

磁場測定用センサーと測定例

1. 磁場センサー

低周波磁場測定に用いるセンサーとして、Narda 社の製品など、ICNIRP ガイドラインおよび関連する欧州規格、あるいは IEC 規格に準拠した測定器が市販されている。これらの測定器は簡便に使用できて便利である一方、センサーの大きさが 100cm^2 となっていて、空間分解能が不十分であったり、非正弦波の場合の取り扱いに自由度が不十分であったりするため、かえって不便な場合がある。また、電源が商用周波数の交流を整流したまま十分に平滑化せずに運転される誘導加熱装置では、商用周波数とその高調波の数 100Hz までの周波数成分と、加熱周波数である数 10kHz~数 100kHz の周波数成分を同時に記録しなければならない場合がある。

このような場合を想定して、本研究では、空間分解能が高く、低周波領域の比較的広帯域をカバーするホトニクス社製の磁場センサーを準備し、その基本的な特性を評価した。



図 1 磁場センサーの外観

2. センサーの特性

(1) 仕様と測定条件

周波数特性

計測レンジ：小信号レンジ($\sim 100\ \mu\text{T}$)

印加コイル： $100\text{mm}\ \phi \times 10\text{T}$

印加波形：sin 波

印加電圧：20Vpp/オープン

コイル巻数： X : 28T Y : 28T Z : 32T

コイルケーブル：3m

測定オシロ：1M Ω /20pF

(2) 周波数特性

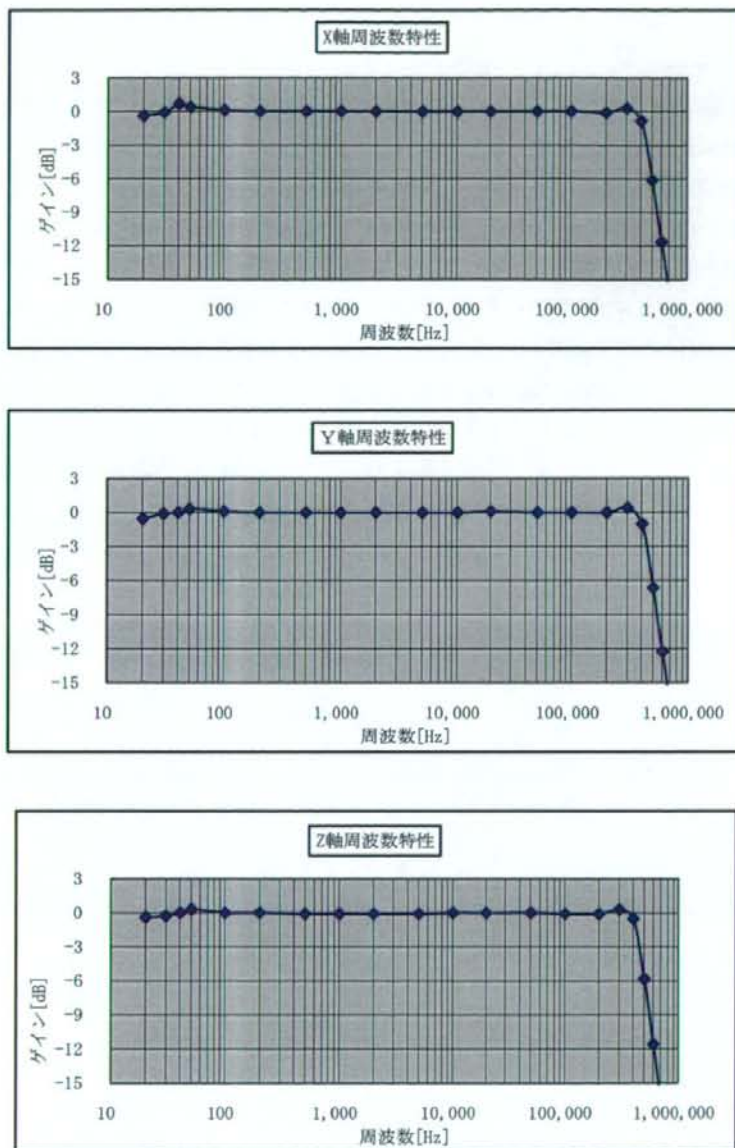


図2 磁場センサーの各軸方向の周波数特性

(3) 誘導加熱調理器の測定例

商用周波と加熱周波数(数 10kHz)が同時に含まれる磁場波形の測定例を示す。

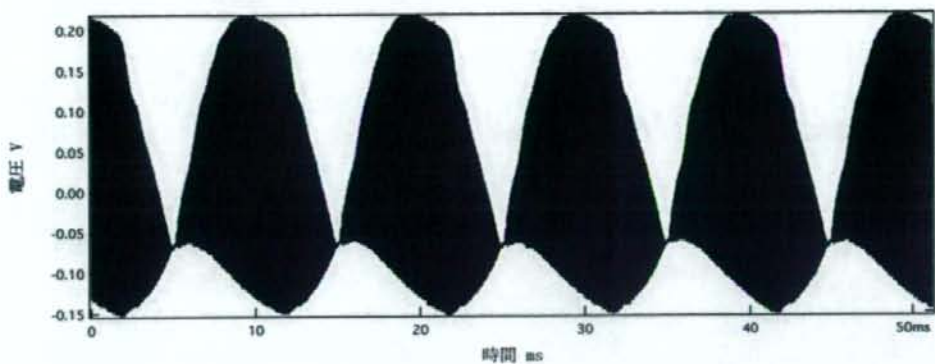


図3 誘導加熱調理器からの磁場波形。電源電圧が 50Hz の交流を整流した波形になっている。

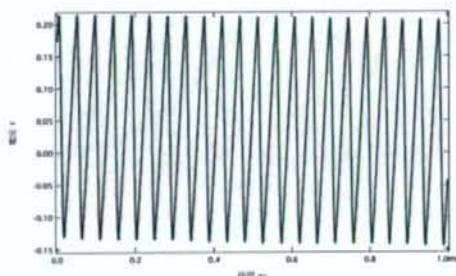


図4 加熱周波数の成分が見えるように 時間軸を拡大した波形

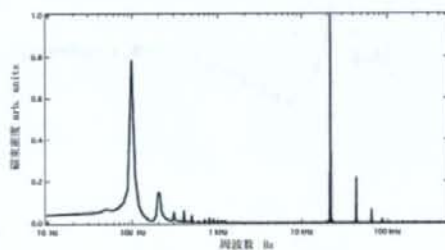


図5 誘導加熱調理器の磁場波形の スペクトル (全体)

