

国際的な動向 (IEEEの動向) について

平田 晃正
名古屋工業大学

IEEE/ICESの概要

TC95 (人体安全性) および TC34 (製品安全性)

TC95の小委員会

- SC1 Techniques, Procedures, & Instrumentation
- SC2 Terminology, Units of Measurement, & Hazard Communication
- SC3 Safety Levels, Human Exposure, 0-3kHz
- SC4 Safety Levels, Human Exposure, 3kHz-300 GHz
- SC5 Safety Levels, Electro-Explosive Devices

IEEE規格C95.1およびC95.6の概要

- SC3 IEEE C95.6-2002:「0 Hz～3 kHzの電磁界への人体ばく露に関する安全レベル」
- SC4 IEEE C95.1-2005:「3 kHz～300 GHzの電磁界への人体ばく露に関する安全レベル」IEEE/ICES (電磁界安全に関わるIEEE国際委員会)で作成
- メンバー: 大学, 産業界, 軍関係, 政府機関, コンサルタント等 = 「当事者」の参加
- C95.6では刺激による神経組織の電氣的興奮が根拠。物理量は, *in situ*電界(=体内誘導電界)。C95.1では熱作用が根拠。物理量は, SAR(比吸収率)。
- 「基本制限」と「最大許容ばく露(MPE)」の2段階構成
- 基本制限の対象は4種類の部位(脳, 心臓, 手足, 他)
- 「一般公衆」と「管理環境」で異なる基準値

IEEE規格C95.6の特徴

- 0 Hz－3kHz: 刺激作用について
- ICNIRPの参考レベルに相当する最大許容ばく露(公衆)は, 50/60 Hzで, 904 μT と大きい(新ICNIRPガイドラインでは200 μT)
- J. P. Reilly氏 (IEEE TC95 SC3元委員長)の神経刺激モデルに関する研究成果に基づく
- 根拠・換算の透明性確保への努力＝長年, 人体数値モデル導入については懐疑的であった. 近年, 導入に関する議論(Draftでは含まれている).

IEEE規格C95.1-2005(3kHz-)の特徴

- 3kHz－300 GHz: 熱作用について
- 2005年の改定において, SARの平均化質量10g, 基準値は2 W/kgに変更(防護指針と同じ)
- 従来(C95.1-1992)は, SARの平均化質量1g, 基準値は1.6 W/kg.
- 基本制限SARの適用上限周波数は3GHz. 3-6GHzは過渡周波数とし, 3GHz以上では電力密度を用いる.

