

電波の人体への安全性に関する評価技術

独立行政法人情報通信研究機構

目標

近年の電波利用システムを対象とした高精度ばく露量評価手法について調査検討を行ない、得られた成果に基づき、電波防護指針適合性評価手法の確立および電波の安全性に関する医学・生物学的研究に寄与することで、電波防護指針に基づく適正かつ健全な電波利用環境の構築に貢献する。



電波防護指針に基づく適正かつ健全な電波利用環境の構築

調査検討課題

ア. 人体の電波ばく露量評価技術

- 理論・数値解析による評価方法
- 実験測定による評価方法

イ. 電波防護指針適合性評価技術

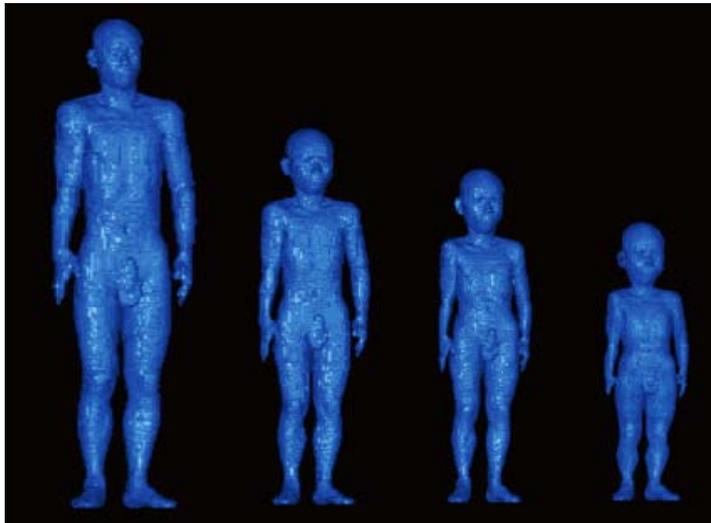
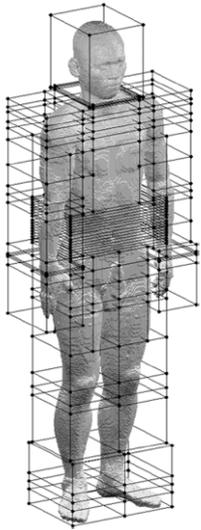
- 適合性評価用測定装置
- SARプローブ校正装置
- 無線局周辺電磁界評価装置

ウ. 医学・生物実験のためのばく露装置及び暴露評価

- 小動物ばく露装置
- 細胞用ばく露装置
- ヒトへの影響に関する調査用ばく露装置及び疫学調査のためのばく露評価

小児の数値人体モデルの開発

- 小児の曝露評価はWHOの優先的研究課題(2006年度版)において最重要課題の一つとして挙げられている。
- しかし、従来の小児数値人体モデルは成人モデルを縮減したものが利用されており、外形状は小児と同じだが、内部組織構造については小児と同じ状態にモデル化することが困難であった。
- そこで、小児のMRI画像に基づいた、内部組織構造まで忠実に再現した小児全身数値モデルを開発した。



