

表3 抵抗溶接機からの時間変動的磁束密度。有効参考値を超えた測定値は斜体で示す。

溶接機	運転状況	有効参考値 (mT)	電極からの距離 (cm)	磁束密度 (mT)
プロジェクション溶接機	高出力設定	0.50	15	9
			20	5
			100	1.52
	低出力	0.23	150	0.34
			15	4.2
			20	0.67
			100	0.33
			150	0.12
75 kVA シーム溶接機	定格 65%最大出力	0.22	10	6.5-8.5
			20	0.76
75 kVA スポット溶接機	定格 60%最大出力	0.25	15	2
			20	0.55
			150	0.095
3.5 kA シーム溶接機	連続運転周期	0.24	10	8
			20	5
			30	2
25 kVA スポット溶接機	9.2 kA	0.22	15	0.7
			25	0.33
スポット溶接機	6.6 kA	0.17	15	0.81
			20	0.31
			30	0.14
携帯型スポット溶接機	6.3 kA	0.17	20	0.19
250 kVA 直流溶接機	01.4 kA	0.08	15	0.22
			30	0.085
			60	0.032
高周波直流溶接機*	8 kA	0.03	10	0.16
			15	0.08
ステッチ溶接機	-	0.26	5	1.60
			20	0.96
			50	0.26

* 800Hz の交流供給を整流し得られた直流電流

表4 抵抗溶接機からの時間変動的磁束密度。有効参考値を超えた測定値は斜体で、また頭部や胴体への曝露の位置において超える場合は太字で示す。

溶接機	有効参考値 (mT)	電極からの距離 (cm)	磁束密度 (mT)		
			手	胴体	頭部
シーム溶接機	0.21	-	0.56	0.20	0.36
シーム溶接機	0.26	-	2.8	0.53-0.79	-
ステッチ溶接機	0.26	-	7.4	0.49-0.64	-
ステッチ溶接機	0.24	-	6.9	0.38-0.64	-
ステッチ溶接機	0.30	-	6.6	0.89-1.76	-
ステッチ溶接機	0.25	-	4.0	0.69-1.95	-
スポット溶接機	0.27	5	8.0	-	-
		25	-	2.7	1.00
		40	-	1.11	0.44
		60	-	0.41	0.26
シーム溶接機	0.32	5	2.6	-	-
		35	-	1.53	1.38
		60	-	0.20	0.31
スポット溶接機	0.41	5	6.5	-	-
		30	-	3.6	2.0
		60	-	1.7	1.0
スポット溶接機	0.31	10	3.8	-	-
		30	-	1.11	1.04
		60	-	0.82	0.98
シーム溶接機	1.42	5	0.7	-	-
		45	-	0.13	0.13
シーム溶接機	2.35	5	1.5	-	-
		40	-	0.22	0.24
スポット溶接機	0.27	10	2.8	-	-
		30	-	1.69	1.48
		40	-	0.96	0.48
マイクロスポット溶接機	0.31	30	-	0.73	0.34
スポット溶接機	0.27	5	3.2	-	-
		40	-	1.18	0.37
スポット溶接機	0.28	5	5.4	-	-
		40	-	1.37	0.82
		60	-	0.78	0.66
スポット溶接機	0.27	5	3.5	-	-
		30	-	0.91	0.82
		40	-	0.45	0.66
シーム溶接機	0.47	5	1.4	-	-
		50	-	0.57	0.19
		70	-	0.21	0.12
スポットステッチ溶接機	0.47	5	2.2	-	-
		40	-	0.64	0.25
携帯型スポット溶接機	0.21	5	0.89	-	-
		40	-	0.042	0.015
マイクロスポット溶接機	0.21	5	1.6	-	-
		20	-	0.19	0.017
		40	-	0.040	0.009
マイクロスポット溶接機	0.32	5	2.6	-	-
		20	-	0.43	0.025
		30	-	0.15	0.023

5 誘導加熱機器

NRPB-R265では工業用誘導加熱機器について深く調査をしており、様々な過程について報告がされている。ここでは、そのR265の調査結果が以前公表されたデータを補足し十分な調査が行われていたため、R265の中で調査対象となっている他の機器の中でも、とりわけ低い出力で稼動したときの状況などを含めた、誘導加熱機器についての直近の調査結果を調査することができた。誘導加熱機器や誘導炉の詳細および曝露測定結果をまとめた表を下記に示す。

工具機器の製造などで用いられている誘導加熱装置を機械1として識別し、間欠モードも設定可能ではあるが、10kWの連続運転モードで設定し用いた。ホローコアや水冷銅コイルの形式もいくつかあるが、加熱される工具の大きさによって適切なサイズおよび巻数のコイルが選択された。作業者は主に、RFエネルギーがコイルに伝達されている間、加熱機から1メートル離れたところに立った状況で操作を行った。

機械2から機械5は小さい金属部品を加熱するために用いる小出力誘導加熱装置であった。主として1から1.5kWの範囲の出力をもつシールドRF発生装置が、1つかそれ以上の多巻コイルに電力を供給するために用いられ、2MHzから4.5MHzの周波数の水冷銅コイルが用いられた。コイルは金網（ワイヤーメッシュ）とポリカーボネイトスクリーンに包まれているため、直接触れることができないようになっていた。

機械6および機械7は、1.5MWの定格出力で150Hzの周波数で稼動する真空炉であった。機械6は5000kg、機械7は2500kgの容量を持っている。炉の出力は長時間にわたる工程により変化し、提示されている測定結果は、その機器の作業者が曝露計測器を取り付けて得られた最大磁束密度としている。