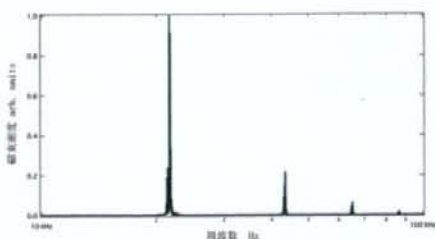


図6 誘導加熱調理器の磁場波形の スペクトル (加熱周波数付近)

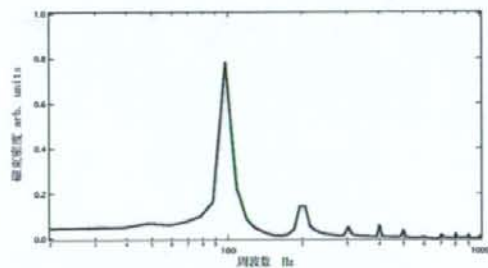


図7 誘導加熱調理器の磁場波形の スペクトル (電源周波数付近)

4. 電子商品監視装置の磁場波形

測定が難しい磁場波形の例として、図書館などの盗難防止装置に使用されている商品監視装置の波形およびそのスペクトルを測定した。

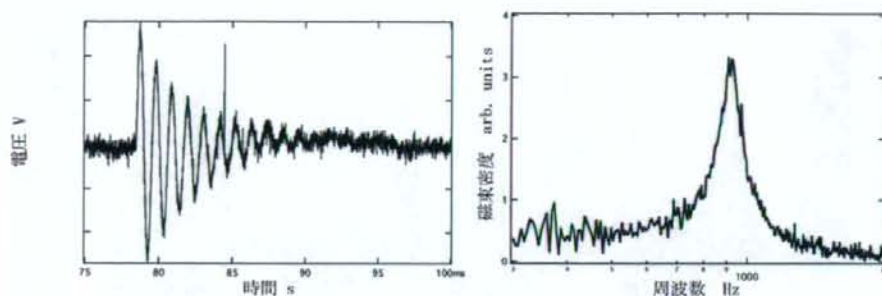


図8 図書館ゲートからの磁場波形の例。左が時間波形、右がスペクトル

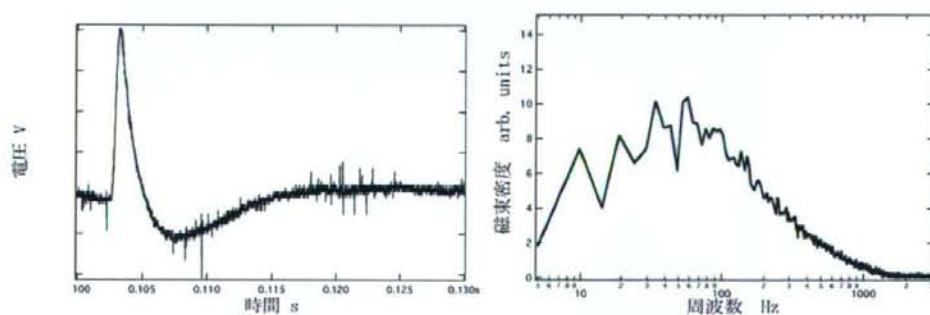


図9 解除装置の帯磁の時の磁場波形例。左が時間波形、右がスペクトル。

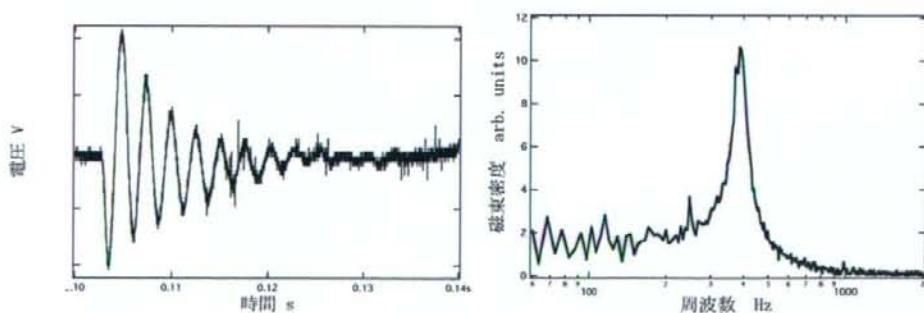


図10 解除装置の消磁の時の磁場波形例。左が時間波形、右がスペクトル。

資料 A

ICNIRP ガイドラインに基づいた
電界・磁界への職業的曝露の実態
(NRPB-W24)

ICNIRP ガイドラインに基づいた 電界・磁界への職業的曝露の実態

T G Cooper

抜粋

電波（サブオプティカル）周波域における電磁界への職業的曝露の実態を調査し、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）より公表されているガイドラインの参考値と、実測された曝露量を比較検討する。この参考値に適合しているということは、曝露による健康影響を防ぐために設けられた基本制限を遵守していることを意味している。また調査においては1994年に発表された資料およびNRPBによって行われた最近の曝露影響評価の研究結果を引用している。多くの報告された曝露量測定においては、各参考値に適合している結果が得られているが、いくつかの機器やアプリケーションでは参考値や基本制限に近い値に到達するもしくは上回る可能性を示唆していることが確認された。それらいくつかの問題に対しては、職業上における曝露量が参考値を上回ることがICNIRPガイドラインの基本制限からの逸脱と解釈するべきかを判断するための詳細な分析が必要である。

