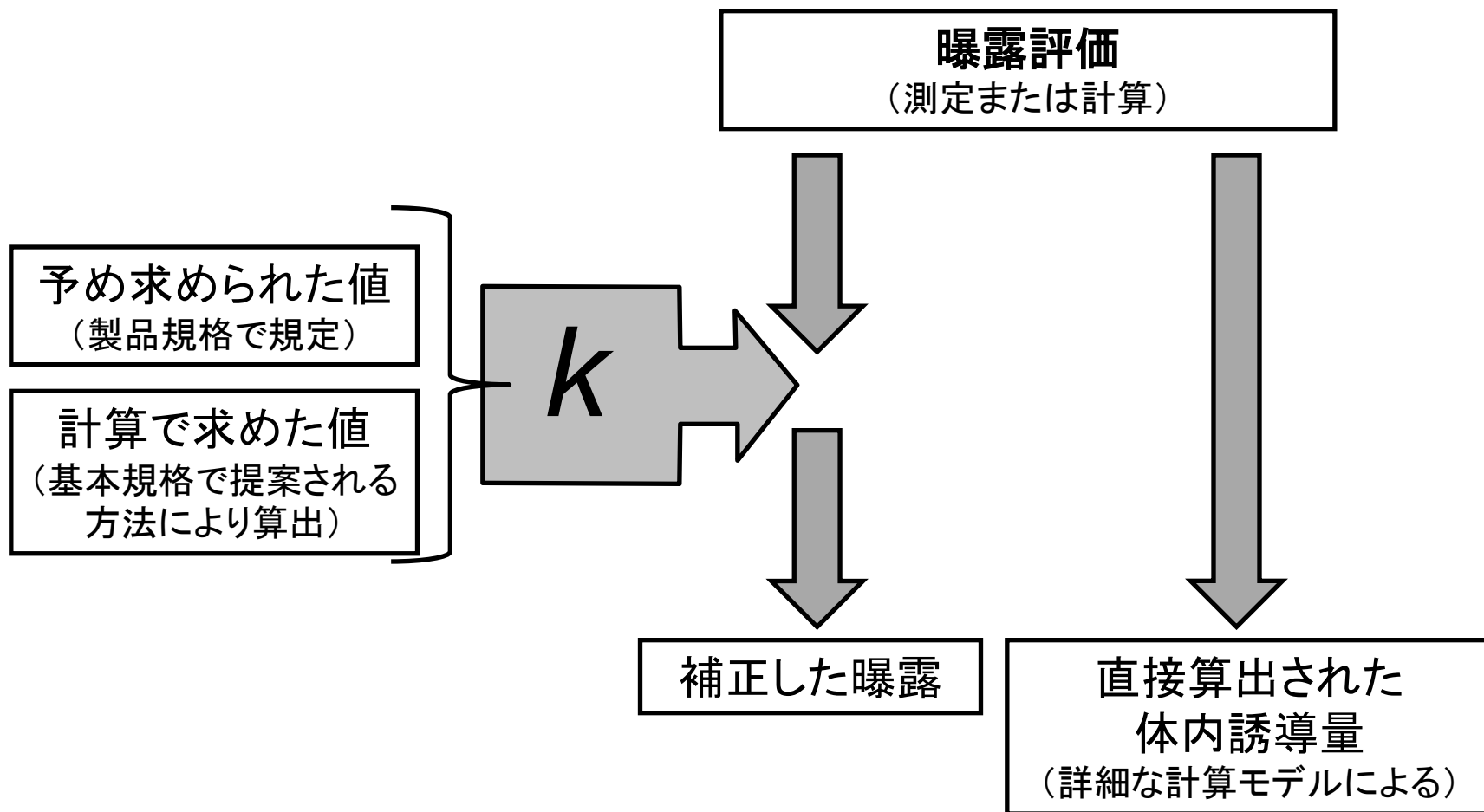


# 家電①の結合係数適用に関する追加検討

# 背景

- 家電①については、全身平均SARが最も支配的(厳しい)指針となる場合があり、さらに電界の影響を無視できない場合もあることから、**結合係数を適用する要件を満足できない**と判断。
- 家電①のシステム要件をより限定的にすることで結合係数の適用要件を満足することが可能かを検討。