MRI画像に基づく小児モデルの開発

小児モデルの対象: 3歳、5歳、7歳の小児

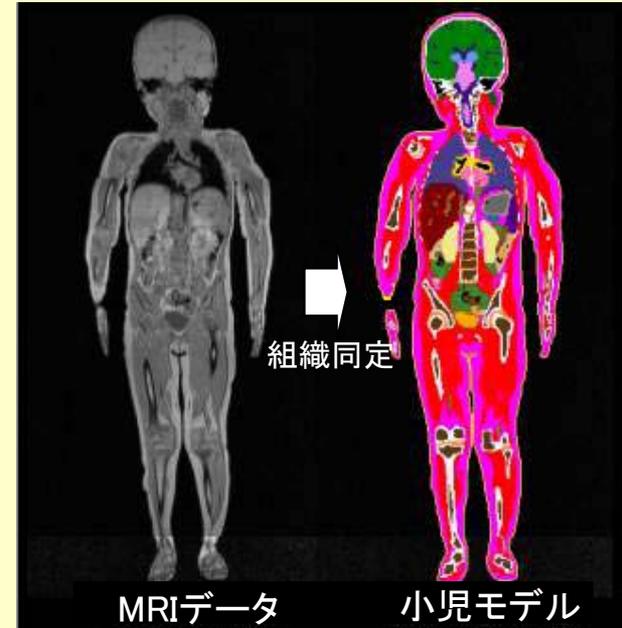
MRIのデータ取得に関する諸元

- 装置: 1.5 テスラMRI装置
- 高速撮像シーケンスを選択(被験者負荷軽減のため)
- スライス厚: 3 mm
- 撮像領域: 500 mm
- マトリックスサイズ: 256(→解像度: 500/256 mm)
- 撮像時間: 30分以内
- 撮像方向: 横断面

組織同定画像用データ作成

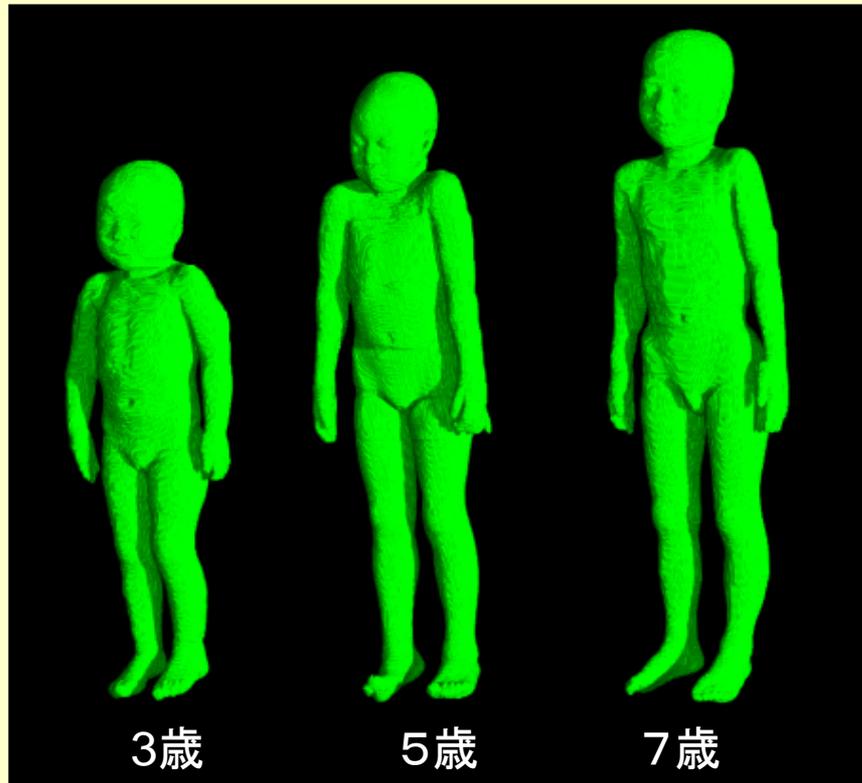
- ファイルフォーマット:
DICOM形式からRAW形式
- 分解能:
1.953x1.953x3 mmから1.93x1.93x2 mm
に変更

MRI画像に基づいた組織同定作業



1. 大まかな同定(筋肉、脂肪等)
2. 画像処理ソフトを用いて半自動的に組織を同定
3. 細部の同定
4. マニュアルにて組織を同定
5. 専門医による医学監修

小児モデルの諸元



年齢	性別	身長	体重	組織数	分解能(mm)
7歳	男性	117.5	21.3	50	1.93x1.93x2
5歳	女性	113.0	18.5	49	1.93x1.93x2
3歳	女性	94.0	14.0	49	1.93x1.93x2