この研究は安全衛生実行委員（Health and Safety Executive）により資金援助されている。

©英国放射線防護庁 (National Radiological Protection Board) Chilton Didcot Oxon OX11 0RQ	承認: 2002年9月 出版: 2002年9月 £15.00 ISBN 0 85951 495 1
---------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------

このNRPB報告書は、本文において紹介されている参考文献から引用された、現在における科学的証拠の評価および理解に基づき作成されている。

要約

国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）は静磁界の曝露限界に関するガイドラインを 1994 年に公表し、1998 年には時間変化する電界、磁界および電磁界による曝露を制限するためのガイドライン（300 GHz まで）を公表した。これらのガイドラインでは曝露による生態への健康影響を防ぐための基本制限を設けることを勧めている。また、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も設定されている。この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、もし数値を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。

ICNIRP の曝露に関するガイドラインに基づいて、電波周波域における電界および磁界への職業的曝露の調査を行った。その中で、発電機、抵抗溶接機、誘導加熱機器、プラズマ放電機器、セキュリティおよびアクセス管理装置、またその他の電子機器などより発生する電界・磁界への曝露影響評価をもとに、それらからの電界・磁界強度、磁束密度、電力密度、および接触電流の測定を行った。それら測定結果は ICNIRP の参考値と比較された。また NRPB 報告書 R265 により以前公表された数値も参考値と比較検討している。

多くの報告された曝露量測定においては、各参考値に適合している結果が得られているが、いくつかの機器やアプリケーションでは、一定の条件において参考値や基本制限に近い値に到達するもしくは上回る可能性を示唆していることが確認された。多くの場合、四肢および体肢における曝露においてのみ参考値を超える結果となっている。参考値を超える状況は、以下に挙げる機器より発生される電磁界への曝露調査においてみられた。

- ① 発電機
- ② 抵抗溶接機
- ③ テープ記録除去装置
- ④ 亀裂検出装置
- ⑤ 誘導加熱機器
- ⑥ 誘電加熱機器
- ⑦ プラズマ放電機器
- ⑧ 高周波スパッタ装置
- ⑨ 無線周波識別装置
- ⑩ 電子商品監視機器
- ⑪ 透熱治療用装置・電磁波温熱治療用装置
- ⑫ 放送・通信装置

職業上における曝露量が参考値を上回ることが ICNIRP ガイドラインの基本制限からの逸脱と解釈するべきかを判断するため、いくつかの分野において詳細な分析が必要となっている。抵抗溶

接機、無線周波識別装置、電子商品監視機器、およびその他セキュリティーシステムより発生する磁界の空間的分布の分析が曝露研究に係る貴重なデータをもたらし、また基本制限への準拠に関するより詳細な調査を可能にする。これらの機器のいくつかは、欧州電気標準化委員会（CENELEC）によって商品基準が決められており、その商品基準は参考値および基本制限に対する遵守を判断する上での基準に則り設定されている。

目次

1	序文	5
1.1	緒言	5
1.2	背景	5
1.3	電磁スペクトル	6
1.4	調査の構成	7
2	ICNIRP ガイドライン	8
2.1	ガイドラインの概要	8
2.2	参考値	9
2.3	複数の周波数の電磁界への同時曝露	10
3	電力発電	12
4	抵抗溶接機	14
5	誘導加熱機器	18
6	プラズマ放電機器	20
6.1	プラズマエッチャー	20
6.2	RF スパッタ	22
6.3	プラズマトーチ	24
7	セキュリティおよびアクセス管理	24
7.1	金属探知機	25
7.1.1	ゲート型金属探知機	25
7.1.2	携帯型金属探知機	26
7.2	無線識別装置	26
7.3	EAS 機器	28
8	その他の発生源	31
8.1	永久磁力着磁装置	31
8.2	アーク炉	32
8.3	亀裂検出装置	33
8.4	テープ記録除去装置	34
8.5	ファイバー用硬化装置	35
9	考察	35
9.1	NRPB-R265 に報告されている曝露データ	36
9.2	新規曝露データ	39
9.2.1	電界	39
9.2.2	磁界	41
9.2.3	接触電流	43
10	結論	44
11	謝辞	46
12	参考文献	47
付録 A	職業的曝露に関する ICNIRP ガイドライン	49
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	53

1 序文

1.1 緒言

この報告書は安全衛生実行委員（HSE）より委託され、非光学源からの非電離放射線に対する規制影響評価を進めるために、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）の職業的曝露に関するガイドラインに基づき作成されている。電界および磁界に対する職業上の曝露調査においては1994年に公表された資料、また一般契約によりNRPBにて行われた最新の曝露影響評価の研究結果を引用している。これらのデータの公表に際し、NRPBより受注された団体および個人に対し顧客の名前または使用機器の仕様を伏せることを条件に許可を求めた。

HSEはNRPB-R265を作成する時に行ったような包括的な文献の調査を当案件においては行わないよう明確に指示している。したがって、ここで示すデータは第三機関からのものではなくNRPB単独で行われた測定結果をもとにしたものである。これらのデータは顧客の要望に応じて行われた曝露調査であるため、それぞれの内容に選択的にならざるを得なく、この文書が全ての職業的曝露の状況に対応しているものではない。

