

2010年10月8日 第5回生体電磁環境に関する検討会

# 実験に基づく電磁界強度指針の 妥当性評価及び確認

—研究成果報告—

北海道大学 大学院情報科学研究科

野島 俊雄

# 内 容

---

## ▶ 背景

電波防護指針と全身平均SAR(Specific Absorption Rate)

## ▶ 研究目標

全身平均SAR測定系の実現

人体寸法(大人・子供)、姿勢(立、座等)変更時のSAR測定データ取得

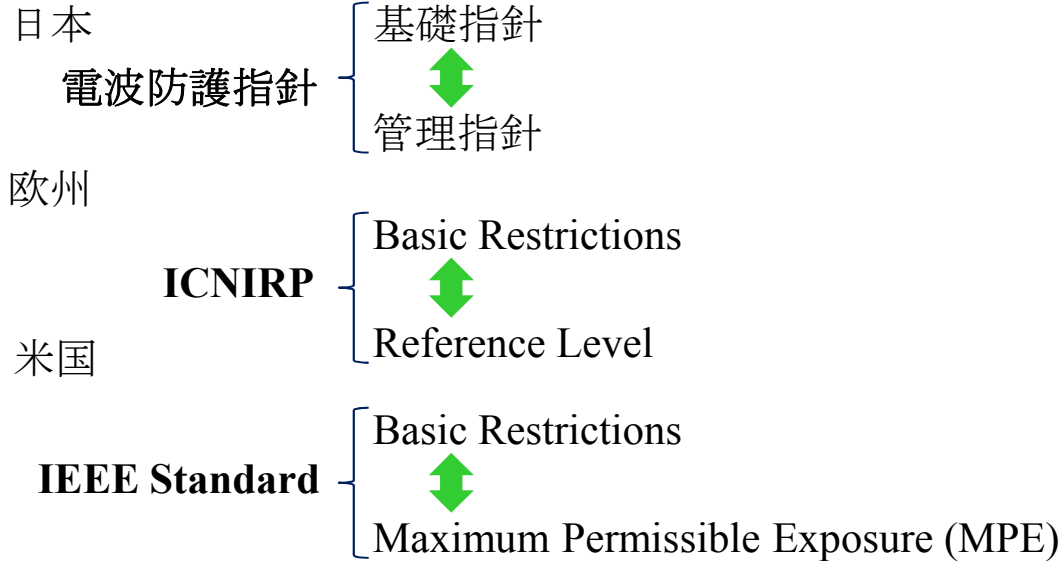
## ▶ 研究方法

3次元電界強度分布測定装置と疑似人体からなる測定系を開発

## ▶ 研究成果

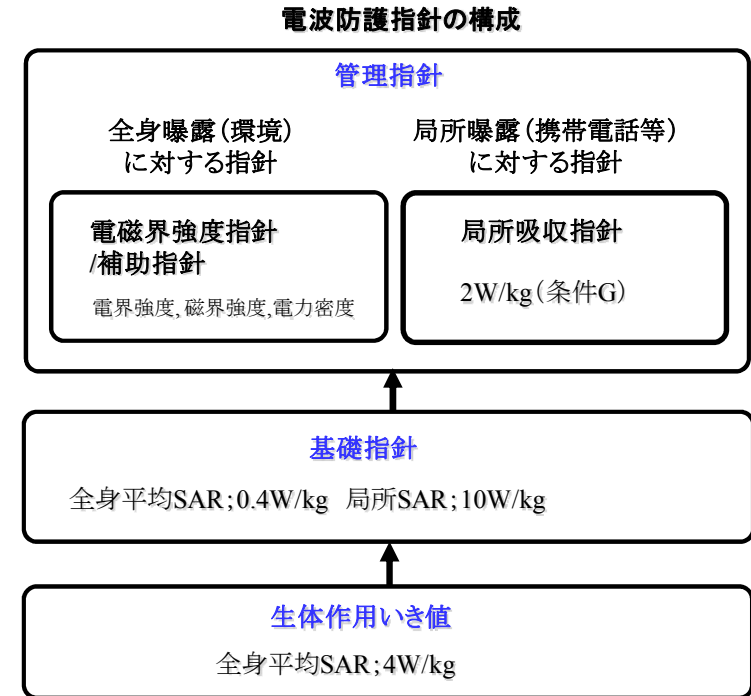
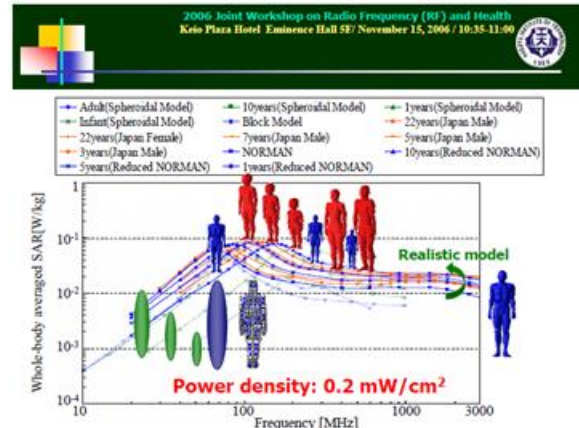
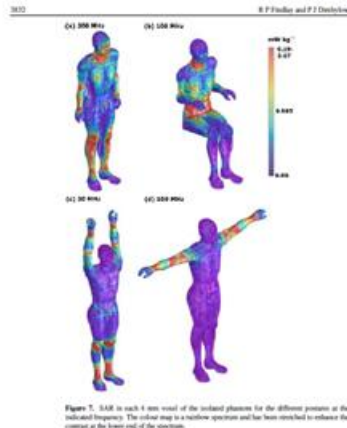
欧州人および日本人の数値人体モデルを用いて、成人および小児の全身平均SAR測定を実施、計算推定の裏付けデータを取得

# 研究背景と目的



電磁界強度指針は基礎指針から計算で導出されており、その精度を高めるための詳細な計算推定が世界的に様々な研究機関で実施されている。

(参考文献:[1], [2]他)



[1] J. Wang, et al., "FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies from 30 MHz to 3 GHz," Phys. Med. Biol. 51, p4119-4127 (2006)

[2] Sven Kühn, et al., "Assessment methods for demonstrating compliance with safety limits of wireless devices used in home and office environments," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Volume 49, Issue 3, pp. 519-525, August 2007.

