

者の全身にかかる空間平均値とし、局所的な曝露に関する基本制限を超えないことを目的としている。本文における曝露影響評価においては、空間平均について全般的には網羅していない。したがって ICNIRP の参考値と比較検討することに関しては、特に電磁界の空間分布が極端に不均一である場合においては効果的でない場合がある。

9.1 NRPB-R265 に報告されている曝露データ

NRPB 報告書 R265 にて収集されたデータを、ICNIRP の職業的曝露参考値と比較し、図 7 から図 9 に示す。

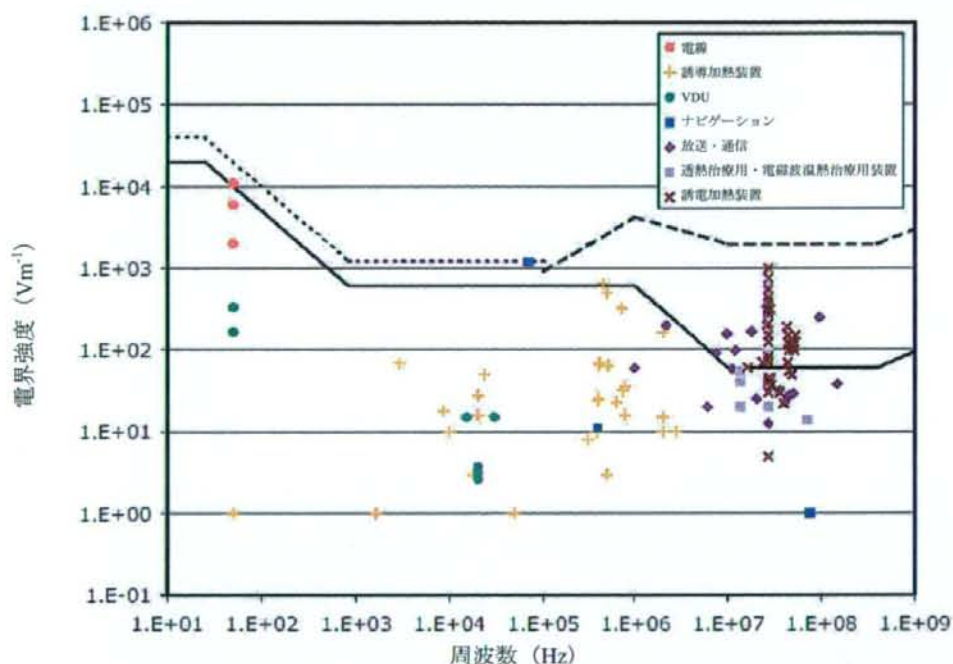


図 7 NRPB-R265 に報告されている職業的電界への曝露と rms 電界強度 (実線) およびピーク電界強度 (破線) に関する ICNIRP の参考値。100kHz 以下の周波数に広がる点線は、帯電した導体との接触による間接的影響を除ける場合に適用される rms 参考値を意味する。

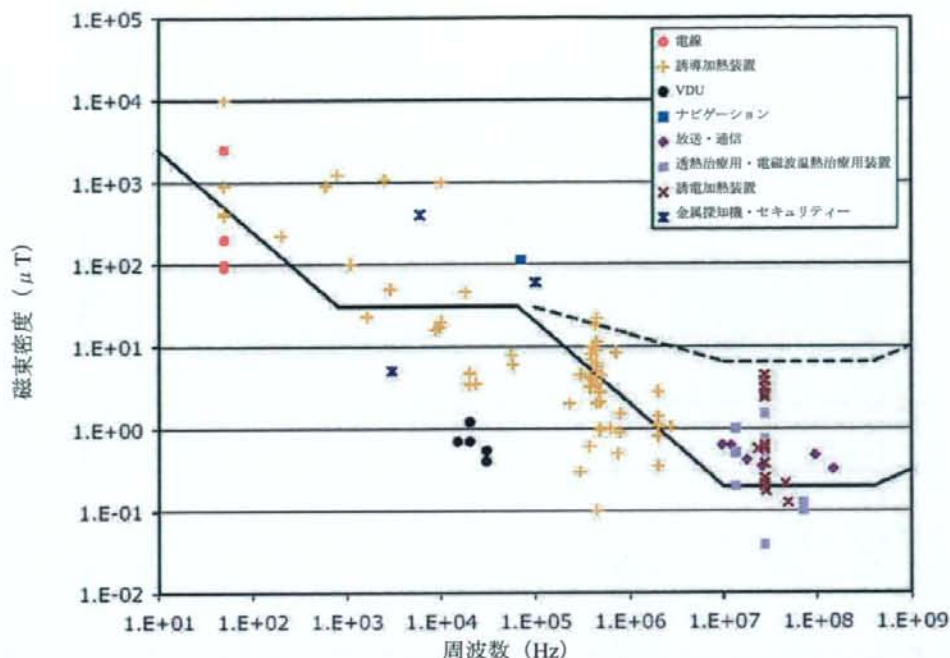


図8 NRPB-R265に報告されている職業的磁界への曝露とrms磁束密度(実線)およびピーク磁束密度(破線)に関するICNIRPの参考値。

NRPB-R265のデータにおいては、電界を対象とした場合、いくつかの誘導加熱装置、誘電加熱装置、放送および通信用アンテナ、そして短波透熱治療用装置からICNIRPのrms参考値を超える可能性のある曝露を引き起こすことが示唆される。しかしながら、上記に挙げる発生源からの典型的な例における曝露については6分を超える連続的なものではなく、ICNIRPガイドラインでは100kHz以上の周波数において、6分間の時間平均電界強度として算出することを許可している。また界強度値は時間平均する前に二乗することとされている。

図7に、2つの追加計測値がrms電界強度の参考値が超えて示されている。これらは高压電線および、およそ70kHzの周波数をもつLFナビゲーション装置のものである。NRPB-R-265では、後記のものに関して、概して多くの保守点検作業者が対象となる可能性の低い、極めて稀な曝露状況であると位置づけている。両測定結果とも、帯電した導体部との接触による間接的有害影響を排除できる状況において、参考値を満たしていると言えるであろう。