1.2 背景

電界および磁界への職業的曝露については、NRPBによる報告書R265（Allen et al. 1994）において調査されており、それは欧州共同体理事会（CEC）指令の提案における、物理的な要因による労働者への曝露リスクに関する安全衛生に係る最低必要条件（CEC 1993）により設定されている対策レベルおよび危険活動レベルと比較検討することを目的として行われたものである。その提案の中で物理的要因として挙げられているものは騒音、機械的振動、光学的放射、および電磁界・電磁波が含まれている。またその提案は後に改定されるが（CEU 1994）その改訂版はNRPB-R265の発表より後に公表されている。NRPBにより行われた調査においては、主に放送、通信、レーダー、誘導加熱機器、誘電加熱機器、ディスプレイ、また電気の伝送、配電、および使用に係る産業、商業、医療の現場における電界・磁界への職業的曝露を考慮して行われた。

ICNIRPは1998年に時間変動的電界、磁界また電磁界（300GHzまで）に対する許容曝露限界値に関するガイドライン（ICNIRP 1998a）を公表した。ICNIRPのガイドラインでは、労働者と一般公衆それぞれについての曝露に関して基本制限を設けている。また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、参考値も設定されている。

この調査では、NRPB-R265 で触れられている非光学機器や工程に関する新しいデータを提供し、また NRPB により行われた曝露影響評価に基づく新しい技術に対する調査結果をまとめている。さらに以前報告された調査結果と最新の調査結果を ICNIRP の職業的曝露に関する参考値と比較検討している。

1.3 電磁スペクトル

電磁スペクトルはその電磁界の周波数の違いによる物理的特性をもとにいくつかの領域に分類されている。スペクトルは静電界・磁界によりゼロ周波数と結び付けられている。様々な領域における周波域の拡大として干渉するものには、時間変化的電磁界およびラジオ (RF) 界・波、マイクロ波、光放射 (赤外、可視および紫外放射に細分される) エックス線そしてガンマ線が含まれる。この報告書ではスペクトルの電波域、つまり 300GHz 以下の周波数を考慮することとする。

電磁スペクトルにおいて、隣り合った領域との境界線はやや任意的に決められており、波や電磁界などの異なった区分における影響や、それぞれの特性が明確に質的变化として表れているものではない。ラジオ波という用語は歴史的にみて、変調電磁波の送信による無線通信に利用できる周波として表現されることが一般的であった。したがって、その用語は現在 3kHz から 300GHz の周波域の電磁界および放射線に対し用いられている。国際電気通信連合 (ITU) により、ラジオスペクトルはいくつかの低周波とともに 10 周波帯へと分けられている。それぞれの周波帯は 10 種類に分かれており、それぞれの学名を表 1 に示す。ELF 帯は規定された領域に加え 30Hz 以下の周波域もしばしば同じ区分に分類される。300MHz から 300GHz の周波域をカバーする上位 3 周波帯はスペクトルの一部であるマイクロ波に分類される。図 1 にいくつかの一般的な電磁界源とそれらの電波域をまとめる。

表 1 ラジオスペクトルの ITU 周波数帯

周波数帯	略語	周波数領域
ミリ波	EHF	30-300 GHz
マイクロ波	SHF	3-30 GHz
極超短波	UHF	300-3000 MHz
超短波	VHF	30-300 MHz
短波	HF	3-30 MHz
中波	MF	300-3000 kHz
長波	LF	30-300 kHz
超長波	VLF	3-30 kHz
音声周波数	VF	300-3000 Hz
極超長波	ELF	30-300 Hz

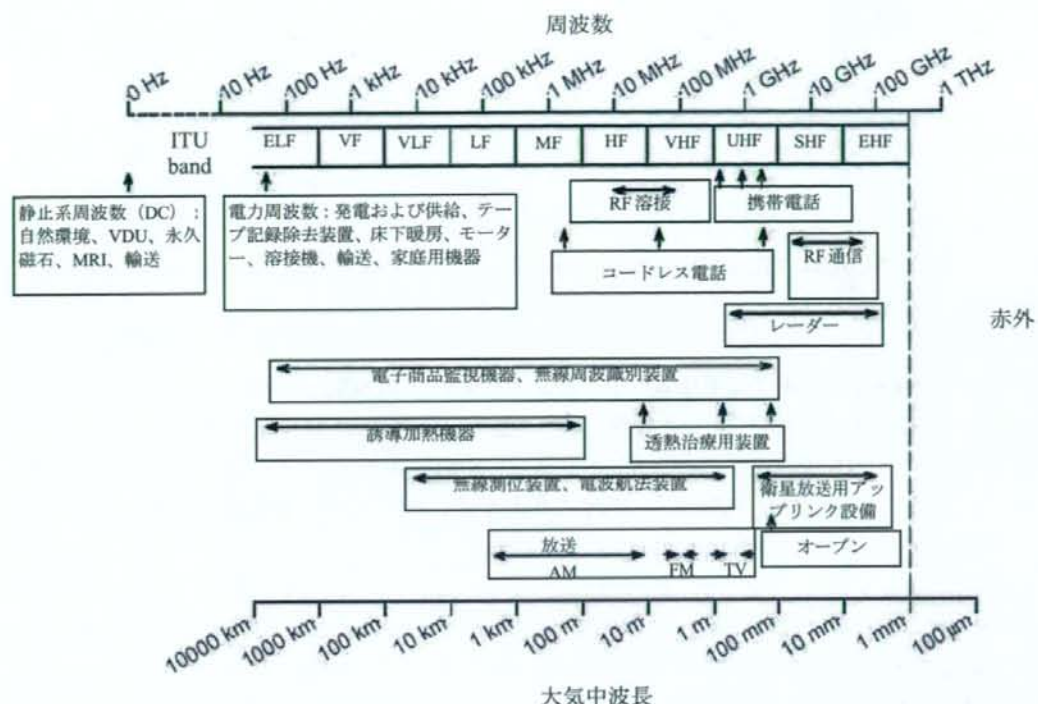


図1 電波周波域における電磁場および放射線の発生源

1.4 調査の構成

今回の調査対象として主に5つの分野を選び、それらは発電、抵抗溶接機、誘電加熱装置、プラズマ放電機器、そしてセキュリティーおよびアクセス管理装置より構成されている。これら全てのはNRPB-R265報告書の公表以来、NRPBが幾度も曝露影響評価を行った実績のある分野であり、それらの実績がこの調査に大きな貢献をしている。NRPBにおいてあまり調査実績のないそれら以外の機器もまた、今回の調査でその他の曝露発生源として紹介している。