各モデルの身長および体重はその年齢の日本人の
平均値に合致

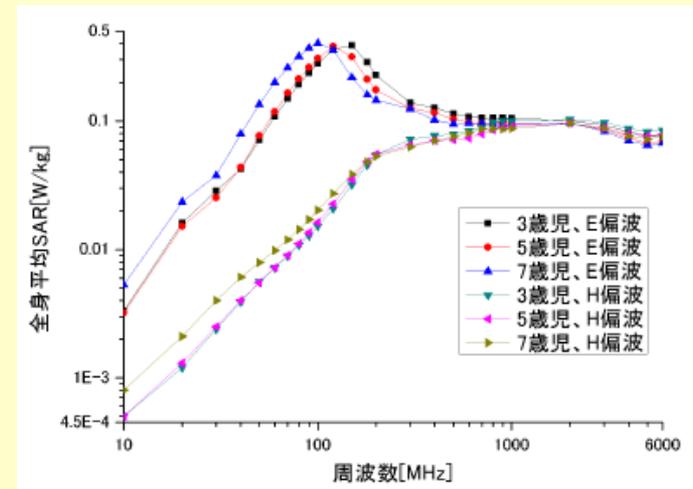
数値人体モデルを用いた大規模数値シミュレーションによる人体の電波吸収特性評価

計算諸元

- 計算手法: FDTD法
- 計算条件:
 - 電磁波: 垂直偏波および水平偏波
 - 周波数: 10 MHz - 6 GHz
 - 入射方向: 人体の前後左右(計4方向)
- 計算機: NEC SX-8R(スーパーコンピュータ)*

* 数値人体モデルを用いたシミュレーションにおいては、概ね3GHzまで評価に利用できる2mmブロックサイズの小児モデルを用いても、そのシミュレーションに必要な総ブロック数は500万個以上に達するため、大規模メモリーを有した高速演算が可能なスーパーコンピュータでの計算実行した。

全身ばく露における人体の全身平均SARの周波数特性(例:3歳児、前方入射)



入射電力密度: 1 mW/cm²

GHz帯では偏波によるばく露量(全身平均SAR)への影響が小さいことを確認
内部組織SARについての詳細な解析は現在検討中。

数値シミュレーションの誤差要因や高精度化

-吸収境界の距離-

計算諸元

数値モデル: 3歳児モデル

セルサイズ: 2 mm

計算手法: FDTD法

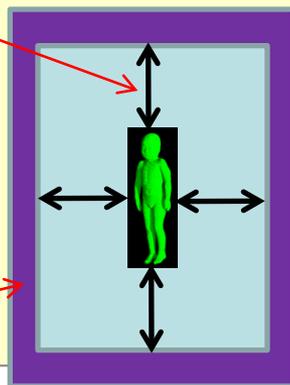
計算条件:

- 電磁波: 垂直偏波
- 周波数: 10 MHz - 6 GHz
- 入射方向: 人体の前方

吸収境界条件: PML(8層)

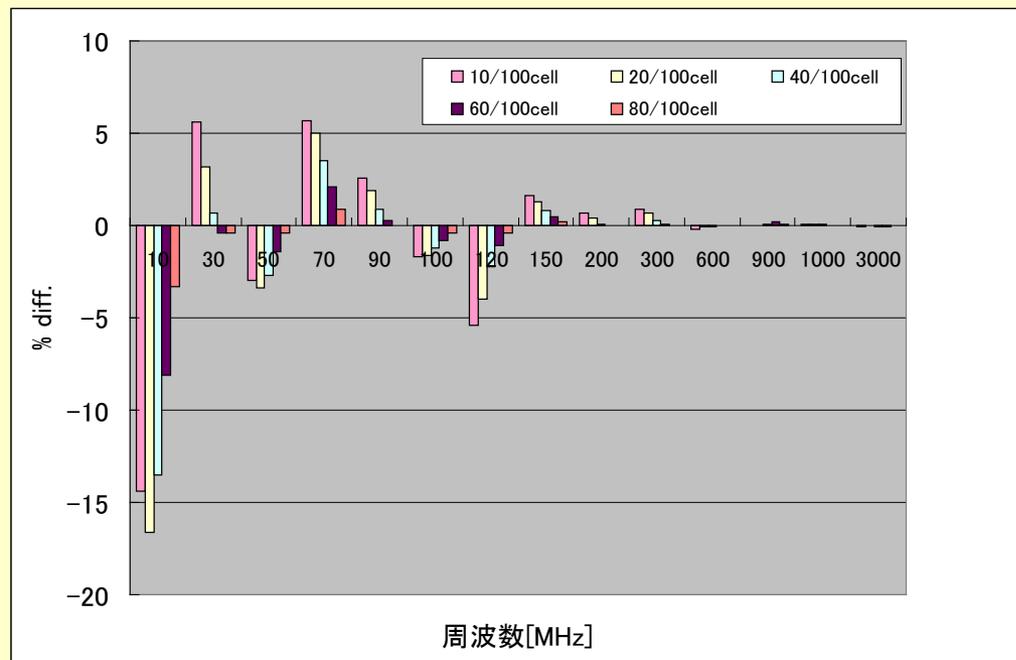
モデル-吸収境界間の距離:

