

SAR計測装置の較正について

平成27年4月8日

石井 望(新潟大学)

IEC CDV記載の較正項目と手法(Annex B)

赤字がIEC62209-1(2005)からの主な変更点

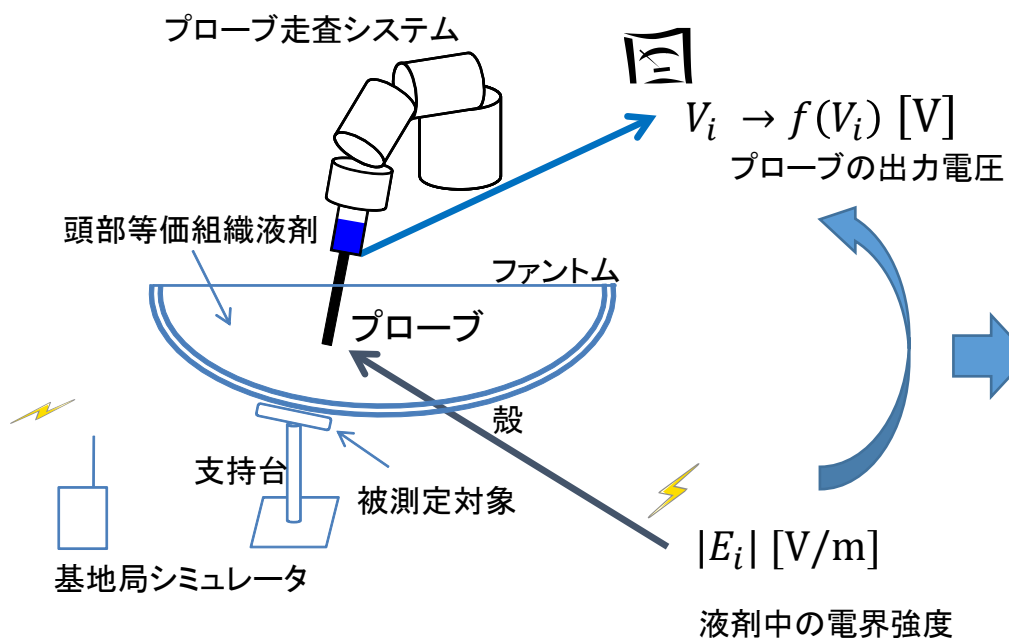
- プローブ線形性
- プローブ感度(較正係数)
 - Two-step calibration procedures(標準電界・自由空間中較正・温度比較法)
 - Calibration with analytical fields(導波管法)
 - 導波管の各部寸法の例を追加(300MHz-6GHz)
 - **One step calibration procedures(液剤中標準アンテナ法)**
 - 極近傍での評価方法を追加
 - Coaxial calorimeter method(同軸カロリメータ法)
 - 評価方法・装置を追加
- 等方性
 - 軸等方性
 - 半球面内等方性
- 測定レベル下限
- 境界効果
- 応答時間

SAR測定用のプローブ校正

$$\text{SAR}(\mathbf{r}) = \sigma \frac{|\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}{\rho} \quad [\text{W/kg}]$$

プローブ校正とは？

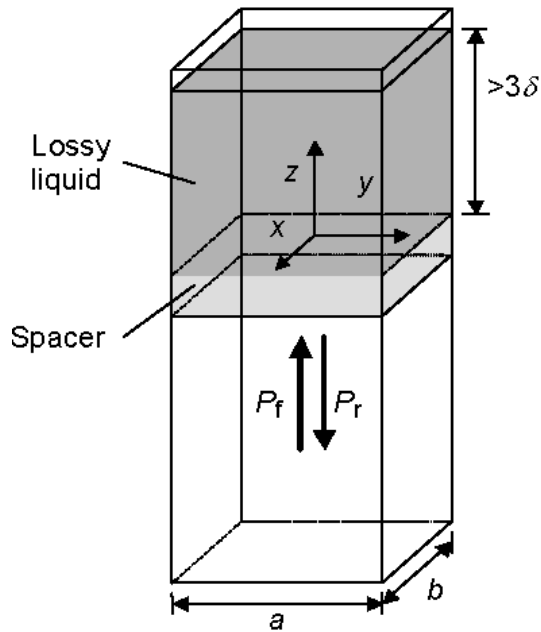
- ・プローブの出力電圧 V_i → 液剤中の電界強度 $|E|$
- ・校正ファクタ (Calibration Factor) を前もって求める



$$CF_i = \frac{f(V_i)}{E_i^2} [V/(V/m)^2]$$

プローブセンサ i の
校正ファクタ (CF)