表形式での調査結果のまとめを多く取り入れることにより明確に、また測定された電磁界強度または接触電流などに対応する参考値との比較を分かりやすく整理した。文中において同じ機器や曝露発生源が、いくつかの表に出ている場合がある（例として電界強度と磁界強度が別で提示されているものもある）。こういった場合はそれらの機器に対して、統一的に番号付けすることにより管理している（例えば電界強度の表モデル1に挙げられているプラズマエッチャーは、対応する磁界強度の表モデル1においても同様に挙げられている）。

調査の本文の前に、職業的曝露の実態に関するICNIRPのガイドラインについて概要を紹介する。基本制限および参考値、またそれらの適用対象に関するコメントは付録Aにて記述している。

2 ICNIRP ガイドライン

ICNIRP とは非電離放射線に対する曝露の生物影響を調査し、それらに関する指針を作成している独立科学研究機関である。ICNIRP は国際放射線防護学会の国際非電離放射線委員会 (IPRA/INIRC) の後継となり、1992 年に独立委員会として設立された。前組織から 1988 年高周波 (RF) および電磁界の曝露に関するガイドライン (INIRC 1988) が公表されているが、これらは ICNIRP から後に出されたガイドラインにより入れ替えられた。

ICNIRP は 1994 年に静磁界の曝露限界に関するガイドライン (ICNIRP 1994) を公表した。時間変化する電界、磁界および電磁界による曝露を制限するためのガイドライン (300GHz まで) を 1998 年に発表し (ICNIRP 1998a)、同年後期に改定版 (ICNIRP 1998b) を刊行した。次の年には同機関より、非電離放射線に対する曝露を制限するためのガイドラインおよび特別適用対象に係る記述のリファレンスブック (ICNIRP 1999) を刊行した。

ICNIRP ガイドラインは科学の調査、科学的検証結果のまとめ、曝露に対する制限や推奨曝露限界などの制定をもとに作成されている。ICNIRP の曝露に関するガイドラインは、IRPA に属する放射線防護委員の世界的なネットワークの会員らにより見直しが行われ、最近ではその見直しのプロセスを ICNIRP の国際的非電離放射線防護に関する国際的な協力関係者に拡大して行っている。ICNIRP の国際的な協力関係者には世界保健機関や欧州委員会なども含まれている。

2.1 ガイドラインの概要

ICNIRP ガイドラインの主な目的は、既に分かっている健康への有害な影響、すなわち曝露を受けた人もしくはその子孫の健康に確認可能な損傷を与えるような影響に対し、防止策を確立することである。静磁界に対する曝露の制限に関するガイドラインでは、磁束密度として表現される曝露制限を設けている。このガイドラインでは職業的曝露と一般生活環境における曝露を区別しており、それはこの 2 つのグループごとに曝露制限値を設けていることからその趣旨が反映されていることが分かる。またガイドラインでは、どのような人がその職業的曝露の対象になるのかを ICNIRP により検討を行っている。職業的曝露制限については付録 A を参照のこと。

ICNIRP より刊行されている時間変化する電界、磁界および電磁界による曝露を制限するためのガイドラインもまた職業的曝露と一般生活環境における曝露を区別している。ガイドラインでは確立された健康影響を直接的な根拠として定めた基本制限を設定し、健康に悪影響を引き起こさないためにはこれらの基本制限を超えないこととしている。周波数によって、基本制限として用いられる物理的量には、電流密度、比エネルギー吸収率 (SAR) そして電力密度がある。電力密度は体外つまり大気中で測定されるが、電流密度と SAR については被ばく量として測定される。

2.2 参考値

電流密度と SAR については人体組織より直接測定ができないため、ICNIRP は参考値をもって、基本制限を超えるか否かの判定を目的とする、実践的な曝露影響評価の指標を設定している。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。参考値については付録 A に詳細を述べており、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、そして比エネルギー吸収 (SA)^{*} の項目で表されている。

参考値が満たされれば基本制限が満たされたことになるのだが、参考値は限界値ではないため、計測値もしくは計算値が参考値を超えた場合でも、これは必ずしも基本制限も超えているということにはならない。ガイドラインの中では参考値を超えるいかなる場合においても、該当する基本制限との準拠を分析し、更なる防護策の必要性を判断する必要があると指摘している。

電界・磁界強度、および磁束密度の参考値は、平均二乗偏差 (rms) とする量で表されており、ほとんどの市場に出回っている計測器が rms 量として計測値を表示するため、計測値との比較を容易にしている。ガイドラインの中で、100 kHz までの周波数については、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。

付録 A に示すように、周波数 100kHz 以上の電力密度は、周波数による時間の間隔の平均とすることができる。電界および磁界強度はまた、界二乗強度に基づく時間平均として出せる場合もある。

1MHz 以上の周波数においては、曝露が離れた場所で起こる場合、参考値が自由空間のインピーダンス ($E/H=377\Omega$) により関連付けられるため、電界・磁界は両者とも考慮する必要がなくなる。

^{*} SA 値はガイドラインの表 4 の注釈 7 において、実際に表記されているものの、ICNIRP ガイドラインの文中では、SA 値は参考値として扱っている。この表とは 10 GHz までの周波数における基本制限を規定しているものである。