10 ~ 100 cell



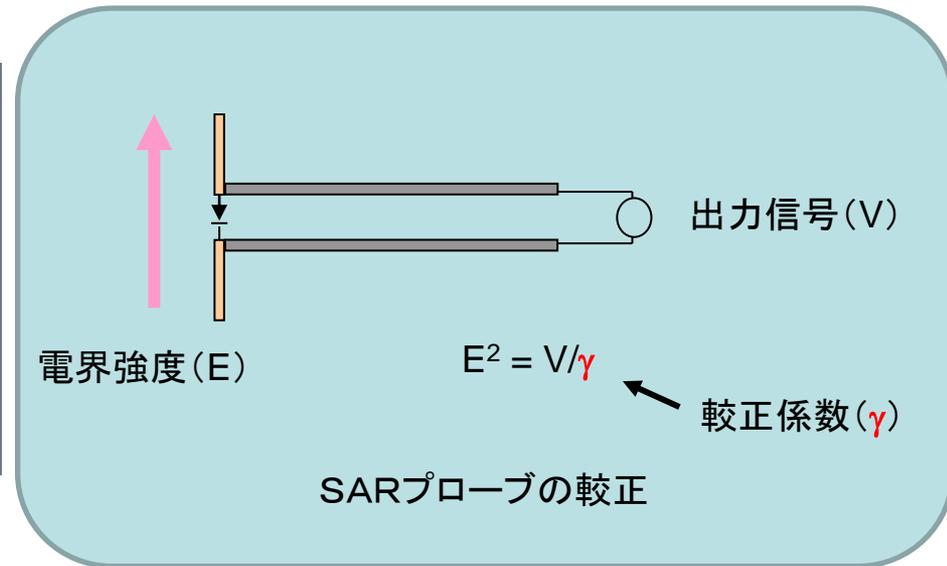
吸収境界条件

モデル-吸収境界間の距離 100cellに対する他の距離の全身平均SARの差



- ・ 吸収境界の距離は高周波に比べて低周波帯で全身平均SARに対する依存度が高い
- ・ 30MHz以上では100セルに対する差異は20%以内であった。

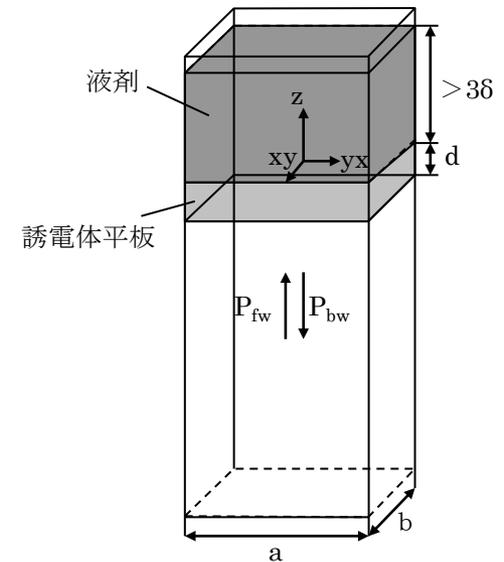
SAR測定システムとSARプローブ校正



高精度なSAR測定のためには正確なSARプローブ校正が必要であり、年一回の定期校正が義務付けられている。

SAR校正システム

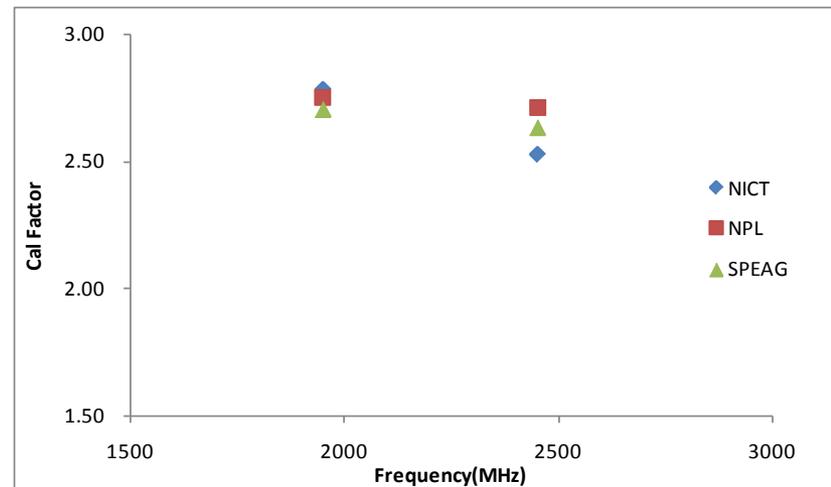
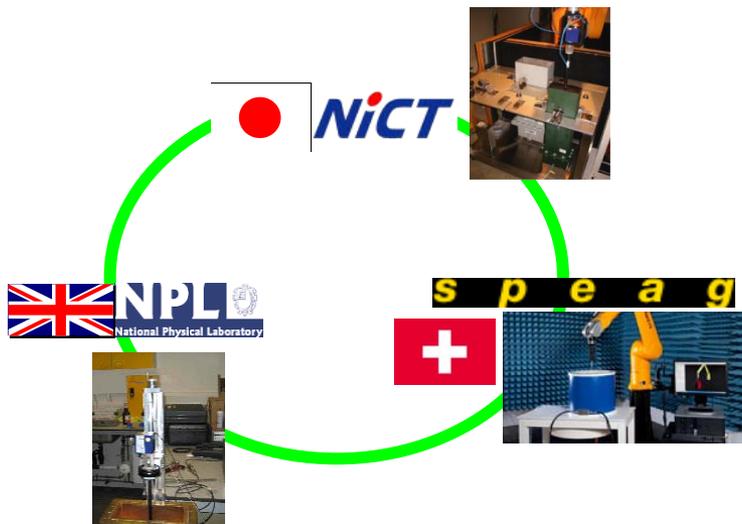