# 結合係数



WPTシステム周辺の磁界強度最大値に結合係数(1未満)を乗じた補正値を電磁界強度指針(または参考レベル)と比較

# 結合係数を適用するための要件

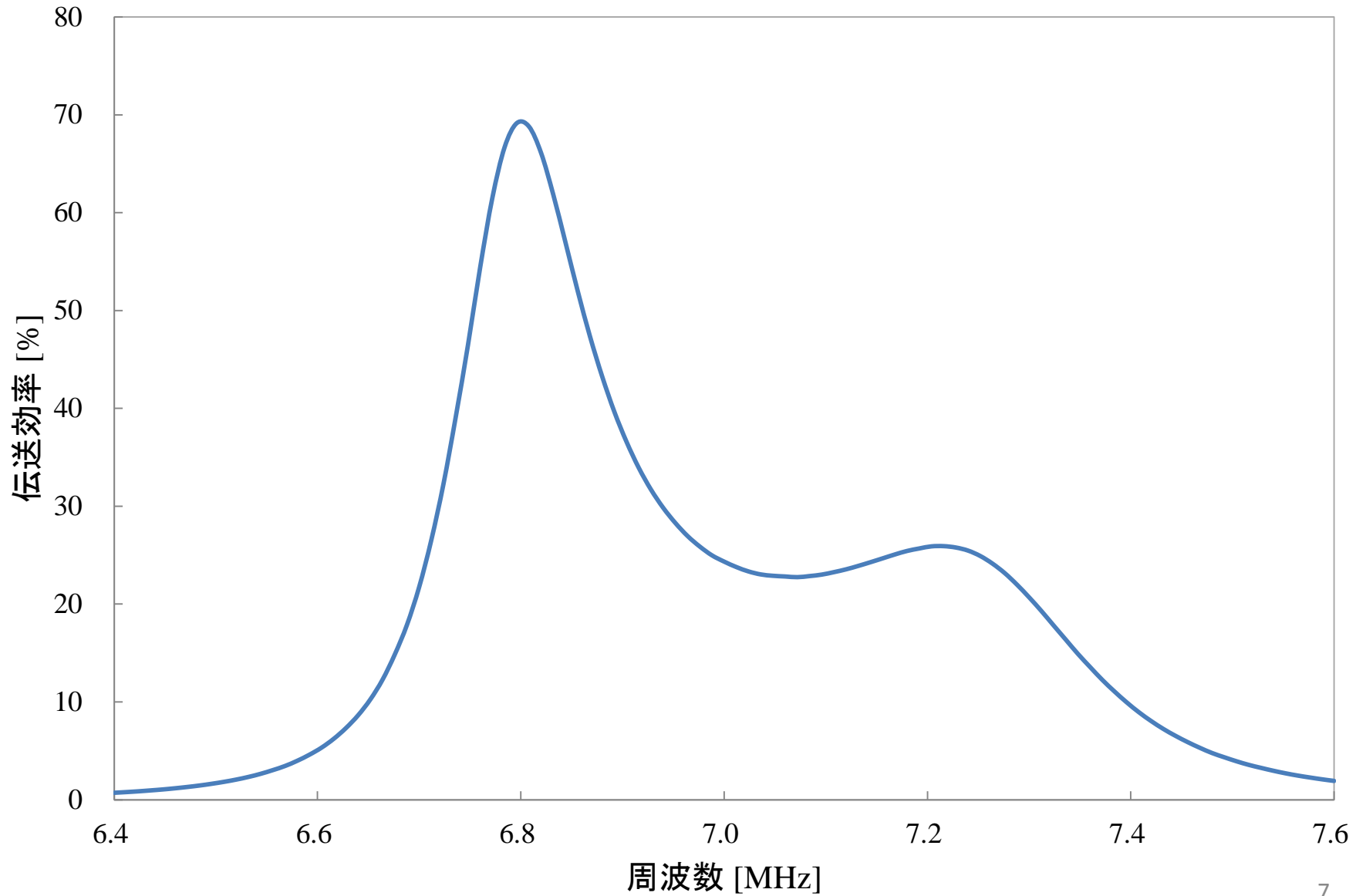
- **局所SAR**または誘導電流密度が**最も支配的**な指針であること。⇔局所SAR(または誘導電流密度)指針値を満足する場合、全身平均SAR指針値を満足することが自明である。
- WPTシステムからの**電界**による局所SARへの寄与が磁界に比べて**無視**できること。
  - WPTシステム周辺の電界は人体の存在により、大きく乱されるため、人体が存在しない場合のWPTシステム周辺の電界強度分布と局所SARを関係づけることは困難。

# BWF提案の新検討モデル

- 送電コイル
  - コイル①: 50cm × 50cm、1ターン、コイル②: 100cm × 50cm、1ターン
  - 共振容量: コンデンサを装荷 (6.78MHzで共振)
- 受電コイル
  - 20cm × 20cm、1ターン
  - 共振容量: コンデンサを装荷 (6.78MHzで共振)
  - 負荷: 純抵抗 (受電電力40W)
- コイル配置
  - 基本形: 送電コイル①、受電コイルは送電コイル中心、送受電コイル間隔は5cm
  - 変形(1): 送電コイル①、受電コイルは送電コイル中心、送受電コイル間隔は10cm
  - 変形(2): 送電コイル②、受電コイルは送電コイル中心、送受電コイル間隔は5cm
  - 変形(3): 送電コイル②、受電コイルは送電コイル中心上に2個、送受電コイル間隔は5cm
  - 変形(4): 基本形、変形(1)～(3)において受電コイルの位置を変化
- 今回は基本形についてのみ検討

**名工大・ドコモ**

# 完全導体導線を用いたWPTシステム



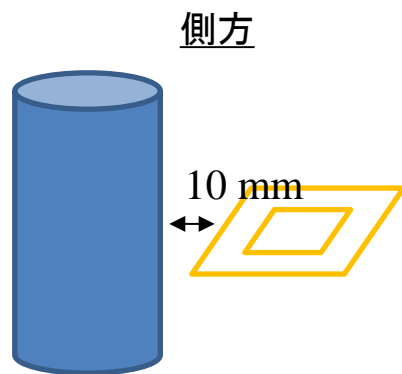
# SPFD法を用いた 円柱モデル(大人、3歳児)によるSARの計算結果

## 解析条件

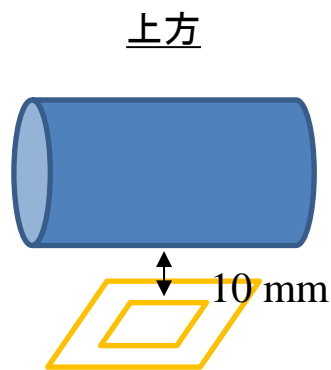
周波数: 6.8 MHz

送信コイルの電流: 1.95 A (1 W給電時)

円柱モデルの媒質: 2/3筋肉



※簡単のため円柱を小さくしています  
実際にはコイルに対して高さをもっとあります



円柱モデル	半径[m]	高さ[m]	重さ[kg]
大人	0.14	1.0	61.6
3歳児	0.10	0.46	14.5



## SARの解析結果

円柱モデル		10g局所SAR [W/kg]	全身平均SAR [mW/kg]
大人	側方	0.088	1.3
	上方	0.20	12
3歳児	側方	0.064	2.0
	上方	0.16	21