導波管法



液剤中で吸収される電力からSARを算出

$$SAR(z) = \frac{4(P_f - P_r)}{\rho ab \delta} e^{-2z/\delta}$$

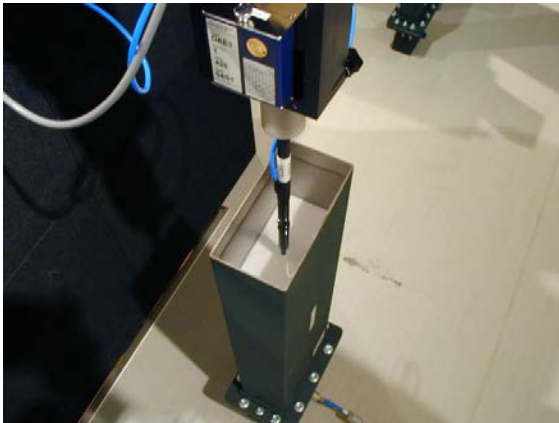
ab : 導波管断面積

P_f, P_r : 中空導波管内の進行波および反射波の電力

z : プローブ位置におけるダイポール中心の長手方向の座標

ρ : 液剤の密度

σ : 損失液剤内の表皮厚



・プローブ較正は z 軸上で行う

$$E_x(z) = \sqrt{\frac{4(P_f - P_r)}{\sigma ab \delta}} e^{-z/\delta} \longleftrightarrow V_i$$

電界強度 $E_x(z)$ とプローブ出力電圧 V_i の対応付け

追加された導波管寸法の例

Guidelines for designing calibration waveguides

Frequency (MHz)	Head tissue simulant		Waveguide dimension	Penetration depth	Dielectric separator	
	ϵ'_r	σ (S/m)	a (mm)	δ (mm)	ϵ'_r	Thickness (mm)
300	45	0,87	584,2	45,78	5,5	106,0
450	44	0,87	457,2	42,94	6,0	66,1
835–900	42	0,97	247,6	36,16	5,6	34,8
1450	41	1,20	129,5	28,55	4,7	24,8
1800–2000	40	1,40	109,2	24,15	4,8	19,4
2450	39	1,80	109,2	18,59	5,7	12,6
3000	39	2,40	86,4	13,97	5,7	10,3
3500	38,0	2,92	58,2	11,42	4,9	9,76
5400	35,8	4,86	47,5	6,69	5,6	5,73
6000	35,1	5,48	40,4	5,89	5,4	5,25

NOTES 1—Permittivity and thickness of the dielectric separator may vary from the values shown to accommodate commercially available materials. If the dielectric separator permittivity varies from the indicated value by more than 2 %, it is recommended to newly optimize the spacer thickness for the best matching (return loss typically greater than 10 dB).

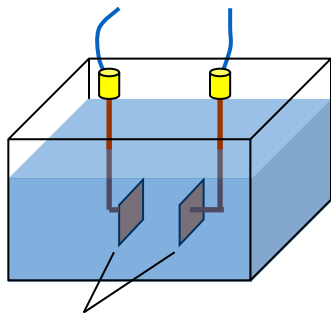
2—By convention, the length of the cross-section short edge is one half that of the long edge, i.e., $b = a/2$.

3—The waveguide dimensions are in accordance with the EIA RS-261-B: 1979 [28].