機械8は1kHz周波数で稼動する750kWの大気溶解誘導炉であった。垂直に装着されたコイルは囲いがなく、接近することもできる構造になっていた。磁束密度の測定においては、炉を最大出力で稼動したときに得られたものであった。

機械9は鉄鋼板を加熱し強度化するために用いる7.5kWの誘導加熱装置であった。稼動周波数は436kHzであった。

表5から表7に誘導加熱装置の周りで測定された電界強度、磁束密度および接触電流の計測結果を示す。いくつかの機械については電界強度と接触電流の結果が得られなかった。

表5 誘導加熱機からの電界強度。参考値を超えた測定値は斜体で示す。

機械	周波数 (kHz)	出力 (kW)	参考値 (Vm^{-1})	装置からの距離 (cm)	電界強度 (Vm^{-1})
1 (コイル1)	395	10	610	20 100*	100 30
1 (コイル2)	395	10	610	10 100*	300 20
2	2200	~1	277	10 30*	100 55
3	2400	~1	254	10 30*	100 55
4	3800	~1	161	10 30*	220 32
5	2550	~1	239	10 30*	45 < 10
*通常の操作位置					

表6 誘導加熱機からの磁界強度。参考値を超えた測定値は斜体で示す。

機械	周波数 (kHz)	出力 (kW)	参考値 (μT)	装置からの距離 (cm)	磁界強度 (μT)
1 (コイル1)	395	10	5.1	5 30 100*	420 18 3.5
1 (コイル2)	395	10	5.1	5 30 100*	480 34 0.8
2	2200	~1	0.91	10 30*	6.3 < 0.4
3	2400	~1	0.83	10 30*	3.0 < 0.4
4	3800	~1	0.53	10 30*	2.9 < 0.4
5	2550	~1	0.78	10 30*	7.3 0.5
6	0.15	1500	167	-	50
7	0.15	1500	167	-	27
8	1	750	30.7	15 100 250 500	1700 300 80 17
9	436	7.5	4.6	5 20	74 2.6
*通常の操作位置					

表 7 誘導加熱機からの接点電流

機械	周波数 (kHz)	出力 (kW)	参考値 (mA)	接点電流 (mA)
1 (コイル 1)	395	10	40	3.8
2	2200	~1	40	15
3	2400	~1	40	15
4	3800	~1	40	18
5	2550	~1	40	19

表 5 において報告されている計測結果の多くは ICNIRP の職業的曝露に対する電界強度の参考値に準拠していた。その中で 1 つだけ参考値を超えたものがあり、これは一般的な作業者の作業位置よりも、対象となった誘導加熱装置に近づいて測定が行われたものである。したがって、ガイドラインの中でも許可されている、時間平均としての通常の状態を考慮した場合、参考値を超えることは一般的に考えにくい。

表 6 に挙げられているデータには、通常、誘導加熱装置作業者が位置するような場所においては一般的に磁束密度の参考値が超えないことが示されている。しかしながら、より近づくことにより、いくつかの機械においては参考値を超える可能性があることも示唆している。ガイドラインでは 100 kHz 以上の周波数について、磁束密度の二乗に基づいて時間平均することを許しており、これは一時的な曝露の調査に際し用いられることがある。時間平均は、周波数が 10GHz 以下で 6 分間隔以上の場合に対して用いる。

測定された誘導加熱装置からの接触電流については参考値を超えるものはなかった。

6 プラズマ放電機器

6.1 プラズマエッチャー

プラズマエッチャーは半導体の製造過程の様々な工程、例えばレジスト用ポリマーの破壊、半導体ウエハー上の金属のエッチング、またプラズマアシスト化学蒸着 (PACVD) を用いたウエハー上の集積形成などに使われている。この技術は、エッチングされるウエハーが置かれる排気反応容器中の 2 組からなる電極に、プラズマ放電を発生させ維持するために RF エネルギーを伝達することを伴う。

プラズマエッチャーと PACVD 近辺の電界・磁界強度の測定、また反応容器表面からの接触電流の測定が行われ、それらの結果を表 8 から表 10 に示す。測定された電界・磁界強度は、反応容器か

らの特定距離における最大値として表されている。

真空チャンバから数センチメートルの界強度の測定は手への曝露を表し、頭部および胴体部への曝露については、より離れた場所での測定結果に基づくものとする。

表8 プラズマエッチャーの反応容器および化学蒸着装置からの特定距離における電界強度

モデル	周波数 (MHz)	出力 (kW)	参考値 (Vm^{-1})	距離 (cm)	電界強度 (Vm^{-1})
1	13.56	-	61	10	10
2	13.56	0.74	61	10	7
3	13.56	0.8	61	5	2
4	13.56	0.2	61	5	< 0.5
5	13.56	0.5	61	5	< 0.5
6	0.28	0.5	610	5	< 0.5
7	13.56	-	61	2.5	2.7
8	13.56	0.06	61	5	< 20
9	0.375	1.5	610	5	< 0.5