- 側方にくらべ上方においてSARは大きくなる傾向
  - 磁界分布から説明可能

### 上記の結果を元に基本制限値と比較

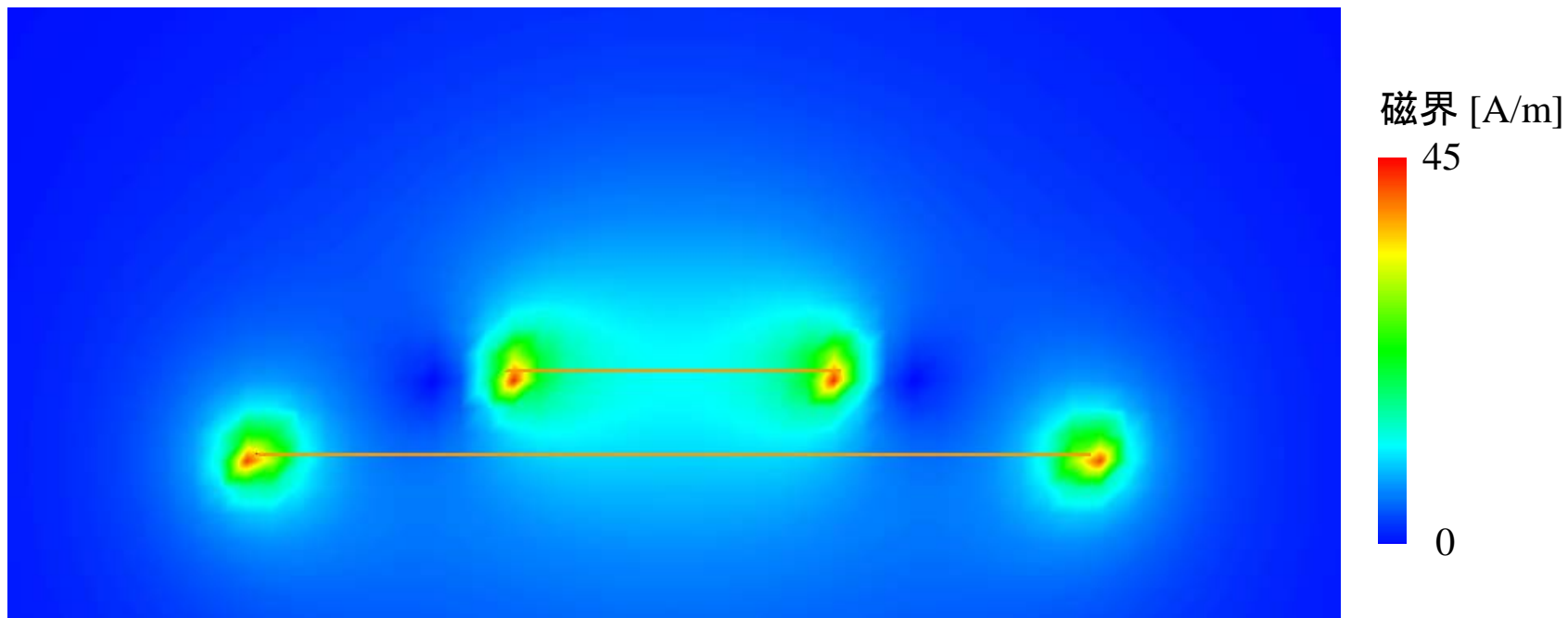
#### SARの基本制限値との比較結果 (SAR / Basic restriction)

円柱モデル	10g局所SAR	全身平均SAR
大人	側方 <b>0.044</b>	0.016
	上方	0.099
3歳児	側方 <b>0.032</b>	0.025
	上方	0.081
		<b>0.26</b>