液剤中標準アンテナ法の概略

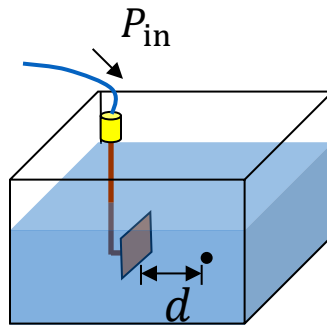
(B3.2節, B3.2.1節共通)

1. 二つの同じ標準アンテナの利得 G を測定
2. 距離 d における標準アンテナにより照射される電界強度 $|E_{th}|$ を決定
3. 同じ位置にSARプローブを挿入
4. プローブ電圧を測定, プローブの感度係数を決定



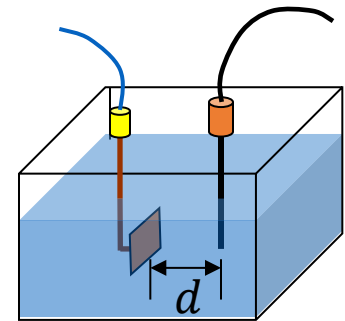
標準アンテナ

(Step 1)



組織等価液剤の複素比誘電率: ϵ_r

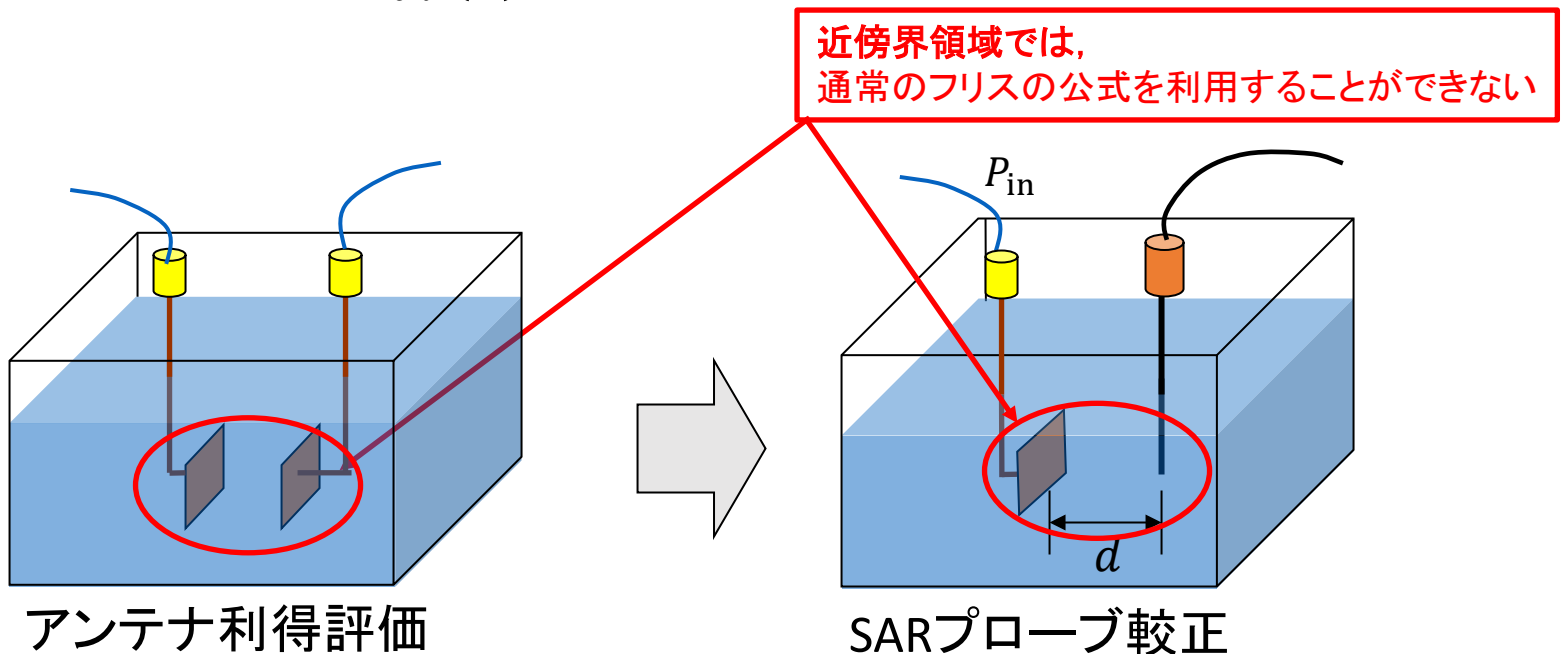
(Step 2)