表9 プラズマエッチャーの反応容器および化学蒸着装置からの特定距離における磁界強度。
参考値を超えた測定値は斜体で示す。

モデル	周波数 (MHz)	出力 (kW)	参考値 (Am^{-1})	距離 (cm)	磁界強度 (Am^{-1})
1	13.56	-	0.16	5	< 0.05
2	13.56	0.74	0.16	5	< 0.05
3	13.56	0.8	0.16	5	< 0.05
4	13.56	0.2	0.16	5	<i>1.54</i>
				20	<i>0.28</i>
				30	<i>0.07</i>
5	13.56	0.5	0.16	20	< 0.16
				30	< 0.05
6	0.28	0.5	5.7	5	< 0.08
7	13.56	-	0.16	2.5	0.006
8	13.56	0.06	0.16	5	< 0.05
9	0.375	1.5	4.3	5	< 0.08*
10	13.56	0.45	0.16	5	< 0.03
11	13.56	0.1	0.16	5	< 0.03
12	13.56	2	0.16	5	0.06 [†]
13	13.56	0.4	0.16	5	< 0.03
14	0.38	1	4.2	5	<i>13</i>
				20	<i>0.5</i>
15	0.14	130	11	5	<i>50</i>
				10	<i>8</i>
				30	<i>2</i>

* ガスパイプが囲いに入る部分の小さな区域で測定されたとき $7.2Am^{-1}$
[†] スクリーンパネルが取り除かれた状態で RF 供給とマッチング装置周辺にて測定されたとき $1.63Am^{-1}$

表 10 プラズマエッチャーおよび化学蒸着装置からの接点電流

モデル	周波数 (MHz)	出力 (kW)	参考値 (mA)	接点電流 (mA)
4	13.56	0.2	40	8.0
7	13.56	-	40	< 1
8	13.56	0.06	40	< 0.1
9	0.375	1.5	40	3.8
10	13.56	0.45	40	0.4
11	13.56	0.1	40	0.1
12	13.56	2	40	8-21
13	13.56	0.4	40	0.1
14	0.38	1	40	0.2
15	0.14	130	40	0.1

表 8 に示す測定結果全てについて電界強度の参考値に沿うものであった。同様に表 10 に挙げる接触電流の測定結果も、対応する参考値に準拠していた。

表 9 に示す磁界強度の測定結果については、調査対象であったいくつかのプラズマエッチャーの近くにおいて参考値を超える結果はみられなかった。残りの機器で参考値を超えたものに関しては、一般的に反応容器から数センチメートルの場所に限られ、反応容器から数十センチメートル以上離れた場所で超えるようなことはなかった。100 kHz 以上の周波数については、ガイドラインで磁束密度の二乗に基づいて時間平均することが許されており、これは一時的な曝露の調査に際し用いられることがある。時間平均は、周波数が 10GHz 以下で 6 分間隔以上の場合に対して用いる。

上記の表中においてモデル 10 として挙げられているプラズマエッチャーは、チャンバの周りである 2 つの極低周波の磁界コイルを意味するものである。50Hz における最大磁束密度はチャンバから 1 センチメートル離れたところで 2.4 μ T と計測されたが、50 センチメートルにおいては 30 μ T に下がっていた。ICNIRP の職業的曝露に関する参考値は 50Hz の磁界において 500 μ T である。

6.2 RF スパッタ

RF スパッタは排気チャンバの中に置かれた部品にプラズマ放出をもってコーティングを施す過程であり、その点ではプラズマエッチャーと類似したものである。電界・磁界強度の測定は、13.56MHz 周波数において稼動しているときに真空チャンバ、そして 4 つのスパッタ装置の制御・マッチング装置の近くに行われ、それらの結果を表 11 および表 12 に示す。スパッタの真空チャンバから発生する最大接触電流を表 13 に示す。

表 11 13.56MHz RF スパッタ装置からの電界強度。参考値を超えた測定値は斜体で示す。

モデル	出力 (kW)	参考値 (Vm^{-1})	距離 (cm)	電界強度 (Vm^{-1})
1	3.6	61	5	<i>150</i>
			15	22
2	3.5	61	3	<i>280</i>
			10	<i>110</i>
			20	< 61
3	3.5	61	3	<i>180</i>
			10	61
			30	< 27
4	0.08	61	5	< 0.5

表 12 13.56MHz RF スパッタ装置からの磁界強度。参考値を超えた測定値は斜体で示す。

モデル	出力 (kW)	参考値 (Am^{-1})	距離 (cm)	磁界強度 (Am^{-1})
1	3.6	0.16	5	<i>0.53</i>
			15	0.12
2	3.5	0.16	10	> 1.10
			30	<i>0.40</i>
			50	0.16
3	3.5	0.16	10	0.16
			30	< 0.07
4	0.08	0.16	5	< 0.05

表 13 13.56MHz RF スパッタ装置からの接点電流。参考値を超えた測定値は斜体で示す。

モデル	出力 (kW)	参考値 (mA)	接点電流 (mA)
1	3.6	40	1.3
2	3.5	40	<i>125*</i>
			<i>41†</i>
3	3.5	40	< 5

*しっかりとつかんだことによる接触
†軽い指による接触

表 11 および表 12 に示す電界・磁界強度において、いくつかのスパッタ装置の近くで参考値を超えたが、これは全般的に見て通常、頭部や胴体部が曝される場所ではないところにおける結果である。13.56MHz での曝露は、界強度の二乗をもとに 6 分間の時間平均とすることができる。局所 SAR および体全体に対する基本制限は、時間平均界強度が参考値を超えない限り準拠すると考えられる。

表 13 で示す接触電流において、スパッタ装置の 1 つの真空チャンバに接触することによって参考値を超えたことを示している。これは RF 火傷が起こる可能性、もしくは四肢電流の参考値を超過する、または RF 電流によって生体組織に熱が発生することも予想される