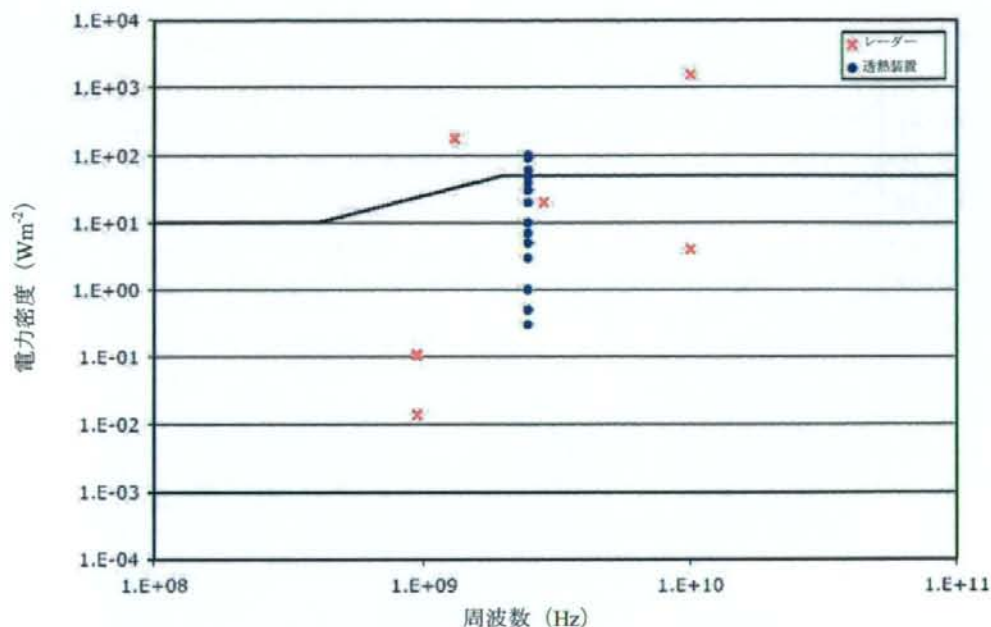


図9 NRPB-R265に報告されている職業的電力密度への曝露と等価平面波電力密度（実線）に関するICNIRPの参考値。レーザーへの曝露に関する電力密度は平均値として示す。ガイドラインは、パルス幅で平均した等価平面波電力密度が、参考値の1,000倍を超えないこととしている。

磁界を対象とした場合、NRPB-R265のデータにおいてはいくつかの誘導加熱装置、誘電加熱装置、放送および通信用アンテナ、セキュリティシステム、短波透熱治療用装置また電磁波温熱治療用装置、そして上記で述べたLFナビゲーションシステムからICNIRPのrms参考値を超える可能性を示唆している。

rms参考値を超える磁界を発生させる多くの機器は、100kHzを超える周波数で運転されている。このような周波数においては、電界の場合と同じく時間平均を用いることができる。すなわち磁界強度もしくは磁束密度の二乗を6分間の平均として算出する。図8では、ピーク参考値を超える100kHz以上の周波数への曝露は稀であることを示している。

図9電力密度のグラフにマイクロ波への曝露を示す。そこではレーザーおよびマイクロ波透熱治療用装置の2つのカテゴリーを特定している。測定結果において、一部のレーザーシステムからのメインビームに近づいた場合参考値を超える可能性があるものの、電力密度はおおむねICNIRP参考値を下回るものであった。また特定の曝露条件が重なった場合に、マイクロ波透熱治療用装置からの電力密度が参考値を超える可能性もある。

曝露の時間平均としての算出は、ICNIRP より指示されている時間間隔の平均電力密度を用いて、関連する周波数について計算されている。

発生源と曝露に関して NRPB-R265 の中で検討されている多くの項目が、ここでは重要になっている。例えば、多くの機器が 10MHz 以上の周波数で運転されており、それらの機器からの曝露については、全身や局部 SAR の時間平均が 6 分間を超えることを許容している基本制限と照らし合わせるができる。また透熱治療用加熱機およびいくつかの通信装置の低衝撃係数は、瞬間的最大の曝露として考えるよりも、時間平均曝露として、かなり低く算出することができる。作業手順によってもまた時間平均曝露の数値を下げるができる。一つの例として、放送局などにおいては高電力送信装置に関連する供給装置やアンテナ配列の近くで、長期にわたる曝露を避けるため、それを考慮した作業手順を作成することもできる。

いくつかの状況では、電界・磁界の空間分布が極端に不均一である場合があり、全身もしくは体の一部における平均 SAR が、局所的な最大電界・磁界強度への均一的な状態における曝露と比較して低くなることもある。このような状況については、セキュリティーやアクセス管理を目的として使用されているアンテナの近くなどを例としてあげることができる。

9.2 新規曝露データ

図 10 から図 12 に、本調査において用いた曝露のデータをまとめる。そこでは測定された電界強度、磁束密度および接触電流を ICNIRP の職業的曝露に関する参考値と比較して示す。それらのデータは、おおむねそれぞれの機器やアプリケーションに対する最大 rms 値として示しているが、別途、四肢における曝露や全身における曝露に関する数値も該当箇所には明記してある。

9.2.1 電界

本調査において、周波数 100kHz 以下の測定電界強度からの曝露については、全て電力発電産業に関連するものである。図 10 にまとめている測定結果の数箇所 50Hz での参考値を超えており、そのうち最も高い電界強度は 14kVm^{-1} であった。参考値を超える値での電界強度の曝露は、体表面の帯電もしくはその他の間接的影響による知覚および不快感によるストレスを引き起こす結果に繋がる。しかしながら本調査において報告されている中で最も強い電界を例にしても、全ての電界強度計測結果が、帯電した導体部との接触による間接的有害影響を排除できる状況において参考値を満たしていることから判断できるように、誘導電流密度に関する基本制限を超えるに