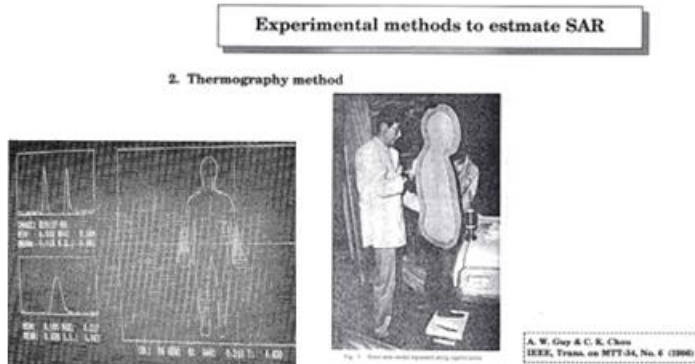
# 研究背景と目的

高精細な人体モデルを用いた全身平均SARの数値計算は国内外の研究機関で多く行われているが、それら計算推定を裏付けるための実験検証については実施の難易度が高く、十分なデータが得られている状況にない。

本研究では、人体によく近似したファントムを用いて、年齢、姿勢などの影響も考慮した全身平均SARの実験測定を行う。取得した実験データは、計算推定結果の信頼性を確認するための裏づけとなり、さらに、指針値の妥当性確認に寄与することが期待される。

これまでに行われている全身平均SARの実験評価例：

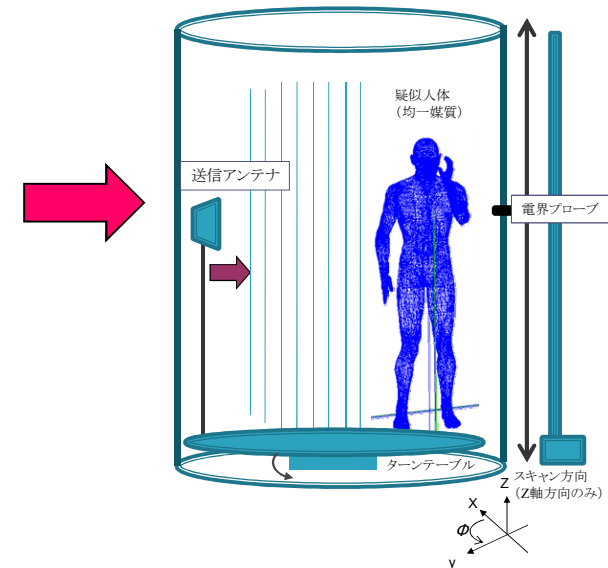
サーモグラフィ法



カロリーメータ法



外部電磁界走査法

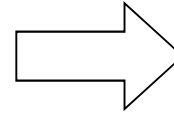


# 提案した全身平均SAR実験系の原理

## 全身平均SAR実験評価系構築

人体の外部電磁界を用いた全身平均SARの実験推定法の提案

(河村他, 信学総大, B4-15, p458, Mar. 2009.)



実験系の構成および測定評価  
(電磁界測定系・平面波源・ファントム)