上記の表中においてモデル 1 として挙げるスパッタは、静磁界を加えるために、水平面にあるチャンバの周りに巻かれている 2 つのコイルを意味するものである。チャンバから 5 センチメートルのところまで計測された最大静的磁束密度は 0.33mT であり、就労日における連続曝露に関する ICNIRP の 200mT の時間加重平均磁束密度基準を下回るものであった。

6.3 プラズマトーチ

質量分光分析装置で用いられているプラズマトーチアセンブリについて、電界・磁界強度の測定が行われ、その結果を表 14 にまとめる。プラズマトーチアセンブリは金属ケースの中に設置された放電電極を内包するガラスシリンダにより構成されている。アセンブリと同軸であるコイルには、1.4kW の通常稼働出力で 27MHz 周波数の RF 励起が供給される。内側と外側のシールドにスクリーンが設けられているが、装置自体はそれらなしでも稼働できるようになっている。

表 14 プラズマトーチの近傍における電界・磁界強度。参考値を超えた測定値は斜体で、また頭部や胴体への曝露の位置において参考値を超える場合は太字で示す。

稼働状況	曝露部分	電界強度 (Vm^{-1})	磁界強度 (Am^{-1})
内部および外部のシールドともに除去	手	316	2.2
	頭部	30	0.14
	胴体	30	0.25
内部のシールドを設置外部のシールドを除去	手	-	0.22
	頭部および胴体	< 30	< 0.07
内部および外部のシールドを設置	全ての部位	< 30	< 0.07
参考値		61	0.16

表 14 に示す測定結果では、1 つもしくは両方のシールドを取ったときに、四肢の曝露が rms 参考値を超える可能性があることを示しているが、頭部および胴体部への曝露については両方のシールドが外されたときのみを超える可能性があることを示唆している。ICNIRP は 27MHz における曝露について、直接参考値と比較検討する前に 6 分間の時間平均とすることができるとしている。

7 セキュリティーおよびアクセス管理

セキュリティー目的および人の出入りを管理するために、いくつもの異なった機器が使用されている。NRPB は金属探知機、無線周波識別装置 (RFID)、また盗難防止装置として知られている電子商品監視機器 (EAS) から発生する電磁界への曝露に対する測定を行った。

7.1 金属探知機

金属探知機は、空港や刑務所などにおいてセキュリティ目的で使用されている。NRPB では 2 種類の金属探知機を対象に調査を行った。1 つの種類としてゲート型金属探知機、もう一方が携帯型金属探知機である。両方の種類とも磁界を生じるが、携帯型金属探知機から発せられる磁界のほうがゲート型金属探知機よりも弱い傾向にある。

7.1.1 ゲート型金属探知機

2 種類のゲート型金属探知機を対象に、発生される磁界への曝露の調査を行った。両方の金属探知機とも、垂直な 2 本の支柱が上部にまたがる部分を支えているアーチ状の構造で造られている。その 1 つの支柱には、アーチ内に磁界を発生させる伝導コイルを用いた送信装置が埋め込まれており、もう一方の支柱には、発生されたパルス磁界のうち金属対象物に誘導された電流を検波するコイルを用いた受信装置が埋め込まれている。両方の探知機からの磁界の波形は、両極性パルス列と、1kHz の領域に増幅ピークのある広帯域スペクトルを発生させる高速フーリエ変換 (FFT) のパルスより構成されている。

パルスされた磁界の曝露に関する影響評価の方法は NRPB 報告書 (Chadwick 1998) に述べられており、この 2 つの探知機に対する計測に際して用いられた。体内へ誘導された瞬間的電流密度はファラデーの電磁界誘導の法則を用いて、パルス波形に関する磁束密度の変化率から求めた。曝露モデルについては、均一の伝導性をもつ生体組織の半径 20 センチメートルの円形ループに、誘導電流が流れ込むものとして用いた。送信側支柱の内部表面から 5 センチメートル離れた垂直平面における磁束密度の空間分布についても、単純な数的方法や分析方法を用いて考慮した。

FFT は、誘導された電流密度の波形に適用され、導き出されたスペクトルは基本制限に合わせて標準化された。これはパルス列のスペクトル内容によりカバーされる周波数域によって基本制限が変わるために必要となる。そして逆変換は、誘導電流密度を表す発生源に、基本制限の時間域の比率として適用される。そのような過程を経て、ガイドラインに対する準拠状況をパルスの継続期間に対する瞬間的 maximum 曝露比率をもとに判断する。

表 15 にこれら 2 つの調査結果を、最大磁束密度 (送信側支柱の近傍において測定されたときの最大測定値) として示す。曝露比率はパーセントで表すこととし、それは例えば比率が 100% よりも下回っている場合は基本制限を満たしていることを表す。両探知機のゲート内、いかなる場所においても誘導電流密度の基本制限を超える結果はみられなかった。

表 15 ゲート型金属探知機からの曝露

金属探知機	ピーク磁束密度 (μT)	曝露比
1	94	69%
2	105	40%

7.1.2 携帯型金属探知機

携帯型金属探知機の仕組みは、その多くがキロヘルツの周波数である交流電流を伝え、磁界を発生させるコイルが基本となっている。もし電氣的伝導性をもつ金属が探知機の検波範囲内に入れば、磁界の構成を妨げるような物質に渦電流が発生する。その時、コイルの作用に対応する変化（波長の共振など）を装置が検出する。