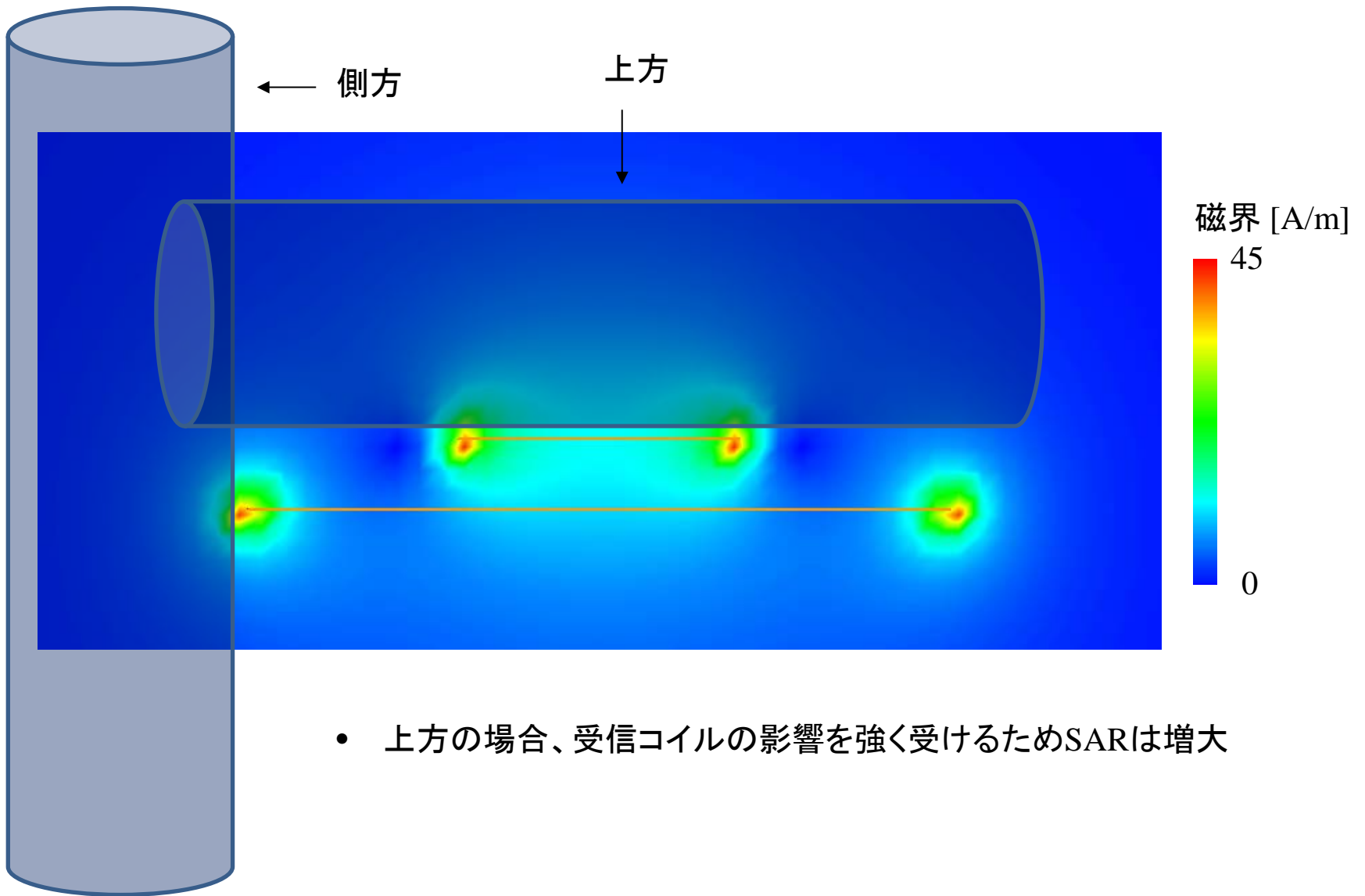
側方に限定すれば、局所SARが最も支配的な制限

最も制限的であるのは3歳児モデルかつ上方のケース

# コイル周辺の磁界分布 (6.8 MHz)



## コイル周辺の磁界分布 (6.8 MHz)



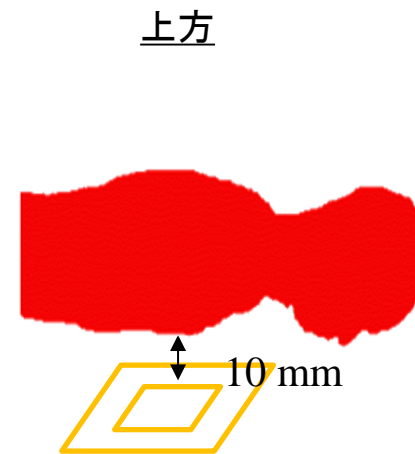
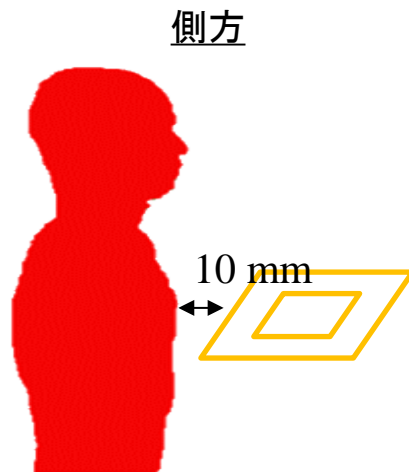
- 上方の場合、受信コイルの影響を強く受けるためSARは増大

# SPFD法を用いた 詳細人体モデル(大人、3歳児)によるSARの計算結果

## 解析条件

周波数: 6.8 MHz

送信コイルの電流: 1.95 A (1 W給電時)



## SARの解析結果

詳細人体モデル		10g局所SAR [W/kg]	全身平均SAR [mW/kg]
大人	側方	0.047	0.69
	上方	0.127	6.89
3歳児	側方	0.025	0.81
	上方	0.109	7.90

- 側方にくらべ上方においてSARは大きくなる傾向
  - 磁界分布から説明可能

上記の結果を元に基本制限値と比較

SARの基本制限値との比較結果 (SAR / Basic restriction)

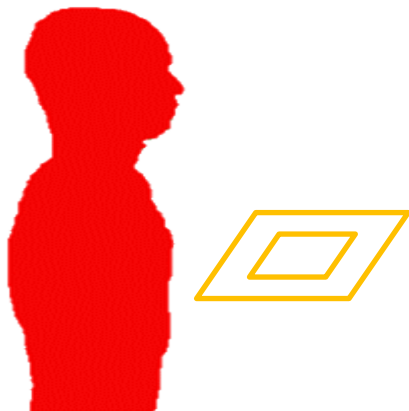
詳細人体モデル		10g局所SAR	全身平均SAR
大人	側方	0.024	0.0086
	上方	0.064	0.086
3歳児	側方	0.013	0.010
	上方	0.054	0.099

側方に限定すれば、局所SARが最も支配的な制限

最も制限的であるのは3歳児モデルかつ上方のケース

# カップリングファクターの計算結果 (※H\_limはICNIRP参考レベル)

側方



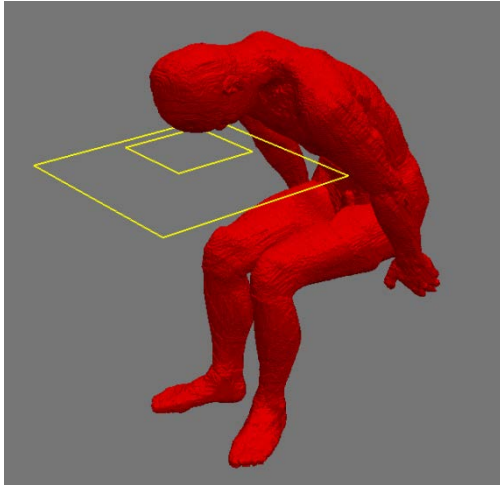
$$a_c = \frac{\frac{\sqrt{10g \cdot SAR_{\max}}}{H_{\max\_meas}}}{\frac{\sqrt{10g \cdot SAR_{\text{limit}}}}{H_{\text{limit}}}} = \frac{\frac{\sqrt{0.047}}{6.81}}{\frac{\sqrt{2.0}}{0.107}} = 2.42 \times 10^{-3}$$

上方



$$a_c = \frac{\frac{\sqrt{10g \cdot SAR_{\max}}}{H_{\max\_meas}}}{\frac{\sqrt{10g \cdot SAR_{\text{limit}}}}{H_{\text{limit}}}} = \frac{\frac{\sqrt{0.127}}{6.81}}{\frac{\sqrt{2.0}}{0.107}} = 3.98 \times 10^{-3}$$

## 座っている姿勢



$$a_c = \frac{\frac{\sqrt{10g \cdot SAR_{\max}}}{H_{\max\_meas}}}{\frac{\sqrt{10g \cdot SAR_{\text{limit}}}}{H_{\text{limit}}}} = \frac{\frac{\sqrt{0.044}}{6.81}}{\frac{\sqrt{2.0}}{0.107}} = 2.34 \times 10^{-3}$$