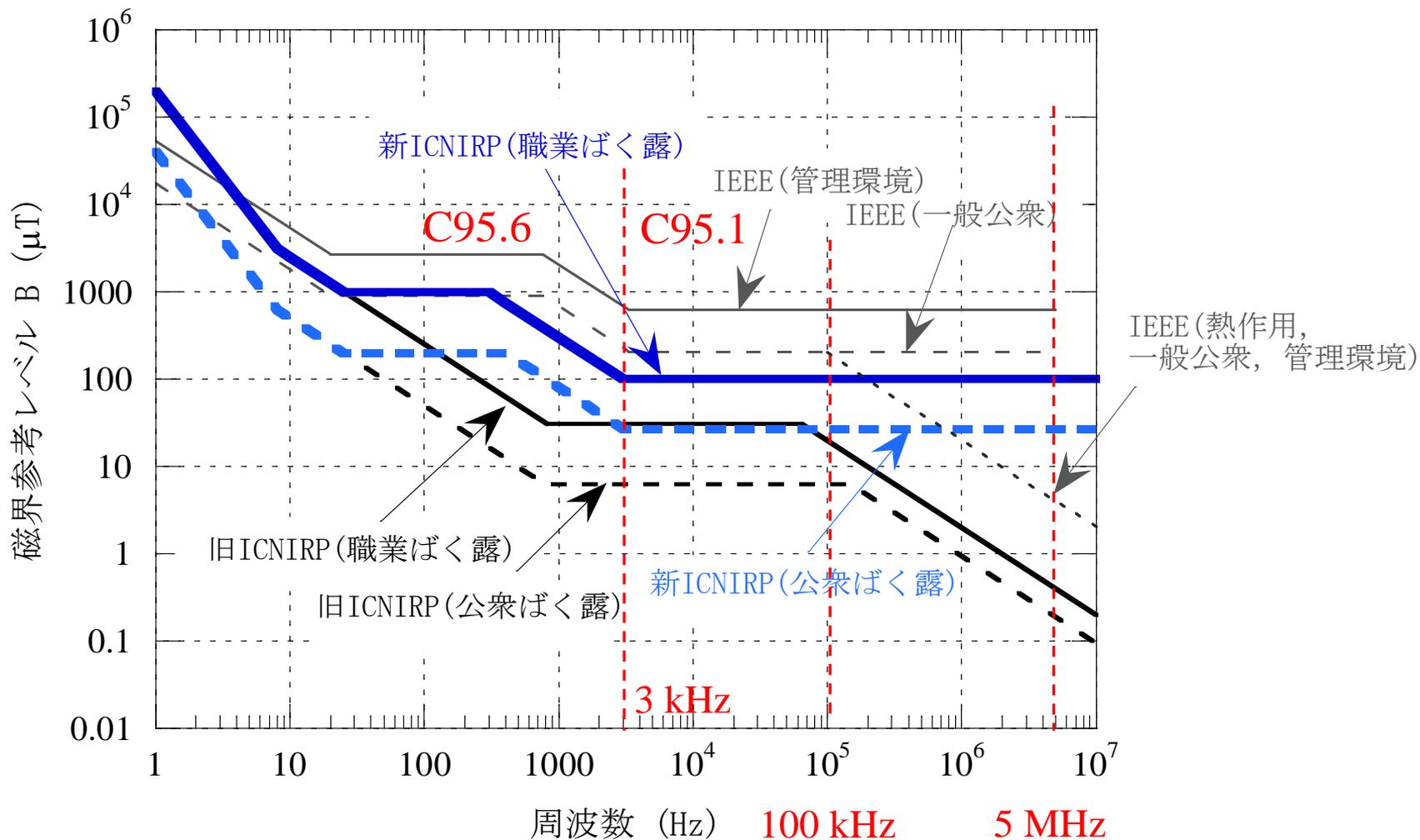
C95.1による100kHz—10MHz周波数帯の扱い

4.1 Basic restrictions (BRs) and maximum permissible exposures (MPEs) for frequencies between 3 kHz and 5 MHz

This standard provides recommendations to minimize aversive or painful electrostimulation in the frequency range of 3 kHz to 5 MHz and to protect against adverse heating in the frequency range of 100 kHz to 300 GHz. In the transition region of 100 kHz to 5 MHz, protection against both electrostimulation and thermal effects is provided through two separate sets of limits. Below 100 kHz only the electrostimulation limits apply, above 5 MHz only the thermal limits apply, and both sets of limits apply in the transition region. In the transition region, where both sets of limits apply, the limits based on electrostimulation will generally be more limiting for low duty cycle exposures, while the thermal-based limits will be more limiting for continuous wave fields.

- 100 kHzから5 MHzまでは過渡領域. 刺激作用, 熱作用双方からの防護(二つの許容値)
- ICNIRPでは, 100 kHzから10 MHz

ICNIRP, IEEE磁界強度参考レベルの比較



IEEE規格における限度値制定の手順

- ①人体に有害な影響を与える再現性のある(確立された)作用を分類し閾値を知る(実験)
- ②閾値の周波数特性の導出(モデル)
- ③不確かさや特異な個人を考慮した基づく安全係数の考慮
- ④公衆に対する安全係数の考慮 → 基本制限
- ⑤観測可能な物理量(磁界)への換算 → 最大許容ばく露