2種類の携帯型金属探知機を対象に、曝露影響評価を行った。そのうち1つの探知機は周波数 20 kHz の正弦波磁界を発生し、ICNIRP 参考値ではこの周波数は $30.7\mu\text{T}$ とされている。探知機の外装部分から 2.5 センチメートルにおける最大磁束密度は $4.5\mu\text{T}$ と計測された。

もう一方の探知機から発生された正弦波磁界の周波数は 94 kHz でありこの周波数の参考値は $21.3\mu\text{T}$ であった。この第 2 の探知機の外装部分から 2.5 センチメートルにおける最大磁束密度は $5.1\mu\text{T}$ と計測された。

7.2 無線識別装置

電子商品監視機器および人的アクセス管理装置は主に 4 つの部分から構成されており、それらは送信装置、受信装置、アンテナそしてタグもしくは応答機に分類される。送信装置および受信装置は、インターロゲータもしくはリーダーとして知られている単一のトランシーバーにまとめられている場合もある。送信装置はアンテナによって放出される RF 信号を発生させる。反応範囲の中にタグがあれば受信装置側で認識される信号に反応する。タグは内蔵されているバッテリーによる能動的なもの、アンテナにより発せられる電磁界から得られる電力による受動的なものに分かれる。トランシーバーとタグの伝達は一般的に誘導結合、容量結合、もしくは電磁波を送受信することによって行われる。RFID 装置は、135kHz 以下から UHF や SHF 帯のマイクロ波周波数にわたる広い範囲の周波数を用いている。

5 つの RFID 装置を対象に曝露影響評価を行った。それぞれの装置に関連したトランシーバーは、

平ワイヤコイルアンテナへ供給される連続的な正弦波信号を放出する。タグがあるところでは、これらはアンテナからの電磁界より電力を得る受動的な装置となる。アンテナからのそれぞれの距離におけるベクトル加算された磁束密度を表 16 に示す。磁束密度は、機器の検波範囲にタグを入れたときの影響を調べたとき、実質的变化は起きなかった。

表 16 RFID 装置周辺の磁束密度。参考値を超えた測定値は斜体で示す。

機器	周波数 (kHz)	参考値 (μT)	距離 (cm)	磁束密度 (μT)
カードリーダー	120	17	7.5	20
			12	10
アンテナ	120	17	7.5	10
アンテナ	134	15	2.5	25
			5	7
アンテナ	154	13	2.5	15.0
			5	5.3
			10	1.2
カードリーダー	4900	0.41	5	8.4
			10	2.1
			20	0.3

表 16 において報告されている磁束密度の測定結果では、調査対象となった RFID 機器のいくつかで、近傍地点において参考値を超えた。参考値を超えた地点は全般的に局所集中しており、機器からの距離が増えるにつれ急速に数値が下がった。100 kHz 以上の周波数については、一時的な曝露の調査に用いられる磁束密度の二乗に基づくものとする。10GHz 以下の周波数については 6 分間隔の時間平均で行われる。

表 16 に挙げる 2 つのカードリーダーと、最初の 2 つのアンテナに対する人体組織のループおよび付随する SAR へ誘導される電流密度の計算のため、数的曝露分析を用いた。セクション 7.1.1 で概要を示すように、分析は磁束密度の空間的分布をもとに行われた。計測結果によると誘導電流密度および SAR の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。これらの状況とは、より強い磁界における機器への胴体部の接近や、該当する場合、大規模な磁界のベクトル成分が人体表面に垂直上になっているような状況を想定してのことである。これらの機器に対して調査した最大誘導電流密度では、概ね基本制限の 10% 付近であり、対応する SAR においては全身平均 SAR に対する基本制限の 10% 以下であった。

7.3 EAS 機器

電子商品監視機器は店や図書館などにおいて、盗難を防ぐ目的として利用されている。EAS 装置は基本的には検出器、検出される側のタグ、そして場合においてはタグ解除装置から構成される。装置の仕組みは金属探知機や RFID 装置と同様であり、電磁界が設定された量で発生され、もしタグが設定解除されていない、もしくは検出範囲に入る対象物から取り除かれていない場合に磁界の乱れが検出される。RFID 装置と同様に、周波数の広い範囲がキロヘルツ以下からマイクロ波周波数の範囲で様々な異なる EAS 機器に採用されている。

EAS 検出器は一般的に 2 つかそれ以上の磁界発生・検出部から構成されており、それらは平板、ループ状または柱状の外観を呈しており、店や図書館などの客出入り口の側面どちらかの場所に設置されている。それらの部分のうち少なくとも 1 つにはトランスミッター（送信）コイルが入っていて、そのほかの部分にはレシーバー（受信）コイルが、またもしヘルムホルツ環境であれば同時にトランスミッター（送信）コイルも入っている。また、トランシーバーに繋がれたコイルを含んだ 1 つのアンテナを採用した装置も存在する

タグは、能動装置も存在はしているものの、通常内蔵電源を持っていない受動的な機器である。それらは会計の後に商品から外されて永続的に使われるものや、使い捨てのものがあり、一般的には梱包に糊づけされているものが多い。低い周波数で用いられる使い捨てのタグは会計のときに磁気を変更することができる磁性板を用いられている場合がある。高い周波数の誘導装置を採用した使い捨てタグには、会計時に解除装置を用いて解除する共鳴装置や回路を積んだものが一般的である。受動的、能動的な装置にかかわらず、タグを検出器の周辺に近づけたときに変化する磁界の強度は、タグがない時には存在する磁界強度とのわずかな比によるものである。