いたる程のレベルではない。

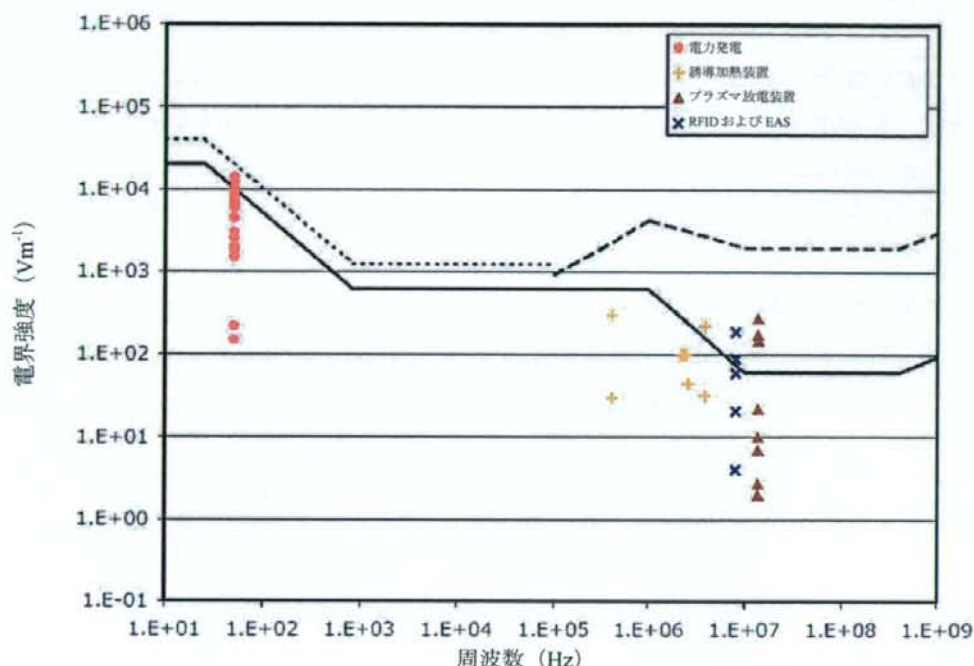


図 10 職業的電界への曝露と rms 電界強度 (実線) およびピーク電界強度 (破線) に関する ICNIRP の参考値。100kHz 以下の周波数に広がる点線は、帯電した導体との接触による間接的影響を除ける場合に適用される rms 参考値を意味する。

100kHz を超える周波数において、rms 電界強度に関する ICNIRP の参考値を、誘導加熱機器の近傍における一回の測定、また EAS タグ解除装置および RF スパッタ装置を対象とした測定において超える結果が得られた。ピーク電界強度に関する参考値については、どの計測においても超えることはなかった。EAS タグ解除装置が調査対象として考慮されたが、低デューティサイクルにおける送信パルスが検査された結果、ガイドランスにより許可されている時間平均値として算出した後は、参考値の超過が確認されなかった。1 つの誘導加熱機器の近くにおいて参考値を超える特例があったが、それは一般的な作業位置よりも加熱機の近くにおける測定結果であって、通常の作業状況を考慮した場合、時間平均曝露値が参考値を超えることは考えにくい。またいくつかのスパッタ装置の近くにおいて超えた電界強度は、通常頭部や胴体部が曝されないような場所においてのものであった。これらの曝露については時間の平均とすることができ、ガイドラインで明確に提示されている状況においては、参考値を超える一時的曝露を許容範囲としている。

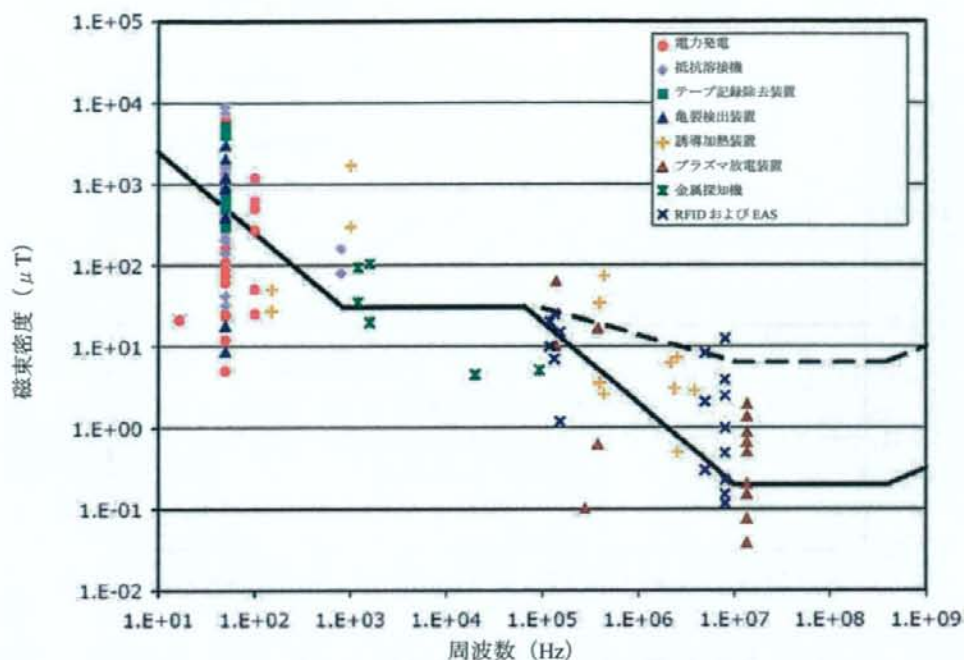


図 11 職業的磁界への曝露と rms 磁束密度 (実線) およびピーク磁束密度 (破線) に関する ICNIRP の参考値

9.2.2 磁界

9.2.2.1 100kHz 以下の周波数について

図 11 に挙げる磁束密度で分かるように、若干数の機器やアプリケーションで ICNIRP の職業的曝露に関する参考値を超えている。周波数 100kHz 以下においては曝露を時間平均することは許されていないが、発電装置、テープ記録除去装置、亀裂検出装置、抵抗溶接機、誘導加熱装置、そして金属探知機で参考値を超えるレベルが検出された。