反応の閾値から基本制限の導出

各反応に対する基本制限をすべて乗じることにより算出される

- 反応の閾値(中央値)
- 有害係数—単なる刺激か「痛み」を伴うか
- 確率係数—99%までの特異な個人を包含
(電気刺激閾値の分布は対数—正規分布)
- **安全係数**—管理された環境に対する一般公衆の安全係数。感受性の高い個人の防護, 反応の閾値の不確かさ, 誘導モデルの不確かさ等を許容。

反応の閾値から基本制限の導出

A	B	C①	D②	E③	F④		G⑤	
					安全係数(F_s)		基本制限 E_{ob}	
反応	部位	閾値 E_{ot} (V/m,rms) (中央値)	有害 係数(F_a)	確率 係数(F_p)	一般 公衆	管理 環境	一般 公衆 (V/m, rms)	管理 環境. (V/m, rms)
シナプス性 活動変化	脳	0.053	1.0	0.333	0.333	1	5.89x10⁻³	1.77x10⁻²
直径 10 μ m 神 経細胞興奮	脳	8.70	1.0	0.333	0.333	1	0.97	2.9
直径 20 μ m 神経細胞痛み	<u>胴体</u>	4.35 (感知)	1.45 (痛み)	0.333	0.333	1	0.7	2.1
直径 20 μ m 神経細胞痛み	四肢	4.35 (感知)	1.45 (痛み)	0.333	1	1	2.10	2.1
心臓の興奮	心臓 頂部	8.49	1.0	0.333	0.333	0.333	0.943	0.943

太字が基本制限に採用されたもの。脳：シナプス性活動変化，心臓：心臓の興奮，四肢：半径 20 μ m 神経細胞，痛み（胴体），他の組織：半径 20 μ m 神経細胞痛み（四肢）

限度値制定の根拠

- 刺激による神経組織の電氣的興奮が根拠
- 興奮の原因(force)は, *in situ*(生体内)電界
(当時のICNIRPガイドラインで用いられていた
生体内誘導電流密度よりも適切との主張)
- 考慮する反応
 1. 神経の興奮
 2. 心臓の興奮
 3. シナプス性活動の変化(alternation)