(Step 3,4)

従来法の問題点とその改良

- 従来法 (B.3.2節)
 - アンテナ利得 G , 電界 E_{th} は液剤中での遠方界測定を前提
 - 液剤中における減衰のため, S_{21} の遠方界測定が困難
- 改良法 (B.3.2.1節)
 - 損失液剤中におけるフリスの伝達公式の拡張を導入
標準アンテナの近傍界利得 $G_{near}(d)$ を定義し,
近傍界領域における $E_{th}(d)$ を推定



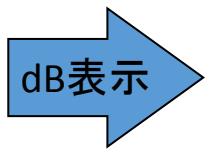
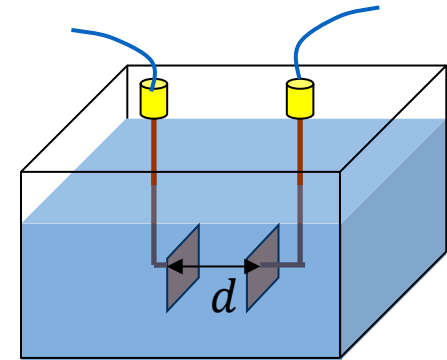
近傍界利得の導入

- 一様損失媒質内における近傍界領域におけるフリスの伝達公式を拡張し、近傍界利得 $G_{near}(d)$ の導入

$$G_{near}(d) = \frac{|S_{21}(d)| \exp(\alpha d) \cdot (2\beta d)}{\sqrt{(1 - |\rho_1|^2)(1 - |\rho_2|^2)}} = G \exp\left(\frac{a_1}{d} + \frac{a_2}{d^2} + \dots\right) \quad \text{枠内追加}$$

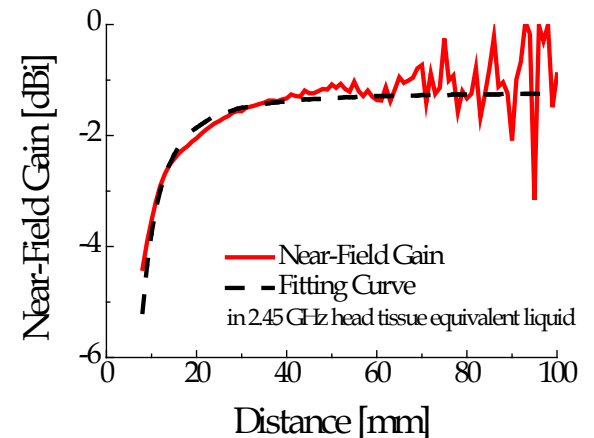
計測可能な量
 遠方界領域では一定値 G だったが、
 近傍界領域では距離 d の関数

$S_{21}(d)$: アンテナ間の伝送係数
 α : 液剤の減衰定数, β : 液剤の位相定数
 ρ_1, ρ_2 : 各アンテナの反射係数
 G_1, G_2 : 各アンテナの遠方界利得



$$G_{near,dB}(d) = G_{dB} \left[1 + \frac{1}{A \times d} + \frac{1}{B \times d^2} \right] \quad \text{枠内追加}$$

利得曲線 $G_{near}(d)$ あるいは $G_{near,dB}(d)$ を決めるには、定数 G, a_1, a_2 あるいは定数 G_{dB}, A, B を曲線あてはめによる。この際、距離 d のあてはめ区間の選び方が重要となる。