磁束密度に関する有効参考値を超えた発電装置に近傍する場所については、一部、体肢や四肢以外の体の部分が通常曝されれないような、極めて局所的な領域に限定された。これらの場合においては、頭部・胴体部の組織に対する誘導電流密度に関する基本制限を超過することはないであろう。しかしながら、参考値を超えるレベルの磁束密度に作業者の頭部や胴体部が曝されてしまうような箇所において基本制限を超える可能性がある。このような場所への接近を管理上の手順もしくは制限などによって防ぐことにより、こういった事例に対しての対策を講じることができる。

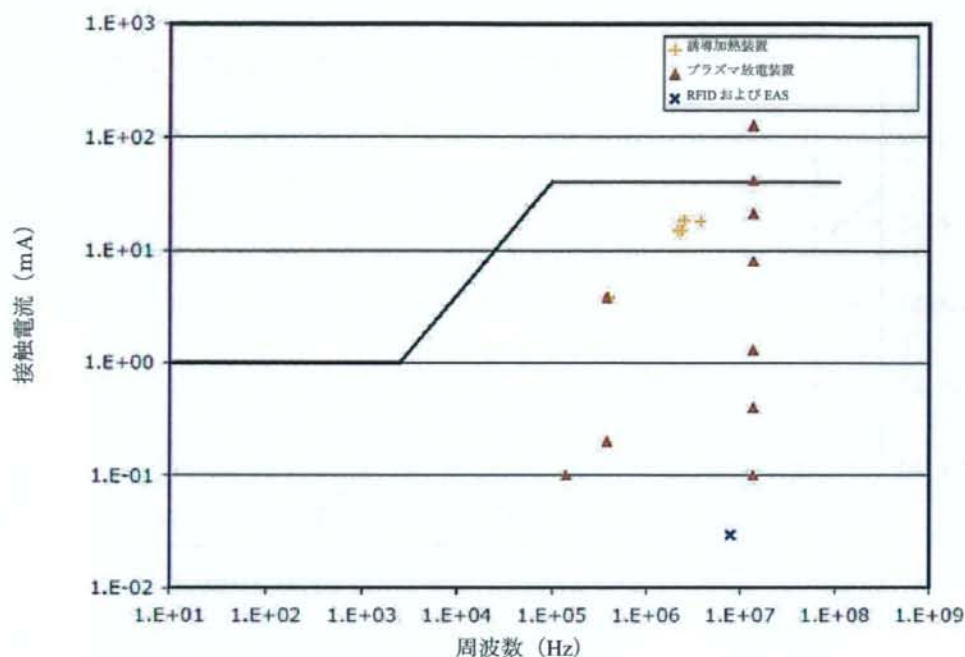


図 12 職業的接触電流への曝露と ICNIRP の参考値 (実線)

抵抗溶接機、誘導加熱装置、亀裂検出装置およびテープ記録除去装置から発生する磁界への影響評価においては、特定の機器近くでの通常の操作位置で参考値が超える可能性があることが明らかになった。いくつかの場合、手や腕以外の体の部分が通常曝されることがないように、極めて局所的な領域のみで参考値が超えた。上述するような場合においては、頭部・胴体部の組織に対する誘導電流密度に関する基本制限を超過することはないであろう。しかし参考値を超えるレベルの磁束密度に作業者の頭部や胴体部が曝されてしまうような箇所においては、基本制限を超える可能性がある。磁界の典型的空間分布に関する詳細なデータがないため、参考値が超えた状況において基本制限を満たしているかどうかという総合的結論を出すことができない。

2つの金属探知機の近傍で参考値を超えた結果については特例的なものであり、調査対象となった機器が、キロヘルツ周波数の範囲で運転されるようなそれら機器を代表しているものなのかを結論付けることが困難であった。両機器とも、均一の生体組織の半径 20 センチメートルのループへ誘導電流が流れ込む量を、磁界の空間分布を考慮し、調査にて測定された磁束密度の変化率から導き出した。分析結果によると、曝露のどの位置においても誘導電流密度に関する基本制限を超える可能性がないことが示唆された。

9.2.2.2 100kHz よりも高い周波数について

100kHz よりも高い周波数においては、誘導加熱装置、プラズマエッチャー、RF スパッタ装置、RFID システム、そして EAS 機器の近くにおける計測で rms 磁束密度に関する ICNIRP 参考値を超えた。少数の調査対象となった機器では特定の曝露状況において、ピーク磁束密度に関する参考値も超えるものがあった。ICNIRP ガイドラインでは、磁束密度の二乗をもとに時間平均として算出することを許可しており、一時的曝露に関する調査もしくはピーク参考値を超えないレベルの測定値におけるパルス磁界への曝露に際してその方法が用いられる。

誘導加熱装置から発生する磁界への曝露では、概して通常の操作位置ではない機器の近くにおいてのみ rms 参考値を超えていた。その結果、通常の操作状況において、時間平均の曝露値が参考値を超えることはないと考えられる。

調査対象となったプラズマエッチャーおよび RF スパッタ装置のいくつかでは、それらの反応容器の近くにおいて、磁界強度の測定結果が rms 参考値を超えた。しかしながら、参考値を超えるレベルであった場所については、一般的に作業員の頭部が通常曝されないような、極めて局所的な領域に限定された所であった。