解除装置は一般的に会計の場所に設置された卓上機器である。いくつかの解除装置は、連続的もしくは波動的な静磁界を発生し、またそれは必要に応じて発生させられる。共鳴回路を持った使い捨てタグは、共鳴周波数でのパルス RF 磁界を用いた電磁誘導により回路を荷負荷することで解除される。RF 解除装置は 2 つのモードで操作されるものがあり、それらは検出モードと解除モードで設定される。検出設定においてはタグの存在を感知するように使用され、タグと同じような共鳴周波数を通じて送信周波が掃引されるかステップされる。解除モードではタグを解除するために用いられ、周波数はタグの共鳴周波数で固定される。

EAS 機器の近傍における電界・磁界強度およびいくつかの機器からの接触電流の測定が行われ、結果を表 17 から表 19 にまとめる。表にはまた、関連する参考値も載せてあり、rms 値に加え該当箇所にはピーク値も載せてある。表 17 および表 18 に挙げる磁界強度の値は機器からの与えられ

た距離における最大値としている。パルス磁界に対する曝露の場合、示されている磁界強度はピーク rms であり、すなわちパルスされている時の rms 磁界強度を意味する。報告されている接触電流は機器のいずれかの部分から測定された最大値である。

表 17 EAS 検出器およびそれぞれの機器のアンテナ外装水平面からの特定距離におけるタグ解除機の電界強度。特に注意書きがない場合、検出器は全て2つのアンテナをもつ装置とする。

装置	周波数 (MHz)	送信方法	参考値 (Vm^{-1})		距離 (cm)	電界密度 (Vm^{-1})
			rms	ピーク		
検出器	7.4-9.1	連続、掃引周波数	67-82	-	10	4.0
検出器 (単一アンテナ)	7.4-8.8	連続、掃引周波数	69-82	-	2.5	<1
検出器	7.4-8.8	連続、掃引周波数	69-82	-	2.5	<1
解除装置 (検出モード)	7.4-8.6	パルス、ステップ 周波数	71-82	~2100	10	89*
					20	21
解除装置 (検出モード)	7.4-8.8	連続、掃引周波数	69-82	-	2.5	<1
解除装置 (解除モード)	7.4-8.6	パルス、固定周波 数	71-82	~2100	10	86*
					20	20
解除装置 (解除モード)	7.4-8.8	パルス、固定周波 数	69-82	~2100	5	190†
					10	60
					20	9

* 0.15%の衝撃係数により、時間平均を考慮した時に準拠した平均二乗偏差参考値

† 0.25%の衝撃係数により、時間平均を考慮した時に準拠した平均二乗偏差参考値

表 17 に示されたデータによると、EAS 検出器から発せられる電界への曝露に対し、電界強度の参考値を超えることはないことを示唆している。rms 参考値については、いくつかのタグ解除装置の近傍でを超える事もあったが、これらの解除装置はパルス磁界を発生しており、ガイドラインでも許容している時間平均を考慮した場合、参考値に準拠していた。

影響評価の対象となった EAS 検出器の多くは HF 帯で稼動していた。これらのうち1つの装置の近傍において、rms 磁界強度の参考値を超過した。測定された曝露量については、ガイドラインでも許容しているように、一時的曝露の調査に際して界強度の二乗をもとに時間平均して算出された。

タグ解除装置の場合、いくつかの機器のアンテナから数 10 センチメートルまでの距離において、rms 磁界強度の参考値を超える可能性がある。しかしながらこれらの解除装置から発生されるパルス磁界と rms 参考値は、時間平均が考慮されたあとの結果においてアンテナの 10 センチメートル以内のみ超過した。また、パルス磁界を発生する解除装置に伴うアンテナの 10 センチメートル以内の区域において、ピーク磁界強度の参考値を超過した。

表 18 EAS 検出器およびそれぞれの機器のアンテナ外装水平面からの特定距離におけるタグ解除機の磁界強度。特に注意書きがない場合、検出器は全て2つのアンテナをもつ装置とする。参考値を超えた測定値は斜体で、また頭部や胴体への曝露の位置において参考値を超える場合は太字で示す。

装置	周波数 (MHz)	送信方法	参考値 (Vm^{-1})		距離 (cm)	磁界密度 (Am^{-1})
			rms	ピーク		
検出器*	0.001953	パルス、固定周波数	24.4	-	25 100	350 30
検出器	7.4-9.1	連続、掃引周波数	0.18-0.22	-	15 20	0.09 0.06
検出器(単一アンテナ)	7.4-8.8	連続、掃引周波数	0.18-0.22	-	0 [†] 10 20	2.0 0.39 0.18
検出器	7.4-8.8	連続、掃引周波数	0.18-0.22	-	15 35	0.12 0.03
解除装置(検出モード)	7.4-8.6	パルス、ステップ周波数	0.19-0.22	5.4-5.7	3 10 50	12.3 3.1 [‡] 0.18
解除装置(検出モード)	7.4-8.8	連続、掃引周波数	0.18-0.22	-	2.5	0.12
解除装置(解除モード)	7.4-8.6	パルス、固定周波数	0.19-0.22	5.4-5.7	3 10 30 50	58 2.7 [‡] 0.34 [‡] 0.13
解除装置(解除モード)	7.4-8.8	パルス、固定周波数	0.18-0.22	5.4-5.7	5 10 20	10 3 [§] 0.8 [§]

*この検出器については市場に出されていないことが分かっている
[†]アンテナのフレーム内の開放部
[‡]0.15%の衝撃係数により、時間平均を考慮した時に準拠した平均二乗偏差参考値
[§]0.25%の衝撃係数により、時間平均を考慮した時に準拠した平均二乗偏差参考値