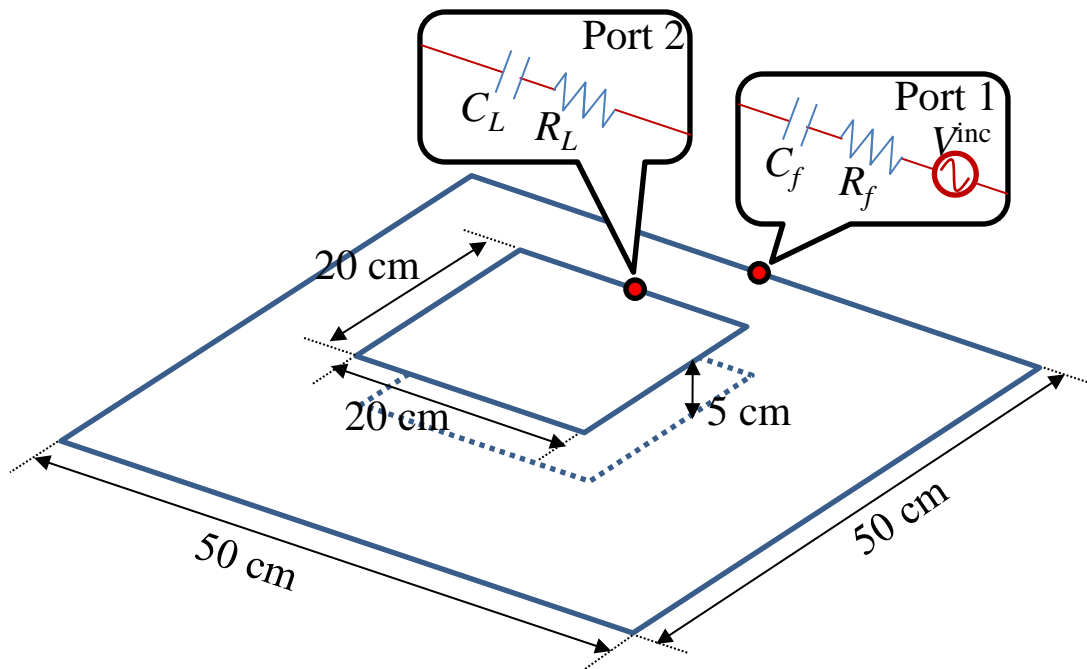
## カップリングファクターまとめ

解析条件	カップリングファクター
側方	$2.42 \times 10^{-3}$
上方	$3.98 \times 10^{-3}$
座っている姿勢	$2.34 \times 10^{-3}$

**NICT**



# Analysis Model



## 解析条件

周波数: 6.78 MHz

送信コイルの電流: 0.76 A (1 W給電時)

受信コイルの電流: 0.42 A (1 W給電時)

効率: 59%

## パラメータ

$R_f = 4 \Omega$ ,  $R_L = 4 \Omega$

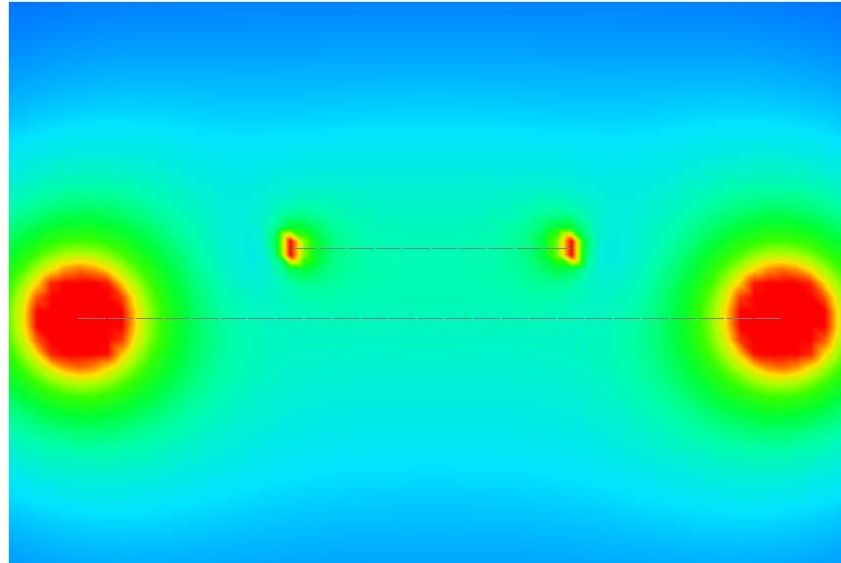
$C_f = 220 \text{ pF}$ ,  $C_L = 586 \text{ pF}$

材質: 銅

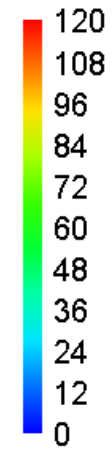
# Field Distribution

$$P^{\text{in}} = 1\text{W}$$

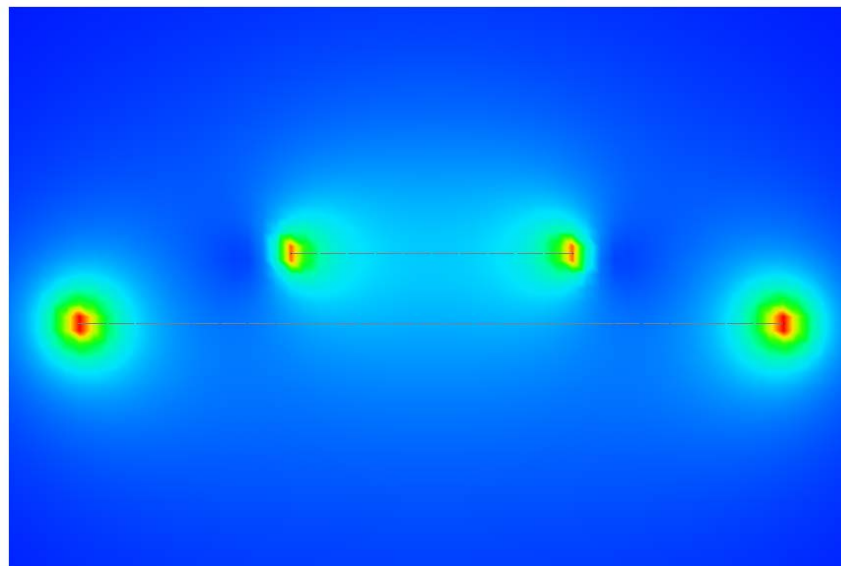
E-Field



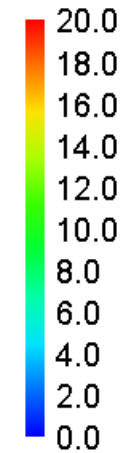
Electric field [V/m]