100kHz を超える周波数で運転されているいくつかの RFID 機器および EAS 検出器の近くで、磁界強度の計測結果が rms 参考値を超えていた。しかしながら、これは全体的に見て極めて局所的な領域でのみのことであり、それらの機器から距離が離れるとともに急激に磁束密度が減少していくことが分かった。また一時的な曝露を対象とした場合は、測定値は磁界強度の二乗をもとに時間平均で算出することもできる。さらに rms 磁界強度に関する参考値を EAS タグ解除装置から数十センチメートル離れたところまでの領域で超える可能性があるが、それら解除装置はパルス磁界を発生させており、ガイダンスで許容されている時間平均を考慮した場合、概して機器の直ぐ近くにおいてのみ参考値を超えていた。

磁界強度の空間分布をもとにしたいくつかの曝露分析が、人体組織のループに誘導される電流密度また付随する SAR を算出されるために用いられ、多くの RFID や EAS 機器について曝露影響評価が行われた。計測結果によると、誘導電流密度および SAR の職業的曝露に関する基本制限を超えるようなことはなく、より悪い状況での機器から発生される磁界への曝露においても同じようなことが言える。RFID と EAS 機器については、ICNIRP ガイドラインに準拠しているかを評価する基準が欧州電気標準化委員会により作成された (CENELEC 2001a, 2001b)。

9.2.3 接触電流

図 12 に接触電流の測定結果をまとめる。調査対象となったスパッタ装置中、一機の真空チャンバ

の接触のみで参考値を超える結果が得られた。接触電流参考値を超える状況においては、RF火傷が起こる可能性や四肢電流に関する参考値を超過するおそれがあり、RF電流の誘導により人体組織に熱が生じる可能性がある。

10 結論

電波周波域の広いスペクトルにわたる、様々な発生源からの電界・磁界に対する曝露影響評価の結果を調査した。1994年に刊行されたNRPB-R265報告書以来続けられている、NRPBの研究をもとに本調査を行った。また調査は、企業に対する契約や今回調査を依頼したその他組織の下、広範囲に進められた。結果としては、本調査においては対象とされていない電磁界への重大な職業上の曝露を引き起こす機器やアプリケーションが存在することもあるであろう。更に、報告されている結果は、本調査において対象となっている機器やアプリケーションの種類例全てから発生する、全ての事実上および潜在的な電界・磁界への曝露を代表しているものではない。上述の制限があるものの、ICNIRPガイドラインに提示されている参考値や基本制限に近いもしくは超える数値がある可能性を、多くの分野において確認した。

ICNIRPより刊行された、時間変化する電界、磁界および電磁界への職業的曝露に関するガイドラインは、確立された健康影響を直接的な根拠とし基本制限を設定している。基本制限を表す時に用いられる物理的量には、周波数によって使い分けられる、誘導電流密度、比エネルギー吸収率(SAR)そして電力密度がある。ICNIRPは、基本制限を超えるか否かを判定するための実践的な曝露評価の制定を目的として、参考値を設定した。また曝露の状況に応じて適用される参考値は、周波数によって、また間接的影響を受ける可能性があるか、電界・磁界がパルスされているかによって変わってくる。そして参考値は、電界強度、磁界強度(および磁束密度)、電力密度、四肢電流、接触電流、および比エネルギー吸収(SA)の項目で表されている。

NRPB-R265の中の少なくともいくつかの調査、また本報告書で行った計測により参考値がそれら機器の近くで超えていることが判明した主要な機器およびアプリケーションを、NRPBにより行われた測定の考察とともに以下に示す。挙げられている機器への職業上の曝露が全ての状況において参考値を超えるものではないが、実際にいくつかの状況で参考値を超える測定結果が得られたことに留意する必要がある。

発電装置	特定の種類の機器近傍における、磁束密度に関する参考値を超えたところへの頭部および胴体部の曝露。電解への曝露において、誘導電流密度に関する基本制限を超えることは予想されない。
抵抗溶接機	基本制限を超える可能性は作業者の位置もしくは磁界の空間分布によって変わってくる。
テープ記録除去装置	基本制限を超える可能性は作業者の位置もしくは磁界の空間分布によって変わってくる。
亀裂検出装置	基本制限を超える可能性は作業者の位置もしくは磁界の空間分布によって変わってくる。
誘導加熱装置	基本制限を超える可能性は作業者の位置によって変わってくる。100kHz もしくはそれ以上の周波数については時間平均を用いることができる。
誘電加熱装置	不均一界および低衝撃係数により参考値が超えたとしても、基本制限を超えたと判断する必要はない。
プラズマエッチャー	参考値を超える領域に通常、頭部や胴体部が曝されることはない。時間平均を用いることができる。
RF スパッタ装置	参考値を超える領域に通常、頭部や胴体部が曝されることはない。時間平均を用いることができる。
RFID	100kHz もしくはそれ以上の周波数において、時間平均を用いることができる。単純な曝露検査においては、基本制限を超えることはなかった。
EAS 機器	100kHz もしくはそれ以上の周波数において、時間平均を用いることができる。HF 帯で運転している機器を対象にした単純な曝露検査においては、基本制限を超えることはなかった。
透熱治療用装置・電磁波温熱治療用装置	基本制限を超える可能性は作業者の位置によって変わってくる。時間平均を用いることができる。
放送および通信	100kHz もしくはそれ以上の周波数において、時間平均を用いることができる。

ICNIRP ガイドラインは、参考値に適合しているということは、関係する基本制限を遵守していることを意味しているが、参考値は規制値ではないため、もし計算値もしくは計測値が超えることがあったとしても、それが基本制限を超えることにはならないとしている。NRPB によって行われた多くの曝露調査によると、参考値を超えたとしても基本制限を超えることは考えにくく、これは RFID と EAS 機器に関するいくつかの調査において確認されている。これはいくつかの理由に基づくもので、それらについては以下に概要を示す。

第一に、電界・磁界強度、磁束密度そして電力密度の参考値は曝露対象人物の全身にかかる空間平均値を意図としているため、局所的曝露に関する基本制限を超えることがない。上に挙げている機器より発生する電界・磁界の多くは相当量の空間変動があり、それゆえ実際の状況において体に誘導される電流密度および SAR は、全身が空間の点で測定される最大電界・磁界強度に対して均一に曝されると仮定した上で誘導される量よりは、低いと見積もることができる。