このような場合、電力密度 S は、電界強度もしくは磁界強度それ自身の数値より推定することができる、それは以下の式で表すことができる。

$$S = \frac{E^2}{377} = 377H^2. \quad (1)$$

しかしながら、発生源から近い場所においては、電力密度と界強度の関係は明確ではないため、電界および磁界の構成については別々に考慮されなければならない。

上述した rms 参考値に加え、ガイドラインでは電界・磁界強度および電力密度のピーク値についてもふれている。ICNIRP は生物学的影響とパルス電磁界のピーク値との関係に関する情報はほとんどないと認めたとうえで、周波数が 10MHz を超える場合、パルス幅の時間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。すなわち電界・磁界の強度がそれぞれに対応する rms 界強度の参考値の参考値の 32 倍を超えないこととされている。また 100kHz~10MHz の周波数範囲においては、電界・磁界強度のピーク値は 100kHz で 1.5 倍、10MHz で 32 倍となるように内挿して求められた。

2.3 複数の周波数の電磁界への同時曝露

ICNIRP ガイドラインでは、異なる周波数の電界・磁界への同時曝露を受ける状況において、その曝露が加算的であるかどうかを判断するよう勧めている。最悪のケースにおける曝露状況を想定した加算式を、異なる周波数への曝露により受ける熱的影響と電気的刺激それぞれに対し定めている。

いくつかの種類電気機器より発生される磁界には、顕著な調波成分が含まれており、ICNIRP によって規定されている方法によれば、それぞれの調波構造への曝露を加算的に考慮すべきだとしている。また参考値は周波数に依存するため、複数の周波数への同時曝露については対象となる参考値との比率を加算すべきだとしている。この原理においては、スペクトルの分析することにより、与えられた曝露状況特定の状況に対する有効参考値を導きだせる。(Chadwick 1998) そこで計測された磁束密度と有効参考値を直接比較することでガイドラインへの準拠を判断することができる。測定においては、スペクトルの顕著な調波成分の周波数をカバーできる、十分な帯域幅を持った機器を用いる。

図 2 に交流パルスの抵抗溶接機より発生する磁束密度の一般的な波形を示す。また高速フーリエ変換 (FFT) より導いた波形のスペクトル構成を図 3 に示す。ここではそれぞれの調波成分のスペクトルに対する相対的寄与を、それぞれの縦軸の頂点においてパーセントとして表す。この特定の曝露状況における rms 有効参考値 B_{eff} は、以下の式を用いて、その調波成分から求めている。

$$B_{\text{eff}} = 1 / \sqrt{\sum_i \frac{F_i}{B_{L,i}}} \quad (2)$$

ここで F_i はスペクトルへの調波 i の寄与率を表し、 $B_{L,i}$ は調波の磁束密度の参考値を表す。溶接機の有効参考値は $240 \mu\text{T}$ で算出され、それは参考値 $500 \mu\text{T}$ のおおよそ半分であり、純粋な 50Hz 正弦波磁界へと適用される。