標準アンテナによる近傍界領域での電界強度

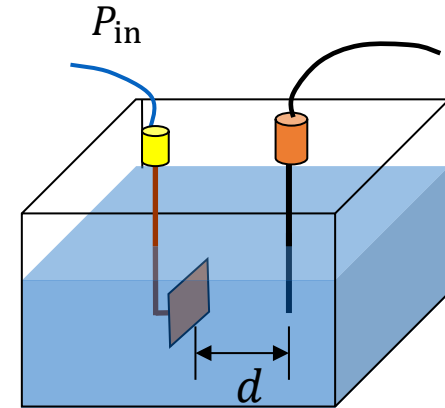
- 遠方界領域 (B.3.2節)

$$|E(d)|^2 = \frac{30P_{in}(1 - |\rho|^2) G \exp(-2\alpha d)}{\text{Re}[\sqrt{\epsilon_r}] d^2}$$

- 近傍界領域 (B.3.2.1節)

$$|E(d)|^2 = \frac{30P_{in}(1 - |\rho|^2) G_{near}(d) \exp(-2\alpha d)}{\text{Re}[\sqrt{\epsilon_r}] d^2}$$

近傍界領域に
対応させる



SARプローブ較正

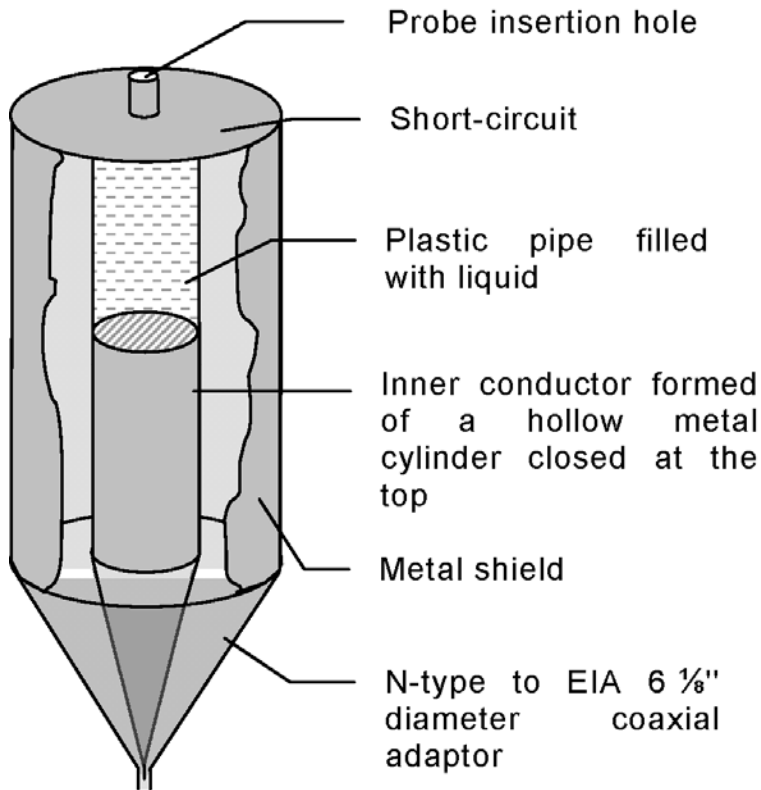
P_{in} : 入力電力

α : 液剤の減衰定数, β : 液剤の位相定数, ϵ_r : 液剤の複素誘電率

ρ : 標準アンテナの反射係数

G : 標準アンテナの遠方界利得, $G_{near}(d)$: 標準アンテナの近傍界利得

同軸カロリメータ法 Coaxial calorimeter method



Schematic of the coaxial calorimeter system

- 温度比較校正の応用
- 周波数: 450 MHz 以下
- 片端を短絡した入力インピーダンス 50オームとなる同軸の中心導体部分にファントム液剤を注入
- 液剤内にプローブを挿入し出力を測定
- 温度センサを挿入し、温度上昇を測定
- 下記の関係から校正係数を決定

$$E_{probe}^2 = \frac{\rho \times c}{\sigma} \left(\frac{dT}{dt} \right) \left(\frac{P(\text{probe})}{P(\text{temperature})} \right)$$

- E_{probe}^2 : 受信電界.
- ρ : 液剤密度.
- σ : 導電率.
- c : 比熱.
- $P(\text{probe})$: SARプローブ測定時の入力電力
- $P(\text{temperature})$: 温度測定時の入力電力
- dT/dt : 温度上昇率