- 導波管内部の電界強度の理論値とSARプローブの出力信号から校正係数を決定。
- 我が国ではNICTが唯一SAR校正を実施。



SARプローブ較正の相互比較

SARプローブ較正システムが正常に動作しているかどうかを直接確認する方法がないため、諸外国のSARプローブ較正システムとの相互比較を実施している。

- ◆ 英国 National Physics Laboratory (NPL) 、スイスSPEAG社のSARプローブ較正結果比較を実施し、その差異はSAR較正不確かさ(最大で11% @ $k=2$)程度であった。したがって、我が国のSAR較正システムの妥当性が確認された。

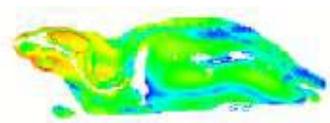
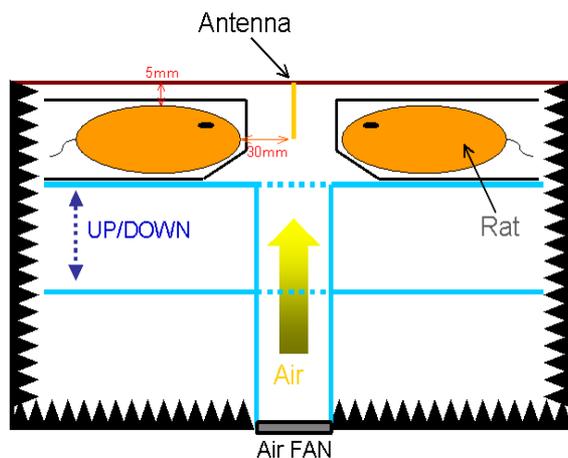