最大許容ばく露 (外部電磁界強度)の導出

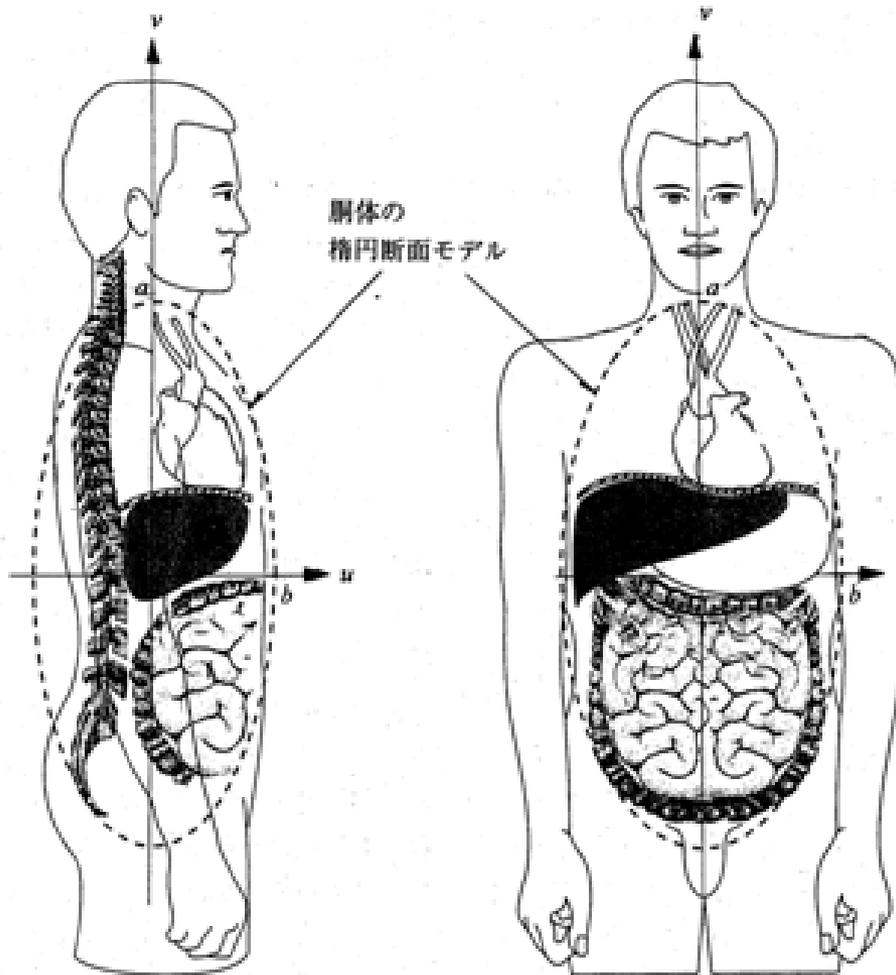
■ 刺激作用

- IEEE規格では、解析解のある単純な**楕円断面**(一様媒質を仮定)
- 基本制限より、誘導モデルに対し、解析式により外部磁界を導出

■ 熱作用

- **詳細な人体モデル**(**眼球**および**脳**を考慮)

誘導モデル(楕円断面モデル)



(a) 側方ばく露時の断面
($a=0.4$ m, $b=0.17$ m)

(b) 正面ばく露時の断面
($a=0.4$ m, $b=0.2$ m)

胴体の楕円断面モデル(点線)と人体との対応
 a : 楕円半長径, b : 楕円半短径

$$E = \omega B \frac{\sqrt{a^4 u^2 + b^4 v^2}}{a^2 + b^2}$$

E : 誘導電界,
 ω : 角周波数,
 B : 磁界,
 b : 楕円断面の半短径,
 a : 楕円断面の半長径,
 (u, v) : 計算位置 (u は短軸上の位置, v は長軸上の位置)

誘導モデル(楕円断面モデル)

項目	反応部位, ばく露方向	b, a (cm, cm)	u, v (cm, cm)
①	直径 10 μm 神経, 脳, 側方	9, 10.5	9, 0
②	シナプス, 脳, 側方	9, 10.5	9, 0
③	直径 20 μm 神経, 全身, 側方	17, 90	17, 0
④	直径 20 μm 神経, 胴体, 正面	20, 40	20, 0
⑤	心臓, 全身, 側方	17, 90	14, 18
⑥	心臓, 胴体, 側方	17, 40	14, 18
⑦	脚	9, 42	9, 0

ICNIRPガイドラインとの比較(相違点)

項目		新ICNIRPガイドライン(2010)	IEEE規格
根拠	制限の根拠とする生体作用	眼内閃光(磁気閃光)および末梢神経刺激	眼内閃光, 脳神経刺激, 末梢神経刺激, 心臓の興奮
基本制限	生体作用の閾値からの換算(職業ばく露)	眼内閃光: 最小の閾値を適用 末梢神経刺激: 最小の閾値に低減係数5を適用	閾値の1パーセンタイル値(中央値の1/3)を適用
	物理量	体内誘導電界	体内誘導電界
	体内誘導量評価パラメータ	辺長2 mmの立方体空間の平均値, さらに99パーセンタイル値	あらゆる方向の長さ5 mmの線分の平均値
	適用部位	部位ごとに異なる(2区分)	部位ごとに異なる(4区分)
	公衆の低減係数	眼内閃光: 5, 末梢神経刺激: 2	3
磁界参考レベル	導出方法	人体モデルを用いた数値計算結果を参照	楕円断面一様媒質モデルを用いた値を参照
その他	非一様磁界の扱い	参考レベルは「人体占有空間の平均値」に適用(発生源から20cm以上離れた位置)	参考レベルは「人体占有空間の最大値」に適用

現在の動向

- C95.1およびC95.6規格を合併する方向で議論
- 一般環境における低減係数を緩和できるかの可能性を検討
- Harmonizationを検討し、刺激作用について詳細人体モデル導入の可能性。Draftでは、我が国で実施した比較計算を根拠とし、結果を記載。