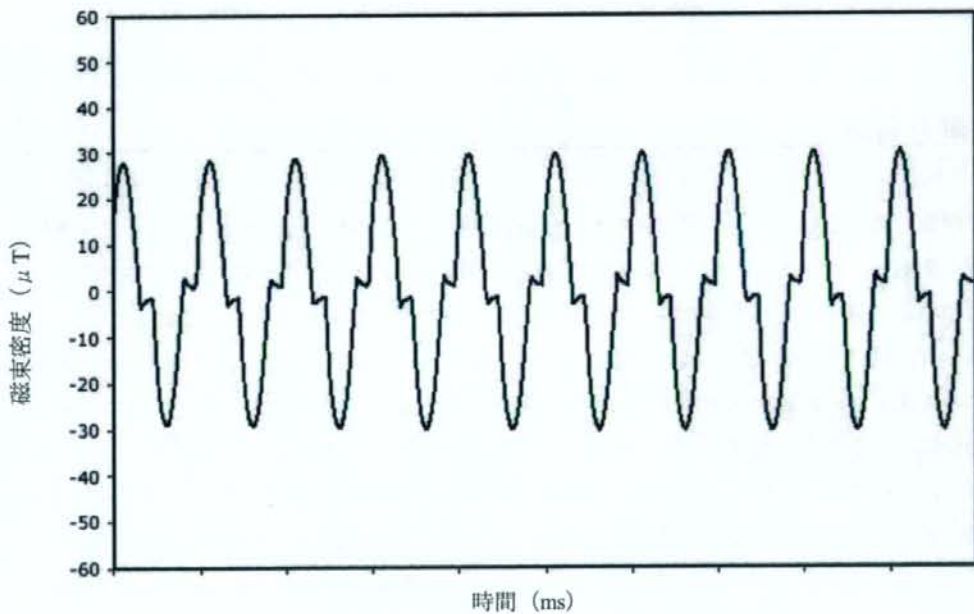


図 2 交流パルスの抵抗溶接機より発生する磁束密度の波形。
波形には基本周波数 50Hz の調波が含まれている。

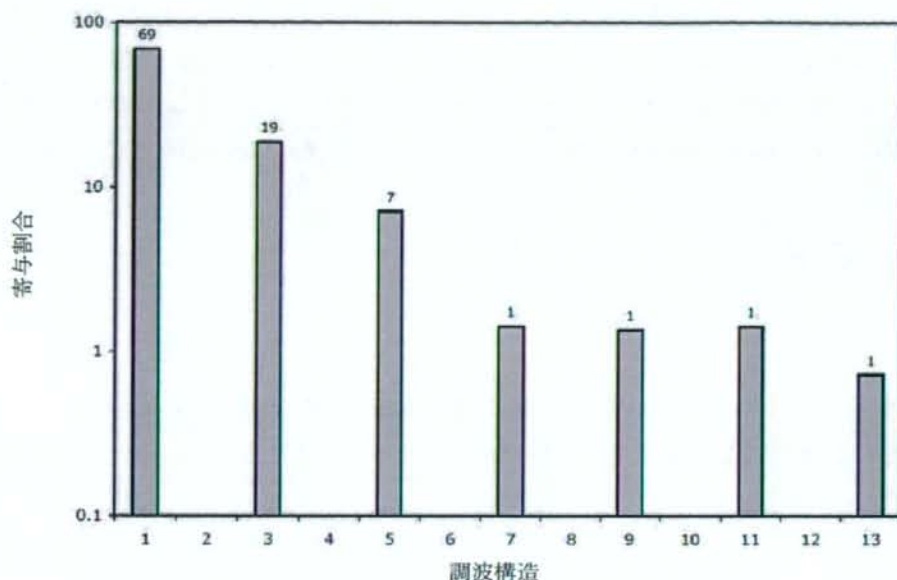


図3 交流パルスの抵抗溶接機より発生する磁束密度波形の調波成分

3 電力発電

職業的曝露の調査をいくつかの電力発電所を対象に行い、また ELF 電界・磁界について発電機、変圧器、変電所、コンダクタおよび関連機器を対象に調査を行った。多くの場合において、これらの対象物から発生される磁界には、顕著な調波成分が含まれており、有効参考値はセクション 2.3 で述べたように、それぞれの曝露状況によって特定される。電力発電所における様々な環境条件において測定された最大電界強度を付録 B に記し、また図 4 ではグラフを用いて示す。電力発電の過程における特定の場所において測定した磁束密度もまた、付録 B にて記し、図 5 にて示す。測定結果についてはそれぞれの曝露状況に適切な有効参考値と測定磁束密度の比として示す。その結果、データポイントにおいて縦軸が 1 単位元よりも大きい場合に有効参考値を超えることとなった。図 4 および図 5 における横軸の数値は固有の電力発電所を区別するために用いられ、番号は両方の図中にそれぞれの電力発電所が対応するよう統一して割り振った。

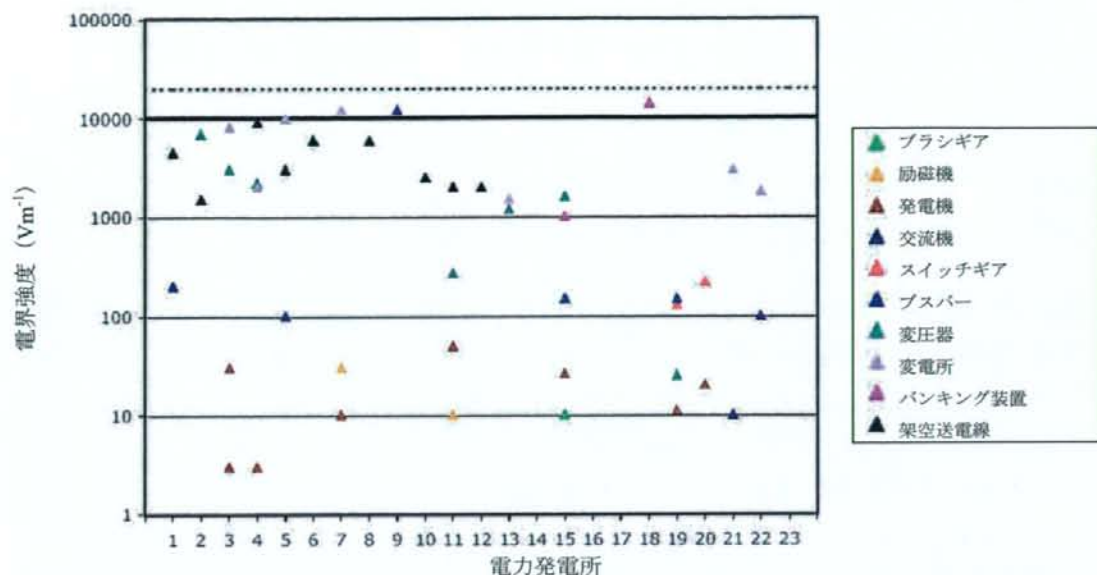


図4 電力発電所における発電設備からの電界強度と ICNIRP の参考値 (実線)、また帯電した導体との接触による間接的影響を除ける場合に適用される緩く設定された参考値 (破線)