## 外部電磁界走査に基づく全身平均SAR推定法

- 人体への吸収電力 ( $W_{ab}$ ) を入射電力 ( $W_{in}$ ) と放射電力 ( $W_{out}$ ) より推定

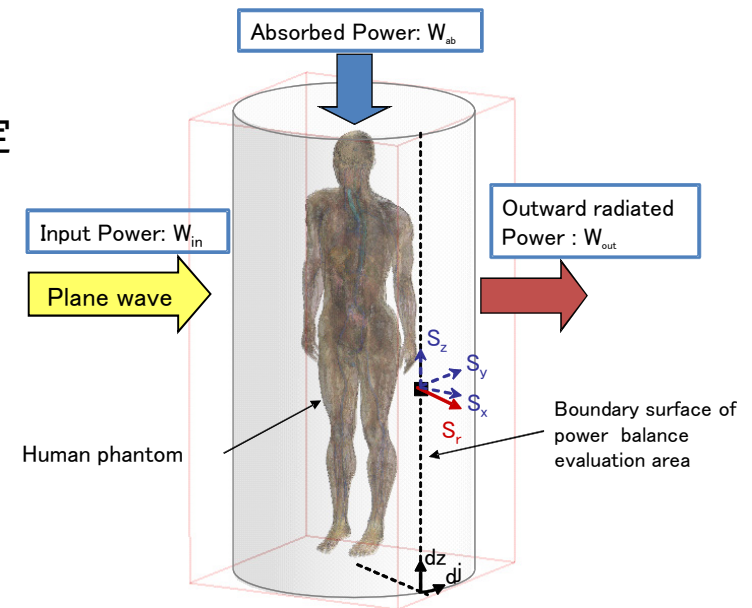
$$W_{ab} = W_{in} - W_{out}$$

- ポインティングベクトル  $S$  の面積分 を用いた放射電力推定

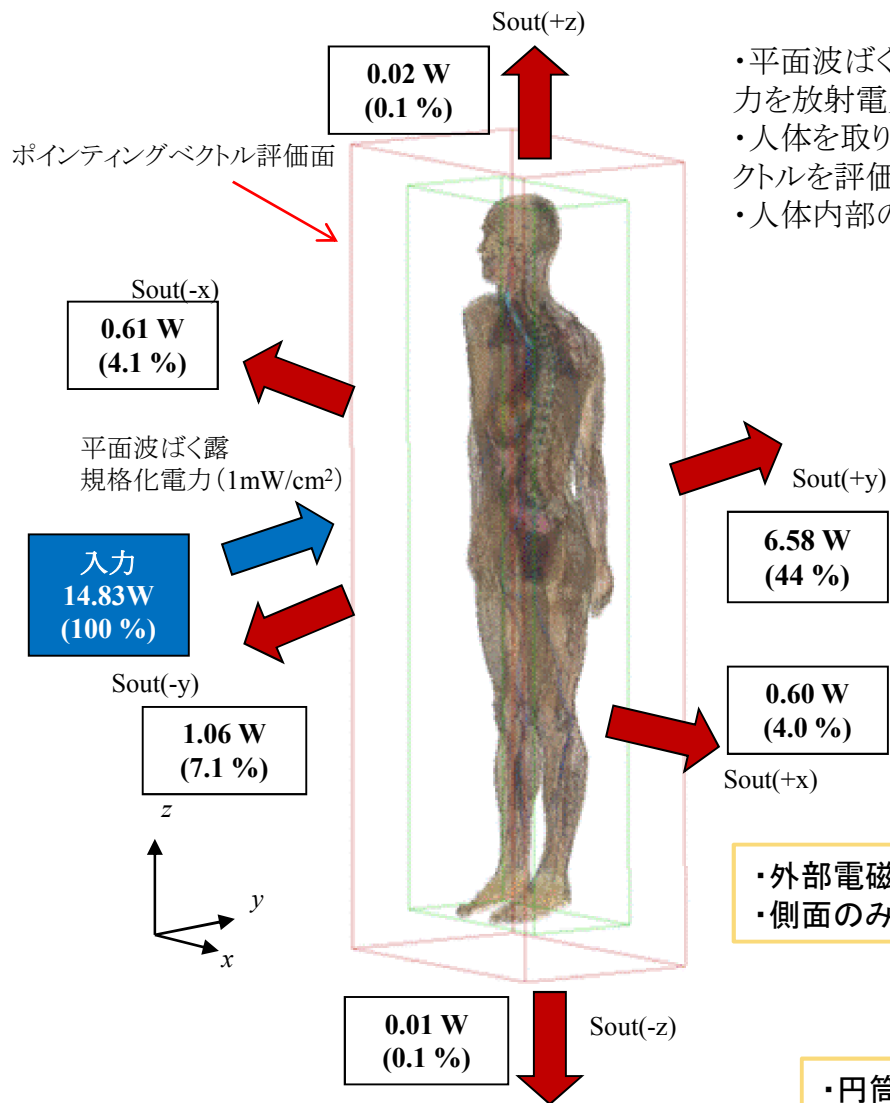
$$W_{out} = \oint_S \mathbf{S} \cdot \mathbf{n} dS$$

## 提案手法の技術的特徴

外部電磁界測定に円筒面走査法を適用することにより、  
実験系構築が容易  
ファントムの寸法、姿勢等が変化した場合でも測定可能



# 外部電磁界によるSAR測定に関して 妥当性確認（数値シミュレーション）を実施



- ・平面波ばく露時(周波数2GHz, 垂直偏波, +y方向に伝搬)の直立人体による吸収電力を放射電力(ポインティングベクトル)から評価
- ・人体を取り囲む領域の6つの境界面(+x, -x, +y, -y, +z, -zの6面)でポインティングベクトルを評価
- ・人体内部の吸収電界から求められた吸収電力(1mW/cm<sup>2</sup>のばく露時で5.9W)と比較

(1) ファントム前面(-y)と背面(+y)のみの電力で評価

$$Pa = 14.83 - 7.64 = 7.19 W$$

(2) 4側面(-y, +y, -x, +x面)で評価

$$Pa = 14.83 - 8.85 = 5.98 W$$

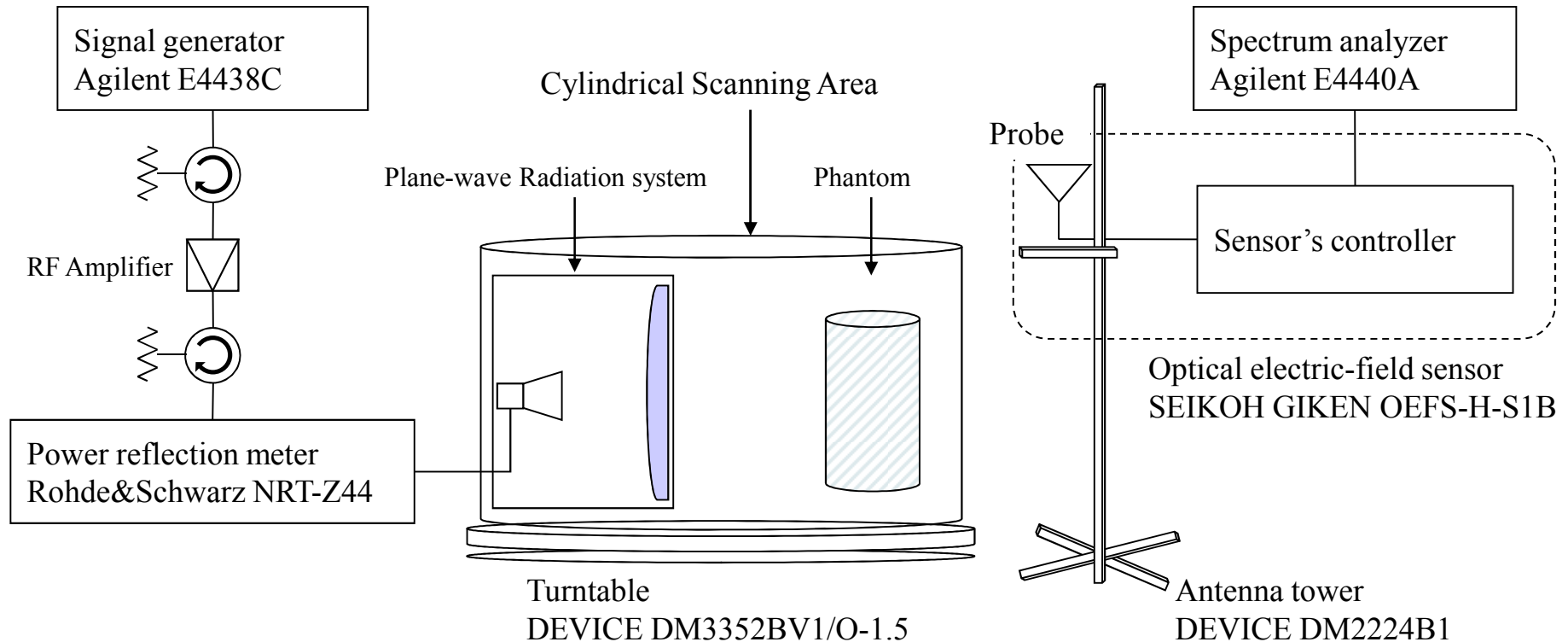
(3) 全6面 (-y, +y, -x, +x, -z, +z面)