第二に、100kHz 以下の周波数において最も重要な内容は、頭部および胴体部の組織に対して適用される誘導電流密度に関する基本制限についてである。もし参考値を超える電界・磁界強度への曝露が、四肢および体肢のみであるなら基本制限を超えることはまずない。

第三として、100kHz 以上の周波数においては rms 参考値を時間平均とすることができ、それによりピーク参考値を超えることはなくなる。その結果、有効曝露は、もしそれらが一時的なものであるかパルス界であった場合、減少すると考えられる。

曝露量が参考値を上回ることが基本制限からの逸脱と解釈するべきかを判断するため、更なる研究がいくつかの分野において必要になっている。抵抗溶接機、RFID 機器、EAS 機器、そしてその他セキュリティシステムなどから発生する磁界の空間分布に関する分析が、曝露についての貴重な情報をもたらし、基本制限への遵守に対するより詳細な調査を可能にさせる。これら機器の製品基準は欧州電気標準化委員会 (CENELEC) により設けられ、それらの基準値には参考値および基本制限への準拠を評価するための方法を取り入れている。

11 謝辞

本調査において報告されている多くのデータは、一般契約のもとに行われた曝露調査より得られたものであり、著者はこの報告書にそれらのデータを公開することを許可していただいた多くの組織また個人に謝意を表す。

また本調査において報告されている測定結果は、過去から現在にいたる NRPB のスタッフにより行われた研究から得られたものであり、その全ての方へ謝意を表す。

12 参考文献

- Allens S G, Blackwell R P, Chadwick P J, Driscoll C M H, Pearson A J, Unsworth C and Whillock M J (1994). Review of occupational exposure to optical radiation and electric and magnetic fields with regard to the proposed CEC Physical Agents Directive. Chilton, NRPB-R265.
- CEC (1993). Council of the European Communities. Proposal for a Council Directive on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (93/C 77/02). *Official Journal of the European Communities C 77*, 12-29.
- CEU (1994). Council of the European Union. Amended proposal for a Council Directive on the minimum Health and Safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents — Individual Directive in relation to Article 16 of Directive 89/391/EEC (94/C 230/03). *Official Journal of the European Communities C 230*, 3-29.
- CENELEC (2001a). European Committee for Electrotechnical Standardization. Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used in electronic article surveillance (EAS), radio frequency identification (RFID) and similar applications. European Standard EN 50357.
- CENELEC (2001b). European Committee for Electrotechnical Standardization. Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 10GHz, used in electronic article surveillance (EAS), radio frequency identification (RFID) and similar applications. European Standard EN 50364.
- Chadwick P J (1998). Occupational exposure to electromagnetic fields: Practical application of NRPB guidance. Chilton, NRPB-R301.
- Dimbylow P J (2000). Current densities in a 2 mm resolution anatomically realistic model of the body induced by low frequency electric fields. *Physics in Medicine and Biology* **45**, 1013-1022.
- ICNIRP (1994). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* **66** No. 1, 100-106.
- ICNIRP (1998a). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* **74** No. 4, 494-522. <http://www.icnirp.org/Documents/Emfgdl.pdf>.
- ICNIRP (1998b). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Response to questions and comments on ICNIRP guidelines on limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* **75** No. 4, 438-489.
- ICNIRP (1999). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation, a reference book based on the guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation and statements on special applications (ICNIRP 7/99). Matthes R, Bernhardt J H and McKinlay A F (eds.). ISBN 3-9804789-6-3.
- INIRC (1988). International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. *Health Physics* **54** No. 1, 115-123.
- NRPB (1993). National Radiological Protection Board. Restrictions on human exposure to static and time

varying electromagnetic fields and radiation: Scientific basis and recommendations for the implementation of the Board's statement. *Documents of the NRPB* 4 No. 5, 7-63. ISBN 0-85951-366-1

付録 A

職業的曝露に関する ICNIRP ガイドライン

曝露に関するガイドラインを作成するうえで、ICNIRP は電界・磁界に曝された人々に対する研究結果、生物学的研究結果、そして電界・磁界への曝露 (ICNIRP 1994, 1998a) を調査した。ICNIRP より提唱されている職業的曝露に関する曝露限界値と基本制限を表 A1 と表 A2 に示す。表 A1 に明示する限界値は均一磁界への曝露に対して定めたものである。不均一な静磁界に関しては、 100cm^2 以上の面積における平均磁束密度を計測しなければならない。

表 A1 静磁界への職業的曝露限界値

曝露状況	磁束密度 (T)
就労日全体 (時間加重平均)	0.2
最大値	2
四肢	5

注釈

- (a) 注意：ペースメーカーを使用する人、その他電子機器を移植した人、もしくは磁性体移植を受けている人にとってはここで挙げられている限界値によって適切に守られていない場合がある。大部分のペースメーカーについては 0.5mT を下回る電界・磁界への曝露による影響は起こりにくい。特定の磁性体を移植されている人もしくは電子機器 (ペースメーカー以外のもの) を使用している人においては数ミリテスラを超える電界・磁界により影響を受ける可能性がある。
- (b) 磁束密度が 3mT を超えたときには、金属物質が飛ぶ危険から保護するよう注意しなければいけない。

ガイドラインに関する質問とコメントに対する ICNIRP の返答 (ICNIRP 1998b) には、基本制限に関するいくつかの明確な回答が記されている。これらには、局所 SAR に関する影響への制限として示されている平均質量に関する記述があり、 10 グラムの人体組織とは、ほぼ均一な電気的性質のものに接触している同質の人体組織の質量を意図したものであると記されている。返答にはまた $10\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$ の基本制限とは、人体の胴体部および頭部の中枢神経系組織への深刻な曝露影響を防ぐことを意図とし、 10 の安全率を加えたものであると述べている。ICNIRP はこの基本制限について、同じ曝露状況下であれば中枢神経系以外の人体組織に対してより高い電流密度を許容できると認識している。