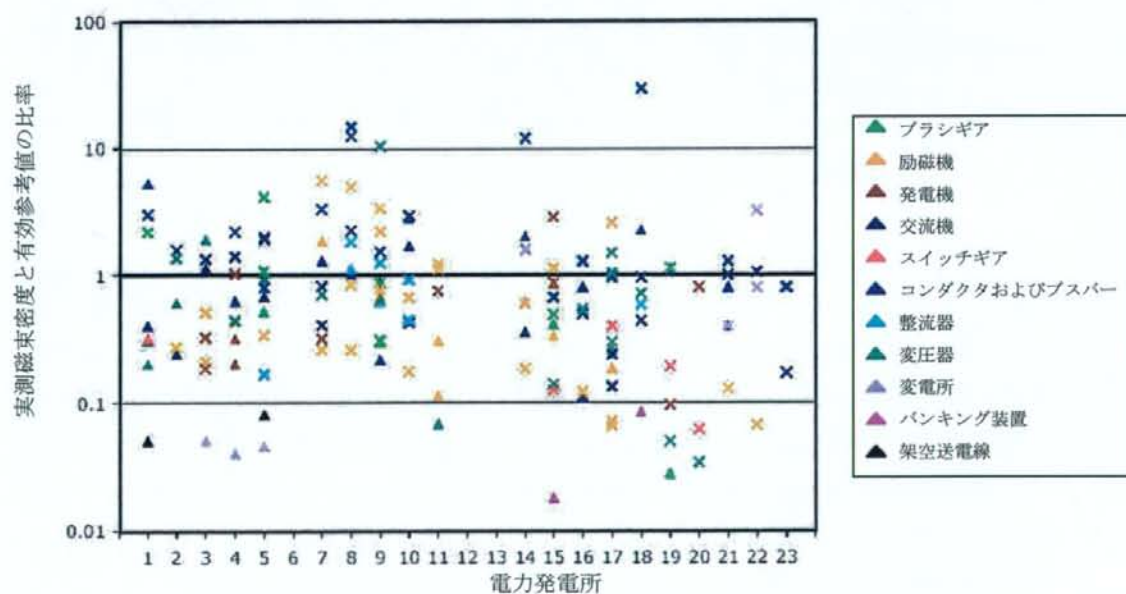


図5 ICNIRP の有効参考値との比として表す、電力発電所における発電設備からの磁束密度。頭部もしくは体幹における曝露は三角マークで示し、四肢および体肢における曝露はバツマークで示す。同じ色どうしの三角マークやバツマークは、同じ種類の機器から発生する磁場への曝露を意味する。

図4に示す電界強度の測定結果の多くがICNIRPの職業的曝露の参考値(50Hzの周波数において 10kV m^{-1})を満たしている。しかしながら変電所のブスバーの近くおよびバンキング装置の400kVコンダクタの下において、わずかな特例として参考値を超えていた。最大実測値として 14kV m^{-1} の領域における界強度への曝露により、ある一定の人に対して、体表面の帯電に影響を及ぼすことが予想されるが、誘導電流密度の基本制限を超えることは考えにくい(Dimbylow 2000, NRPB 1993)。

セクション 2.2 で述べたように、帯電した導体との接触による間接的影響を除ける場合、電界強度の参考値は2倍に設定することができる。図4に示す電界強度は、間接的影響を除ける条件に合致している場合の全てにおいて、緩く設定された参考値に準拠していることを示している。

磁束密度の有効参考値を超えたほぼ全ての装置の種類に接触する可能性のある体の部位は、四肢や体肢以外の体の部分が通常露出していない部位に限られている。これらの場合、頭部や胴体の組織において誘導電流密度に対する基本制限を超えることは考えにくい。図5に示す測定結果および付録Bにて報告している内容では、励磁機、交流機ビット、変圧器、整流器、ブスバーおよび導体に近接するようなある一定の状況において、頭部や胴体が潜在的に露出してしまうような場所で有効参考値が超えていたことを指摘している。これらの状況においては基本制限から逸脱してしまう可能性もある。

4 抵抗溶接機

抵抗溶接機は工業的業務の中で2つかそれ以上の金属材料を融合させるために用いられている。材料を2つの電極の間に置き電流を流し、個々に発生する抵抗熱により金属が溶接される。スポット溶接機およびステッチ溶接機は、棒状の電極を用いて一点を溶接することができる。携帯型溶接機については電極が、手で持って扱える機器に固定されている。マイクロスポット溶接機(poke gunとも呼ばれる)は薄い材質のものに用いられ片面のみの溶接を行うことができる。シーム溶接機の電極は、機械の前面部に二重の反転輪として、垂直上に上下重なって設置されている形式のものが一般的である。材料を2つの輪の間に通し、連続的もしくは律動的に電流が流されることで溶接が行われる。

交流溶接は、基本周波数の調波が含まれている電力周波数(50Hz)で通常作動する。直流溶接機で使われている整流装置においても電力周波数の調波をしばしば発生し、交流磁界への曝露率を引き上げる結果となる。溶接機器から発生する磁界への曝露を調査する上で、セクション 2.3 で

記述したように、通常、調波の量を先ず測定し、干渉するそれぞれの磁界の波形に対する有効参考値を分析する。

表2から表4に、いくつかの曝露影響評価における静的・時間変動的磁束密度の結果を示す。ほとんどの場合において、測定位置は地上から溶接機の電極と同じ高さの場所となっていたが、表4にまとめている調査においては一部、頭の位置で測定された。特に詳細が記されているもの以外については、稼動状況はそれぞれの機器が通常使用されている状態と同じであるとみなすこととする。

表2 抵抗溶接機からの静的磁束密度

溶接機	電流 (kA)	電極からの距離 (cm)	磁束密度 (mT)
250kVA 直流溶接機	14.1	5	30
		20	10
高周波直流溶接機*	8	-	1 [†]
		-	0.2 [‡]
就労日全体における曝露制限 (時間荷重平均)			200
* 800Hz の交流供給を整流し得られた直流電流			
† 四肢が曝される可能性があるところ			
‡ 作業員が主に配置される場所			

表2に挙げる計測結果では、就労日において連続して曝露する磁束密度に対する ICNIRP の時間加重平均基準値を全て下回っている。

一方、表3および表4に示すデータでは、いくつかの直流・交流溶接機から発生される時間変動的磁界への曝露が、対応する参考値を超える可能性があることを示唆している。また参考値を超える磁束密度へ、作業員の頭部や胴体が曝されるような場所では基本制限を超える可能性がある。これらの状況の一部では磁界が非常に変動的であり基本制限を超えない可能性もある。そういった場合には磁束密度の空間的分布をもとに単純な被ばくに関する調査を使い、基本制限への準拠を確認することもできるであろう。しかしながら、抵抗溶接機の近くにおける空間的磁界分布に関しては、更なる詳細なデータの収集なくして全般的な結論を導き出すことは不可能である。

表3および表4にまとめる曝露影響評価の一部では、他の体の部分を通常含まない手や腕のみが曝されるような電極の近くの場所において、参考値を超える結果が得られた。もし頭部や胴体がこのような場所へ曝されることがなければ、誘導電流密度の基本制限を超えるようなことはないであろう。