$$Pa = 14.83 - 8.88 = 5.94 W$$

・外部電磁界に基づくWB-SAR評価の妥当性を確認  
 ・側面のみ測定と上下方向まで含めた6面すべてを測定した場合の差は小さい

・円筒面走査による吸収電力評価の適用  
 →装置の簡素化および測定時間短縮を実現

# 実験系基本構成を設計

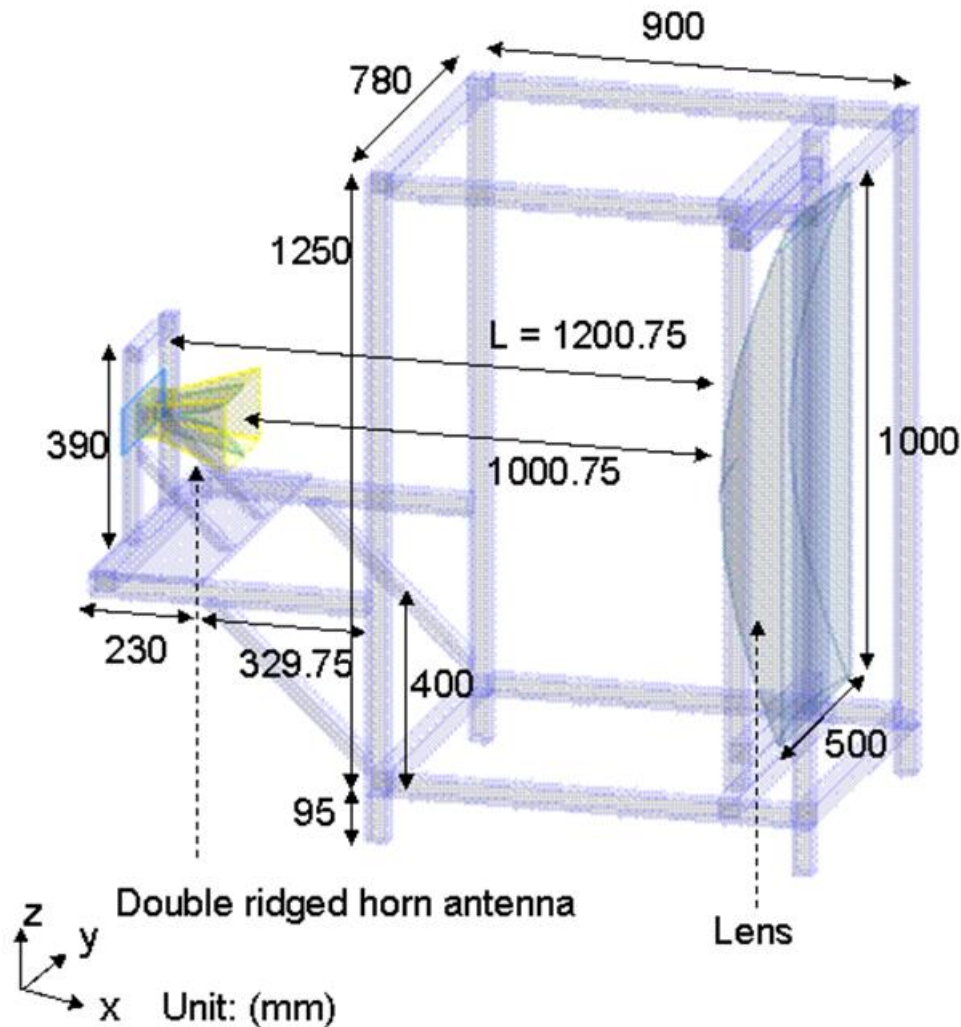


## ■ 全身平均SAR実験評価系

- ½スケールモデルの適用
- 均一ばく露を実現する平面波ばく露装置
- 円筒面走査法を用いた高精度な電界測定系
- 高い形状再現性および安定した電気特性の物理ファントム

# 平面波ばく露装置を製作、基本特性の確認

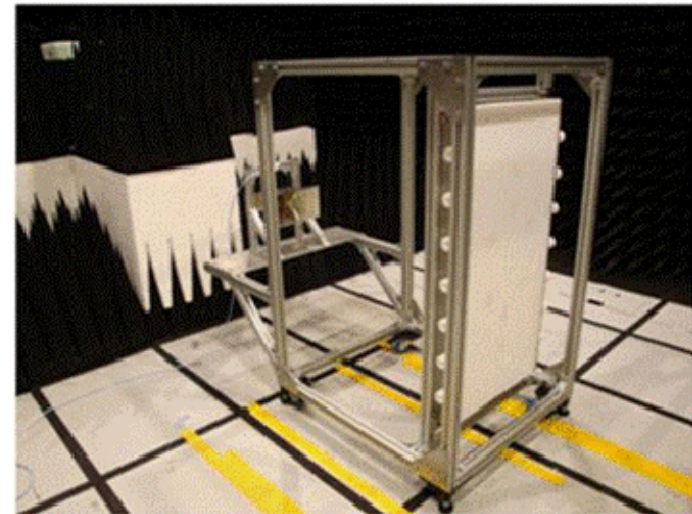
構造図



構成媒質

- Frame : Aluminum alloy
- Antenna : Metal
- Lens : Polyacetal ( $\epsilon_r = 3.7$ )