表 19 EAS 装置からの接点電流。特に注意書きがない場合、検出器は全て2つのアンテナをもつ装置とする。

装置	周波数 (MHz)	送信方法	参考値 (mA)	接点電流 (mA)
検出器	7.4-9.1	連続、掃引周波数	40	0.03
検出器(単一アンテナ)	7.4-8.8	連続、掃引周波数	40	<0.1
検出器	7.4-8.8	連続、掃引周波数	40	<0.1
解除装置(検出モード)	7.4-8.6	パルス、ステップ周波数	40	0.02*
解除装置(検出モード)	7.4-8.8	連続、掃引周波数	40	<0.01

*0.15%の衝撃係数により、ピーク rms 電流は 0.5mA と推定

HF帯で稼動する、表18に挙げる全ての機器に対する人体組織のループおよび付随するSARへ誘導される電流密度を計算するため、磁束密度の空間的分布に基づいた数値的曝露分析を用いた。使用された手順は、セクション7.1.1において概要を示している。計測結果によると誘導電流密度およびSARの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。これらの状況とは、より強い磁界における機器への胴体部の接近や、該当する場合、セクション7.2で示したような大規模な磁界のベクトル成分が人体表面に垂直上になっているような状況を想定してのことである。

計測されたEAS機器から発生される接触電流のうち参考値を超えるものはなかった。

8 その他の発生源

8.1 永久磁力着磁装置

小さな磁性物質に永久磁力を着磁するのに用いられる、卓上型装置の近傍で磁束密度の測定を行った。着磁手順としては、ジグに対象となる物質を入れ、キャパシタバンクに充電された電力がコイルを通して放電することで得られる単一単極磁界パルスにより、それらの物質に着磁する。パルスによって発生するわずかな磁束密度を図6に示す。

セクション7.1.1にまとめる、人体組織の円形ループにおける誘導電流密度を計算する方法を用いて、曝露に関する調査を行った。人体表面に対して垂直な磁束密度のベクトル構成要素に関する一時的振幅等量から最大計測振幅に係わる一定空間分布は、より保守的な影響強化結果を得るため平易であると仮定した。

表20に影響評価の結果を示す。そこでは曝露比率が有効基本制限に対するパーセントとして表されている。着磁装置のすぐ近くにおいて基本制限を超えたが、これは基本制限が適用される頭部や胴体部の組織が通常曝されない位置であった。

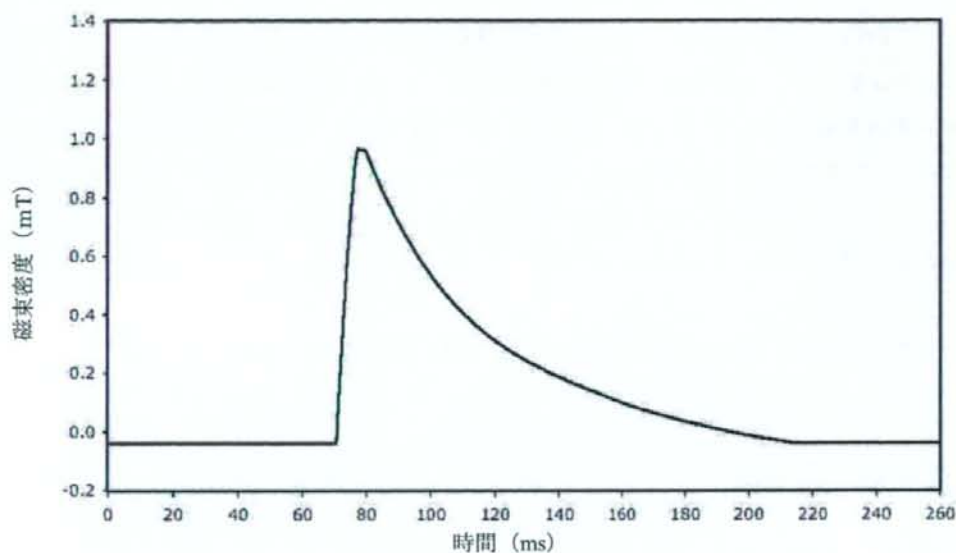


図 6 永久磁力着磁装置の近くにおいて捕えられた磁束密度のパルス

表 20 永久磁力着磁装置からの曝露

ジグからの距離 (cm)	ピーク磁束密度 (mT)	曝露比率
10	7.1	200%
30	0.96	29%

8.2 アーク炉

廃金属を処理するために用いられる 2 つの 3 電極アーク炉の近傍において、交流磁束密度の測定を行った。装置から発生する磁界のスペクトルにみられた調波をもとに、それぞれの炉に対し有効参考値との比較を行った。どちらの場合も基本周波数は 50Hz であった。表 21 に結果を示す。そこでいう報告値とはそれぞれの炉からの一定距離における最大磁束密度測定値とする。1 つの炉の近傍で有効参考値を超えた。

表 21 アーク炉からの時間変化的磁束密度。有効参考値を超えた測定値は斜体で示す。

炉	電力 (MW)	電流 (kA)	有効参考値 (μT)	距離 (m)	磁束密度 (μT)
1	66	54	380	1	<i>480</i>
				3	300
2	12	30	440	1	240
				2	130