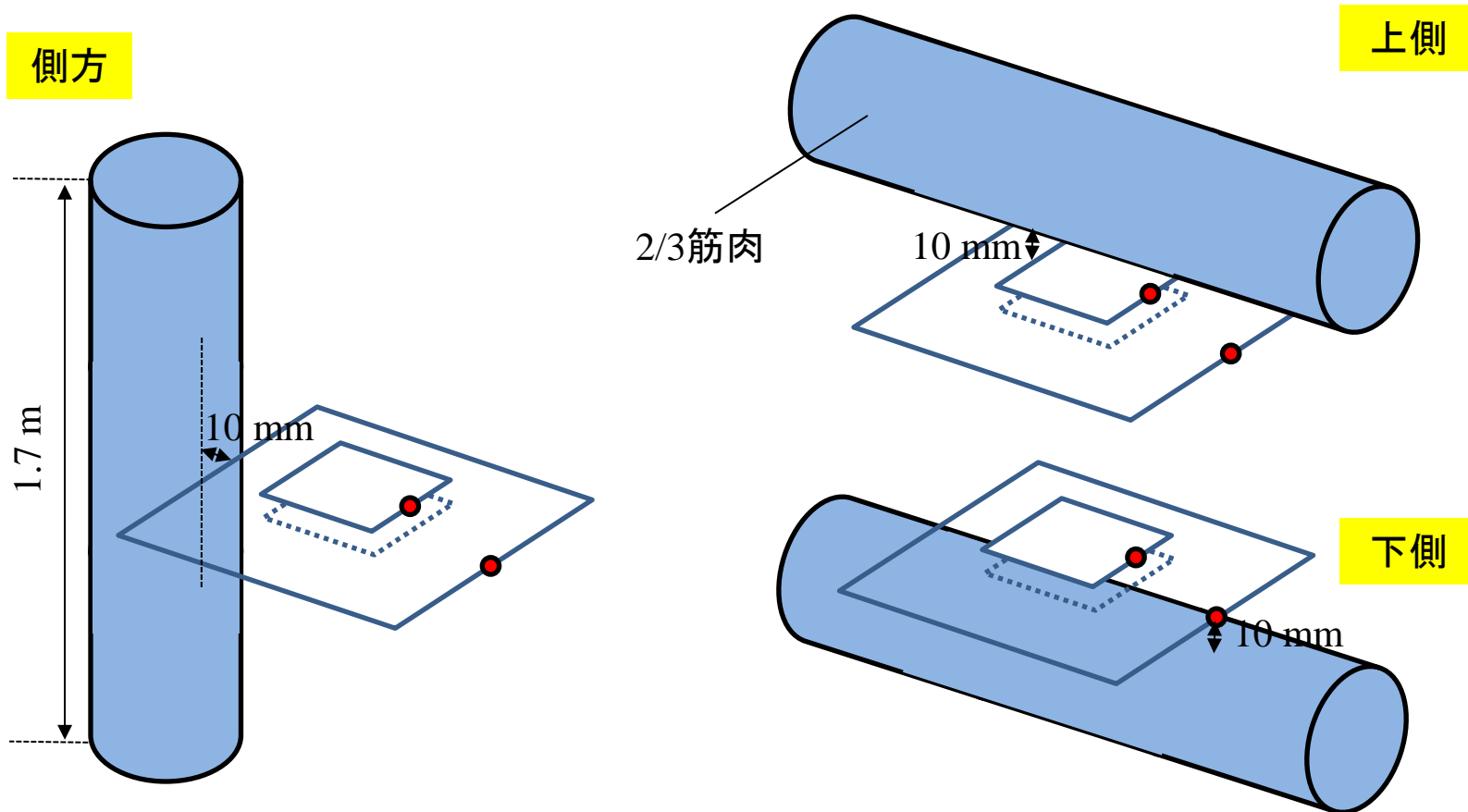
H-Field



Magnetic field [A/m]



# Analysis Model



円柱モデル	半径[m]	高さ[m]	重さ[kg]
大人	0.14	1.7	104.7

# Results: Currents & SAR

## 電流の解析結果 ( $P_{in} = 1W$ )

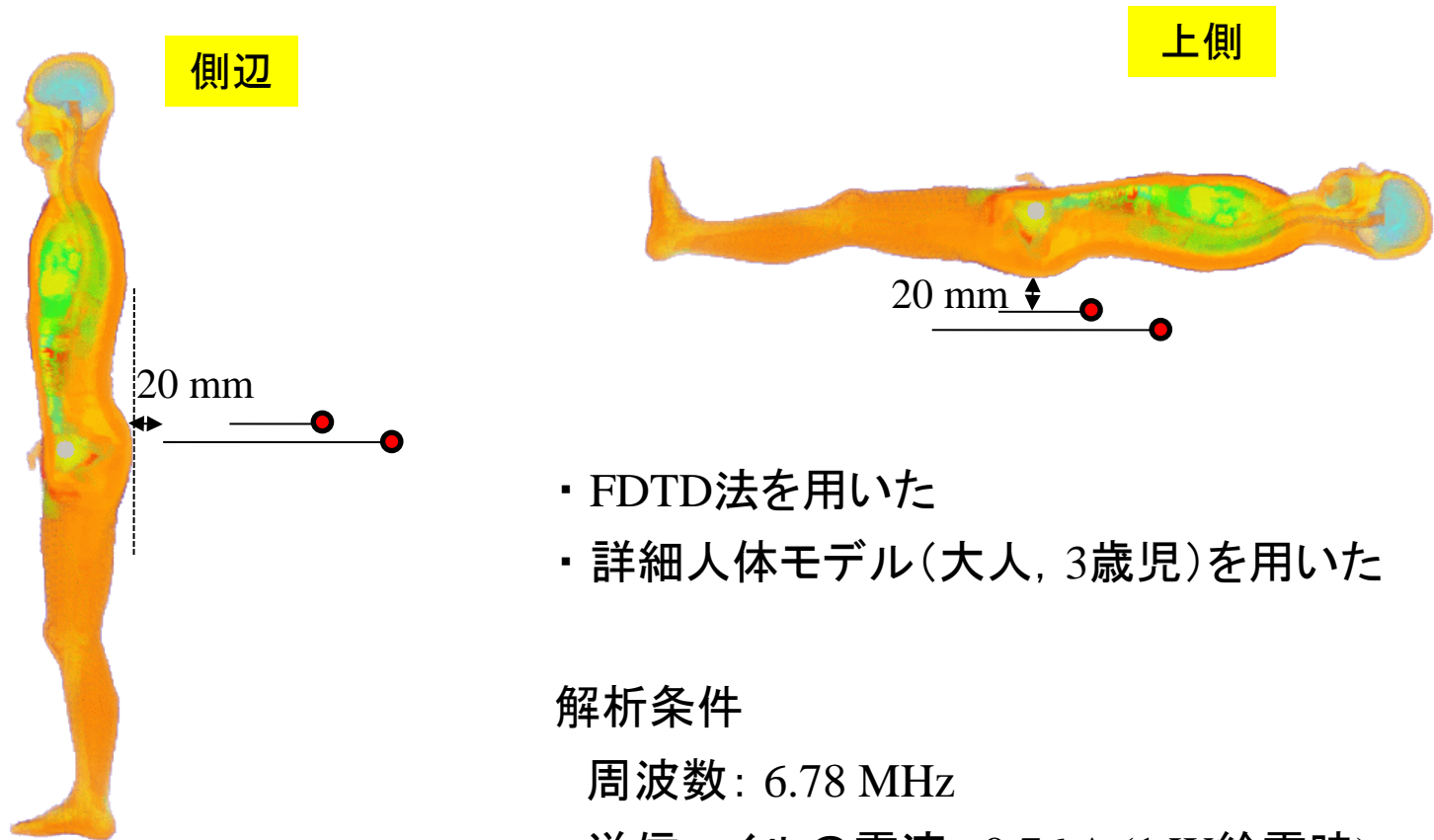
円柱モデル	送電電流 [A]	受電電流 [A]	効率 [%]
側方	0.74	0.42	59.8
大人 上側	0.75	0.39	51.9
下側	0.73	0.39	51.8