- アンテナと誘電体レンズを使用
- 均一な平面波を生成





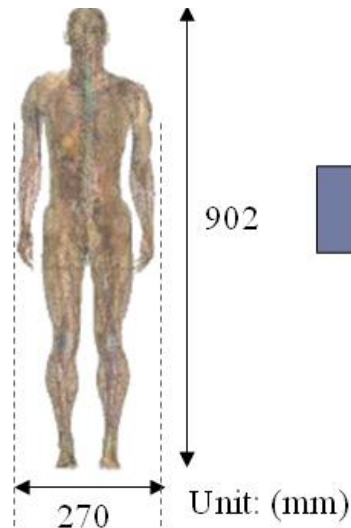
# 実験評価用疑似人体の製作

- ▶ WB-SAR評価用疑似人体(ファントム)の必要条件
  - ・測定周波数帯において生体とほぼ等価な電気的特性  
(均質媒質:2/3筋肉等価)を有すること
  - ・高安定かつ水分を含まない軽量の固体材料



- ▶ シリコンラバーとカーボンナノチューブ複合材を用いた軽量固体ファントム材の利用
  - ・成人男性および小児モデルを製作
  - ・スケールモデルに対応した電気的特性の確認

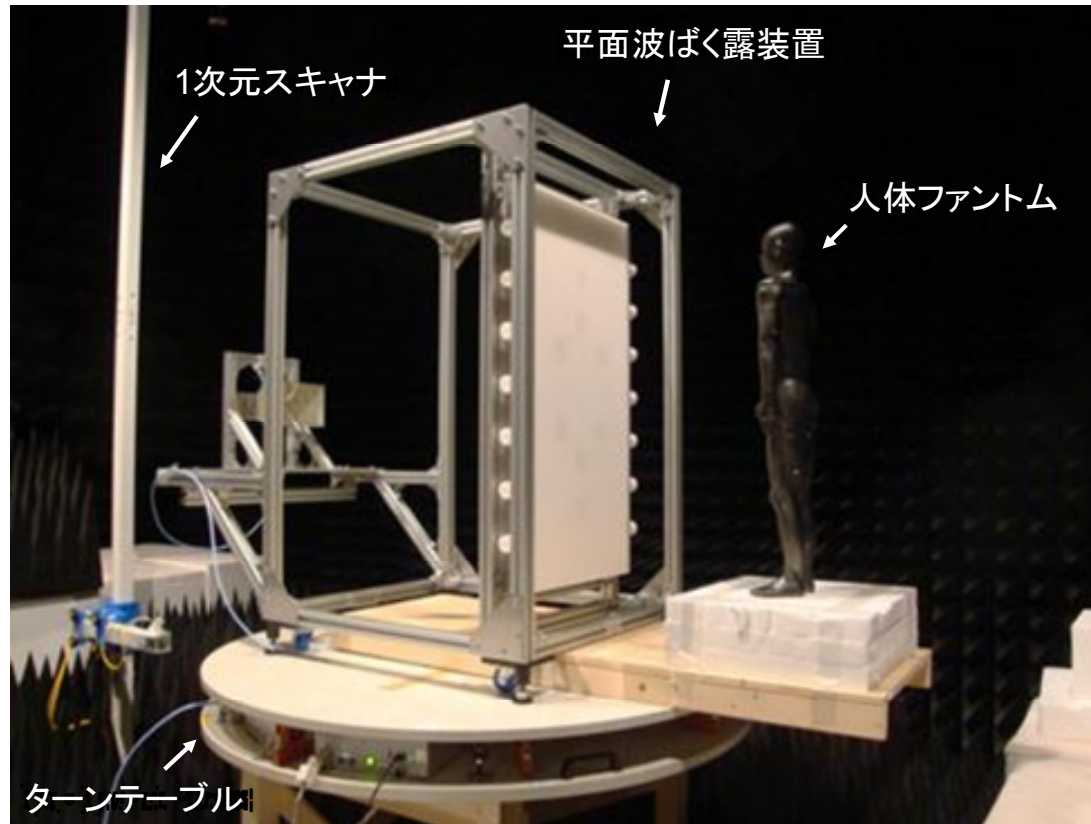
数値人体モデル  
(1/2スケール)



物理ファントム



# 基本姿勢人体のSAR測定実験の実施



## 〈測定条件〉

周波数:

4.0 GHz

( \* 1/2スケールモデル適用のため )

→2GHzのばく露を評価

測定空間:

高さ 1.8 m, 半径 1.5 m

測定分解能:

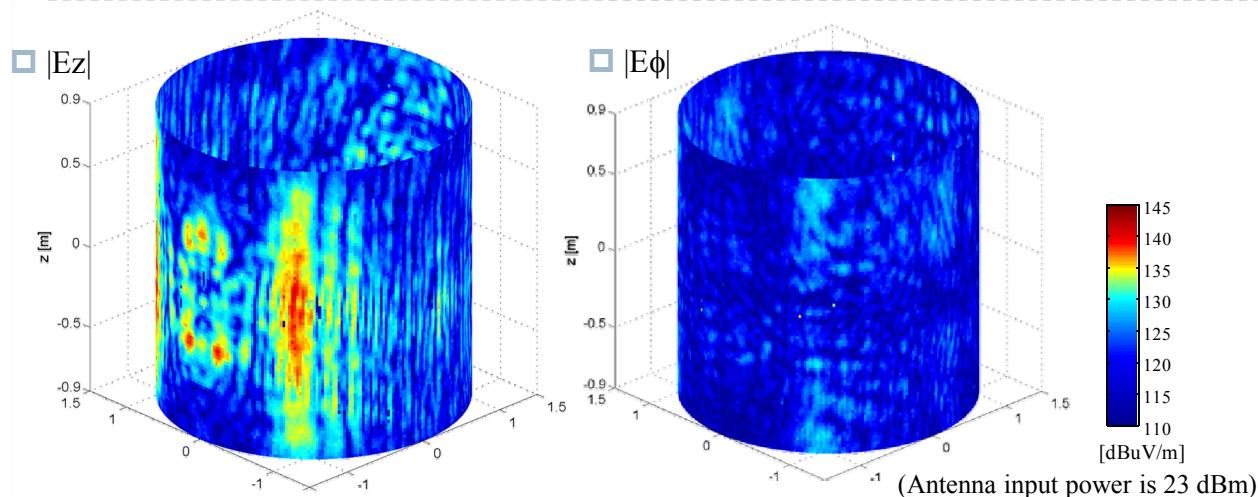
dz 0.02 m,  $d\phi$  1 degree

(90 point × 360 point)