表 A2 300GHz までの周波数における時間変化的電界、磁界および電磁界への職業的曝露に関する基本制限

周波数範囲	頭部および胴体部の電流密度 (mA m^{-2}) (rms)	全身平均 SAR (Wkg $^{-1}$)	局所 SAR (頭部および胴体部) (Wkg $^{-1}$)	局所 SAR (四肢) (Wkg $^{-1}$)	電力密度 (Wm $^{-2}$)
1Hz まで	40	-	-	-	-
1-4Hz	40/f	-	-	-	-
4Hz-1kHz	10	-	-	-	-
1-100kHz	f/100	-	-	-	-
100kHz-10MHz	f/100	0.4	10	20	-
10MHz-10GHz	-	0.4	10	20	-
10-300GHz	-	-	-	-	50

注釈

- (a) f とはヘルツで表される周波数を示す。
- (b) 人体は電氣的に不均一であるため、電流密度は電流方向に対して垂直な 1cm^2 の断面の平均とする。
- (c) 100kHz までの周波数では、ピーク電流密度値は rms 値に $\sqrt{2}$ (~ 1.414) を乗じることで求めることができる。パルス幅 t_p のパルス波の場合は、基本制限に適用するための等価周波数を $f = 1/(2t_p)$ として計算する。
- (d) 100 kHz までの周波数のパルス磁界については、パルスによって生じる最大の電流密度を、パルスの立ち上がりもしくは下り時間および磁束密度の最大変化率から計算できる。この誘導電流密度を基本制限と比較する。
- (e) 全ての SAR 値は、任意の 6 分間の平均値である。
- (f) 局所 SAR は、ひとかたまりの同質の組織 10 グラムの質量で平均した値とする。そしてこの得られた最大 SAR は曝露の推定に用いる値とする。
- (g) パルス幅 t_p のパルス波では、基本制限に適用するための等価周波数を $f = 1/(2t_p)$ として計算する。また、周波数 0.3 から 10 GHz で頭部に局所曝露を与えるパルス波については、熱弾性膨張によって生じる聴覚効果を制限もしくは回避するために、基本制限の追加事項を推奨する。それは、10 グラムの組織で平均した SA が、職業的曝露で 10mJkg^{-1} を超えないこと、また公衆の曝露の場合は 2mJkg^{-1} を超えないこととしている。
- (h) 電力密度は曝露部分における任意の 20cm^2 の平均値とする。また周波数が高くなると侵入深さが次第に浅くなることを補正するために、任意の $68/f^{1.05}$ 分間 (f の単位は GHz とする) の平均値とする。
- (i) 1cm^2 毎で平均した空間的最大電力密度は上記の数値の 20 倍を超えてはならない。

四肢に流れる誘導電流、電界・磁界強度、磁束密度、および電力密度の参考値は、数学的モデルそして特定周波数での分析調査の結果を用いた外挿法による基本制限を引用する。それらは曝露対象人物と電界・磁界の最大関連条件とされている。外面量の参考値は、曝露対象人物の全身にかかる空間的平均値を意図としているため、局所的曝露に関する基本制限を超えることがない。接触電流の参考値を上述しているが、それは衝撃や火傷の危険を避けるために注意を促すこととしている。表 A3 および表 A4 に ICNIRP より提唱されている職業的曝露に関する参考値を示す。

100kHz までの周波数における特定の曝露の場合、帯電した導体部との接触による間接的有害影響を排除できる状況において電界の参考値は 2 倍とすることができるとしている。

表 A3 時間変化的電界および磁界への職業的曝露に関する参考値（無擾乱 rms 値）

周波数範囲	電界強度、E (Vm ⁻¹)	磁界強度、H (Am ⁻¹)	磁束密度、B (μT)	等価平面波電力密度、S _{eq} (Wm ⁻²)
1Hz まで	-	163 000	200 000	-
1-8Hz	20 000	163 000/f ²	200 000/f ²	-
8Hz-25Hz	20 000	20 000/f	25 000/f	-
0.025-0.82kHz	500/f	20/f	25/f	-
0.82-65kHz	610	24.4	30.7	-
0.065-1MHz	610	1.6/f	2.0/f	-
1-10MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	-
10-400MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000MHz	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	0.01f ^{1/2}	f/40
2-300GHz	137	0.36	0.45	50

注釈

- (a) f は、周波数範囲の欄に示す単位で表す。
- (b) 基本制限が満たされ、間接的な結合による有害な影響が排除できれば、電磁界強度が表の値を超えてもよい。
- (c) 周波数が 100 kHz から 10 GHz の間にある場合、S_{eq}、E²、H² および B² は、任意の 6 分間の平均をとる。
- (d) 100 kHz までの周波数におけるピーク値については、表 A2 の注釈(c)を参照。
- (e) 100 kHz から 10 MHz の間では、界強度のピーク値は、100 kHz で 1.5 倍ピーク、10 MHz で 32 倍ピークとなるように内挿することにより求めることができる。周波数が 10MHz を超える場合、パルス幅で平均したピーク等価平面波電力密度が S_{eq} の制限値の 1000 倍を超えない、あるいは表に示した電界・磁界強度のレベルの 32 倍を超えないようにすることを勧める。
- (f) 周波数が 10GHz 以上の場合、S_{eq}、E²、H² および B² は、68/f^{0.5} 分間の平均をとる（f の単位は GHz とする）。
- (g) 有効静電界である 1Hz 未満の周波数については、電界値を示していない。低インピーダンス源による電撃は、その装置に定められた電気安全手順により防止される。

表 A4 10 から 110MHz の周波数において四肢に誘導される電流および導電性の物体からの時間変化的接点電流に関する職業的参考値

周波数範囲	四肢電流 (mA)	最大接点電流 (mA)
2.5kHz まで	-	1.0
2.5-100kHz	-	0.4f
100kHz-10MHz	-	40
10-110MHz	100	40