8.3 亀裂検出装置

亀裂検出装置は金属構造物の非破壊検査に用いられている。NRPB によって調査が行われた装置は、電流を磁性の検査対象物質に誘導もしくは注入するために用いられている装置であった。電流誘導は、検査対象物質をコイルが回転する部分に設置し引き起こされる。検査対象物質への電流の直接注入については、それぞれの末端部分で電極を通して行われる。いくつかの装置では、携帯型の電極を用いている。検査対象物質の表面に磁性染料や造影剤を塗り、適合する光源のもとで観察したとき、亀裂、ひびまたは裂け目を見つけることができる。亀裂検出装置は交流、直流供給どちらでも使用することができるが、直流供給の場合は、一般的に基本電力周波数の調波を含んだ整流電流を発生する。この電流は連続的もしくはパルス的に伝達される。いくつかの装置では、時間をかけて交流電流を次第にゼロ振幅まで下げる消磁機能を採用している。

セクション 2.3 で記述されているように、AC および DC 亀裂検出装置より発生する磁界の調波電流を曝露影響評価の一環として調査し、またそれぞれの磁界波形に対する有効参考値を評価することは当然の事である。表 22 と表 23 に、2つの異なった装置を対象とした静的および時間変化的磁束密度の計測結果を示す。測定は、機器を操作する上で通常作業者がとる作業位置において行った。

表 22 直流亀裂検出装置からの静磁束密度

モデル	運転モード	電流 (kA)	位置	磁束密度 (mT)
1	誘導	3.7	手	3.2
	注入	-	四肢	20
			胴体	5
			頭部	4
就労日全体における曝露制限 (時間荷重平均)				200

表 23 交流・直流亀裂検出装置からの時間変化的磁束密度。参考値を超えた測定値は斜体で、また頭部や胴体への曝露の位置において参考値を超える場合は太字で示す。

モデル	種類	運転モード	電流 (kA)	有効参考値 (μT)	位置	磁束密度 (μT)
1	直流	誘導	3.7	350	四肢	2300
					胴体	800
					頭部	300
	注入	-	180	手	350	
				胴体	8	
				頭部	42	
2	交流	誘導	2.0	500	手	3000
					四肢	2050
					胴体	900
	注入	-	250	頭部	390	
				手	1200	
				胴体	18	
					頭部	9

表 22 に示す全ての静磁束密度の測定結果において、ICNIRP の就労日における連続的曝露に関する時間加重平均磁束密度の制限値を下回っていた。表 23 に示す時間変化的磁束密度では、通常作業者がとる作業位置において、いくつかの装置で有効参考値を超えることを示唆した。特定の場合においては、四肢が曝されるような（通常四肢以外の体の部分が曝されることはない）電極に近い場所においてのみ参考値を超えた。こういった場合、頭部や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えるようなことは考えにくいであろう。

作業者の頭部や胴体部が参考値を超える磁束密度に曝されるときは、基本制限を超える可能性があるが、これは装置より発せられる磁界の空間分布によって変わってくる場合もある。

8.4 テープ記録除去装置

テープ記録除去装置、もしくは消磁装置は、一般的には ELF（通常電力周波数）磁界を使用しテープやその他磁気媒体に保存されているデータの消去を行う。磁束密度の測定は、ビデオテープから情報を削除する目的で使用されている 4 機の除去装置の近傍にて行った。表 24 にテープ記録除去装置から一定の距離において計測された最大磁束密度を示す。

表 24 に示すデータでは、特定のテープ記録除去装置の種類から数十センチメートル以内の距離において参考値を超える可能性を示唆している。しかしながらこれらの区域に四肢のみが曝されることはあるとしても、頭部や胴体部の組織における誘導電流密度に関する基本制限を超えることは考えにくい。

表 24 テープ記録除去装置からの時間変化的磁束密度。有効参考値を超えた測定値は斜体で示す。

モデル	詳細	参考値 (μT)	距離 (cm)	磁束密度 (μT)
1	コンパクト消磁装置	380*	7 15	500 300
2	テープ記録除去装置	500	15 20	604 500
3	バルクテープ記録除去装置	500	15 20	4000 <500
4	バルクテープ記録除去装置	500	5 20	5000 800

*350Hzにまで広がる顕著な成分とともに基本周波数 50Hz の調波が存在していることが明らかとなったスペクトル分析より得られた有効参考値。

8.5 ファイバー用硬化装置

ファイバー用硬化装置は、光ファイバーのリールを紫外線 (UV) 硬化性インクでコーティングするために用いられる。これらの装置は、RF 放射線を源とする UV ランプを使用している場合がある。3 機の硬化装置を対象に、周波数 2.45GHz における電磁放射線への曝露に関する調査を行った。それぞれの機器の前面は、装置が低速および低消費電力における運転をしている時のみ開けることのできるポリカーボネイトパネルで覆われている。表 25 にそれぞれの機器近傍にて測定された最大電力密度を示す。どの測定においても ICNIRP の参考値を超えることはなかった。

表 25 ファイバー用硬化装置からの電力密度

モデル	運転状況	参考値 (Wm^{-2})	電力密度 (Wm^{-2})
1	標準	50	<1
2	標準	50	1.5
3	低速、低電力；ケース開放	50	3

9 考察

考察を2つのセクションに分けて示す。最初のセクションでは、ICNIRP ガイドラインをもとにした NRPB 報告書 R265 の結論に対する関係を述べる。第二のセクションでは、本調査に示す最新の研究結果において、ICNIRP の参考値を超えることが確認された曝露に関して考察を述べる。

ICNIRP により勧められている電界・磁界強度、磁束密度、および電力密度の参考値は、曝露対象