測定時間:

24 時間

# 全身平均SAR測定データを取得(欧州人モデル)



欧州人モデル<sup>[1]</sup>



身長:107cm  
体重:18.2 kg

身長:180cm  
体重:68.6 kg

小児

成人男性

- ・電界データを円筒走査面に渡って面積分することで放射電力を評価
- ・ファントムが存在しない場合の放射電力との差分から吸収電力を算出
- ・全身平均SARは測定媒質の吸収電力  $W_{ab}$  と質量の比より算出

$$\text{全身平均SAR} = \frac{W_{ab}}{\text{(人体の質量)}} \quad [\text{W/kg}]$$

平面波(2GHz, 垂直偏波, 1mW/cm<sup>2</sup>)ばく露時の全身平均SAR(測定結果)

人体モデル(立姿勢)	測定結果	
	成人男性	小児
全身平均SAR [W/kg]	0.056 (±0.028)	0.101 (±0.051)

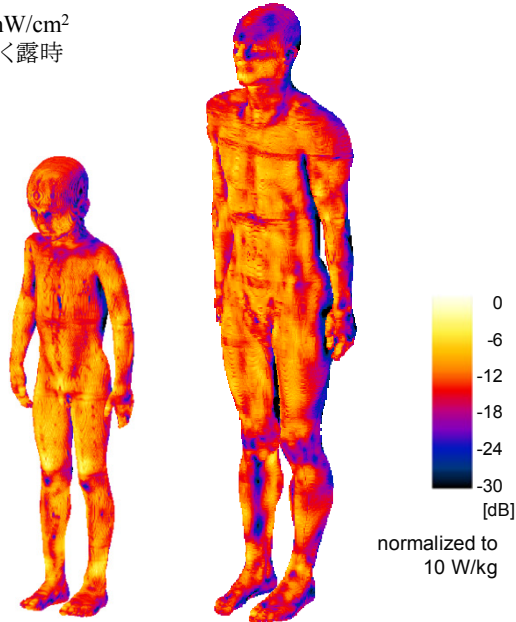
( )内は実験系誤差範囲

[1] Christ A., et al., "The Virtual Family—development of anatomical CAD models of two adults and two children for dosimetric simulations," Phys. Med. Biol. 55 N23–38, 2010.