注釈

- (a) f とは kHz で表される周波数を示す。
- (b) 局所 SAR に関する基本制限への準拠については、誘導電流の平方の 6 分間にわたる時間平均値の平方根をもとに判断される。

ガイドラインは 100 kHz よりも大きい周波数に採用される電界・磁界強度および磁束密度のピーク値を明示している。100kHz から 10MHz の間において、100kHz から 10MHz までそれぞれ 1.5 倍から 32 倍までとなるように内挿してピーク値を求める事としている。内挿係数は欧州連合理事会により公表され、ピーク参考値は対応する rms 参考値に 10⁹ を乗じることで求めることと提唱して

いる。そこでの 10^a とは $a = 0.665 \log(f/10^5) + 0.176$ であり、 f はヘルツで表される周波数を意味する。(CEU 1999)。

参考文献

- CEU (1999). Council of the European Union. Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC). *Official Journal of the European Communities* L 199, 59-70.
http://europa.eu.int/comm/health/ph/programmes/pollution/ph_fields_cr_en.pdf
- ICNIRP (1994). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* 66 No. 1, 100-106.
- ICNIRP (1998a). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74 No. 4, 494-522. <http://www.icnirp.org/Documents/Emfgdl.pdf>.
- ICNIRP (1998b). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Response to questions and comments on ICNIRP guidelines on limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 75 No. 4, 438-439.

付録 B

電力発電所において測定された電界強度および磁束密度

表 B1 に、様々な環境下で測定された電力発電所における最大電界強度を示す。また表 B2 から表 B5 においては、電力発電の過程における特定の構成部の近傍において行われた磁束密度の計測結果を示す。それぞれの表における最初の欄に示す数値は、個々の電力発電所を識別する目的で用いられ、またそれぞれの電力発電所が全ての表において同様の識別ができるよう統一して数を割り振った。

表 B1 発電所における発電装置からの電界強度。特に注意書きがない場合、参考値は $10\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$ とする。また参考値を超えた測定値は斜体で示す。

発電所	種類	発生源	電界強度 ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$)
1	石炭火力	ブラシギア	<100*
		ブスバー	200*
		架空送電線	4500
2	石炭火力	変圧器	6900
		架空送電線	1500
3	石炭火力	永久磁石発電機	30
		パイロット励磁機	3
		メイン励磁機	30
		発電機	3
		変圧器	3000
4	石炭火力	変電所	8000
		交流発電機	3
		変圧器	2200
		変電所	2000
5	石炭火力	架空送電線	9000
		交流機	100
		架空送電線	3000
6	石炭火力	変電所	10000
		HV チャンバ	1000
		架空送電線	6000
7	石炭火力	発電機	10
		メイン励磁機	30
		変電所	12000
8	石炭火力	架空送電線	5900
9	石炭火力	ブスバー	12000
10	石炭火力	架空送電線	2500
11	石油火力	AVR パネル	20*
		パイロット励磁機	10*
		発電機とブスバー	50
		変圧器	270
		送電線	2000
12	石油火力	架空送電線	2000
13	石油火力	変圧器	1200
		変電所	1500
15	複合サイクルガスタービン	励磁機ブラシギア	10
		ブスバー	150
		発電機	26
		変圧器	1600
		パンキング装置	10000
16	複合サイクルガスタービン	スイッチギア場	6500
18	複合サイクルガスタービン	パンキング装置	14000
19	水力発電	発電機	11
		スイッチギア	130
		ブスバー	150
		変圧器	25
20	水力発電	発電機	20
		スイッチギア	220
21	水力発電	交流機	10
		変電所	3000
22	水力発電	交流機	100
		変電所	1800

*100Hz 周波数により参考値は $5000\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$

表 B2 発電所におけるブラシギアおよび励磁機からの磁束密度。参考値を超えた測定値は斜体で、また頭部や胴体への潜在的な曝露の位置において参考値を超える場合は太字で示す。

発電所	種類	発生源	有効参考値 (μT)	曝露の領域	磁界密度 (μT)
1	石炭火力	ブラシギア	230	体肢 全身	<i>500</i> 70
2	石炭火力	永久磁石パイロット 励磁機	270	体肢	74
3	石炭火力	パイロット励磁機 メイン励磁機	430 390	体肢 四肢	90 200
4	石炭火力	直流発電励磁機	440	四肢	190
5	石炭火力	励磁機ブラシギア	150	体肢 全身	<i>620</i> 77
		パイロット励磁機	240	四肢	82
		ローターブラシギア	140	体肢 全身	<i>150</i> <50
7	石炭火力	パイロット励磁機 メイン励磁機	420 250	体肢 体肢 胴体	110 <i>1400</i> 460
8	石炭火力	パイロット励磁機 メイン励磁機	165 165	体肢 体肢 四肢	43 <i>820</i> 140
9	石炭火力	パイロット励磁機 メイン励磁機 メイン励磁機ブラシギア	45 160 160	体肢 四肢 体肢 胴体 四肢 胴体	<i>100</i> 35 <i>540</i> 110 140 48
10	石炭火力	パイロット励磁機 メイン励磁機	340 270	四肢 体肢	60 180
11	石油火力	パイロット励磁機 メイン励磁機	220 170	体肢 頭部 体肢 頭部	270 25 <i>190</i> 52
14	ガスタービン	永久磁石パイロット 励磁機 メイン励磁機	210 500	体肢 体肢	39 300
15	複合サイクルガスタービン	励磁機ブラシギア 励磁機 ローターアースブラシギア	150 150 390	体肢 四肢 胴体 全身	74 <i>170</i> 50 160
16	複合サイクルガスタービン	励磁機	310	四肢	38
17	複合サイクルガスタービン	励磁室 励磁機 (蒸気タービン) 励磁機 (ガスタービン)	54 500 350	体肢 全身 体肢 体肢	<i>140</i> 10 36 23
21	水力発電	メイン励磁機	310	体肢	40
22	水力発電	メイン励磁機	180	体肢	12