## SARの解析結果 ( $P_L = 40W$ )

円柱モデル	10g平均SAR [W/kg]	全身平均SAR [W/kg]
側方	0.87 (43.5%)	0.015 (18.7%)
大人 上側	4.54 (227%)	0.118 (147%)
下側	4.77 (238%)	0.143 (179%)

- 側方に比べて、上下側にある場合のSARが大きい
- いずれの条件でも、局所SARが最も支配的な(厳しい)制限。

# Analysis Model



- ・ FDTD法を用いた
- ・ 詳細人体モデル(大人, 3歳児)を用いた

## 解析条件

周波数: 6.78 MHz

送信コイルの電流: 0.76 A (1 W給電時)

効率: 59%

# Results: SAR

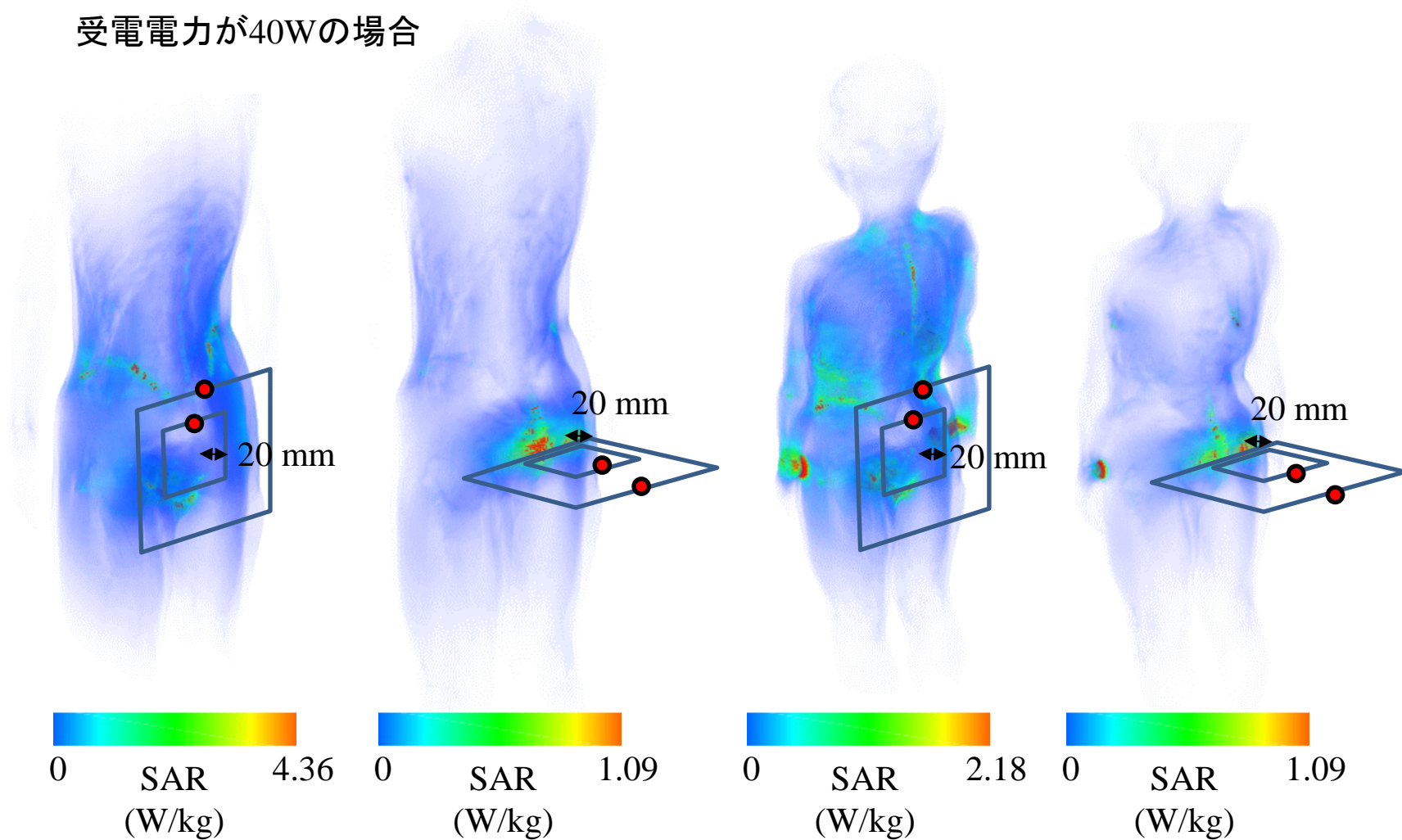
SARの解析結果 ( $P_L = 40\text{W}$ )