SARプローブ較正係数の比較例

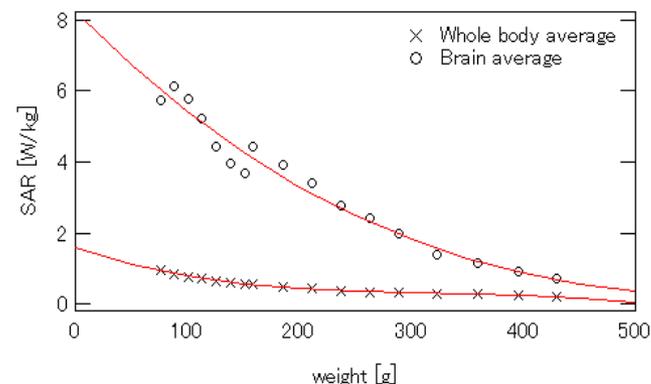
小動物ばく露装置開発

◆ 「脳内免疫細胞におよぼす電波ばく露の影響評価」実験

ばく露概要: 2GHz帯W-CDMA方式の信号をラット頭部に局所ばく露



SAR分布例

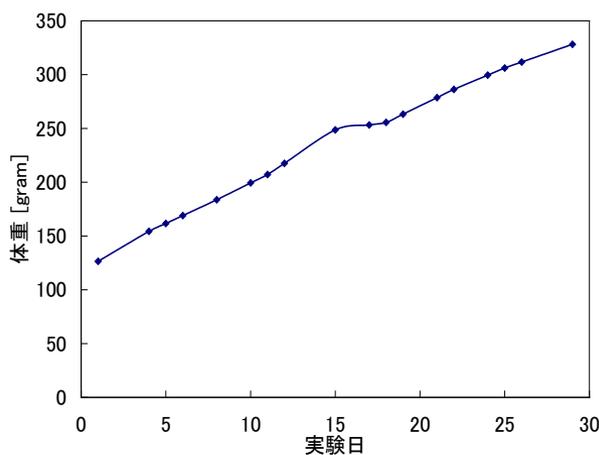


SARの体重依存性

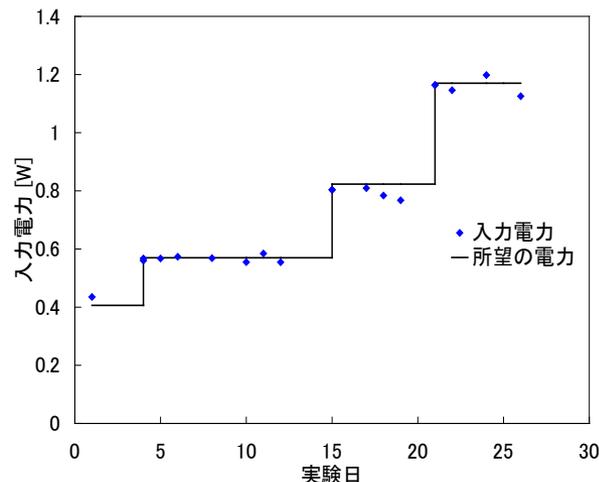
- ・ 実験期間中に体重が100gから360g程度に変化
- ・ 体重の変化に関わらず、常に脳平均SARが目標値(2W/kgまたは6 W/kg)となるよう制御