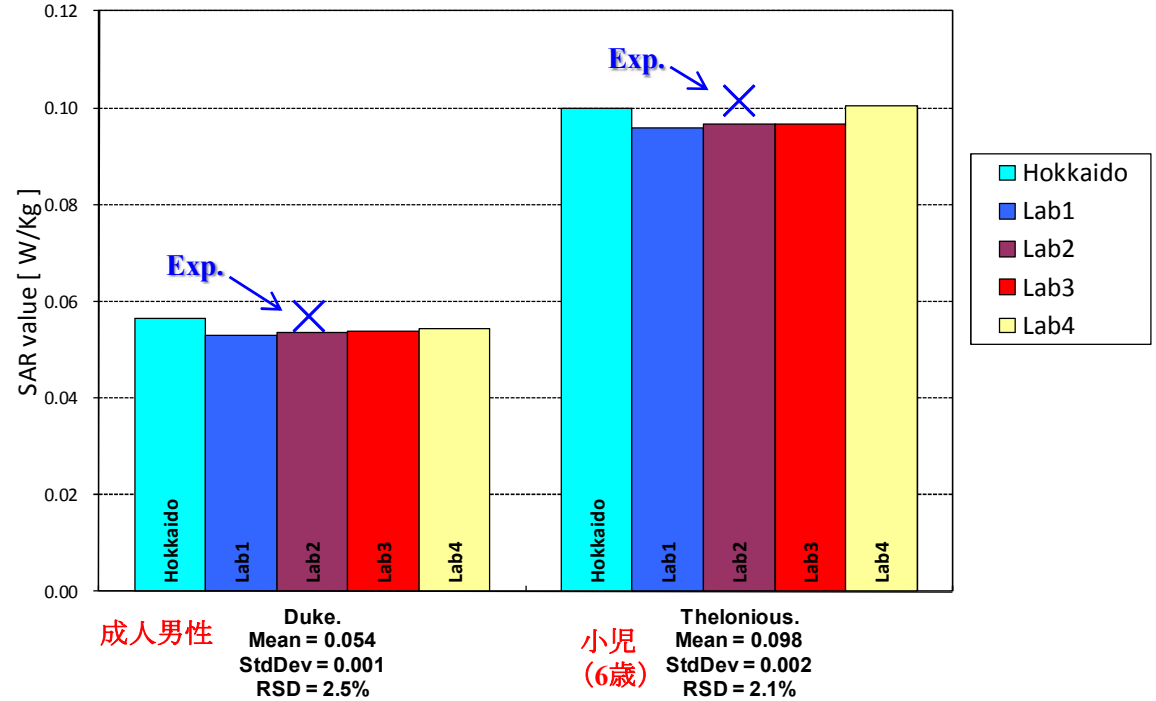
# 数値計算結果との比較

## 欧州人モデル FDTD解析結果 (SAR分布)

2GHz, 1mW/cm<sup>2</sup>  
平面波ばく露時



異なる研究機関で行われた全身平均SARの数値計算結果  
(人体モデルおよびばく露条件を統一)と実験結果の比較



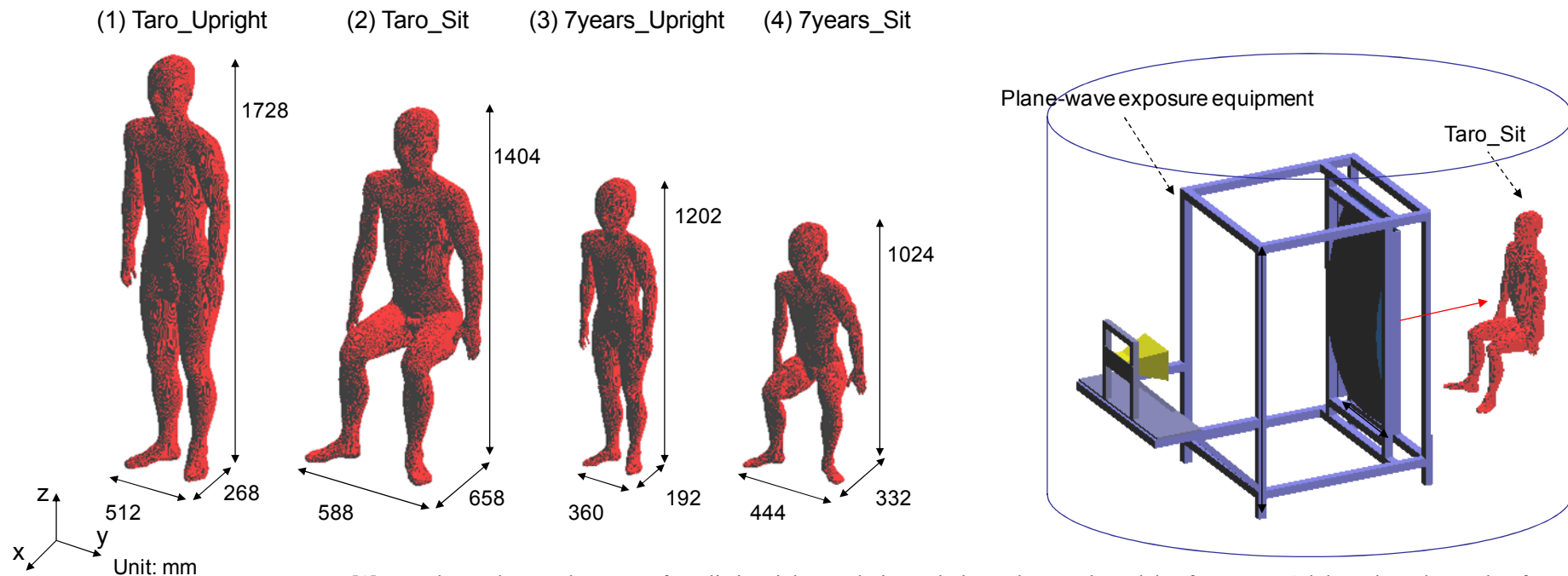
平面波 (2GHz, 垂直偏波, 1mW/cm<sup>2</sup>) ばく露時の全身平均SAR (測定結果)

人体モデル (立姿勢)	測定結果	
	成人男性	小児
全身平均SAR [W/kg]	0.056 (±0.028)	0.101 (±0.051)

( )内は実験系誤差範囲

# 姿勢を変更した人体の全身平均SAR測定を実施

- ▶ 日本人平均成人男性 (TARO) および小児 (7歳) 数値人体モデル (NICT) [1] を利用、姿勢変更モデルの作成
- ▶ 立姿勢・座姿勢時の全身平均SARの数値解析
- ▶ 実験測定の実施



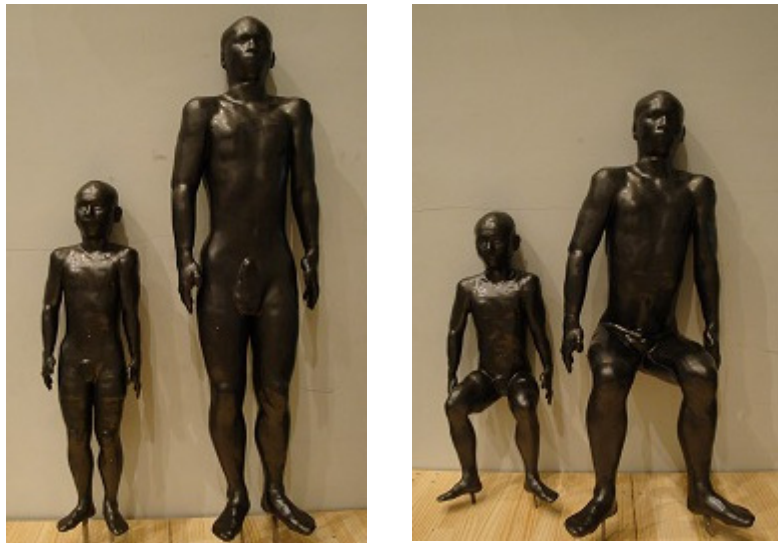
[1]Nagaoka et al., "Development of Realistic High-Resolution Whole-Body Voxel Models of Japanese Adult Male and Female of Average Height and Weight, and Application of Models to Radio-Frequency Electromagnetic-Field Dosimetry" Physics in Medicine and Biology, Vol.49, pp.1-15, 2004.