人体モデル		10g平均SAR [W/kg]	全身平均SAR [W/kg]
大人	側方	0.49 (25%)	0.008 (10%)
	上側	1.80 (90%)	0.049 (61%)
3歳子供	側方	0.35 (18%)	0.013 (16%)
	上側	2.65 (133%)	0.086 (108%)

- 側方に比べて、上側にある場合のSARが大きい
- いずれの条件でも、局所SARが最も支配的な(厳しい)制限。

# SAR Distribution

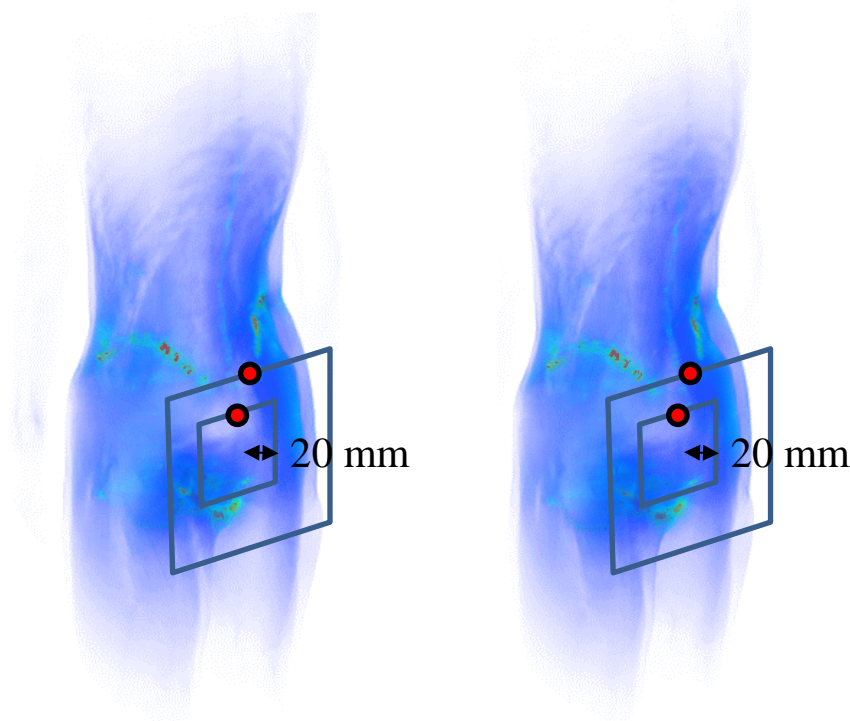
受電電力が40Wの場合



# 入射電界を無視することの影響

FDTD法

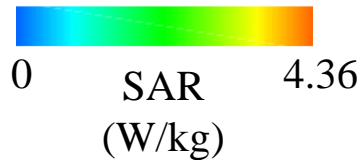
インピーダンス法



SARの解析結果 ( $P_L = 40W$ )

	10g平均SAR [W/kg]	全身平均SAR [W/kg]
FDTD	1.80	0.0493
IMP	1.67 (-7.2%)	0.0491 (-0.4%)

電界を無視することの誤差  
はたかだか7%程度





# Coupling Factor

$$a_c = \frac{\left( \frac{\sqrt{\text{SAR}_{10\text{g}}}}{H_{\text{max}}} \right)}{\left( \frac{\sqrt{\text{SAR}_{10\text{g}}^{\text{limit}}}}{H_{\text{max}}^{\text{limit}}} \right)}$$

カップリングファクター $a_c$

人体モデル		結合係数
大人	側辺	0.0121
	上側	0.0185
3歳子供	側辺	0.0102
	上側	0.0225

# 名工大・ドコモ・NICT検討まとめ(1)

## 名工大の解析結果とのリアルモデルでの比較 (指針値に対する比率)

人体モデル	名工大		NICT		
	10g局所SAR [W/kg]	全身平均SAR [W/kg]	10g局所SAR [W/kg]	全身平均SAR [W/kg]	
大人	側方	1.24 (62%)	0.018 (22.5%)	1.49 (74.5%)	0.023 (28.7%)
	上側	3.34 (167%)	0.181 (226%)	5.43 (271%)	0.149 (186%)
3歳子供	側方	0.66 (33%)	0.021 (26.2%)	1.06 (53%)	0.040 (50%)
	上側	2.87 (143%)	0.208 (260%)	7.98 (399%)	0.259 (324%)

- 両機関の検討結果の傾向は良好に一致。
  - 側方よりも上側でのばく露量(SAR値)が大きくなる。
  - 側方に限定すると、局所SARが最も支配的な(厳しい)制限となる。

# 名工大・ドコモ・NICT検討まとめ(1)

	人体モデル	配置	結合係数
名工大・ドコモ	リアル・成人男性	側方	0.0071
		上面	0.0117
		座位	0.0069
NICT	リアル・成人男性	側方	0.0121
		上面	0.0183
	リアル・小児	側方	0.0102
		上面	0.0225

- 両機関の検討結果の傾向は概ね一致。
  - 差異の原因は人体モデルの向き(正面vs背面)・配置高さ(下腹部vs胸部)の違い等が考えられる。

※名工大・ドコモの結合係数を電波防護指針に修正

# まとめ①

- 家電①追加検討のタイプでは入射電界の影響は概ね無視できる(局所SARで7%程度過少評価する可能性)。
- システム側面に人体が配置される場合には、局所SARに関する制限を満足することが確認できる場合、全身平均SARの制限も満たされる⇒**結合係数の適用要件を満足**
- システム上下面に人体が配置される場合には、全身平均SARによる制限は満たされない場合がある⇒**結合係数の適用要件を満足しない**

## まとめ②

- 結合係数を適用できる条件
  - システム上下面に人体が配置されない場合
- 適用すべき結合係数(案)
  - $0.007 \sim 0.023 \Rightarrow 0.05 ?$
  - 安全側の評価となるようにマージンを考慮する必要

# 今後の作業

- 今回検討していない条件での検討を追加
  - － 結合係数の適用条件を満足するかを確認
  - － 各条件のばらつき・不確かさを評価した結合係数の決定
- 電波防護指針改定 (ICNIRP 2010対応) を想定した結合係数の決定
  - － 局所SAR(6分間平均)を想定した結合係数に加えて、体内誘導電界強度(瞬時値)を想定した結合係数での評価が必要
- 報告書の修正案作成(メール審議)