小動物ばく露装置開発

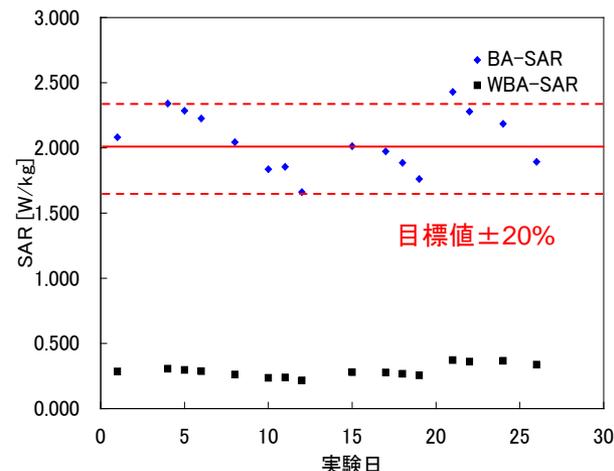
◆ 「脳内免疫細胞におよぼす電波ばく露の影響評価」実験



体重の推移 (2 W/kgばく露群)



入力電力の推移 (2 W/kgばく露群)



SARの推移 (2 W/kgばく露群)

- ・ 実験期間中の体重変化に伴い、アンテナ入力を5段階に調節した。
- ・ 脳平均SARが目標値から概ね20%以内(誤差の平均値は9.4%)であった。
- ・ 曝露量を高精度の制御した状態で動物実験を実施することができた。

ヒトへの影響に関する調査用ばく露装置 及び疫学調査のためのばく露評価

- ◆ 「小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査」研究
- 疫学調査では、過去の携帯電話の使用時間や使用頻度の情報を記憶に基づいて取得する。
 - (使用者(小児)または保護者の)記憶に基づいた使用時間および使用頻度の情報の妥当性確認のための検討が必要。
 - 近年使用が拡大している第三世代携帯電話では、旧世代のものに比べて、携帯電話端末からの放射電力レベルがより大幅かつ精密に制御されるため、様々な使用条件下での放射電力レベルの特性を把握する必要がある。
 - これまでの疫学調査で、携帯電話使用位置(左右)と腫瘍位置との相関を示唆するものがあるため、左右の使用位置の情報(記憶)の妥当性確認も行う。
- 上記の情報を取得できる専用端末を開発し、協力者に専用端末を一定期間使用してもらい、実際の情報と記憶に基づく情報との比較を行い、記憶に基づく情報の妥当性および不確かさの評価を行う。

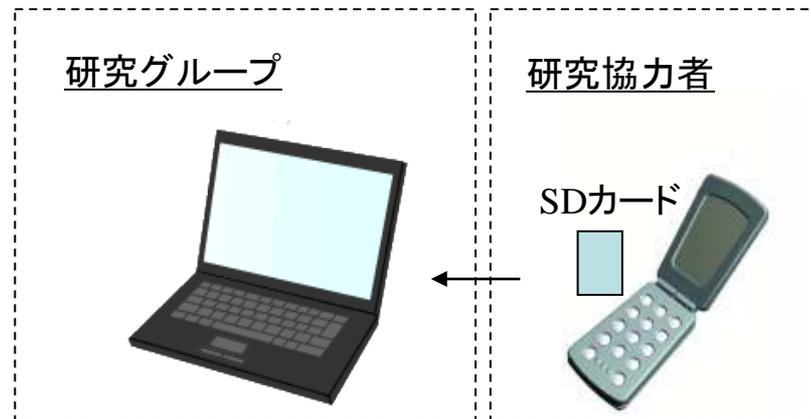
ヒトへの影響に関する調査用ばく露装置 及び疫学調査のためのばく露評価

◆ 「小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査」研究

市販端末をベースに専用端末 (Software Modified Phone; SMP) を開発

- ・ 台数: 105台
- ・ 記録内容 (1秒間隔)
 - ・ 時刻
 - ・ 周波数帯
 - ・ 受信/着信の別
 - ・ 通信の種別
 - ・ パワーレベル
 - ・ ロール角 (端末左右方向への回転角)