# 座姿勢ファントムの製作

数値データから、1/2スケールの3次元モデルを作成



立姿勢・座姿勢の物理ファントムを製作

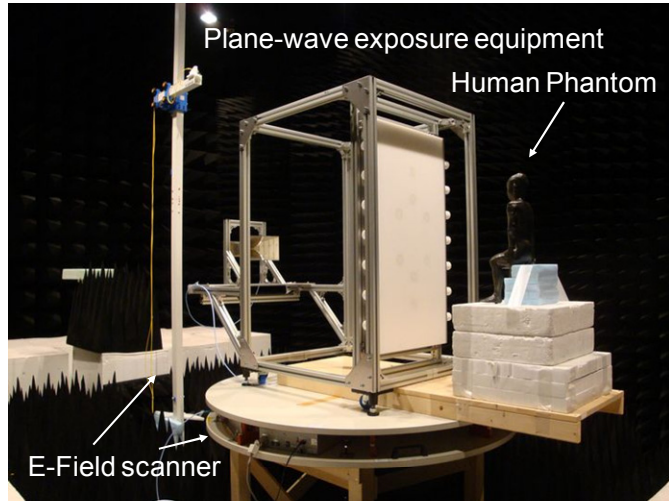


ファントム材料設計・成形

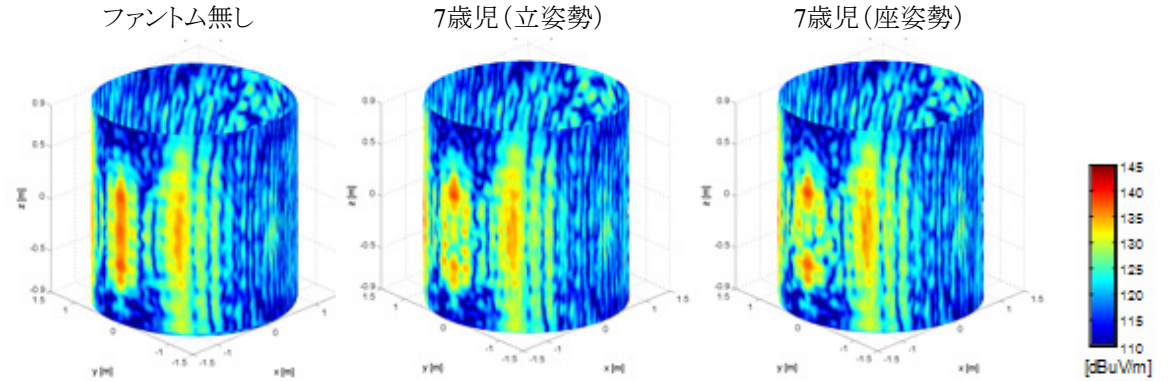


# 立姿勢・座姿勢モデルの全身平均SAR評価結果

## 測定の様子

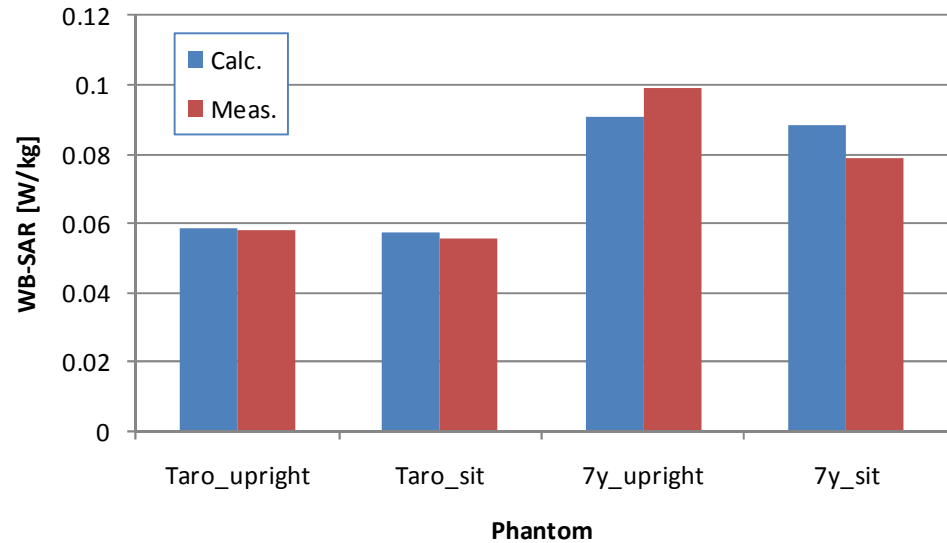


## 円筒面内電界強度分布の測定結果例



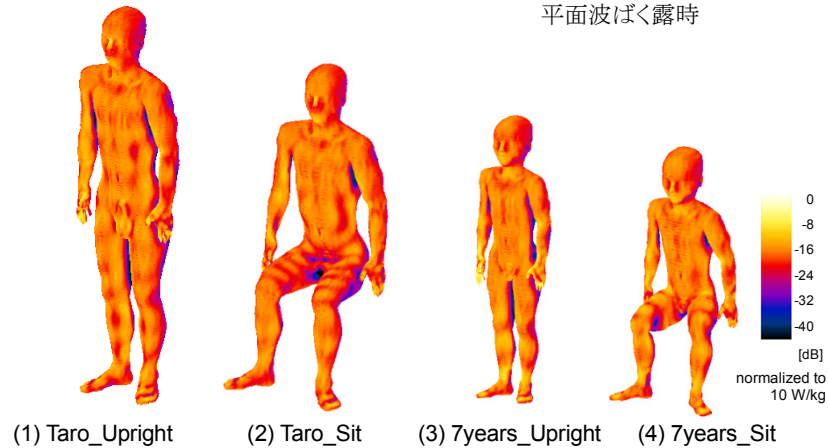
## 全身平均SAR 測定結果と解析結果の比較

平面波(2GHz, 垂直偏波, 1mW/cm<sup>2</sup>)ばく露時



## FDTD解析結果(SAR分布)

2GHz, 1mW/cm<sup>2</sup>  
平面波ばく露時



# まとめ

---

- ▶ 外部電磁界測定に基づく全身平均SAR実験評価法を提案
- ▶ 平面波ばく露装置、円筒面スキャナおよび疑似人体からなる全身平均SAR測定系を開発
- ▶ 立姿勢の欧州モデル人体(大人・小児)および立姿勢/座姿勢の日本人モデル(大人・小児)のSAR測定データを取得、計算推定結果の実験による裏付けが初めて実現

成果公表実績(2007年～現在)

査読付論文	国際会議	国内会議
2 件	8 件	6 件
他 公表予定1件		