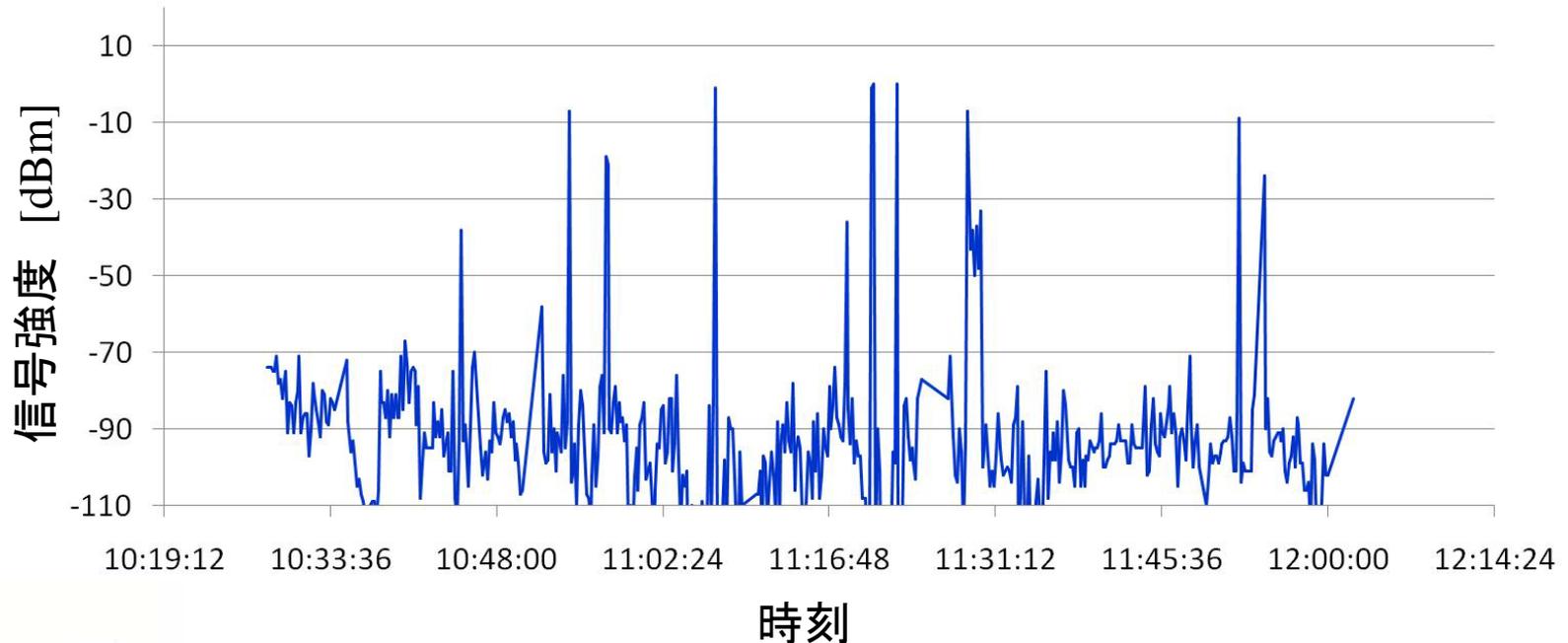
6軸モーションセンサ情報を利用



SMP端末概念図

ヒトへの影響に関する調査用ばく露装置 及び疫学調査のためのばく露評価

◆ 「小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査」研究



記録機能付き携帯(SMP)

予備調査の一例

- ・2009年11月9日 新幹線(東京—名古屋)乗車中データ
- ・記録機能付き携帯(SMP)受信信号強度を測定(15秒間隔)

○高速で変動する信号レベルを記録可能
×制御信号と通話信号の区別不可

まとめと今後の展開

- 電波の安全性評価技術に関する研究課題として、曝露量評価技術に関する研究、電波防護指針適合性評価技術に関する研究、および医学・生物研究に関する研究を実施した。
- 得られた研究成果はWHOの優先的研究課題に対する知見を与えるものであり、今後予定されている電波の健康リスク評価に大きく貢献するものと考えられる。
- また、適合性評価方法に関する研究成果はIEC等における国際標準化活動および国内規制導入のための基礎データとなりうるものであり、電波防護指針に基づく安全性確認の信頼性向上に貢献している。
- 今後も、数値人体モデル等の世界最先端の評価技術を進展し、安心かつ安全な電波利用環境の構築に寄与していくことが重要。